GÜNCEL YAYINCILIK

AÇIK BİLİM

Bildiğiniz havaların sonu

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİMİ VE TÜRKİYE



Mikdat Kadıoğlu

GÜNCEL YAYINCILIK

Bildiğiniz havaların sonu

MİKDAT KADIOĞLU

MİKDAT KADIOĞLU Kimdir?

Meteoroloji Doçenti, evli 1961 Trabzon doğumlu. 1984 İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun. ABD'de Atmosfer Bilimleri konusunda 1987'de Master ve 1991'de Doktora derecelerini *Missouri-Columbia Üniversitesi*'nden almıştır. ABD'de Öğrenciliği sırasında *University of Missouri Campus Computing Services Laboratuvar Asistanlığı, Graduate-Professional Council*'de Bölüm Temsilciliği ve 3 yıl boyunca *Univ. of Missouri-Columbia* Türk Öğrenci Derneği Başkanlığı'nı da yürütmüştür. 1991-1991 Öğretim yılında da *Doktora Öğrencisi Süper Başarı Ödülü, (Graduate School of University of Missouri-Columbia Superier Graduate Achievement Award)*, ile ödüllendirilmiştir. TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Marmara Bölge Temsilcisi; Türk Deniz Araştırmalar Vakfı Genel Kurul Üyesi'dir. Sinoptik Meteoroloji, Sayısal Hava Öngörüsü, İklim ve Afet Yönetimi konularıyla ilgileniyor. Atmosfer bilimleri konusunda 100'ün üzerinde ulusal ve 30'un üzerinde uluslararası olmak üzere teknik makaleleri vardır. *Journal of Computational Physics, International Journal of Climatology, Theoretical and Applied Climatology Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* (TÜBİTAK) dergilerinde makale hakemlikleri yapmıştır. NTV'de Meteoroloji Danışmanlığı yapmış ve Milliyet Gazetesi Milliyet 2000 "Havadan-Sudan" adlı köşesinde yazılar yazmıştır. Şu anda, Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'ndeki Havadan-Sudan adlı köşesinde yazılar yazmaktadır; İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü ve İTÜ Afet Yönetim Merkezi Öğretim üyesidir. Ayrıca iki yıldır Açık Radyo'daki (94.9 Mhz) Havadan-Sudan Programının yapımcısıdır.

GÜNCEL YAYINCILIK: *110*
Açık Bilim: 8

ISBN 975-8621-08-4
Bildiğiniz Havaların Sonu
Mikdat Kadıoğlu

•

Kapak tasarımı: Talip Aktaş

•

Birinci Basım: Aralık-2001

•

Ofset Hazırlık
Güncel Yayıncılık Ltd.

Baskı: Kitap Matbaacılık
Cilt: Fatih Mücellit

© Mikdat Kadıoğlu, 2001
© Güncel Yayıncılık Ltd.Şti.
Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında
yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

GÜNCEL YAYINCILIK LTD. ŞTİ.
Çatalçeşme Sok. No:19 Kat, 3
Cağaloğlu - İstanbul
Tel: 0 212 511 22 37, Fax: 0 212 522 86 68
e- mail: kontiki@turk.net

BİLDİĞİNİZ HAVALARIN SONU

Küresel İklim Değişimi ve Türkiye

Mikdat Kadıoğlu

GÜNCEL YAYINCILIK

Anneme, babama
ve
öğretmenlerime...

İklim değişiminin ışığında:
Dünya mı gerçek, yoksa ekonomi mi?

21. yüzyılın en temel meselesi, insanlar (ve bütün canlılar) ile onların yaşadığı ortam, yani çevre arasındaki ilişki olacağa benzer. Daha doğrusu, canlılarla çevre arasında adamakıllı bozulmaya yüz tutan dengenin nasıl düzeltilebileceği meselesi. Çevre meselesine ilişkin en temel gerçeklik ise, fiziki dünyanın değişme hızı ile insan toplumunun bu değişme gösterdiği tepkinin yavaşlığı arasındaki keskin zıtlık.

İklim değişmesi üzerine çalışan uluslararası bilim insanlarının yayınladıkları raporlardaki rakam ve grafikler bu zıtlığı hayli net biçimde ortaya koyuyor: Atmosferdeki karbondioksit (CO_2) oranını, endüstri devriminin başladığı kabul edilen 1750 yılından bu yana % 31 oranında artmıştır. Dahası bugün havamızdaki CO_2 oranı, büyük olasılıkla son 20 milyon yılda ulaşılan en yüksek seviyeye gelmiş. Dahası, günümüzdeki CO_2 artışı, son 20 000 yıldan, yani son buzul çağından bu yana görülmemiş bir hıza ulaşmış!

"Sokaktaki adam" bile, bu büyük değişimin insanın fosil yakıt tüketen yaşama tarzından kaynaklandığını gösteren bilimsel kanıtları görebilir artık. Yeni raporlarda karbondioksit, metan ve azotoksit gazları ile bacalardan fışkıran sülfür aerosollerin atmosferdeki yoğunluğunu gösteren grafiklere şöyle bir göz atmak yeterli: Bu dört gazın atmosferdeki konsantrasyonu 1700'lerin sonlarına kadar yatay bir çizgi ile gösterilirken, 2000'e doğru neredeyse dimdik bir düşey çizgiye dönüşüyor. Bu dehşetengiz dört grafik çizginin tek bir makul açıklaması var: Sebep aynı: Fosil yakıtlarının tüketilmesi. Gazlar, güneş ışınlarından gelen sıcaklığın geri dönüp atmosferden çıkmasına izin vermiyorlar, tıpkı bir camekân gibi atmosfere hapsediyorlar onu. İşte si-

ze "sera etkisi," yani küresel ısınma.

Küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen bir yığın aşırı iklim değişikliğinin yalnız kanıtlarını değil, belirtilerini de gözle görebilecek hale geldik, sıradan insanlar olarak: Dört bir yanı saran seller, dört bir yanı kasıp kavuran kuraklıklar, dev orman yangınları, eriyen kutuplar, kaybolup giden buzullar, yükselen okyanuslar, kaybolup giden türler, ağarak ölüp giden mercan kayalıkları, yeniden girilecek bir buzul çağı ihtimali ve yeniden yaşanabilecek Nuh tufanları...

Her gün usandırıc bir hızla artarak gözlerimizin önünden geçip giden haberler, raporlar, sivil kuruluşların çağrıları ve karanlık tahminler insan toplumları için bir değişim talebine yol açmıyor ama. Asıl değişimin enerjide olduğu düşünülüyor çünkü. Modernist düşüncenin temelini oluşturan düşünce bu: Zaman hep ileriye doğru gider. Hep ilerlemeye, hep gelişmeye doğru akan zaman. Daha iyi bir hayat yaşamak, daha kaliteli şeyleri daha çok tüketmek ve böyle "ilerlemek." O yüzden de iklim değişikliği ve küresel ısınma konusunda herhangi bir tedbir almaktan çok, ekonomik ilerlemeye konsantre olmuş durumayız. Bill McKibben'ın yazdığı gibi: "Bir anlamda, fizik dünya, ekonomi dünyası kadar gerçekmiş gibi gelmiyor bize: Ekonomiyi kucaklayıp mıncıklıyoruz, siyasilerimiz ekonominin daha da büyümesini hızlandırmak için elden gelen tüm kararları alıyor. 'Fosil yakıt bağımlılığı, gezegenimizi mahvediyor,' dediğinde, bu saçma sapan bir laf gibi görünüyor. Yani dünyanın kendisi soyut, ekonomisi ise somut gerçekliğe dönüşmüş durumda."

İşte bu yüzden de, çokuluslu dev petrol şirketleri fosil yakıtlardan kaynaklanan küresel ısınmayı yok saymak için "dezenformasyon"a milyonlarca dolar harcıyor; dev petrol şirketlerinin has "adamı" Bush da enerji sıkıntısını ve ekonomiyi tek gerçek kabul edip, gülünç denecek kadar sulandırılmış olan ve sera gazı salımlarını kısıtlamayan ülkelere yaptırımı olmayan Kyoto Protokolü'nü bile toptan reddiyor. (ABD' den küresel ısınmayı önlemek için dünyanın yörüngesini de-

ğiştirip onu güneşten "uzağa çekmek" gibi öneriler ciddi ciddi geliyor da, araba sayısını azaltıp biraz daha küçük taşıtlara geçmek ya da alternatif enerjiyi aramak gibi öneriler, gayri ciddi bulunmak bir yana, neredeyse "zındıklık" sayılıyor.)

O, dünyadaki son bakir alanları ve deniz diplerini petrol araştırmaları için kullanmayı planlıyor. Dünya çapında teröre karşı yiğitçe savaşırken, aynı anda petrol kaynakları üzerindeki egemenliğini korumak için de canla başla çarpışıyor ve ülkeleri bombalıyor.

Biz, insanlığımızı ve medeniyetimizi tehdit eden korkunç şeylere karşı ömür boyu savaştık: Komünizmle ve terörle mesela. Bu korkunç tehditlerin nereden kaynaklandığını, nerede bulunduğu, kısacası *gerçekliği* her zaman biraz ispata muhtaç kaldı. Ama, gerçekliğin ta kendisi olduğu artık bize düpedüz bilimsel olarak ispatlanan iklim değişikliğini nedense asla gerçek bir tehdit gibi görmedik, üstümüze almadık. Biz birer *homo economicus* olarak gerçeklik duygumuzu kaybettik galiba yolda bir yerlerde. Yapay dünyayı gerçek olanın yerine koyduk. "Yapay iklim değişimi" yarattık! Sonsuz yoksulluk, şiddet ve yıkımla dolu bir iklim...

Biz bize vuran terörün yaşam tarzımızı değiştirmeyeceğine dair sarsılmaz inancımızı yeryüzüne ilân ettik, ama iklime vuran yaşama tarzımızın yeryüzünü temellerinden sarsacağına asla inanmadık. Eski bildik yaşam tarzımıza geri döneceğimize yemin ederken, eski bildik yeryüzünün tüm yaşam biçimlerini geri döndürülmez biçimde tahrib ettiğimize zerrece ihmal vermedik.

Bu bir yanılsama olayı mı? Belki. Ahmaklık mı? Belki. Sorumsuz ve gayri ahlâki bir tutum mu? Belki. Bizden sonra tufan mı? Belki. Belki de hepsi birden.

Mikdat Kadıoğlu, yalnızca bilim adamının değil, ayakta duran her bireyin sahip olması gereken ahlâki ve entelektüel sorumluluğun rüzgâr enerjisi ile gidiyor: Kendini evrenin tek hâkimi sayan insanın gerçekliği yapaya dönüştüren Frankeştaynvari rolünü, yakın geleceği

ipotek altına alan muazzam felâket tehdidini büyük bir netlikle ve dürüstlükle ortaya koyuyor bu kitabında. İnsanın yapay iklim yarattığını düz ve lâfı dolandırmadan söylüyor sâkin sâkin. Hayat veren suyun (buharıyla) nasıl ölüm saçabileceğini, medeniyet timsali kentin iç güçleri sonucu nasıl insan çölü haline dönüşebileceğini, büyük barajların kalkınmalar kadar felâketlerin de habercisi olabileceğini, küçük olanın güzel, mütevazı olanın yüce olabileceğini anlatıyor. Ozon tabakasından yeraltı sularına Göztepe istasyonundan Venüs gezegenine "mekik" le yapılan sık gidiş- gelişli bir dolambaçlı seyahat...

Türkiye'de bu konuda kaleme alınmış ilk ve tek kitapta, beklenmedik bir şey de yapıyor yazar ve fiziki dünyayı "olduğu gibi" anlatmak gibi akıl almaz bir işe kalkışıyor. Bunu yaparken, hem bilgi aktarıyor, hem de- olacak iş değil ama- analitik düşünmeye çağırıyor hepimizi. Kısacası, Dr. Kadıoğlu, her zaman yaptığı işi yapıyor aslında - havadan- sudan konuşuyor. İnsan da, kendi güzelim dilinin içinde gizlenmiş ne kadar aptalca terimler bulunduğunu bir kez daha görerek şaşırıp kalıveriyor.

— Ömer Madra
İstanbul, 7 Kasım 2001

İÇİNDEKİLER

Önsöz	**5**
Giriş	**11**
I. Dünya Atmosferi ve Sera Etkisi	**17**
1.1. Dünya Atmosferi	17
1.2. Enerji, Albedo, Isı ve Sıcaklık	26
1.3. Havayı Aşağıdan Isıtmak ve Cemre	43
1.4. Ozon Konsantrasyonunun Seyrelmesi ve Olası Etkileri	49
1.5. Işınım, Sera ve Atmosfer Etkisi	59
1.6. Atmosferde Kelebek Etkisi ve Hava Tahmini	71
II. Havalar Çıldırdı mı?	**83**
2.1. Hava Şartları ve İklim	83
2.2. Hava Şartları ve Mevsimler	92
2.3. Meteorolojik Rekorlar	109
2.4. Hava Şartları ve Normalleri	123
2.5. Göllerimiz ve İklim Elemanlarındaki Salınımlar	126
2.6. El Nino/La Nina ve Olası Etkileri	141
2.7. Geçmişteki Ekstrem Hava ve İklim Olayları	159
II. Doğal ve Yapay İklim Değişimleri	**171**
3.1. Doğal İklim Değişimleri	172
3.2. Karbondioksit ve İklim Değişimi	192
3.3. Şehirleşmenin Şehir İklimine Etkisi	197
3.4. Şehirleşmenin İstanbul'daki Yağışa Etkisi	214

3.5. Büyük Su Yapılarının İklime Etkisi 222
3.6. Keban Barajı'nın Çevre İklimine Etkisi 227
3.7. Bulut Tohumlama ve Yapay Yağış 231

IV. Küresel İklim Değişimi ve İşaretleri 241
4.1. Artan Sera Gazları ve Etkileri 241
4.2. Küresel İklim Değişimi ve Küresel Isınma 250
4.3. İklim Modelleri: Türkiye İçin Senaryolar 257
4.4. İklim Konferansları 263
4.5. Yükselen Deniz Suları ve Kıyı Selleri 271
4.6. Geri Besleme: Su buharı, Bulutlar ve Buzul Çağı 278

V. Türkiye'de İklim Değişimi ve Olası Etkileri 285
5.1. Türkiye'de Hava Sıcaklıkları ve Yağıştaki Eğilimler 286
5.2. Enerji: Isıtma ve Soğutma İhtiyacındaki Değişim 294
5.3. Tarım: Donlu Günler ve
Büyüme Mevsimindeki Değişimler 307
5.4. GAP Bölgesinde Beklenen İklim Değişiklikleri 320
5.5. İklim Değişiminin Etkileri Üzerine Senaryolar 330

VI. Son söz 353
Teşekkür 358
Yararlanılan Kaynaklar 359

Thomas Cardinal Wolsey (1471-1530) "Kafalara neler koyacağınız konusunda çok ama çok dikkatli olun; çünkü onları bir daha asla değiştiremezsiniz" der. 500 yıl sonra bile olsa günümüzde, bilimsel kavramların öğretilmesinde yanlış bilgi, örnek ve çizimlerin (Bad Science), fiziksel olgular için insani davranışların kullanılması (Animism) ve duyguları yönetebilirlermiş gibi benzetmelerin (Pathetic Fallacy) yapılması, eğitim ve öğretimin konusu olmuştur.

Türkiye'de meteoroloji kavramının "yanlış" kullanımının ne kadar yaygın olduğunu hayal bile edemezsiniz... Bu nedenle, özellikle ABD'de, çocuklara fen bilimleri alanında bir şeyler öğretmek için mükemmel bir dal olarak görülen meteorolojideki "kötü bilim" örneklerine değinmek istiyorum. Böylece, küresel iklim değişimi ve ısınma ile ilgili yazılarda, tartışma ve konuşmalarda yapılan "yanlış" meteorolojik yorum ve açıklamaların daha kolay anlaşılacağını umuyorum.

Türkiye'de, dikkat edildiği taktirde, hayat bilgisi, fen bilgisi ve coğrafya derslerinde olduğu gibi, ÖSS/ÖYS sorularında bile meteorolojideki "kötü bilim" örneklerine rastlamak mümkündür. Örneğin, ÖSS coğrafya soruları arasında "iklim bilgisi"ni ölçmek için sorulan sorularda sık sık "havanın taşıyabileceği su buharı miktarı" şeklinde meteorolojik olarak yanlış bir ifade yer almaktadır. 1994 ve 1996 yıllarında bu soru, "Sıcaklık arttıkça havanın taşıyabileceği su buharı miktarı da artar" şeklinde ifade edilmiştir. Aynı soru tipi ve yanlış ifade ÖSS 2000'de "havanın taşıyabileceği maksimum su buharı" şeklinde tekrarlanmıştır.

Halbuki Dalton'un 18. yüzyılda açıkladığı gibi herhangi bir ortamda gazlar, birbirlerinden bağımsız bir şekilde bulunurlar. Benzer şekilde hava da, molekülleri arasında büyük mesafeler olan bir gaz karışımıdır. Bu nedenle hava, büyük miktarda su buharı içerebilir. Su

buharı havada "çözülmez" ve hava su buharını "tutmaz" veya "taşımaz." Su buharı, yani su molekülleri havada azot, oksijen vb. moleküller gibi sadece "bulunur." Aynı zamanda sıcak havanın, soğuk havadan daha fazla su buharı içerebileceği kanısı da yanlıştır.

Benzer şekilde bulutların oluşum nedenini; "soğuk havanın sıcak hava kadar su buharı tutamaması" şeklinde öğretenler de bulunmaktadır. "Hava fazla soğutulursa, su buharı havada sünger sıkılıyormuş gibi damlacıklar şeklinde ortaya çıkar" şeklindeki benzetmeyle, bulut oluşumu çok yanlış olarak açıklanmaya çalışılmaktadır. Buradaki sünger benzetmesinin havada oluşması mümkün değildir.

Ayrıca, karikatüristler tarafından gözyaşı damlası şeklinde çizilen yağmur damlası, birçok kitap, reklam, çizgi film gibi çocuklara yönelik yayınlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Oysa gerçekte yağmur damlalarının çok azı bu şekildedir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile beraber atmosferin sera etkisi konusunda da yanlış benzetmeler bulunmaktadır. Atmosferdeki sera etkisine sahip gazların yeryüzeyinden yayılan ışınımı, bir sera veya bir battaniye gibi tutması ya da geri yansıtmasına atmosferin sera etkisi denir, şeklindeki açıklamalar da kötü bilimin örnekleri arasındadır.

Son olarak, lavabo ve küvetlerdeki suyun dönüş yönünün dünya üzerinde hangi yarım kürede bulunduğumuza göre değiştiği ve buna dünyanın dönüşünden dolayı ortaya çıkan Coriolis kuvvetinin neden olduğu gibi açıklamaların da kötü meteoroloji bilimi örneği olduğunu belirtmek isterim.

Hiçbir şey yanlış örnek ve açıklamalar kullanılarak öğretilmemeli; fiziksel olaylar sadece olduğu gibi tarif edilmelidir. İki yüzyıl önce yanlış oldukları gösterilmesine karşın, aynı bilgiler, genç beyinlere sokulmaya devam edilmemelidir.

Kamuoyu tarafından hava ve iklim olaylarının yanlış algılanması da çok rastlanan bir durumdur. Örneğin, genellikle sele neden olan bir kaç şiddetli sağanak, iri taneli dolu yağışı, nehirlerin taşması, bir yere

yaz ayında kar yağması, yüksek sıcaklıkla birlikte nemin bunaltıcılığı, 3-5 derecelik bir sıcaklık düşüşü veya artışı yaşandığında, mevsim için bunların olağan olmadığı düşünülür. Özellikle hava sıcaklığında alışılmışın dışında bir gelişme yaşandığında kamuoyunun aklına "Havalar çıldırdı mı?" ya da "Mevsimler değişiyor mu?" gibi sorular gelmektedir. Eskiden sözlü ve yazılı basınımızda bu tür değişimlerden "mevsim kayması" ve "mevsimlerin yer değiştirmesi" olarak sıkça bahsedilmekteydi. Bir ara bütün bunlardan El Nino da sorumlu tutulmuştur.

Bu konuda basınımızda çok yanlış yorum ve haberler yer almaktadır. Örneğin, kelime anlamı "bebek Hz. İsa" olan El Nino'nun adı, "Perulu yaramaz ve şımarık çocuk" olarak değiştirilmiştir. Birçok doğal afet de El Nino'nun gazabı olarak açıklanmıştır. Ayrıca El Nino olayı sanki Doğu Pasifik'te oluşmuyormuş da, o "yaramaz çocuk" oradan oraya hoplayıp zıplayarak dünyanın orasını burasını fırtınalarla alt-üst ediyormuş gibi birçok açıklamalar da yapılmıştır. Günümüzde bütün bunlar unutulmuş ve bir kaç şiddetli sağanak ve bunların sonucunda oluşan seller sadece "iklim değişikliğine" bağlanır olmuştur.

Evet, artık dünyanın "ateşi yükseliyor" ve iklim yerel ve küresel ölçeklerde değişikliğe uğruyor. Fakat günlük yerel hava ve El Nino gibi bölgesel iklim olayları ile iklim değişikliği gibi büyük bir küresel çevre sorunu arasında ilişki kurmak ne kadar doğrudur? İklim ve El Nino gibi bölgesel bir iklim olayı hava koşulları ile ilişkili midir? Nedir bu küresel ısınma ve iklim değişimi? Küresel iklim değişimi ve ısınmanın Türkiye'de şu andaki izleri ve yakın gelecekteki etkileri neler olacaktır?

Meteoroloji, iklim ve iklim değişimi konularında eğitim almış, dersler vermiş, ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlar yapmış bir meteoroloji mühendisi ve atmosfer bilimcisi olarak bu konudaki deneyimimi, görüşlerimi ve meslektaşlarımla birlikte yaptığım bilimsel çalışmalardaki Türkiye'ye özgü bulguları, kamuoyuyla paylaşma ve toplumu aydınlatma görevini yerine getirmeye çalıştığım için mutluluk duyuyorum.

Özetlemem gerekirse, bu kitabı hazırlamaktaki amaçlarım;

- Kamuoyunu, günümüzün en büyük atmosfer ve çevre (atmosferik çevre) probleminin değişik konuları hakkında bilgilendirmek,
- Küresel iklim değişiminin varlığını, sezgilere değil somut ve bilimsel bulgulara dayandırmak,
- Küresel ısınma ve iklim değişiminin Türkiye'deki izlerini ve etkilerini kamuoyu ile paylaşmak,
- Türkçe literatüre bu konuda bir eser kazandırmaktır.

Sonuç olarak;

- Çeşitli zaman ve yerlerde tek tek ve tekrar tekrar yanıt vermekten yorulduğum soruların yanıtları için bir kaynak sağlanmış olacak.
- Sorulan sorulara verdiğim yanıtların kamuoyuna yansıma biçiminin bir çoğundan rahatsız oldum. Bundan sonra bu kitap aracılığıyla sorularınızı en doğru biçimde yanıtlayabileceğim.

Özetle bu kitap, üç şekilde bildiğiniz havaların sonunu getirecek:

1. Havalar ve iklimle ilgili yanlış bilgiler ve yanlış anlaşılmalar düzeltilecek
2. Havalar ve iklim hakkında bilgilendikçe onlara daha farklı gözle bakacaksınız
3. Küresel iklim değişimi nedeniyle bilinen hava şartlarında da zamanla farklılıklar ortaya çıkabilmektedir.

Her ne kadar bu kitap teknik veya akademik bir eser değilse de, yararlanılan kaynaklara atıf yapılması gerekmektedir. Bu kitapta yer alan temel meteoroloji ve iklim bilgileri için büyük ölçüde Ahrens (1988, 1993), Gedzelman (1980), Lutgens ve Tarbuck (1989), Wallace ve Hobbs'tan (1977) yararlanılmıştır. Okuyucuyu sıkmamak ve akıcılığı bölmemek ya da istemeden unutularak bir kaynağa atıf yapılmamış bilgiler için bu beş temel kaynaktan yararlanıldığı bilinmelidir. Ayrıca kay-

naklar bölümünü abartmamak için, kullanılan bilgilerin sadece ilk kaynaklarına yer verilmiştir; yararlanılan kaynaklar kendilerine metin içinde atıf yapılmamış olsa da kaynaklar bölümüne konulmuştur. Her türlü maddi hata gösterilen kaynaklara değil, tamamen bana aittir.

Bu kitabı okurken istediğiniz bölümden başlayabilirsiniz. Ben olsam önce kitabın içindeki "Şekilleri" okur, sonrasında ise ilgimi çeken metinlerle devam ederdim. Konfücyüs'ün dediği gibi "Düşünmeden öğrenmek vakit kaybıdır." Okuyucudan beklentim bu kitabı okurken vakit kaybetmeyip, yazılanlar üzerinde biraz düşünmesi ve her şeyde sebep-sonuç ilişkilerini aramasıdır.

– Mikdat Kadıoğlu
Meteoroloji Mühendisi
Ekim 2001, İstanbul

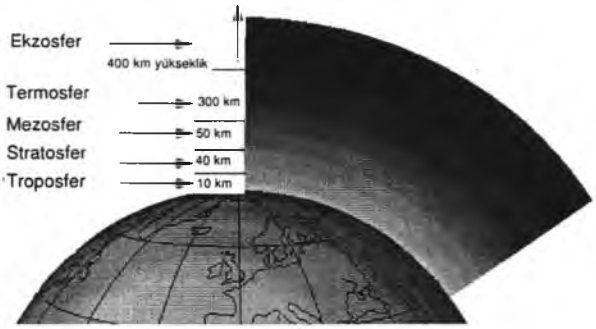
BİRİNCİ BÖLÜM

Dünya Atmosferi ve Sera Etkisi

Atmosferimizi tanımadan, onun özelliklerini bilmeden iklimler, hava şartları, ısınma vb. gibi atmosferde olup bitenler hakkında uzun uzaya konuşup tartışamayız. Eğer bu konuda yeterli bir bilgi sahibi değilseniz, ne hakkında konuşup tartıştığımızı anlamamız için önce, Ahrens (1988, 1993), Gedzelman (1980), Lutgens ve Tarbuck (1989), Wallace ve Hobbs (1977) ile birlikte diğer birçok kaynağa göre, atmosfer, ısı, sıcaklık, iklim, atmosferin sera etkisine ve kaotik yapısına kısaca bir bakmanız gerekmektedir.

1.1. Dünya Atmosferi

Dünya atmosferi, yerçekimi kuvvetiyle dünya üzerinde tutulan, içerisinde asılı durumda bulunan katı ve sıvı partiküller ile birlikte birçok gazın karışımından meydana gelmiştir. Böylece atmosferde yükseldikçe (zayıflayan yerçekimi kuvveti nedeniyle) hava molekülleri konsantrasyonu ve dolayısıyla atmosferik basınç azalır. Atmosfer belli başlı dört ana tabakadan oluşur: Troposfer, Stratosfer, Mezosfer ve Termosfer (veya İyonosfer). Bu tabakalar arasında, ara veya geçiş tabakası olarak adlandırılan Tropopoz, Stratopoz ve Mezopoz adlı üç geçiş katmanı vardır (Şekil 1.1 ve 1.2). Atmosferin sonunu tarif etmek zordur. Hangi parametre seçilirse atmosferin sonu ona göre belirlenir. İnsan ve diğer tüm canlılar, hemen hemen bütün hava olaylarının meydana geldiği atmosferin en alt katmanı olan Troposfer içinde yaşamaktadır.



Şekil 1.1. Atmosferin düşey katmanları. Atmosferin düşey yapısını kolay bir şekilde gösterebilmek için bu şekilde atmosferin kalınlığı abartılı olarak gösterilmektedir. Gerçekte atmosfer, bir elmanın kabuğu gibi, çok ince bir kabuk şeklinde yeryüzeyini sarmaktadır.

500 km civarında atmosferik gazların yoğunluğu çok düşük olduğu için iki gaz atomunun (çarpışma) aralığı (yani, serbestçe katedebildiği yol) çok büyüktür ve birbirleri ile çarpışamayan atomlar uzaya kaçar. Bu kaçışlar nedeniyle bu seviyeye ekzosfer yani dış küre denir.

Dickinson'a göre içinde soluk alıp verdiğimiz atmosfer, dünyamızı çepeçevre saran saydam bir hava tabakasıdır. Atmosferin aşağı 80 km'sinde, azot, oksijen, argon ve belli başlı diğer gazlar bulunmaktadır (Tablo 1.1). Atmosferi oluşturan bu gazların her birisinin, canlı yaşamı üzerinde ayrı bir etkisi vardır. Örneğin oksijenin, insanların ve hayvanların yaşamasını sağlayan en önemli gaz olduğu bilinmektedir. Soluk alma sırasında bu gaz, kanla taşınarak ciğerlere emilir. Atmosferik gazların büyük kısmını oluşturan azot gazına insanların gereksinimi yoktur, ancak toprakla karışan bu gaz bitkiler için gerekli enerjiyi sağlar (Ahrens, 1988).

Atmosferdeki oksijen ve azot oranlarının toplamı yaklaşık %99'dur. Geriye kalan %1'lik oranda diğer gazlar bulunmaktadır. Bu gazlar, atmosferde çok az bulunan "eser" veya "iz" gazlar olarak adlandırılırlar. Bu gazlar arasında hidrojen, helyum, metan, neon, ozon, argon, krip-

ton, ksenon ve en önemlisi karbondioksit bulunmaktadır. Karbondioksit, oranı az olmasına rağmen çok önemli bir gazdır. Diğer bir iz ve değişken gaz olan ozon hemen hemen yeryüzünde mevcuttur ve atmosfer hacminin sadece % 0,000004'ünü oluşturmaktadır. Bunun önemi de onun ısıl enerjiyi yutma yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Su buharı da atmosfer içindeki önemli gazlardan biridir. Aşağı atmosfer tamamen kuru değildir ve havada yaklaşık olarak %1'den %4'e kadar değişen miktarda su buharı mevcuttur. Su (sıvıdan katıya -buza- ya da gaza -su buharına-) çok çabuk hal değiştirdiği için sürekli bir gaz değildir.

Su buharı, diğer bir deyişle, havadaki nem konusunda burada yeri gelmişken önemli bir soruya yer vermek istiyorum: 1 m^3 tamamen kuru bir hava mı daha ağırdır, yoksa içinde önemli miktarda su buharı olan 1 m^3 hava mı daha ağırdır? Eğer nemli olan hava daha ağırdır diye düşünüyorsanız, çok yanılıyorsunuz. O zaman bulutlar havada duramazdı!.. Çünkü Tablo 1.1'den görülebileceği gibi kuru havanın ortalama moleküler ağırlığı 29 iken; su buharının moleküler ağırlığı 18'dir. Burada "kuru hava" derken hiç su buharı içermeyen hava kastedilmektedir. Normalde hava, her zaman nem içerir.

Dünyayı saran atmosfer, sadece canlılara yaşama olanağı sağlamakla kalmaz, Güneş'ten ve uzayın derinliklerinden gelen kozmik ışınlara ve diğer tehlikeli ışınımlara karşı bir kalkan görevi de görür. Aynı zamanda uzayın aşırı sıcaklılarından dünyayı koruyan bir yalıtıcıdır. Dünya atmosfersiz olsaydı, hemen hemen her yeri aynı Ay'da olduğu gibi, ya yakıcı bir sıcak ya da dondurucu bir soğuk olurdu.

Atmosferde Sıcaklığın Düşey Değişimi

Atmosferin düşey yapısı sıcaklığa bağlı olarak incelenirse, Şekil 1.2'de görülen profille karşılaşılır. Bu sıcaklık profili gözönünde tutularak canlı yaşamını en çok etkileyen tabakalar ayrıntılı bir biçimde incelenebilir.

Atmosferin ilk düşey sondajları insanlı balonlara konan meteoro-

Tablo 1.1 Atmosferin ilk 80 km'sindeki havada bulunan gazların bazıları.

Gaz	Sembolü	Hacim %	Ağırlık %	Mol.Ağırlığı (gr)
Argon	Ar	0,934	1,28	40
Azot	N_2	78,084	75,52	28
Helyum	He	0,000524	0,0007	4
Hidrojen	H_2	0,00006	0,000002	2
Karbon dioksit	CO_2	0,036	0,046	44
Kripton	Kr	0,000114	0,0003	84
Ksenon	Xe	0,0000086	—	131,3
Metan	CH_2	0,00014	0,0008	16
Neon	Ne	0,0018	0,012	20
Oksijen	O_2	20,946	23,14	32
Ozon	O_3	0,000004	0-0,001	48
Su buharı	H_2O	0-4	—	18

lojik aletlerle yapılmıştı. Bu kahramanca gerçekleştirilen balon uçuşları, bazen trajedilerle sonuçlanmışsa da atmosferin ilk 10 km'sinde sıcaklığın km başına 7°C (yedi derece Celsius) azaldığı gibi önemli bulguların elde edilmesini sağlamıştır.

Sıcaklığın yükseklikle değişimi her ne kadar konumdan konuma fark etse de hiç bir zaman (yeryüzeyine yakın tabakalar hariç) km başına 10°C'yi geçmez. Sıcaklığın yükseklikle değişimi, "Düşey Sıcaklık Değişimi" (Lapse Rate) olarak adlandırılır ve atmosferde ortalama değerler alınarak hesaplanır. Ortalama (ya da standart) Düşey Sıcaklık Değişimi 6,5°C/1000 metredir. Yani nemli hava sıcaklığının her 1000 metrede 6,5°C azalmasıdır. Düşey Sıcaklık Değişimi günden güne, mevsimden mevsime değişir. Çünkü, değişken atmosfer şartlarında hava yükseldikçe bazen daha çabuk, bazen de daha yavaş soğur.

1902'de Teisserenc de Bort ve Assmann birbirlerinden bağımsız olarak, yaklaşık 10 km'nin üzerindeki seviyede sıcaklığın genellikle sabit kaldığını hatta daha yukarılara doğru gidildikçe sıcaklığın arttı-

ğını tespit etmişlerdir. De Bort, atmosferin yeryüzeyi üzerindeki en alttaki tabakasını troposfer ve yeni keşfedilen daha yukarıdaki tabakayı da stratosfer olarak adlandırmıştır.

1920'ye kadar yukarı atmosferin sıcaklık yapısını gözlemlemek pahalı bir iş olarak algılanmış bu tür gözlemler çok az yapılmıştır. Molchanov tarafından radyosonde 1927'de keşfedilince insansız balonların taşıdığı ucuz aletlerin ölçtüğü parametreler radyo vericisi ile yeryüzündeki alıcılara gönderilmesi mümkün olmuş ve tüm sinoptik gözlem ağında aynı anda yapılan yukarı atmosferde sıcaklık sondajları artık rutin bir işlem haline gelmiştir.

Modern radyosonde sistemleri 40 km'ye kadar yükseklikteki atmosferin içinde gözlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Benzer alet paketleri atmosferin daha yukarı seviyelerine roketler ile ulaştırılmış ve akustik sondaj yöntemleri ile de atmosferin 40 ile 80 km arasındaki seviyelerinde meteorolojik özellikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha yüksek seviyelerin sıcaklık yapısı ise daha çok, uyduların yörüngesinde maruz kaldıkları sürtünme gözlemlerine dayanılarak belirlenmektedir.

"Standart atmosferin" düşey sıcaklık profili Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Bu profil, orta enlemlerdeki tipik şartları temsil etmektedir. Şekilde de gösterildiği gibi sıcaklığın düşey değişimine göre atmosfer, troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosfer olarak dört belirgin gruba ayrılabilir. Bu tabakaların aralarındaki geçiş bölgeleri sırasıyla tropopoz, stratopoz, mezopoz ve termopoz olarak adlandırılır.

Troposfer

Troposfer (kelime anlamı, dönen veya değişen küre), dünya atmosferi kütlesinin %80'ini ve su buharının, bulutların ve yağışın hemen hemen hepsini içerir. Bu tabaka kuvvetli düşey karışma ile karakterize edilir; örneğin, temiz bir hava molekülünün bir kaç gün içinde tüm troposferin derinliğini kat etmesi sık görülen bir olaydır. Büyük orajlı (gökgürültülü) fırtınaların içindeki yukarı hava akımları

ile partiküller yeryüzeyinin üzerinden tropopoza bir kaç dakikada ulaşabilir. Bu hızlı düşey karışım ve yağış nedeniyle (küçük katı ve sıvı parçacıklar şeklinde) oluşan "aerosol çöplüğü" atmosferde ortalama olarak ancak bir kaç gün ile bir kaç hafta kalabilirler.

Sıcak hava daha yüksek, soğuk hava ise daha alçak konumlara hareket etme eğiliminde olduğu için, karışık troposfer hava hareketlerinin ya da "türbülansın" olduğu yerdir. Böylece, troposfere giren kirleticiler birkaç gün içerisinde veya daima en çok bir hafta içinde troposfer içerisinde derinlemesine yer değiştirip havaya iyice karışırlar ve daha sonra yağmurlarla (örneğin asit yağmurları şeklinde) geriye yani yeryüzüne dönerler. Bu troposfer için bir "kendi kendisini temizleme mekanizması"dır.

Deniz seviyesinde ortalama hava basıncı 1013,25 mb'dır (milibar'dır). 5500 metre yükseklikte ortalama basınç ise yaklaşık olarak 500 mb'dır. Yani deniz seviyesindeki hava basıncının hemen hemen yarısı kadardır. Diğer bir deyişle, atmosfer yoğunluğunun yarısı ilk 5500 metrelik bölümdedir.

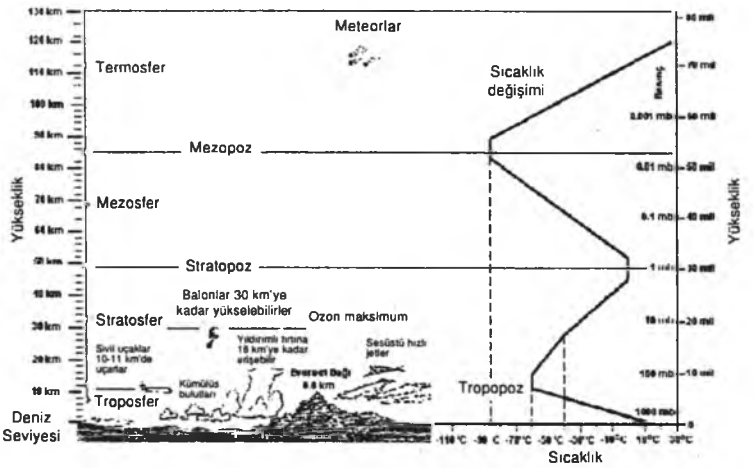
Yükseklikle birlikte rüzgâr şiddeti de artar. Yaklaşık 11 km seviyesinde troposferin tepesinde şiddetli hava akımları vardır. Bu hava akımlarına jet akımları denir. Bunun hemen üzerinde rüzgâr sıcaklıkla birlikte azalır. Bu bölgenin başlangıcında sıcaklık yaklaşık -57°C'dir.

Troposferde güçlü düşey hareketler vardır. Bu hareketler sonucunda yağış, fırtına, yıldırım vb. bilinen tüm hava olayları meydana gelir.

Tropopoz

Troposfer ile stratosferi birbirinden ayıran bölgedir. Tropopoz'un yüksekliği bulunulan enleme bağlıdır. Tropopoz, normalde ekvatoral bölgelerin üzerinde daha yüksekliklerde ve kutuplara doğru gittikçe daha düşük yüksekliklerde bulunur. Konumu genel olarak yazın daha yüksekte, kışın daha alçak enlemlerdedir.

Troposferden stratosfere geçiş genellikle iz gazlarının yoğunlu-



Şekil 1.2. Amerikan standart atmosfer tanımına göre sıcaklığın düşey değişimi ve atmosferin katmanları (Durmayaz ve Kadıoğlu, 2001).

ğundaki büyük değişim ile de belirlenir. Örneğin, tropopozun üzerindeki ilk bir kaç km'lik tabakanın içinde ozon yoğunluğu çoğu kez bir kat artarken, su buharı miktarı çok hızlı bir şekilde azalır. Hemen tropopoz üzerindeki bu güçlü yoğunluk değişimleri, nispeten nemli fakat ozonsuz troposferik hava ile kuru ve ozon gazı ile zengin olan hava arasında çok az bir karışma olduğu gerçeğini ortaya koyar. Karışma azlığının diğer bir işareti ise, geçmişteki nükleer ve büyük volkanik patlamalara ait kalıntıların stratosferik havada troposferik havadakinden çok daha fazla olmasıdır. Troposferden farklı olarak stratosferde, olay sona erdikten epey sonra da çok sayıda parçacık kalır. Bu uzun süren korunum ve saklama zamanı yüzünden stratosfer, bazı atmosferik kirleticilerin deposu olarak davranır.

Stratosfer

Stratosfer (kelime anlamı, tabaklandırılmış küre) çok küçük karışma ile karakterize edilir. Çok kuvvetli fırtınalarda bile yukarı hava akımları stratosfere bir kaç kilometreden daha fazla giremez. Hava sadece bir kaç kilometre içinde yükselme kabiliyetini kaybeder.

Stratosfer içinde, sıcak olan hava soğuk olana göre daha yüksek konumda yer aldığı için hava akımları ve havanın karışması troposfer içindekine göre daha azdır. Bu nedenle, troposferden stratosfer içine giren partiküller uzun yıllar yeryüzüne dönmeksizin havanın kararlı yapıda olduğu stratosfer içinde kalabilirler.

Şekil 1.2'de gösterildiği gibi yeryüzeyindeki basınç yaklaşık olarak 1000 mb iken, stratopoz seviyesinde basınç yaklaşık olarak 1 mb'dır. Troposfer ile birlikte stratosfer atmosferin kütlesinin yaklaşık olarak % 99,9'nu içerir. Atmosferin kütlesinin kalan kısmının %99'nu mezosfer, kalan %1'ini de termosfer içermektedir.

Yerden 20 km civarındaki yükseklikte hava sıcaklığı beklenmedik bir şekilde artmaya başlar. Hava sıcaklığının yükseklikle artışı enversiyon olarak adlandırılır. (Türkçe'de buna "terselme" de diyenler var.) Enversiyon, kararlı atmosfer ve hava şartlarını oluşturur. Bu tür kararlı hava şartları bazen insan yaşamı için büyük tehlikeler oluşturabilmektedir örneğin, buradaki enversiyon tabakası, troposferdeki düşey hareketlerin stratosferin içine yayılmasını engeller.

Bu seviyedeki enversiyonun nedeni Şekil 1.2'den de görülebileceği gibi ozondur. Ozon, en çok bulunduğu 25 km yakınlarında bile düşük bir yoğunluğa sahiptir. Bu yükseklikte her 1 milyon hava molekülü içinde 12 ozon molekülü vardır. Buna rağmen buradaki havanın ısınmasında önemli bir rol oynar. Dalga boyu 0,2 ve 0,3 mm'nin (mikrometre'nin) altında olan morötesi Güneş ışınlarını yutar. Yutulan enerjinin büyük bir bölümü ozon moleküllerinin hareketini (kinetik enerjisini) arttırır. Bu ozon molekülleri enerjilerinin bir kısmını çarpıştıkları hava içindeki diğer moleküllere aktarırlar. Böylece hissedilir iç enerji ve hava, sıcaklığın artışına neden olur. Gazların artan bu hareketi stratosferdeki enversiyonu açıklar. Eğer ozon olmasaydı, hava troposferin bulunduğu yükseklikle daha fazla soğurdu. Ozon, morötesi ışınımı yutarak dünya yüzeyinde yaşayan varlıkları güneş enerjisinin kısa dalga boylu olumsuz ışınlarının etkilerinden korur.

Şekil 1.2'den görüldüğü gibi 50 km yükseklikte sıcaklık -2°C'dir. Öyleyse neden bu seviyede sıcaklık, ozonun yoğun olduğu 25 km seviyesinden daha fazladır? Çünkü 50 km seviyesine erişen morötesi ışınların çoğu 25 km'ye kadar inmeden ozon tarafından yutulur ve ısınmayı sağlar.

Ozonun hem oluşması hem de tahrip olması (kaybı) stratosfer içinde gerçekleşir. Ozonun kaybı hem doğal nedenlerle (örneğin; morötesi ışınımla etkileşmeler veya moleküler çarpışmalar sonucunda) hem de insanların neden olduğu emisyonlar (örneğin; kloroflorokarbonlar) vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Ozon tabakası iki nedenle canlıların yaşamı için hayati öneme sahiptir:

(1) Ozon, yeryüzündeki ısıl dengenin sürdürülmesine katkı sağlar,

(2) Ozon, Güneş'ten kaynaklanan, canlılar için zararlı morötesi ışınımın bir bölümünü yutarak yeryüzüne daha az miktarda ulaşmasını sağlar.

Mezosfer

Mezosfer (kelime anlamı, orta küre), areroların (kutuplarda gökyüzünde görülen ışıkların) gözlendiği iyonosferin alt kısmındaki tabakadır. Troposferde olduğu gibi sıcaklık yükseklikle azalır ve düşey hava hareketleri kuvvetli bir şekilde engellenmez. Yaz ayları boyunca kutuplar üzerinde, yukarı mezosferde bazen yeterli bir yükselme hareketi ince bulut tabakalarının oluşumuna neden olur. Normal şartlar altında partiküllerin konsantrasyonu çok küçük olduğundan bu bulutların yeryüzeyinden görülmesi çok zordur. Bununla birlikte alaca karanlıkta, yeryüzeyi karanlıkta iken mezosferik bulutlar hâlâ güneş ışığı alabilir. Bu şartlarda bu bulutlar, yeryüzeyinden gece parlayan bulutlar (noctilucent bulutları) olarak görülebilir.

Termosfer

Şekil 1.2'de gösterildiği gibi termosfer güneş aktivitesinin miktarına bağlı olarak sıcaklıkların 500°C'den 1500°C'ye kadar değişen değerlere eriştiği bir kaç yüz kilometrelik yüksekliğe ulaşır. Termopoz düşey sıcaklık profilindeki yaklaşık olarak sabit sıcaklık geçiş seviyesidir. 500 km'nin üzerinde, moleküller arası mesafenin çok olması nedeniyle, moleküler çarpışmalar çok sık olmadığından sıcaklığı tarif etmek zordur. Bu seviyelerde yüksüz ve yüklü parçacıklar birbirlerinden bağımsız olarak hareket ettikleri için sıcaklıklarının aynı olması için hiç bir neden yoktur. Bu tabakanın dışında mağnetosferde, çevrenin sıcaklığı güneş rüzgârları tarafından belirlenir.

Dünya, güneş sisteminde atmosferinin ortasında (stratopoz'da) bir sıcaklık maksimumuna sahip tek gezegendir. Mars ve Venüs çok belirgin bir termosfer ve troposfere sahiptir ve bunlarda bu iki tabaka birbirinden yaklaşık olarak sıcaklığı sabit olan bir tabaka ile ayrılmıştır.

1.2. Enerji, Albedo, Isı ve Sıcaklık

Çoğu zaman enerji, ısı ve sıcaklık kavramları yanlış olarak kullanıldığından bunların ne olduğuna ve aralarındaki farklara burada kısaca değinelim. Böylece küresel iklim değişimi ve ısınma konularında çok sık geçen bu kavramlar ile ilgili olarak ilerideki bölümlerde daha ayrıntılı tartışmalar yapabiliriz.

Enerji, tüm fen bilimlerinde karşılaşılan en önemli ve temel kavramlardan birisi olup tanımlaması zordur. Enerjinin değişik şekillerde varlığını hissettirdiğini de biliyoruz. Enerji arabamızı çalıştırır, evimizi ısıtır, buzu ergitir, bulut oluşurken açığa çıkar, ayrıca günlük hava olaylarının oluşmasını sağlar. Öyleyse enerji nedir? Ana kaynağı nedir? Enerji dünyamızı nasıl ısıtır ve günlük atmosferik olayların oluşmasını nasıl sağlar?

Bilindiği gibi dünyada enerjinin ana kaynağı Güneş'tir. Eğer Güneş olmasaydı, Dünya'da sıcaklıktan, ısıdan, rüzgârdan, iklimden söz etmek mümkün olmayacaktı. Çok şükür Güneş'imiz var ve bu kavramlar üzerinde tartışabiliyoruz.

Isı ve sıcaklık kavramları çoğu zaman birbirine karıştırılır. Türkiye'de spor spikerleri, yabancı filmleri seslendirenler ve gazeteciler bu kelimeleri en çok karıştıran kişiler olarak sayılabilir. Çoğu kez gazetelere verdiğim sözlü veya yazılı bilgilerde bile "sıcaklıklar", "ısı" şeklinde değiştirilmekte ve yakın çevremde alay konusu da olmaktayım. Herhalde, bazı basın mensupları bu iki kelimenin anlamının aynı olduğunu düşünüyor ve ısı kelimesi sıcaklık kelimesinden daha kısa olduğu için kullanımını daha çok tercih ediyorlar.

Bu konuda bilerek ya da bilmeyerek yaptıkları büyük hizmetten dolayı ÖSYM yetkililerine teşekkür borçluyuz. 2001 yılında ÖSS Kimya Sorusu olarak aşağıdaki soruyu sormuş olmaları gençlerimizin bu yanlışa düşmemeleri konusunda önemli bir uyarı niteliğindedir.

66. Isı ve sıcaklık kavramları, aşağıdakilerin hangisinde yanlış kullanılmıştır?

A) Arı suyun normal kaynama sıcaklığı 10°C'tir.

B) Sağlıklı bir kişinin vücut ısısı 36,5°C'tir.

C) Buzdolabının soğutucu bölmesinde sıcaklık yaklaşık 5°C'tir.

D) Odun ve kömürünün yanma ısısı 8000 kal/g'dır.

E) 1 kalori, 1 gram arı suyun sıcaklığını 1°C'yükseltir.

Isı ile sıcaklık arasındaki farkı bilmeyenlerin bu soruyu doğru bir şekilde yanıtlaması zordur. Şimdi siz de bu sorunun çoktan seçmeli şıklarından birini yanıtınız olarak seçiniz ve bu bölümü okuduktan sonra da geri dönüp yanıtınızı lütfen kontrol ediniz.

Sıcaklık

Sıcaklık kavramını tanımlamakta kullanılan ısı kelimesi, günün "hava sıcaklığı" yerine de yaygın olarak ve yanlış bir şekilde kullanıl-

maktadır. Aslında ısı, enerjinin bir maddeden diğerine geçebilen bir şeklidir. Ne zaman ısı bir maddeye geçerse, transfer olursa, eklenirse, (eğer o madde içerisinde katıdan sıvı veya sıvıdan gaz fazına dönüşümü yoksa) o maddenin sıcaklığı yükselir. Her durumda ısınan cisimleri oluşturan moleküllerin aktiviteleri, titreşim, dönme veya yer değiştirme hızları artar. Ya da molekülleri bir arada tutan kuvvetler yenilenerek moleküller arası bağlar kopartılır. Bu nedenle sıcaklık kelimesi, cisimleri oluşturan moleküllerin moleküler aktivitelerinin yoğunluğu ile orantılı bir büyüklük olur.

Isı ve sıcaklık, birbirlerinden farklı kavramlar olsalar da birbirleriyle yakından ilişkilidir. Isı vermek veya almak, faz dönüşümünün olmadığı işlemlerin pek çoğunda, kesinlikle sıcaklığın yükselmesine ya da düşmesine neden olur. Ayrıca, sıcaklık farkları ısı geçiş yönünü belirler. Sıcaklığı farklı iki cisim bir araya getirildiğinde ısı, sıcaklığı yüksek olandan düşük olana doğru kendiliğinden geçer. Gerçekte sıcaklığın yaygın tanımı, bir nesne ile temasta bulunduğu diğer bir nesne arasında ısı geçişinin yönünün belirlenmesine dayanır. Birbirleriyle temasta olan cisimler arasında sıcaklık farkı varsa, sıcak olandan daha az olana ısı geçişi olur. Sıcaklıkları aynı ise ısı geçişi olmaz, bu cisimlerin ısıl dengede oldukları söylenir.

Atmosfer ve okyanus, iç enerjiye yani moleküllerinde depolanan enerjiye sahiptir. Su ve havanın sıcaklığı, bunların tüm moleküllerinin ortalama kinetik enerjisinin bir ölçüsüdür. Bir molekül ne kadar hızlı ise sıcaklığı o kadar fazladır. Dolayısıyla sıcaklık sadece bir maddenin ne kadar sıcak ya da soğuk olduğunu söyler, bir maddenin ne kadar iç enerjiye sahip olduğunu ise söylemez.

İTÜ'de Prof. Dr. Eren Omay hocamızın meteoroloji mühendisliği öğrencilerine çok sık sorduğu favori bir sorusu vardır. Omay Hoca, Bitirme Çalışmalarının sözlü sınavlarında öğrencilerine genellikle üzerinde konuştukları kavramları sorar. Örneğin, öğrenci sıcaklık ve enerji gibi kelimeleri kullanıyorsa bu temel kavramları bilip bilmedi-

ğini ölçmek için sorduğu sorulardan biri de "bir varil su ile bir fincan suyun sıcaklık ve enerjilerinin karşılaştırılmasıdır." Örneğin yarısı dolu iki eşit büyüklüğe sahip bardaktaki su, aynı sıcaklıkta aynı iç enerjiye sahiptir. Eğer bir bardaktan diğerine biraz su dökülürse, fazla su bulunan bardaktaki suyun iç enerjisi artarken sıcaklığı değişmez, çünkü hâlâ moleküllerin ortalama kinetik enerjileri aynıdır.

Pek çok madde, ısıtıldığı zaman genişler ve soğutulduğu zaman büzülür. Yaygın olarak kullanılan termometreler de bu özelliğe dayanılarak tasarlanmışlardır. Gerçekte bu aletlerin tasarımı, farklı maddelerin sıcaklık karşısında farklı tepkiler göstermesi gerçeğine dayanmaktadır. Alman fizikçi Gabriel Daniel Fahrenheit'ın 1714 yılında ortaya koyduğu ve kendi adıyla anılan ölçeğinde, deniz seviyesinde buzun ergime noktasını 32°F ve suyun kaynama noktasını 212 F° olarak belirlemiştir (Lutgens ve Tarbuck, 1989). Daha sonra İsveçli astrolog Anders Celsius'un 1742 yılında ortaya koyduğu ve kendi adıyla (Centigrade adıyla da bilinir) bilinen ölçek, deniz seviyesinde buzun ergime noktasını 0°C ve suyun kaynama noktası 100 °C olarak belirlemiştir.

Böylece buzun ergime noktası ve suyun kaynama noktası arasındaki aralık Celsius ölçeğinde 100°C ve Fahrenheit ölçeğinde 180°F'dir. Celsius derecesi 180°/100°=1,8 faktörü nedeniyle Fahrenheit derecesinden daha büyüktür. Bu nedenle, birim verilmeden örneğin önümüzdeki yüzyılda havada 9 derecelik bir ısınma olacak denildiğinde bunun Fahrenheit ya da Celsius olup olmadığına dikkat edilmelidir. Eğer bu sıcaklık artışı (farkı) Fahrenheit cinsinden ise 5 derece Celsius'a karşılık gelmektedir. Hava sıcaklığı hesaplarında birimler ve kullanılan ifade çok ama çok önemlidir. Bunun için "Tuhaf bir sıcaklık sorusu" başlıklı metni dikkatlice incelemelisiniz.

Meteorologlar tarafından sıcaklık bilgisi elde etme amacıyla dünyanın her tarafındaki binlerce istasyonda her gün defalarca ölçümler yapılır. Ortalama sıcaklıklar özellikle günlük, aylık ve yıllık karşılaştırma yapmak için yararlıdır. Sıcaklık bir yerin veya bir alanın iklim tipi-

ni anlamak için iyi bir bilgidir. Yalnız dünyanın değişik yerlerinden elde edilen hava sıcaklıklarının (termodinamiğin sıfırıncı kanunu uyarınca) karşılaştırılabilmesi için gözlemlerin benzer şartlarda yapılıyor olması gerekir. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün belirlediği standartlara uygun şekilde, Şekil 1.3'de görüldüğü gibi hava sıcaklıkları yerden yaklaşık olarak 2 metre yükseklikte beyaza boyanmış ve içinden havanın serbestçe geçebildiği alet siperlerinde gölgede ölçülmektedir. Burada şunu da söylemeden geçmek istemiyorum. Son yıllarda şehirlerimizde sayısı giderek artan elektronik panoların, bir birlerine çok yakın olsalar dahi, çok farklı sıcaklık değerleri gösterdiklerini fark etmiş olabilirsiniz. Bu ölçümlerin çoğu hiçbir meteorolojik standarda uymamakta ve dolaysıyla doğru hava sıcaklığı değerlerini de yansıtamamaktadırlar.



Şekil 1.3. Hava sıcaklıklarının öiçüldüğü meteoroloji alet siperi (Ahrens, 1988).

Modern toplumumuzun doğru hava sıcaklıkları bilgisine ihtiyacı giderek artmaktadır. Hava sıcaklıkları sokağa çıkmak isteyenden, uçağını kaldırmak isteyen pilota kadar hayatın her alanındaki insanlar için önemlidir. Aynı zamanda, turizm, enerji sektörü ve meyve yetiştiricileri gibi çeşitli endüstri kolları da, ağırlıklı olarak doğru hava sıcaklığı bilgisine muhtaçtırlar. Buna ek olarak; zaten, binaları yerel hava sıcaklıklarına göre dizayn eder ve birçok endüstriyel etkinlikleri

çevrenin hava sıcaklıklarına göre belirleriz.

Özetle sıcaklıkları, yeri geldiğince orman yangınları, plajda güneşlenme süreleri, hava kirliliği, neleri nasıl giyineceğimiz, ne kadar suya ihtiyacımız olduğu, ne kadar çalışıp ne kadar dinlenmemiz gerektiği, nerede hangi bitkinin yetişip yetişmeyeceği, bir yerde baraj yapılırsa gölünde su birikip birikmeyeceği, karların ergiyerek sellere neden olup olmayacağı, bahçe ve tarlamızı sulayıp sulamamız gerektiği, konutlarda ısıtma veya soğutmaya ihtiyacımız olup olmadığı varsa ne kadar olduğu, bir yerin sanayi tesisi için uygun olup olmadığı, iklimin küresel olarak değişip değişmediği hakkında bize bilgiler versin diye ölçer ve analiz ederiz.

Tuhaf bir sıcaklık sorusu

Bir gün İnternet'te serseri mayın gibi dolaşıp duran ve sonra da benim e-maillime yönelen şöyle bir soru ile karşılaştım: "Diyelim ki bugünün hava sıcaklığı 0°C ve yarının bugüne göre iki kat daha soğuk olacağı tahmin ediliyor olsun. Bu durumda yarın hava sıcaklığı kaç derece olacak?"

Gerçekten böyle, "ahret soruları" ile arada bir de olsa karşılaşıyoruz. Bazen (Yıldızlar neden göz kırpar? gibi) benzer soruları biz de öğrencilerimize ve etrafımızdaki kişilere sorarız. Şimdi yukarıdaki sorunun üzerinde hep beraber biraz düşünelim. Daha doğrusu pek çok yanıtı olan bu "felsefi soruyu" Aristo mantığı kullanıp bakkal hesapları ile çözmeye çalışalım.

Aslında havanın "iki kat" soğuması veya ısınması ile hava sıcaklığının iki kat azalması veya artmasının aynı şey olup olmadığı ve "soğumanın ne olduğu" da tartışılabilir. Ama burada hava sıcaklıkları ile havanın hissedilir soğuma veya ısınmasının birbirleri ile birebir olarak ilişkili olduğu ve değiştiğini kabul edelim. Burada "iki kat artma" ile "iki katına çıkmak" arasındaki farka da ayrıca dikkat etmeliyiz. Havanın "iki kat" soğumasını, "mevcudun iki katı kadar azalması" olarak alalım.

Önce, örneğin diyelim ki soru, hava sıcaklığı -10°C ve yarın hava iki kat daha soğuk olursa hava sıcaklığı ne olur? Şeklinde olsaydı yanıt: -10 + 2 x-10 = -30°C olacaktı. Fakat benzer şeyi 0°C için düşünürsek yanıt: 0 - 2 x 0 = 0°C oluyor! Zaten bu sorudaki esas zorluk da bugünkü hava sıcaklığının 0°C olmasında yatmakta. Sıfırın çarpma işleminde yutan eleman olmasından dolayı, sıfır neyle çarpılırsa çarpılsın sonuç yine sıfır olmakta. Diğer bir deyişle havanın iki kat soğumasına rağmen hava sıcaklığının değişmeden sıfır derecede kalması gibi tuhaf bir durum ortaya çıkmaktadır.

Bu problemi hava sıcaklığını Celsius yerine Fahrenheit olarak aldığımızda aşabiliriz diye düşünebilirsiniz. Diğer bir deyişle hava sıcaklığını 0°C yerine bir de 32°F olarak düşünelim. Bu durumda soru "bugünün hava sıcaklığı 32°F ve yarının bugüne göre iki kat daha soğuk olacağı düşünülürse yarın hava sıcaklığı kaç derece olacak?" şekline dönüşebilir. İki kat soğuyan hava ile birlikte hava sıcaklığın da iki kat azalması durumunda -32°F, yani -35,6°C olacak! Bu soğuma, -10°C'lik hava sıcaklığında olduğundan bile daha fazla oldu!

Ayrıca Fahrenheit ve Celsius ölçeklerindeki aralıklar birbirinde farklı olduğu için bu tür doğrudan dönüşümler ile bu hesabın yapılması da doğru değildir. Celsius'da sıcaklığın donma noktası ile kaynama noktası arası 100 parçaya bölünmüşken, Farenheit'ta bu aralık 180 eşit parçaya bölünmüştür. Diğer bir deyişle, ikisinde de, örneğin, 10 derecelik bir sıcaklık artışı ve azalışı aynı şeyler değildir; 10°F'lik bir sıcaklık değişimi yaklaşık olarak 5°C'lik bir sıcaklık değişimine karşılık gelmektedir.

Bu problemi çözmek için sıfır süreksizliğini bir şekilde aşmak gerekiyor. Lafı daha fazla dolandırmadan 0, +1 ile -1 ortasında yer aldığına göre, sonuçta yanıt da bu değerlerin ortasına olmalıdır diye de düşünebilirsiniz. Diğer bir deyişle 1 - 2 x 1 = -1°C ve -1 + 2 x -1 = -3°C olduğuna göre 0°C için -2°C olmalıdır diye bir başka yanıt çıkıyor karşımıza... Bunun gibi daha birçok "çözümler" üretmek ve sonra da

onları çürütmek mümkün.

Şunu ilave etmeden geçemeyeceğim havanın kat "kat soğuması" ya da kat "kat ısınması" şeklindeki ifadeler dil bakımından da doğru değildir. Yarın, bugüne göre, örneğin "10 derece ısınacak" filan desek ne böyle bir felsefi soru ortaya çıkacaktı ne de bir paradoks yaşayacaktık. Belki de bu yüzden bazıları "felsefe bir dil sorunudur" diyor... Ayrıca değerli hocam Prof. Dr. Zekaî Şen'in söylediğine göre "artık demode olan Aristo mantığı yerine bulanık (fuzzy) mantığı kullanmanın zamanı geldi de geçiyor bile ..."

Enerji

Madde, kütlesi olan ve uzayda yer kaplayan her şeydir. Madde çekildiği, itildiği ya da belli bir yüksekliğe çıkarıldığında, bir iş yapılmış olur. Örneğin bir tuğlayı kaldırdığımızda yer çekimi kuvvetine karşı bir iş yapmış oluruz (Ahrens, 1988). Enerjiyi tanımlamak ise zordur.

Bir madde içinde depolanmış enerji (iç enerji) o maddenin iş yapabilme yeteneğini gösterir. Örneğin, barajdaki su yüksek konumundan dolayı enerjiye sahiptir. Bu enerji yüksekteki suyun daha alçak konuma düşürülmesi esnasında kinetik enerjiye dönüştürülebileceği için depolanmış bir makroskopik formda iş yapabilme potansiyeli gösterdiğinden "yerçekimi potansiyel enerjisi" ya da basitçe "potansiyel enerji" olarak adlandırılır. (Bir barajın yıkılmasıyla, böyle bir enerjinin ortaya çıkan müthiş yıkıcı gücünü düşünün.) Yüksekteki hava, aynı hacimli yüzeye daha yakın havadan, daha çok potansiyel enerjiye sahiptir. Çünkü yüksekteki hava çökme potansiyeline sahiptir. Ayrıca bir maddenin, kimyasal bir reaksiyon sonucu enerjisi serbest kalıyorsa bu madde egzotermik moleküler kimyasal enerjiye sahiptir. Dolayısıyla kömür, doğalgaz ve yiyecekler kimyasal yanma reaksiyonuyla açığa çıkan enerjiye sahiptir.

Dışında seçilen bir referansa bakarak hareket eden cisimler makroskopik formda kinetik enerjiye sahiptir. Hız artıkça kinetik enerji

artar. Dolayısıyla kuvvetli bir rüzgâr hafif bir meltemden daha çok kinetik enerjiye sahiptir. Kinetik enerji ayrıca cismin kütlesine bağlıdır. Aynı hacimli su ve hava aynı hızda hareket ediyor olabilir. Fakat su daha ağır olduğundan daha çok kinetik enerjiye sahiptir. Bütün maddelerin yapı taşı olan atomlar ve moleküller de hareketlerinden dolayı moleküler kinetik enerjiye sahiptir. Bu çeşit kinetik enerji genelde madde içinde sıcaklık artışına neden olan ısı enerjisi olarak adlandırılır. Hava ve iklim açısından en önemli enerji, Güneş'ten aldığımız ışınım enerjisidir.

Enerji birçok şekilde olabilir ve bir şekilden diğer bir şekile geçebilir. Fakat evrendeki toplam enerji miktarı sabit kalır. Enerji yoktan var edilemez ve varolan enerji de yok edilemez. Enerji sadece ve sadece şekil değiştirir. Başka bir deyişle; bir işlem boyunca kaybedilen enerji, diğer bir işlem boyunca kazanılan enerjiye eşittir. Bu, enerjinin sakınımı olması demektir.

Çok soğuk bir havada yakılan ateşin başında otururken, ateşle yüzünüz arasındaki hava oldukça soğuk olduğu halde yüzünüzün çok sıcak olduğunu hissettiniz mi? Ateşten ışınımla gelen enerji, havanın kendisini çok az etkileyerek transfer olmuştur. Yüzümüz, bu enerjiyi yutarak onu ısı enerjisine çevirip ısınmıştır. Bu nedenle kendimizi sıcak hissederiz. Ateşten yüzümüze transfer olan enerji, ışıma enerjisi (radiant energy) olarak adlandırılır. Bu enerji bir nesne tarafından yutulduğunda enerji dalgalar şeklinde hareket eder. Bu dalgalar elektromanyetik dalgalar olarak adlandırılırlar (Şekil 1.6). Elektromanyetik dalgalar, yayılmak için moleküllere ihtiyaç duymazlar. Boşlukta 300 000 km/s sabit bir hızla, yani ışık hızıyla hareket ederler.

Eğer Dünya ve üzerindeki her şey sürekli olarak ışınımla enerji yayıyorsa neden her şey zamanla soğumuyor? Bunun nedeni ışınımla ısı geçişi mekanizmasıyla nesnelerin sadece enerji yaymayıp aynı zamanda enerji yutmasıdır. Eğer bir nesne yuttuğu enerjiden daha fazla enerji yayarsa soğur. Eğer yaydığından daha fazla enerji yutarsa ısınır.

Güneşli günlerde, Dünya yüzeyi Güneş'ten ve atmosferden daha fazla enerji yuttuğu için ısınır. Geceleri ise, Dünya yuttuğu enerjiden daha fazla enerji yaydığı için soğur. Eğer bir nesne eşit miktarda enerji yayar ve yutarsa sıcaklığı değişmez.

Isı, Gizli Isı

Bir gölün ortasındaki sandalda sıcak bir çay yudumladığınızı düşünün. Çay gölden daha yüksek sıcaklığa sahip olmasına karşın, göl daha fazla toplam iç enerjiye sahiptir, çünkü göl daha fazla molekül içerir. Eğer sıcak olan çay bardağını soğuk olan göl suyuna belirli miktar daldırırsak veya bardaktaki çay soğuk suya dökülürse çay hızlıca soğuyacaktır. Sıcak çaydan soğuk suya, aralarındaki sıcaklık farkından dolayı, transfer edilen enerji, ısı olarak adlandırılır (Ahrens, 1988).

Diğer bir deyişle, iki cisim arasındaki sıcaklık farkından dolayı, birinden diğer cisme aktarılan enerjiye ısı denir. Isı transfer edildikten sonra, iç enerji olarak depolanır. Bu enerji transfer işlemi nasıl olur? Isı transferi; iletim, taşınım ve ısıl ışıma yoluyla gerçekleşir. Bu enerji transfer mekanizmalarını görmeden önce özgül ısı ve hal değişim ısısını ("gizli ısı"yı) inceleyelim.

Küçük bir sıcaklık değişimi için suya aktarılması gereken ısı enerjisi büyüktür. Özgül ısı, maddenin bir gramlık kütlesinin sıcaklığını, $1^{\circ}C$ artırmak için gerekli ısı miktarıdır.

Bir gram sıvı suyu ısıtırsak, sıcaklığını $1^{\circ}C$ artırmak için 1 kalori veya uluslararası birim sistemine göre 4,18 Joule enerji gerekecektir. (Burada ısının birimine dikkat ediniz! Sıcaklığın birimi dereceyken ısının birimi kalori veya Joule'dür. Bu farklı kavramların birimleri de farklıdır.) Dolayısıyla suyun özgül ısısı 1 kaloridir. 1 gram toprağın özgül ısısı ise 0,2 kaloridir. Dolayısıyla suyun özgül ısısı toprağın özgül ısısının 5 katıdır. Diğer bir deyişle; eşit miktarda su ve toprağın sıcaklığını eşit miktarda arttırabilmek için su, 5 kat daha fazla ısı almalıdır.

Su yavaş ısındığı gibi yavaş soğur. Su, toprak ve havadan daha bü-

yük enerji depolama kapasitesine sahiptir. Belli bir hacimdeki su, sıcaklık değişimi ile büyük miktarlarda enerji depolayabilir. Suyun bu niteliği, hava ve iklim üzerinde büyük etkilere sahiptir. Örneğin su çevresindeki yerlerde, iç bölgelere göre, kışlar daha ılık, yazlar daha serindir. Bu gerçek, okyanus veya büyük göl kenarlarında yaşayan insanlarca çok iyi bilinir.

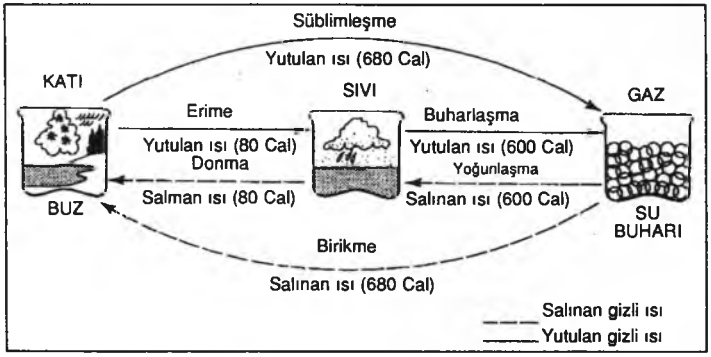
Bir maddenin bir halden diğer bir hale geçmesi için gerekli ısı enerjisine, hal değişim ısısı denir. Hal değişim ısısının İngilizce karşılığı "latent heat" dir. "Latent", gizli anlamına gelir. Buharlaşan suyun oluşturduğu soğumayı gözönüne alarak, bu ısıya neden "gizli ısı" denildiğini inceleyelim.

Bir damla saf suyu mikroskopik olarak inceleyelim. Bildiğimiz gibi moleküller, damlacığın yüzeyinden buharlaşır. Hızlı hareket eden, daha fazla enerjili moleküller daha çabuk sıvıdan ayrıldığından, her bir molekül buharlaştığında kalan moleküllerin ortalama kinetik enerjisi azalır. Sıcaklık, moleküllerin ortalama kinetik enerjisinin bir ölçüsü olduğundan, daha yavaş hareket, daha düşük sıcaklığı temsil eder. Bu yüzden, buharlaşma bir soğuma işlemidir. (Benzer şekilde çok sıcak havalarda vücudumuz da terleme yoluyla soğumaya çalışır.)

Günlük hayatta duştan ya da yüzme havuzundan çıktığımızda buharlaşmadan dolayı meydana gelen soğumayı yani enerji kaybını sıcaklık azalmasıyla hissederiz. Suyun buharlaşması için gerekli enerji, bizim vücudumuzdan sağlandığından vücut sıcaklığında ani bir düşme olur. Öyle ki sıcak, kuru, rüzgârlı bir günde 38°C sıcaklıkta bile titremeye başlayabiliriz. (Normal şartlarda su kaç derecede buharlaşır? Sorusuna bazıları, hiç düşünmeden 100 °C gibi yanılarak yanlış bir yanıt verebiliyor. Gerçekte ise su her sıcaklıkta buharlaşabilir.)

Sıvının buharlaşması sırasında açığa çıkan enerji, sıvıdan moleküllerin kopartılmasına sarf edilip buhar moleküllerinde depolanıyor gibi düşünülebilir. Bu enerji depolandığı ya da gizlendiği için (sıcaklıklarda bir değişiklik yapmadığı için) İngilizce olarak "latent" (gizli)

enerji denir. Buharlaşan sıvının sıcaklığı buharlaşma süresince aynı kalır. Buhar molekülleri, tamamen suya dönüştüken sonra hissedilebilir yani termometre ile ölçülebilir bir sıcaklık değişimi tekrar oluşur. Dolayısıyla buharlaşmanın tersi olan yoğunlaşma yani su buharının sıvıya dönüşmesi sırasında sarf edilen enerjiye yoğunlaşma ısısı denir.



Şekil 1.4. Bir gram suyun sıvı-katı-gaz hallerine dönüşürken salınan veya alınan gizli ısı miktarları.

Aynı şekilde bir sıvıyı aynı sıcaklıkta buhara dönüştürmek için gerekli ısı enerjisine, buharlaşma ısısı denir. Oda sıcaklığındaki bir gram suyu buharlaştırmak için, yaklaşık 600 kalori gerekir. Bu buz halindeki 2,5 çay kaşığı suyu, donma noktasından kaynamaya geçirmek için gerekli ısıdır. Duştan sonra, çok miktarda suyun vücudumuzdan buharlaştığını düşünürsek neden kurulanmadan önce üşüdüğümüzü anlarız. Buzlu bir içeceğin, buzsuz içecekten daha soğuk olması da hal değişim ısısıyla açıklanır.

Buzun ergidiği süre boyunca sıcaklığı değişmez. Bunun sebebi; buzun ergimesini sağlayan ısının, sıcaklığını arttırmak için değil, buzun kristal yapısını bozup, sıvı hale gelmesi için kullanılmasıdır. Bu işlem için kullanılan enerji ergime ısısı olarak adlandırılır. 1 gram buzu ergitmek için 80 kalori gereklidir. Eğer 0 Celcius derecedeki 1 gram

su 0 Celcius derecedeki buza dönüşürse 80 kalorilik hissedilebilir ısı açığa çıkar. Dolayısıyla; buz ergirken çevreden ısı alınır, su donarken çevreye ısı verilir (Şekil 1.4).

Buzu doğrudan buharlaştırmak için gerekli ısı enerjisine, süblimleşme ısısı denir. 1 gram buzu doğrudan buharlaştırmak için yaklaşık 680 kalori gereklidir. (80 kalori buzun ergiyip sıvılaşması ve 600 kalori de sıvının buharlaşması için). Eğer 1 gram buhar buza dönüştürülürse, 680 kalori enerji açığa çıkacaktır (Şekil 1.4). Okynuslarda tonlarca suyun bir anda buharlaştığını düşünürseniz bu çok büyük bir enerjidir...

Süblimleşme, ergime ve buharlaşma işlemleri çevreden ısı almayı gerektirir. Donma ve yoğunlaşma işlemleri sırasında ise dışarıya ısı verilir.

Hal değişim ısısı atmosferik enerjinin önemli bir kaynağıdır. Dünya yüzeyinden su buharı molekülleri ayrıldığı zaman, bunlar rüzgâr tarafından dağıtılır. Buhar, havanın soğuk olduğu yüksekliklere çıkınca, sıvı su ve bulut parçacıklarına dönüşür. Bu işlem boyunca etrafa çok büyük miktarda enerji yayılır. 1 kg bulut parçasının oluşması ile 120 000 kaloriden daha fazla enerji açığa çıkar. Bu, rüzgârlar ve fırtınalar için gerekli enerjiyi sağlar.

Tropikal, sıcak sulardan buharlaşan su, yoğunlaştığı ve enerjisini dışarıya verdiği kutup bölgelerine taşınır. İlerleyen konularda göreceğimiz gibi; buharlaşma-taşıma-yoğunlaşma atmosferde enerjinin çevirimi için önemli bir mekanizmadır.

Atmosferdeki bazı olaylar, çıplak gözle görünmeyen su buharının sayısız su damlacıkları ve buz kristallerine dönüşmesini sağlar. Bildiğiniz gibi troposferde yükselen hava daima soğur. Bu bulut içinde yükselen havanın, bulut etrafındaki havadan daha soğuk olmasını mı gerektirir? İlk başta öyle görünebilir. Fakat öyle olsaydı hiç bulut olmazdı. İçerdeki daha soğuk hava, kendisiyle aynı seviyedeki dışarıdaki havadan daha yoğun olacağından yükselemezdi. Öyleyse neden bulutun içinde yükselen hava daha sıcaktır? Daha sıcaktır çünkü; su buharı, bu-

lut damlacıklarına ve buz kristallerine dönüşürken, çok miktarda depolanmış gizli enerjisini havaya verir. Bir fırtına boyunca bulut içinde, küçük bir atom bombasının enerjisinden daha fazla enerji açığa çıkar.

Farklı yüzeyler farklı ısınma özellikleri gösterir. Örneğin farklı kara yüzeyleri, üstlerindeki atmosferi farklı derecelerde ısıtır. Yeşil bir alanın ısınması ile kıraç veya beton bir alanın ısınması aynı değildir. Ancak en önemli farklılıklar kara yüzeyleri ile su yüzeyleri arasında meydana gelmektedir. Örneğin yaz aylarında karalar denizlere göre daha çabuk ısınır ve daha yüksek sıcaklıklara sahiptir. Fakat kış aylarında daha çabuk soğur ve daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Karalarla denizler arasındaki bu sıcaklık farkı, gece ve gündüz arasında da kendisini hissettirir.

Deniz yüzeyi üzerindeki hava sıcaklığının, kara üzerindeki hava sıcaklığına göre daha yavaş yükselmesi ve düşmesinin en önemli nedeni de, karalar ile denizlerin birbirinden farklı yapılarıdır. Deniz ısınırken alınan ısının bir bölümü deniz yüzeyinden suyun buharlaşmasına harcanır, diğer bölümü ise denizin kapladığı hacmin tümüne geçer. Buna karşılık ısınma sırasında alınan enerji, kaya ve toprağın derinliklerine inemez ve yüzeydeki ince bir tabakada kalır. Karanın farklı yapılardan oluşması ısının geçişini engeller. Ancak denizlerin her köşesinde aynı yapıya sahip olması, onu daha geçirgen kılar ve ısı her yere geçer.

Bu olayı, özgül ısı ile de açıklayabiliriz. Suyun özgül ısısının daha büyük olması nedeniyle su, aynı miktardaki karanın ulaşabileceği sıcaklığa erişebilmesi için daha fazla ısıya ihtiyaç duyar. Ayrıca karalar ile sular arasındaki sıcaklık farkına, su yüzeyinde meydana gelen buharlaşmanın, kara yüzeyinde meydana gelen buharlaşmadan daha büyük olması da önemli ölçüde etki eder.

Tüm bu etkenler deniz suyunun daha yavaş ısınmasına, büyük miktarda enerji depo etmesine ve karaya göre daha yavaş soğumasına neden olur. Bu nedenle bir yerin denize yakınlığı iklim özelliklerini belirler. (Daha fazla bilgi için Bölüm 2.1'e bakınız).

Bu bölümün sonunda küresel ısınma sonucunda okyanus ve denizlerden çok daha fazla suyun buharlaşacağını ve atmosferde yükselen su buharının soğuma nedeniyle yoğunlaşarak bulutlara daha fazla enerji sağlayacağına (daha sonraki bölümlerde bu konuya geri dönmek üzere) dikkatinizi çekmek istiyorum.

Albedo

Benjamin Franklin bir zamanlar çok basit bir deney yapmıştı: Bir kar yağışından sonra, karın üzerini değişik renklerdeki kumaş parçaları ile örtmüştü. Franklin bu deneyi ile karın siyah kumaşın altında en hızlı ve beyaz kumaşın altında ise en yavaş şekilde eridiğini gözlemledi. Bu deneyin sonucunda Franklin sıcak ve güneşli havalarda eğer açık renkli giysiler giyilirse insanların daha serin kalacağına doğru bir şekilde karar verdi. Yazın etrafınıza bir bakın bakalım, Franklinden çok yıllar sonra günümüzde kaç kişi bu gerçeğin farkında ya da değil.

Yine yazın çıplak ayakla asfalt bir yol üzerinde yürümeye çalışırsanız, bu siyah yüzeyin ne kadar ısınabileceğini çok kısa bir zamanda öğrenirsiniz. Ancak asfalt yolun ortasındaki ve kıyısındaki beyaz şeritler çok daha serindir.

Ahrens'e göre bu olay, biri tümüyle siyah ve diğeri beyaz renkle boyanmış evlere, termometre yerleştirilerek de görülebilir. Daha iyi bir yansıtıcı yani daha kötü enerji yutucu olan beyaz evin daha yavaş ısındığı görülecektir.

Herhangi bir cisimden yansıyan ışık, cismin ısınmasına katkıda bulunmaz. Sadece etrafa yansımayan ışığın küçük bir kısmı cisim tarafından yutularak ısı enerjisi üretilir. Böylece, koyu renkli cisimler güneş ışığının çoğunu yutar ve ısınır, bunun yanında açık renkli cisimler daha fazla güneş ışığı yansıtırlar ve daha soğuk kalırlar.

Albedo, bir cismin güneş ışını yansıtma yeteneğini gösteren teknik bir terimdir. Örneğin bir cisim aldığı 100 birimlik ışığın % 30'unu yansıtıyorsa onun albedosu 30'dur. Biz karın, kendisine ulaşan ışığın

%95'ini yansıttığını biliyoruz. Dolayısıyla karın albedosu 95'dir. Suyun albedosu ise, su yüzeyinin dalgalı ya da düz olmasına ve güneş ışınlarının suya gelme açısına bağlıdır.

Özet olarak bir cismin enerji veya ışık yayma ve yutma oranı o cismin yüzey özelliklerine bağlıdır. Renk, yapı, nem ve sıcaklık bu özelliklerindendir. Örneğin, güneş ışığı için siyah renkli bir nesne iyi bir ışınım yutucudur. Bu siyah nesne güneşten aldığı enerjiyi iç enerjiye dönüştürür, dolayısıyla sıcaklığı artar. Bunu gözlemek için, yazın öğleden sonra siyah asfaltta çıplak ayakla dolaşmak yeterlidir. Bundan şu genel ilke çıkarılır: İyi ışınım yutucular aynı zamanda iyi yayıcıdırlar. Çeşitli kayaklardan derlenen tipik albedo değerleri Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Farklı yüzeylerin albedosu (güneş ışınlarını % olarak yansıtma oranı).

Cisim veya Gezegen	Albedo
Su	
Güneş ışınları 90°'den gelirse	3
Güneş ışınları 30°'den gelirse	7
Güneş ışınları 10°'den gelirse	24
Yeni yağmış kar	75-95
Buz, deniz	30-40
Kuru Kum	35-45
Toprak (koyu renkli)	5-15
Orman	10-20
Çimen	15-20
Bulut (kalın)	70-90
Bulut (ince)	35-50
Dünya	30
Ay	6,7
Merkür	7
Jüpiter	45
Mars	16
Venüs	76

Birçok toprak çeşidi, bitkiler ve hatta su düşük albedo değerlerine sahipken, kar, buz ve bulutlar yüksek albedoya sahiptir. Çoğu yeşil, kayalık alanların ve tarlaların albedosu %10 ve %30 arasındadır. Kalın bulutların albedosu ince bulutlara göre daha yüksektir. Ortalama olarak bulutların albedosu %60 dolayındadır. Ayın albedosu yaklaşık olarak %7'dir. Yani ay yüzeyine gelen ışığın sadece %7'sini yansıtır.

Su yüzeyi, güneş ışınlarının çok az bir bölümünü yansıtır. Dalgasız bir su yüzeyi ise güneş ışığının yaklaşık olarak %10'unu yansıtır. Güneşin gökyüzünde en yüksek olduğu öğle vakti, suyun güneş ışığının sadece %3'ünü yansıttığı ve büyük kısmını yuttuğu zamandır. Güneş gök yüzünde en alçaktayken (yani, ufukta iken) ve su biraz çalkantılı ise en iyi yansıma o zaman gerçekleşir. Yansıtılan bu enerjinin büyük çoğunluğu, görünür ve morötesi enerjidir. Bu da bize, öğleden önce ve sonra dalgalı suda balıkçıların yüzlerinin hâlâ neden güneşten (morötesi ışınlardan) yandıklarını açıklar.

Kar ise üstüne düşen ışığın %95'ini yansıtır. Balıkçılara benzer şekilde kayakçılar da yüzlerini ve açıkta kalan yerlerini korumazsa, bu yansıyan ışınlar onlarda da kötü güneş yanıklarına neden olur. Kar tarafından yansıtılan ışınlara fazla maruz kalmak, geçici körlüğe bile neden olabilir. Böylece, her ne kadar kutuplarda güneş ışığı yere düşük açı ile geliyorsa da Eskimolar için kar körlüğü her zaman önemli bir sorundur. Eskimolar gözlerini yalnızca direkt güneş ışınlarından değil kardan yansıyan güneş ışıklarından da korumak zorundadır. Bu durumda her Eskimo ve kayakçı, güneş gözlüklerinin ne önem taşıdığını çok iyi bilir.

Kar aynı zamanda iyi yutucu, iyi bir kırmızı-altı enerji yayıcısıdır. Güneş ışığını yutar ve çevresinde karın yutacağı kırmızı-altı enerjiyi yayar. Yutma işlemi boyunca, kar kırmızı-altı ışınımı iç enerjiye dönüştürür. Dolayısıyla erir. Sonuçta büyük ağaç gövdelerinin çevrelerinde küçük çukurcuklar oluşur. Geceleri kar yüzeyi genellikle yuttuğundan daha çok, kırmızı-altı ışınım yayar. Bu büyük kırmızı-altı ener-

ji kaybı, açık kış gecelerinde kar üzerindeki havanın, çok soğuk olmasına neden olur. Bu aynı zamanda, mevsimin ilk kar yağışından hemen sonra havanın neden aniden soğuduğunu da açıklar.

Dünya atmosferine ulaşan güneş ışığının %20'si bulutlar tarafından yansıtılır ve bunun %6'sı atmosfer tarafından saçılmaya uğrayarak uzaya döner. %4'ü ise, dünyadaki koyu renkli bölgeler tarafından yansıtılır. Dolayısıyla dünya ve atmosfer, Güneş'ten gelen ışığın %30'unu yeniden uzaya yansıtır. Bu bize dünya ve atmosferin birlikte albedosunun %30 olduğunu söyler.

Dünyanın uzaydan görünen parlaklığı büyük ölçüde bulutlar yüzündendir. Bulutlu bir gecede, parlak ışıkla araba kullanmayı deneyen hiç kimseyi bulutların yüksek yansıtma gücü şaşırtmaz. Buna karşılık, bulutlu ve atmosferi olmayan Ay'da ortalama albedo sadece % 7'dir. Buna karşın berrak bir gecede Ay'ın tamamı bize güzel bir "ay parçası" gibi ışık verir. Parlak bir yeryüzü de, aydaki araştırmacısına dünya ışığı sayesinde daha aydınlık bir gece yürüyüşü sağlar.

Güneş enerjisinin %19'u atmosfer ve bulutlar tarafından yutulurken, %51'i atmosferin alt tabakasından geçerek dünya yüzeyini ısıtır ve yüzey de, üzerindeki havayı ısıtır. Böylece, dünya iklimi için albedonun daha önemli işlevi vardır. Güneş ışığının yansıyan kısmı ısınmaya katkı yapmadığı için, açık renkli yüzeyler soğutma etkisine; koyu renkli yüzeyler ısıtma etkisine sahiptir.

1.3. Havayı Aşağıdan Isıtmak ve Cemre

Halkımızın arasında yaygın olarak baharın müjdecisi diye bilinen sıcaklığın artması olayına cemre denir. Cemre, birer hafta arayla havaya, suya ve toprağa düştüğüne inanılan bir ısıtıcı güçtür. (Meydan Larousse, 1969). Cemre üç tanedir: Birinci Cemre havaya (19-20 Şubat), İkinci Cemre suya (26-27 Şubat) ve Üçüncü Cemre de (5-6 Mart) top-

rağa düşer. Her cemrenin düşüşüyle hava sıcaklığı artar, cemrelerin arasında ise sıcaklık oranında küçük bir düşüş görülür (Ana Britannica, 1986).

Cemre, sanki havanın aşağıdan değil de yukarıdan aşağıya doğru ısındığını ifade eder. Cemre, meteorolojik folklörümüzdeki önemli yeri ve küresel ısınmada havanın ısınması konusunun önemi nedeniyle burada kısaca ele alınmıştır.

Öteden beri sanıldığı ve cemrenin açıklandığı gibi güneş ışınları, atmosferimizi doğrudan ısıtmaz: Diğer bölümlerde açıklandığı gibi yeryüzeyi, güneş ışınlarını yuturak önce kendi ısınır, sonra atmosferi ısıtır (Lutgens ve Tarbuck, 1989). Açık bir günde, atmosferin alt tabakasından geçen güneş enerjisi, yeryüzeyi tarafından yutulur. Dolayısıyla yeryüzeyi ısınır. Yüzeydeki hava ısındıkça, yüksekteki havadan daha az yoğun hale gelir. Isınan hava yükselir ve daha soğuk olan hava çöker. Yükselen hava, genişler ve soğur. Su buharı, bulut damlacıkları şeklinde yoğunlaşarak, hal değişim ısısından dolayı, havanın ısınmasını sağlar. Bu sırada Dünya, karbondioksit ve su buharı tarafından yutulup yeniden yansıtılan, kızılaltı ışınları yayar. Gazların yoğunluğu, Dünya yüzeyinde daha az olduğundan, yutma işleminin büyük bir kısmı, yüzeye yakın katmanlarda gerçekleşir. Dolayısıyla, atmosferin alt tabakaları aşağıdan yukarıya doğru ısıtılmış olur.

Cemre

Cemre, kelime karşılığı olarak kor halindeki ateş anlamına gelmektedir. Diğer bir anlamı ise, Müslümanların Hac sırasında Mina vadisinde attığı taşlardan meydana gelen yığındır. Divan şairlerinin, cemre zamanlarında baharın gelmesi dolayısıyla, önemli kişilere yazdıkları övgü şiirleri de Cemreviye olarak bilinmektedir. Meteorolojik bir olay olarak bilinen cemre ise, takvimlerde ilkbahardan önce birer hafta aralıkla havaya, suya ve toprağa düştüğü inanılan ısıtıcı (ısıl) güç veya sıcaklık yükselmesi olarak tanımlanır (M. Larousse, 1966).

Bazı kaynaklara göre, cemre sözcüğüyle adlandırılan sayılı günlerin, takvim klimatolojisine nasıl girdiği bilinememektedir. Cemrelerin, iklim takvimiyle ilişkisinin yılın 180 gün süren soğuk yarısı olarak ayırt edilen kasım döneminin 100. gününden sonra, sıcaklığın yükselmesiyle ilgili gözlem birikimini, kora benzetilen bir enerji kaynağıyla açıklama düşüncesinden kaynaklandığı söylenebilir. Birinci Cemre' nin 20 Şubatta havaya, İkinci Cemre'nin 27 Şubatta suya, Üçüncü Cemre'nin 6 Martta (artık yıllarda 5 Mart) toprağa düştüğü varsayılır. İstanbul'da 60 yıllık dönem için yapılan bir araştırma, cemrelerin kıştan bahara geçilirken ortalama sıcaklık eğrilerinin yükselmeye başladığı dönemin başlangıcını belirledikleri ve bu dönemde mevsim normallerinin üzerindeki az ya da çok bir sıcaklık artışıyla çakıştıklarını ortaya koymuştur. Cemreler arasındaki günlerdeyse, sıcaklıklarda az da olsa bir düşüş olduğu saptanmıştır. Aynı araştırmaya göre her üç cemre dikkate alındığında, bir iki günlük farklarla bu tarihlerde %42 olasılıkla, iki cemre dikkate alındığındaysa %74 olasılıkla belirgin bir ısınma gerçekleşmektedir. Aynı kaynağa göre, cemrenin tıptaki anlamı ise, halk arasında karakabarcık, kabarcık, kabarcuk, ateşgöynüğü ya da yanıkara adlarıyla bilinen iltihaplı çıban olarak tanımlanmaktadır.

Osmanlı Tarih Deyimleri ve Terimleri Sözlüğü'ne (1993) göre cemre, Şubatın 21, 28 ve Martın 7'sinde havaya, suya ve toprağa düşüp bunları ısıttığına ihtimal verilen olay için kullanılan tabir olarak belirtilmektedir. Nevsal-i Ragıp'da cemreler başlıklı yazıda (birinci sene, 1324 s. 195) Ahmet Rasim Bulüg-ul-ereb'in üçüncü cildinden tercüme ettiği kayıtlarda şu şekilde açıklanmaktadır: "Cemre ve dönemleri hakkındaki rivayetler üç kısma ayrılır. Bunun ikisi geleneklere göre yapılmıştır.

1. Bazı rivayetlere göre Arapların bir kısmı çok soğuk dönemlerde mağaralara girerler ve kendileriyle birlikte koyun, inek, öküz ve sair hayvanları da yanlarına alıp kendilerine bir mevki tayin ettikleri gibi hayvanları için de yerler tahsis ederek ateş yakarlardı. Soğuğun azaldığını hissettikleri zaman ateşi sıra ile

söndürürlerdi. İşte bu yaptıklarını "sukut-u cemerat" diye adlandırdılar ve her birine de "sukut-u cemre" dediler.

2. Diğer bir deyişe göre Çin zenginlerinden bazıları soğuğun şiddetli zamanlarında evlerinde üç soba ve ocak yakarlar, soğuk kırıldıkça sobaları birer birer söndürürlerdi. Buna da sükûtu cemerat denilirmiş. Bu tanımdan dolayı cemrelerin düşmesi tabiri, hava, toprak ve suda soğukluk şiddetinin kırılmasını ifade etmektedir. Bana kalırsa bu uzak bir olasılıktır, çünkü sukut-u cemerat tabiri Arap tabiridir. Çinlilerin âdetleri o dönemlerde Araplar arasında bilinmiyordu.
3. Bazı eserlerde belirtildiği üzere cemre üç yıldızdan ibarettir. Bunlar sıra ile tarf, hen'a ve cephe yönündedir. Bunlara cemre denilmesinin nedeni parlak ve bir çeşit kırmızılık yansıtır oluşlarıdır. Düştüğü denilmesi de guruba meyilleri anlamındadır. Şöyle ki; Şubatın yedinci günü (miladi 21), güneşin doğumundan öğleye kadar olan vakitte guruba temayül edince suda ısınma meydana gelir. Şubatın on dördüncü (miladi 28) sabahında başlayınca havada ısınma belirtileri görülür. Şubatın yirmi birinci (miladi Mart 7) burç vakti toprakta ısınma meydana gelirmiş. Bu nedenle ilkine 'cemre-ül-ma', ikinciye 'cemre-ül-hava', üçüncüsüne de 'cemre-üt-türab' denilmiştir."

Eskiler yılı, Kasım (kış) ve Hızır (yaz) olmak üzere yılı ikiye ayırmışlardı. Kasım 180, Hızır 186 gündü. Kasım günleri 8 Kasım' da başlar. Kasım'ın kırk altısında, kırkgün anlamına gelen erbain, seksen altısında elli gün anlamına gelen hamsin girer. Böylece kışın en soğuk zamanları sayılan doksan gün geçmiş olurdu. Kasım'ın 105'inde (19-20 Şubat) birinci cemre havaya; 112'sinde (26-27 Şubat) ikinci cemre suya; 119'unda (5-6 Mart, Şubatın 29 çektiği dört yılda bir (5 Martta) üçüncü cemre toprağa düşer. Buna göre de önce havanın, sonra suyun, sonra da yerin ısındığı kabul edilmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere, cemre olayını açıklayan birbirinden

farklı birçok kaynak vardır. Bunun yanı sıra, incelenen bütün kaynaklardan, cemre ifadesinin çok eski zamanlardan beri kullanıldığını görmekteyiz. Ancak, cemrelerin düşme tarihleri hakkındaki bilgiler kaynaklara göre değişmektedir. Bu da cemrelerin tarihlerinin tam olarak bilinemediğini ortaya koymaktadır.

Cemre olayına benzer olarak, ABD'deki "Ocak erimesi" örnek gösterilebilir. Amerikan Meteorological Society'in (AMS, 1959) tanımına göre; meteorolojik bir tekillik karakteristik meteorolojiksel şartın belli bir takvim zamanında veya yakınında oluşmaya eğilim gösterir. Örneğin, "Ocak erimesi" ABD'nin kuzeydoğusunda Ocak ayının son haftalarında her yıl tekrarlanan bir hava oluşumudur. Bu olay, don olayının sona ermesi, kar veya buzun erimesini ifade etmektedir. Meteorolojistler, bunun gibi belli bir zaman döngüsünde yinelenen olayları meteorolojik tekillik olarak adlandırıp, atmosferik değerlerin frekans dağılımı ve istatistik analizlerini yaparak bir özellik içerip içermediğini incelemişlerdir. Yağış, siklonik-antisiklonik hava oluşum sıklıklarının veya mevsimlerini takvimleştirmeye çalışmışlardır.

Meteoroloji mühendisi Yasemin Yılmaz 1997 yılında halk dilinde cemre olarak adlandırılan sayılı günlerin yalnızca Kandilli Rasathanesi'nde gözlenen 82 yıllık hava sıcaklığı gözlemlerinde, gerçekten mevcut olup olmadığını araştırmak için ayrıntılı bir çalışma yapmıştı.

Amerikan Meteoroloji Birliği (AMS) tanımına göre, cemre de bir meteorolojik tekilliktir. Bu tekilliğin analizini yapmak amacıyla uzun yıllara ait maksimum (gündüz) ve minimum (gece) sıcaklık verileri incelemiştir. Sıcaklık verilerindeki herhangi bir tekillik özelliğini bulmak için, homojenlik ve trend testlerinden yararlanılmıştır. Farkların kareleri yöntemin hesaplanan bazı istatistik parametrelere uygulanarak bir benzerlik katsayısı da geliştirilmiştir.

Tekillik analizi olarak incelenen cemre olayının bir günlük, çok küçük zaman ölçeği olmasından dolayı sonuçlar çok belirgin olamamaktadır. Sıcaklık verilerine ait istatistik parametrelerin değişim grafikle-

rinden, cemrelerin düştüğü belirtilen günlere yakın zamanlarda veya o günleri kapsayacak şekilde bazı dönemlerin diğer günlerden farklı olduğu gözlenmiştir. Cemrelerin düşme tarihleri olarak belirtilen günlerin kaynaklara göre farklı olması, bu olayın tarihlerinin değişken olduğunu düşündürmektedir. Bu sebeple her cemre için 2-3 günlük bir zaman aralığı söz konusu olmaktadır. Cemrelerin oluşum tarihleri ve kaç günlük bir olay olduğu belirsiz olduğu için, grafiklerdeki diğer günlerden farklı olan bu dönemlerin her birini cemre olarak adlandırabiliriz.

Bu durumda, havaların ısınmaya başlama tarihlerinin (cemreler) bilinen günlerden farklı olması beklenebilir. İkinci ve üçüncü cemre günlerine ait grafiklerde diğer günlere bakarak belirgin artışlar göze çarpmaktadır. Bununla birlikte ikinci ve üçüncü cemrelerin tarihlerinin yaklaşık olduğu ve üçüncü cemrenin ikinciye bakarak daha belirgin olduğu düşünülmektedir. Uzun zaman ölçeğine sahip yağış veya mevsim tekillik analizlerinin birçoğu, tartışmalara neden olmasına karşın belli zaman aralıklarında anlamlı sonuçlar vermişlerdir.

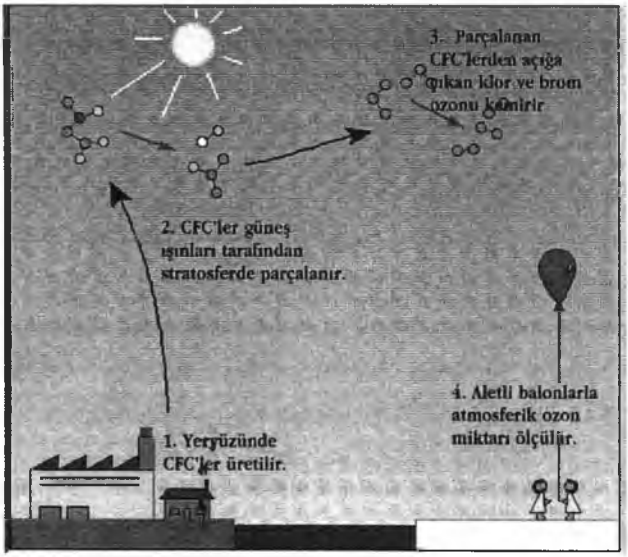
Yılmaz'ın yaptığı çalışmada, çok kesin olmasa da cemrelerin düştüğü dönemler civarında bir sıcaklık artışının olduğu görülmüştür. Ayrıca cemre günlerinin arasında sıcaklıklarda düşüşler vardır. Grafiklerden, maksimum sıcaklıklara ait sonuçların cemre olayını daha iyi gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle toprağa düştüğü söylenen üçüncü cemre, diğerlerine göre daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir.

Cemrelerin oluşum tarihleri ve kaç günlük olaylar olduğu belirsizdir (Yılmaz, 1997). Bu dönemdeki sıcaklık artışları cemre olarak adlandırılır. Dolayısıyla cemrenin mutlaka sözkonusu tarihlerde düşmesi beklenmez. Hatta sıcaklık ortalaması grafiklerine göre birinci cemrenin, yaklaşık beş gün daha önce (15 Şubat) düşmesi gerekir. Yine sıcaklık ortalaması grafiklerine göre, en belirgin olan cemre üçüncü cemredir. Gün içindeki sıcaklık salınımları bile çok değişken olan atmosferin, yılda bir kez ve günlük olarak gerçekleşen bir olayını açıklaması kolay değildir.

Aslında bu çalışmanın aynı noktada havaya düşen cemre için, hava; suya düşen cemre için, su; toprağa düşen cemre için, toprak sıcaklıklarının birlikte incelenerek ve birden fazla istasyona ait veriler kullanılarak geliştirilmesi gerekir. Ne yazık ki, ülkemizde ölçme ve veri toplamaya (ve de dağıtmaya!) gerekli önem verilmemektedir ve böylece ülkemizde bir noktada uzun süre ölçülmüş toprak, su ve hava sıcaklığı bulmak neredeyse imkânsız...

1.4. Ozon Konsantrasyonunun Seyrelmesi ve Olası Etkileri

1974'de iki Amerikan bilimcisi, kloroflorokarbonların (CFC'lerin) ozon tabakasını tahrip ettiği uyarısında bulunmuştu (Şekil 1.5). Bu iddia, bilimsel alanda tartışılırken CFC'lerin üretimi çok hızlı artışlar



Şekil 1.5. Ev ve fabrikalarda üretilen kloroflorokarbonların stratosferik ozonun kaybına neden olması ve ozon gazının özel balon sondajları ile ölçülmesinin şematik gösterimi.

gösterdi ve 1985 ilkbaharında Antarktika'da tespit edilen Kanada büyüklüğündeki "Ozon Deliği," dünyada alarm zillerini çaldırarak CFC'lerin kullanımını kısıtlamak ve olabilirse durdurmak için girişimlerin başlamasına neden oldu (Ahrens, 1988).

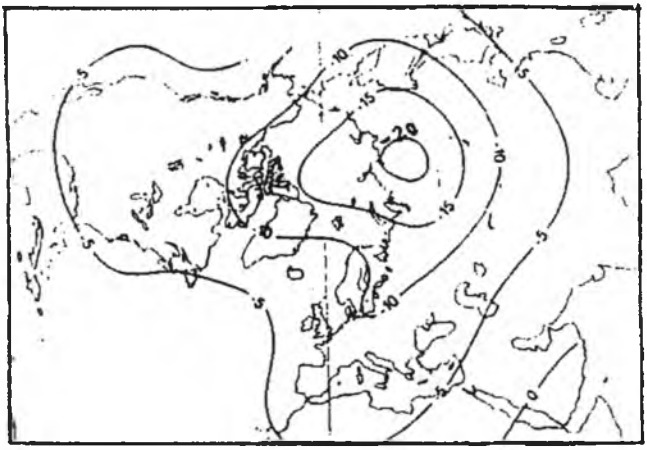
Stratosferde bulunan ozonun tüketilmesine ve bu suretle O_3 katmanının seyrelmesine olumsuz etkileri nedeniyle, CFC'lerin üretimi mevcut uluslararası anlaşmalar gereğince günümüzde durdurulmuştur. Diğer florokarbonlar da sera gazları olmasına karşın buzdolapları ve klima cihazları gibi bazı uygulamalarda CFC'lerin yerine kullanılmaktadır.

Günümüzde, bizi oldukça ilgilendiren ozon gazı, atmosferde bulunduğu yere göre, yaşamın dostu veya düşmanıdır. Yeryüzeyinden 15 km yüksekliğe kadar olan ve troposfer olarak adlandırılan atmosferin en alt katmanındaki (troposferik) ozon tüm canlılar için zararlıdır ve bu nedenle bir kirletici olarak ele alınır. Bunun yanında, dünya atmosferindeki toplam ozonun % 90'nının bulunduğu 15 ila 50 km arasındaki (stratosferik) ozon ise güneşin canlılar için zararlı olan, özellikle kısa dalga boylu UV-B, morötesi ışınlarına karşı bir kalkan gibi davranarak yeryüzeyindeki canlıları korur (Şekil 1.2). Stratosferdeki "ozon tabakası" olmasaydı, bugün dünyada bizim bildiğimiz şekilde bir yaşam olmazdı. Bu nedenle ozon gazı; troposferik ve stratosferik ozon olarak ayrı ayrı ele alınmalıdır.

Kamuoyunun daha çok dikkatini çeken, yaşamın dostu olan stratosferik ozonun, özellikle kutuplarda, konsantrasyonundaki azalışlardır. Her yıl eylül ve ekim aylarında, güney kutbu üzerindeki ozon tabakasının daha çok inceldiği gözlenmektedir. Bu nedenle 16 Eylül Dünya Ozon Günü olarak kabul edilmiştir.

13 Ocak 1994 tarihinden beri Türkiye üzerindeki troposferik ve stratosferik ozon gazlarının konsantrasyonlarındaki değişimleri tespit etmek için gerekli olan ölçümler Türkiye'de Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaya çalışılmaktadır (Şekil

1.5). Ekonomik nedenlerden dolayı bu ölçümler bazen ancak 15 günde bir yapılabilmektedir. Bu ölçümler Türkiye'de kamuoyuna açıklanmadığı ve genelde Türk bilimcilerinden bir sır gibi saklandığı için şu an kendi gözlemlerimize göre bir yorum yapmamız mümkün değildir. Bununla birlikte, Türkiye'deki gözlemleri de kullanılarak yurt dışında yapılan çalışmalar Türkiye üzerindeki stratosferik ozon yoğunluğunun Avrupa ülkelerindekinden pek farklı olmadığını ortaya koymuştur (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Şubat-Mart (1992-1997) aylarının uzun dönem ortalamasından yüzde olarak sapmalar. Türkiye üzerindeki stratosferik ozon miktarındaki azalma yaklaşık olarak %7 gibidir (Bojkov ve ark. 1997).

Son yapılan bilimsel değerlendirmelere göre, tropik bölgelerin dışında bütün enlemlerde ozon yoğunluğunda azalma devam etmektedir. Ozon seviyelerindeki azalma her on yılda bir yaklaşık %3'tür. Stratosferin aşağı bölümünde ozon kayıpları her on yılda %10'dur. Ozon konsantrasyonundaki azalışa paralel olarak UV-B oranlarında artış gözlenmiştir. %1'lik azalma %1'den fazla UV-B artışına neden olmaktadır. Yeryüzü ile atmosferin 15 km'lik yüksekliği arasındaki havanın oluşturduğu tabakadaki troposferik ozon miktarının, Türkiye'nin yer aldığı or-

ta enlemlerde, son 50 yılda iki kat arttığı ve yılda %1'lik bir hızla artmaya devam ettiği tespit edilmiştir (Ennis ve Marcus, 1993).

12 Ağustos 2001 tarihli gazetelerimizde "Türkiye ozonu korumaya aldı" başlıklı haberler vardı. Bu haberlere göre Tarım ve Köy İşleri Bakanlığımız bünyesinde "Ulusal Metil Bromür Üst Kurulu ve Metil Strateji Yürütme Kurulu" oluşturularak Türkiye'de zirai mücadele ilacı olarak kullanılmakta olan yılda 850 tonluk metil bromür maddesine alternatif aranacakmış.

Ozon tabakası

Bilindiği gibi ozon tabakası, son yılların en çok sözü edilen "tabakalarından" biridir. Bu tabaka Güneş'in zararlı ışınlarına karşı bir kalkan gibi dünyayı korur. İncelmeye başlaması ve ciddi sağlık sorunları yaratması, bir takım önlemlerin alınmasına neden oldu. Ozon Tabakası'nın korunması için uluslararası anlaşmalar imzalandı.

Atmosferdeki ozonun yaklaşık %10'u troposferde bulunur. Fotokimyasal pusun en önemli bileşeni olduğu için, bu seviyede başlıca hava kirleticilerinden biridir. Buna karşılık yaklaşık %90'nın bulunduğu stratosferdeki ozon, troposferdekinin aksine canlı yaşamında önemli rol oynar. Yeryüzeyinden itibaren en yoğun olduğu seviye olan 20-25 km yükseklikte oluşturduğu ozon tabakası, hem Güneş'ten gelen zararlı ışınları süzer, hem de yeryüzeyi ile atmosferin sıcaklığını düzenler.

Güneş'in yaydığı morötesi ışınlar, farklı dalga boylarında Dünya'ya ulaşırlar. Bunların en kısa dalga boylusu olan UV-C, canlılar için çok tehlikelidir. Ozon tabakası tarafından tamamen yutulur. UV-B, UV-C'den daha az öldürücü olmasına karşın, onun da atmosfere geçişine izin verilmez. Ancak uzun dalga boyuna sahip olan UV-A, daha az zararlıdır ve ozon tabakasından geçişine izin verilir.

Canlı yaşamında bu kadar etkin olmasına rağmen, ozon atmosferde çok küçük bir başka bileşendir. Ozon, yeryüzeyinden başlayarak 60 km'lik yüksekliğe kadar bir tabakada bulunur. Bu tabakadaki ozon

yeryüzeyinde sıkıştırılırsa ancak 3 mm kalınlığında ve 3 milyar ton ağırlığında ince bir tabaka oluştururdu.

Stratosferdeki oksijen molekülleri güneş ışığının etkisiyle oldukça reaktif oksijen atomlarına dönüşür. Saniyeden de kısa bir sürede oksijen atomları çevrelerindeki oksijen molekülleri ile birleşerek ozon moleküllerini oluştururlar. Güneş enerjisi ile yeni ozon molekülleri oluşurken bu gaz molekülleri azot, hidrojen ve klor içeren doğal bileşikler tarafından bozulurlar. Klor atomları ozon molekülerini bozmakta çok etkilidir, öyleki yalnızca bir klor atomu bir takım seri kimyasal reaksiyonlar sonucu stratosferden çıkartılmadan önce 100 000 kadar ozon molekülünü yok edebilir. Çok uzun zamandan beri stratosferde bulunan bu bileşiklerden azot, toprak ve okyanuslardan; hidrojen, atmosferik su buharından; klor ise okyanuslardan gelmektedir.

Ozonun güneş enerjisini yutması stratosferik düşey sıcaklık gradyanını oluşturur ve dolayısıyla bu tabakada sıcaklık yükseklikle artar. En yüksek sıcaklık UV radyasyonunun yakınında tutulduğu ve yutulduğu stratosferin üst kısmı çevresinde oluşur. Ozon molekülleri yalnızca morötesi ışınları değil, görünür ve kızılaltı dalga boylarındaki ışınları da emer. Böylece atmosferik ozon, dünyanın enerji bütçesini ve sıcaklığını dengeler.

Ozonun oluşumu güneş ışığının etkisiyle olduğu için ozon miktarında zamana göre değişimler gözlenir. Örneğin, yaz ve kış aylarında orta enlemlerde toplam ozon miktarında yaklaşık %25'lik mevsimsel değişiklik gözlenir. Aynı şekilde ozon tabakasının yoğunluğu günden güne de farklılıklar gösterir. Bunun nedeninin, yukarı atmosferdeki rüzgârlar, Güneş aktiviteleri ve volkanik patlamalar gibi doğal olaylardaki değişiklikler olduğu tahmin edilmektedir.

"Ozon Deliği," kesinlikle doğru bir ifade değildir. Çünkü dünyanın ozon tabakasında yaşadığı sorun bir "delinme" değil, bu tabakadaki ozon gazının yoğunluğundaki azalıştır. Özellikle Antarktika üzerindeki ozon tabakasında zamana bağlı olarak yoğunluk azalışı göz-

lenmektedir; yani bütünüyle yok olmamaktadır. Bu yüzden "Ozon Tabakası İncelmesi" demek daha yerinde olur.

İnsan yapımı kimi kimyasal maddelerin, ozon tabakasındaki tepkimeleri sonucunda, ozonun yapısını bozduğundan ozon yoğunluğunda azalma meydana gelir. Bu kimyasal maddelerin başını, 1920'li yıllarda geliştirilen, klor içeren kloroflorokarbon (CFC) ile brom içeren halonlar çekmektedir. Diğer maddeler ise karbon tetraklorür, 1,1,1-trikloretan (metil loroform), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC), hidrobromoflorokarbonlar (HBFC) ve metil bromürdür. Bu maddelerin stratosfere kadar bozulmadan ulaşmalarının nedeni kimyasal açıdan oldukça kararlı olmalarıdır. Bu maddeler güneş ışığının etkisiyle klor ve brom açığa çıkarırlar. Klor ve brom ise, ozon moleküllerini parçalayabilme özelliğine sahiptir. Bir klor ve brom atomu binlerce ozon molekülünü parçalayabilir (Şekil 1.5).

Uluslararası anlaşmalar tam olarak uygulanırsa yapılan tahminler stratosferdeki klor ve brom yoğunluğunun 21. yüzyılın ilk yıllarına kadar artmaya devam edeceği, en yüksek yoğunluğa 2000-2010 yıllarında ulaşacağı, bundan sonra ise azalacağı şeklindedir.

Ozon tabakasındaki incelme, başlangıçta Antarktika üzerinde gözlenmiş, zamanla dünyanın bütününe yayılmıştır. Bunun nedeni, uzun, karanlık, soğuk kış aylarında stratosferik kutup bulutlarının oluşturduğu buz bulutları ve kristallerinin yol açtığı kutup girdabında klor toplanmasıdır. Bahar aylarında buzlar erimeye başladığında buz kristalleri, kimyasal bileşik ve güneş ışığının CFC'lerle tepkimeye girerek ozonu parçalayan kloru açığa çıkaran ortamı sağlar.

Ozon ve Küresel Isınma

Troposferik ozon ise küresel ısınmada rol oynayan sera gazları arasında dördüncü sırada yer almaktadır. CO_2, atmosferde artan sera etkisinin yarısından sorumluyken, ozonunun sadece % 8'lik bir etkisi vardır.

Uzun dalga boylu radyasyonun atmosferde kalmasına atmosferin sera etkisi neden olur. Sera etkisine neden olan bileşikler aktif gazlardır (Bölüm 1.5). Bu gazlar H_2O, CO_2 ve bulutlardır. Toplam katkıları %90 civarındadır. Kalan %10'luk etki O_3, CH_4 ve NO_2 gazlarından meydana gelir.

Ozon tabakasında uzun dalga boylu radyasyon emilir ve yayılır. Dolayısıyla troposfere geçen güneş radyasyonu ve uzun dalga boylu radyasyon değişir. Stratosferik radyasyon güneş ve uzun dalga boylu radyasyon rejimlerindeki etkileri aracılığıyla troposferik iklimi etkiler. Troposferik ozonun sera etkisi, iklimin ozon değişimine duyarlılığında önemli rol oynar.

Stratosferde azot oksitler, klor, hidrojen ve brom gibi maddelerin artması ozon miktarını azaltır. Bu maddeler nükleer patlamalar, süpersonik uçaklar, güneşteki proton olayları, kloroflorokarbonların (CFC) sürekli kullanımı, volkanlar ve uzaya fırlatılan roketlerin egzozları sonucunda ortaya çıkarlar. Ayrıca CO_2 doğrudan kimyasal tepkimeler sonucu etkili olmaz. Orta ve yukarı stratosferdeki radyatif soğumayı arttırarak, ozon miktarında artışa neden olabilir.

Atmosferin en alt katmanı olan troposferde bulunan O_3, yeryüzünden yayılan uzun dalga boylu kırmızı-altı ışınım için etkili bir yutucudur ve sera etkisinin artmasına önemli oranda katkıda bulunmaktadır. Troposferik O_3, kısmen stratosferden troposfere taşınımdan ve kısmen de troposferdeki fotokimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, troposferik O_3 hem doğal yollardan, hem de (kömür, doğalgaz, fuel oil gibi fosil yakıtları tüketen motorlu araçların ve güç santrallerinin kullanımı gibi) insan aktiviteleri sonucunda serbest kalıp atmosferde biriken NO_2 gibi bazı gazların, atmosferin bileşimindeki diğer gazlarla kimyasal reaksiyonlara girmesi ile üretilmektedir.

Troposferdeki O_3 gazının ömrü çok kısadır, bu nedenle konsantrasyonu yerel olarak geniş bir aralıkta değişmekte olup konsantras-

yon değişimi trendlerini belirlemek zordur. Stratosferdeki O_3 konsantrasyonunun 0,1 - 10 ppmv (hacimde milyonda bir), troposferdeki ortalama O_3 konsantrasyonunun ise 0,02 - 0,1 ppmv aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Uydularla ve yeryüzünde yapılan ölçümler, O_3 konsantrasyonunun zamanla stratosferde azalıyorken, troposferde artmakta olduğunu göstermektedir.

Yaygın olan düşüncenin tersine; Antarktika'daki "ozon deliği" (gerçekte bir delik değil, O_3 konsantrasyonunun aşırı miktarda azalması kastediliyor) küresel ısınmanın nedenlerinden birisi değildir. Aksine, Dumayaz ve Kadıoğlu'na (1999) göre stratosferdeki ozonun CFC'ler ve diğer bazı gazlar nedeniyle tüketilmesi, yer yer küçük de olsa bir soğuma etkisi oluşturmaktadır. Bunun nedeni şöyle özetlenebilir: Stratosfer, orta enlemlerde deniz seviyesinden başlayıp yaklaşık olarak ortalama 11-12 km yükseklikten 50 km yüksekliğe kadar olan bölgede yer alır. O_3, atmosferde en çok stratosfer içinde bulunur. Stratosferik O_3, hem Güneş'ten gelen morötesi ışınımı hem de yeryüzünden uzaya yayılan uzun dalga boylu ışınımı önemli miktarda yutar ve bu nedenle küresel ısınma üzerine toplam etkisi karmaşık bir niteliktedir. O_3 gazının yeryüzü sıcaklığı üzerine toplam etkisi, hangi dalga boyuna sahip ışınımların O_3 tarafından yutulacağını tayin eden, yutma işleminin gerçekleştiği yüksekliğe bağlıdır. Öyle ki:

1. Deniz seviyesinden 30 km'lik bir yüksekliğin üzerinde O_3, daha çok Güneş'ten gelen kısa dalga boylu ışınımı yutar ve bu da yeryüzü sıcaklığında azalmaya neden olur.
2. Deniz seviyesinden 25 km'lik bir yüksekliğin altında ise O_3, daha çok yeryüzünden yayılıp uzaya gitmekte olan uzun dalga boylu ışınımı yutar ki, bu da yeryüzü sıcaklığında artışa neden olur.

Özetle, stratosferdeki ozon miktarındaki azalma yeryüzeyi seviyesindeki hava sıcaklığını da etkiler. Stratosferden daha fazla güneş

enerjisi geçişine izin verileceği için yeryüzeyi daha fazla ısınacaktır. Ozon miktarının azalmasıyla yutulan ışınım oranı da azalacaktır. Soğuyan stratosfer nedeniyle ise de troposfere daha az ışınım yayacak, dolayısıyla yeryüzeyi de soğuyacaktır.

Stratosferdeki ozon değişimleri, ozonun düşey dağılımına bağlı olarak yüzey sıcaklığı üzerinde farklı etkilere sahip olabilir. Üniform bir ozon azalması net bir radyatif soğumaya neden olurken, üniform olmayan ozon değişimi ısınmada net bir artışa neden olabilir.

Ozondaki değişimler sonucunda:

a- Stratosferik ozonun azalması ile büyük miktarda (morötesi ışınların tehlikeli olan kısmı) UV-B radyasyonu kara ve deniz yüzeyine ulaşır. Bu durum, deniz yüzeylerindeki plankton ve benzeri mikro organizmaları büyük ölçüde tahrip eder. Bunun sonucunda da, bozulan besin zinciri balıklardan insanlara kadar etkili olur. Ozon seyrelmesi böylece devam ederse deniz ve okyanuslarda foto plankton üretiminde azalma olacağı tahmin edilmektedir. Foto planktonlar, besin zincirinin önemli bir parçası olduğundan insanların balık gibi besin kaynaklarını olumsuz etkileyecektir.

b- Deniz foto planktonlarının diğer bir işlevi ise karbondioksidi tutmalarıdır. Fotoplanktonların azalması, daha az karbondioksitin yutulmasına, dolayısıyla atmosferde karbondioksitin artmasına neden olacaktır. Denizlerdeki planktonların azalması, okyanusların CO_2 gazını emebilmesini büyük ölçüde durdurur. Planktonlar, küresel CO_2'in %65'ini foto sentetik organizmalar yoluyla kullanmaktadır. Bu işlemin yavaşlaması, sera gazı olan CO_2'in miktarını dünya atmosferinde daha da fazlalaştırır, CO_2'in küresel ısınmadaki rolünün büyümesine ve küresel ısınmanın artmasına neden olur.

c- Cilt kanseri tehlikesinde artış yaşanacaktır. Ozon miktarındaki %1'lik azalmanın deri kanserinde %2'lik ve cilt kanserinden ölümlerde de % 0,3-2,0'lık artışa neden olacağı hesaplanmaktadır (En-

nis ve Marcus, 1993).

d- UV-B, göz lenslerinin bozulması ve yaşa bağlı olarak körlüğü de içeren tehlikelere yol açabilecektir. Özellikle insan ve hayvanlarda körlüğe neden olan katarakt olaylarında artışlar olacağı tahmin edilmektedir.

e- İnsanların bağışıklık sisteminde meydana gelecek değişikliklerin, enfeksiyon hastalıklarında artışa ve bunlara karşı geliştirilen programların etkinliğini yitirmesine neden olacaktır.

f- UV ışınlarının artması, troposferdeki ozon miktarının artmasına, dolayısıyla (modern) hava kirliliği problemlerinin de artmasına neden olacaktır. Canlıların nefes alıp verdiği seviyede bulunan troposferik ozon miktarındaki büyük artışlar da atmosferin ısınmasına katkıda bulunmakla birlikte insanlarda daha fazla astım ve akciğer gibi solunum hastalıklarına neden olabilecektir.

g- UV-B miktarının artması tarımı da olumsuz etkileyecektir. UV-B bitki büyümesini yavaşlatarak yaprakların küçük kalmasına neden olacak; küçük yapraklar da bitkilerin fotosontez yeteneğini zayıflatarak doğal ekosistemler üzerinde baskı oluşturacaktır. UV-B'nin ABD'de şu an tarım ve orman alanlarında 2 milyar dolarlık zarara neden olduğu hesaplanmaktadır. Orta enlemlerle birlikte Türkiye üzerinde sürekli olarak artan troposferik ozon, bitkilerde fotosentez işlemini yavaşlatarak, ormanlarımızı etkileyecek ve tarımsal ürünlerimizde rekolte düşüşlerine neden olabilecektir.



"OZON TABAKASINI ÖZLEDİM..."

1.5. Işınım, Sera ve Atmosfer Etkisi

Bu bölümde güneş ışınlarının Dünya ve atmosferi tarafından tutulması ile birlikte "atmosferin sera etkisi" ile "sera etkisi" arasındaki farkları irdelemeden önce unutmadan, "Atmosferin Sera Etkisi ve Küresel Isınma Aynı Şeyler Değildir" demek istiyorum. Aslında atmosferin sera etkisi kötü bir şey de değildir ve hatta dünyanın yaşanabilir bir gezegen olmasında da çok önemli bir rolü vardır. Dr. Fraser'e göre atmosferin sera etkisi olmasa hepimiz ölürüz! Peki nedir bu "atmosferin sera etkisi," nasıl oluşur ve ne işe yarar?

Aristo, insanların çok fazla sıcak olduğunu sandığı ekvatora yaklaşamayacağını düşünmüştü. Bugün hâlâ birçok insan ekvatorun çok sıcak olduğunu düşünür. Fakat bu düşünce de doğru değildir. Ekvator çevresindeki 5° enlemi içindeki yerlerin bir çoğunda yıl boyunca ortalama hava sıcaklığı tipik olarak 27° C'dir. Gündüz vakti sıcaklıklar örneğin 32°C, geceleyin ise yaklaşık olarak 22°C'dir. Bu arada hava sıcaklığının yükseklikle azaldığını da anımsamalısınız. Böylece Ekvator adlı ülkede Quito şehri 2700 metrede kurulu olduğu için ortalama hava sıcaklığı 13°C'dir. Aynı zamanda deniz seviyesinden 5000 metre yükselince, ekvatorda bile buzulların oluşması olasıdır. Unutmamak gerekir ki birçok canlı türünün yaşadığı deniz seviyesinden yaklaşık olarak 2 metre yükseklikteki, ortalama hava sıcaklığı 15°C'dir (Gedzelman, 1980).

Ahrens'e (1988) göre tıpkı bazı insanların yemek seçtiği gibi bazı cisimler de tüm dalga boylarını değil, bazı dalga boylarındaki enerjiyi seçerek yutarlar. Seçici ışınım yutucuları, aynı zamanda seçici yayıcıdırlar. Bu olay, "Kirchhoff Kuralı" olarak bilinir. Bu kural, belirli dalga boylarında iyi yutucuların, iyi yayınlayıcı olduklarını ve bir dalga boyu için, kötü yutucuların aynı dalga boyu için kötü yayınlayıcı olduğunu söyler.

Cam seçici, yutuculara iyi bir örnektir. Cam kırmızı-altı ve morötesi ışınımları yutarken, görünür ışıktaki ışınımı geçirir. Böylece sera-

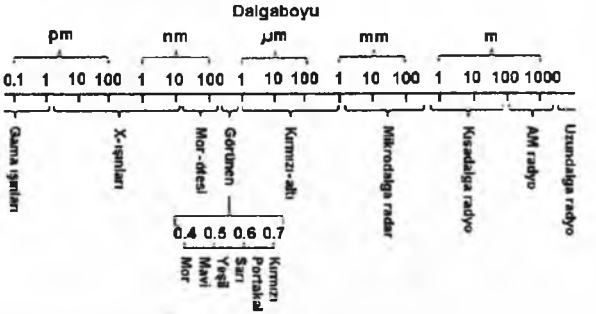
daki camlar kısa dalga boylu ışınımın içeri girmesine ve içerdeki nesneler tarafından yutulmasına izin verir. Bu cisimler aldıkları bu ısıyı uzun dalga boylu ışınım olarak tekrar yayınlarlar, fakat cam tarafından uzun dalga boylu ısı dışarı bırakılmaz ve serada tutulur (Şekil 1.8). Böylece seraların içindeki hava dışındaki havadan daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilir.

Bu konuda daha ileri gitmeden önce, güneş ışınımına, ışık tayfına ve dalga boylarına bakalım.

Güneş Işınımı

Durmayaz ve Kadıoğlu (2001) aşağıda özetlendiği gibi atmosfere giren enerjinin kaynağı Güneş'tir ve yeryüzü tarafından alınan güneş ışınımının oranını etkileyen dört temel etken vardır: Bunlar Güneş'in ışınım yayma gücü, Güneş-yeryüzü arasındaki mesafe, Güneş'in yüksekliği (ışın demetinin geliş açısı) ve gün uzunluğudur.

Güneş enerjisi Güneş'in $16X10^6$ K sıcaklığa sahip olan merkezindeki nükleer reaksiyonlardan kaynaklanır. Bu enerji hidrojen taşınımı ve ışıma ile güneşin merkezine göre daha soğuk olan dış yüzeyine geçer. Görünür güneş ışınımı (ışık), Güneş'in dış yüzeyinden gelir. Güneş bir siyah cisimmiş (black body) gibi davranır yani, aldığı enerjiyi bütünüyle yutar ve daha sonra da belirli bir sıcaklık için mümkün



Şekil 1.7. Elektromanyetik spektrum (Durmayaz ve Kadıoğlu, 2001).

olan maksimum değerde yayar.

Elektromanyetik ışınım (radyasyon) deyimi, genel anlamda, elektromanyetik dalga vasıtasıyla olan bütün enerji geçişleri için kullanılmaktadır. Elektromanyetik dalganın (fotonun) ilerlemesinde maddesel bir ortama gerek yoktur. Elektromanyetik dalgaların logaritmik bir skala üzerinde dalgaboylarına göre düzenlenmiş olan spektrumu Şekil 1.7'de sunulmuştur.

Şekil 1.7'de görülen ışınımlar arasında en küçük dalgaboyuna sahip olan γ (gama) ışınları [dalgaboyu 1,2 pm'nin (1 pikometre = 10^{-12} metre altında], verilenler arasında en fazla enerjiye ve dolayısıyla da en yüksek frekansa sahip olan ışınımlardır. Elektromanyetik ışınımların madde içinde yutulmaları, bu ışınımların maddeyi oluşturan atomların elektronlarıyla etkileşmeleri sonucu gerçekleşir.

Görünen (visible) ışınım (ışık ışınları) 380-760 nm (1 nanometre = 10^{-9} m) dalgaboyu aralığındadır. Morötesi ışınım, dalgaboyu görünen ışınımın dalgaboyundan daha küçük (12-380 nm), dolayısıyla enerjisi, frekansı ve giriciliği görünen ışınıma bakarak daha (infrared) ışınım ise dalgaboyu görünen ışınımın dalgaboyundan daha büyük (760 nm^{-1} mm), dolayısıyla enerjisi, frekansı ve giriciliği görünen ışınımdan daha küçük olan ışınımdır.

Güneş yüzeyinin 5800 K sıcaklıkta olduğu varsayılırsa, Güneş'in uzaya yaydığı toplam enerji yaklaşık olarak $3,883x10^{20}$ MW (bir nükleer güç reaktörünün ısıl gücünün yaklaşık 10^{17} katı) olur. Ancak, yeryüzü tarafından alınan enerji, Güneş ile arasında bulunan mesafenin (150 milyon km) karesi ile ters orantılı olduğu için, Güneş'in yaydığı enerjinin çok küçük bir kısmı olur. Dünya, Güneş'e ortalama bir mesafede iken, Güneş'ten yayılıp atmosferin dışında Güneş ışın demetine dik bir yüzey tarafından alınan enerjiye "Güneş sabiti" adı verilir.

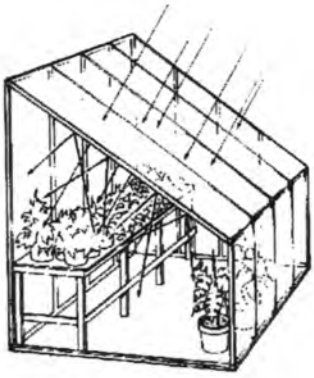
Sera ve Atmosfer Etkisi

Atmosferin sera etkisi çoğunlukla atmosferin ısınması gibi halk

arasında yanlış olarak kullanılmaktadır. Herhalde meteoroloji sözlüğüne bakarak, kullandığımızı kelimelerin anlamlarını öğrenmek gibi bir alışkanlığımız da yok. Atmosferin sera etkisi, en basit ifadeyle, turfanda sebze ve meyve yetiştirmekte kullanılan camdan evler gibi, atmosferin güneş ışığını kolayca geçirmesine rağmen uzaya ısıyı salarken zorluk çıkarmasıdır (Şekil 1.8). Daha doğru ve teknik olarak tanımlamak gerekirse atmosferin sera etkisi, dünya yüzeyinin güneş ve atmosferinden aldığı enerji nedeniyle atmosfer olmayacağı durumdan daha sıcak olmasıdır. Diğer bir deyişle, atmosfer ve atmosferin sera etkisi olmasaydı dünya yüzeyi şimdikinden çok daha soğuk olacaktı. Sera etkisinden dolayı, atmosfer daha fazla ısı enerjisi tutabilmekte ve bu kadar sıcak olabilmektedir. Daha da teknik bir şekilde tanımlamak, atmosferin kısa dalga boylu ışınım için geçirgenlik (transparency) özelliğine bakarak, bağıl olarak kırmızı-altı ışınım için donukluk (opaqueness) özelliği atmosferin "sera etkisi" olarak isimlendirilebilir (Durmayaz ve Kadıoğlu, 2001).

Dünyada ölçülen en düşük hava sıcaklığı, 15 knotlık bir rüzgâr altında 24 Ağustos, 1960 Vostok, Antarktika'da ölçülmüş olan -88 °C'dir. Bu sıcaklıkta, tükürük daha havadayken donar. Dünyada ölçülen en yüksek hava sıcaklığı ise 58°C'dir. Aziziye, Libya 13 Eylül, 1922'de ölçülmüştür. Unutmayın bu rekor sıcaklıklar Şekil 1.3'de gösterilene benzer alet siperlerinde, yani gölgede ölçülmüştür. Bu uç sıcaklık değerleri çok nadir olarak dünyada noktasal olarak gözlenir, yoksa dünyada bugün bildiğimiz bir şekilde yaşam olmazdı. Yani yaşama uygun hava sıcaklığını atmosferin sera etkisine borçluyuz. Atmosferin sera etkisi olmasaydı dünyada ortalama hava sıcaklığı -18°C olacaktı. Diğer bir deyişle, atmosferin sera etkisi hava sıcaklığını 33°C arttırmıştır.

Burada, tarımda kullanılan cam binaların (yani seraların) aynı zamanda içinde ısınıp yükselen sıcak havayı da hapsettiğine dikkat etmemiz gerekir (Şekil 1.8). Diğer bir deyişle, sera içerisindeki sıcak ha-



Şekil 1.8. Sera etkisi. Kısa dalga boylu güneş enerjisi seraların cam çatısı ve duvarlarından kolayca içeri girer. Benzer şekilde sera içindeki cisimlerden yayınlanan enerji ise uzun dalga boyludur (kırmızı-altı) ve camlar tarafından tutulur. Seranın camları tarafından tutulan bu enerji ilave bir ısı kaynağı görevi görür ve böylece sera içindeki hava dışarıdaki havadan daha sıcak olur.

vanın nedeni, belki de içerideki havanın, dışarıdaki soğuk hava ile karışamamasıdır. Benzer şekilde atmosferin sera etkisinden söz ederken Şekil 1.9'da gösterildiği gibi dünyanın da camdan yapılmış bir seranın içine konulmuş olduğu gibi bir durumu düşünmemiz gerekiyor. Diğer bir deyişle, tarım seraları ile atmosferin sera etkisi özelliği benzer bir ilkeyle çalışmalarına karşın aralarında çok büyük farklılıklar da vardır.

Bu nedenle, güneşin altına park edilmiş bir otomobil veya sera gazlarının bir battaniye gibi görev gördüğüne ilişkin yapılan açıklamalar ve benzetmeler de yanlıştır. Örneğin, yeryüzünde ısınmış olan havanın yükselmesini dünya atmosferi engellemez. Böyle bir engelleme olsaydı, birçok gökgürültülü fırtına ve şiddetli fırtınalar oluşamazdı. Hatta belki de "atmosferik motor" çok daha yavaş çalışırdı. Bu nedenle "sera etkisinin" bu olaya verilmiş bir yanlış ad olduğunu da akıldan çıkarmamak gerekiyor.

Bu adın yanlış olması ve/veya yanlış kullanımlar nedeniyle, Fleag-

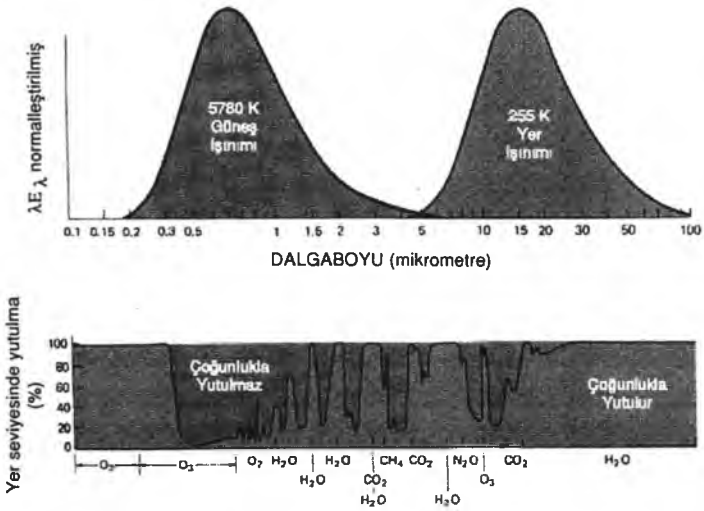


Şekil 1.9. Bu şekil yanlıştır! Atmosferin sera etkisi, gerçekte atmosferin bir battaniye veya cam gibi davranarak güneş ışınımı tutup sonra onları yeniden yeryüzüne doğru yayması şeklinde değildir. Bu tür açıklamalar, Dr. Alistair B. Fraser, tarafından kötü veya yanlış meteoroloji bilimine örnek olarak gösterilmektedir.

le ve Businger (1963) yılında (An Introduction to Atmospheric Physics, Orlando, Fla., Academic Press.) kitabında aşağı atmosferde tutulan ışınım için sera etkisi yerine *atmosfer etkisi* denilmesini önermektedirler. Fakat sera etkisi artık o kadar yaygın bir şekilde kullanılıyor ki, değiştirilmesi çok zor. O yüzden biz, karbondioksit ve su buharının Dünya yüzey sıcaklığını yüksek tutması olayını açıklamak için *atmosferin sera etkisi* terimini kullanmayı tercih ederiz.

Atmosferin sera etkisi nasıl çalışır? Bunu Wien kanunu çok kolay bir şekilde açıklar. Şekil 1.10'dan da görüldüğü gibi Güneş'ten gelen kısa dalga boylu ışınım büyük oranda atmosferde yutulmadan geçer ve yeryüzeyindeki cisimler tarafından yutulur. Böylece yeryüzü ısınır ve uzun boylu ışınım yaymaya başlar. Fakat yine Şekil 1.10'dan görüldüğü gibi yeryüzünden yayılan uzun boylu ışınım atmosferden tümüyle geçip uzaya kaçamaz.

Einstein Kanunu, ışınımın farklı dalga boylarının farklı enerjilere karşılık geldiğini ifade eder (Şekil 1.7). Her molekül sadece uygun dalga boyunda gelen enerjiyi yutabilir. Örneğin Güneş'ten gelen ışınımın dalga boyu 0,3 mikrondan daha kısa veya 1,5 mikrondan daha uzun olanlar karbondioksit (CO_2), subuharı (H_2O), ozon (O_3) ve sıvı bulut damlacıkları tarafından yutulur (Şekil 1.10). Ancak bunlar arasında kalan orta dalga boylu ışınım çok fazla yutulmadan atmosfer-



Şekil 1.10. Güneş ışınımı daha çok kısa boylu dalgalarla gelir ve atmosferden kolayca geçer. Dünya yüzeyinden gelen ışınım ise uzun dalga boyludur ve Dünya atmosferindeki sera gazları tarafından büyük bir kısmı yutulur. Böylece atmosferin sera etkisi oluşur (Gedzelman, 1980).

den geçip yeryüzüne ulaşabilir. Diğer bir deyişle, yeryüzüne ulaşabilen güneş ışınımının büyük bir kısmı ancak 0,3-1,5 mikron dalga boyu aralığında atmosferi geçebilmektedir. Böylece, 1,5 mikrondan daha büyük dalga boyuna sahip olan ışınım büyük oranda atmosfer tarafından yutulmaktadır.

Karbondioksit (CO_2), subuharı (H_20), ozon (O_3) ve sıvı bulut damlacıkları, yeryüzünden yayılan ışınımı yutarak da ısınırlar. Bu gazların ısınan molekülleri havanın diğer molekülleri ile çarpışarak atmosferin diğer kısımlarının da ısınmasına neden olur. Ayrıca bu ışınım yutucu gazlar ısındığında, onlar da ışınım yaymaya başlar. Bu ışınımın bir kısmı uzaya kaçar fakat bir kısmı gerisin geri yeryüzüne döner. Yeryüzünün, güneş ışınımı yanı sıra, kazandığı bu ek ışınım atmosferin sera etkisini oluşturur. Böylece yeryüzünde sera etkisi net bir ısınmaya neden olur (Şekil 1.11).

Su buharı ve korbondioksit bu alanda başlıca yutucu gazlardır. Aşağı yukarı su buharı, diğer gaz karışımlarının yutacağından 5 kez daha fazla karasal ışınımı yutar ve bu nemli havalarda yeryüzünde havanın biraz daha sıcak olmasının nedenini açıklar. Benzer şekilde kışın havalar çok kuruduğu için eskiden sobaların üzerinde çaydanlık ve güğümlerde su kaynatma, yemek ve ütü yapma ve kaloriferlere asılan içi su dolu kaplar ile ya da bir nemlendirici cihazı ile özellikle kış mevsiminde evimizi bir ölçüde nemlendirerek kışın, sıcaklığı hissedebilmemiz için odanın havasına biraz nem ilave etmeye çalışırız. Yoksa, soğuk havalarda kendimizi daha sıcak hissetmemiz için tek başına yüksek oda sıcaklığı yeterli değildir. Kışın bir parça nem konforumuzu arttırır.

Sakin bir günde Üsküdar sahilinde çay içen birisi ile Çamlıca tepesinde çay içenin hissettiği hava sıcaklığı farklıdır. Karbondioksit ve su buharının hava sıcaklığı için önemi, dağlık bölgelerde yaşayan insanlar tarafından iyi bilinir. Çukurdaki vadilerden daha çok, güneş enerjisini dağların tepeleri alır. Çünkü dağların tepelerinde güneş ışınlarını süzen hava tabakasını kalınlığı vadilere göre daha azdır. Aynı zamanda daha az yoğun olan dağ havası bu yüksek tepelerden ısının daha kolay bir şekilde kaçmasına neden olur. Sonuç olarak vadiler, daha az Güneş radyasyonu alsalar bile, dağların tepelerine göre daha sıcaktır.

Bulutlar, tıpkı su buharı, karbondioksit gibi kırmızı-altı ışınımın iyi birer yutucularıdır ve özellikle geceleri dünya yüzeyinin sıcaklığının korunmasında anahtar rolü oynarlar. Kalın bir bulut tabakası daha çok karasal ışınım yutacak ve yeniden yüzeye dönecektir. Bu açık (kuru) gecelerin neden kapalı (nemli) gecelere oranla daha soğuk olduğunu açıklar.

İyi bir hava tahmincisi bu gibi atmosferin yüzlerce özelliğini bir arada düşünmek zorundadır. Örneğin, akşam saatlerinde hava sıcaklığı ve nem gibi meteorolojik özellikleri bütünüyle birbirine benzeyen ve birbirine çok yakın iki kenti düşünün. Tek fark A kentinde hava

bulutlu, fakat B kentinde açık. Şimdi soru şu: Hangi kent sabahleyin daha soğuk olacaktır? Bunu bir sınav sorusu olarak sorsam, mutlaka "Nedenini açıklayınız?" diye bir ek soru da sorardım.

Bu sorunun yanıtını bulmak yukarıdaki bilgiler ışığında çok kolay. Bulutlar, yerden gelen ışınımı yutup ve onu yeniden yere doğru yayarak atmosferin sera etkisini kuvvetlendirdiğine göre, bulutlu olan A kentindeki hava gece boyunca daha yavaş soğur. B kentinde gece boyunca yerden olan ısı kaybı daha hızlı ve fazladır. Böylece B şehri geceleyin daha fazla soğur.

Eğer gündüz bulutlar varsa, bunlar güneş ışınının dünyaya ulaşmasını engeller. Dolayısıyla bulutlu günler, açık günlerden daha az sıcak olur. Özet olarak; bulutların varlığı gece sıcaklığının daha yüksek olmasını, gündüz sıcaklığının daha düşük olmasını sağlar.

Bazen bulutların taban seviyesinde hava sıcaklığı yerden daha yüksektir. Böyle durumlarda hava sıcaklığı geceleyin hafif bir şekilde yükselir. Sera etkisinin diğer bir sonucu olarak bulutlu bir geceden daha çok açık gökyüzülü gecelerden sonra sabah vakti sis oluşma olasılığı vardır. Hemen yeryüzeyinin üstündeki hava açık gökyüzünde daha fazla soğur ve soğuyan bu havanın içindeki subuharını yoğunlaştırarak sisi oluşturur. Böylece sabah vakti görülen sis güneşli bir günün de işaretidir.

Havadaki su buharı yani nemin sera etkisi, gece gündüz sıcaklık farklarını da etkiler. Örneğin, Türkiye'de kıyılardan uzaklaşıp İç veya Doğu Anadolu'ya doğru gidildikçe havanın bağıl nem oranı küçülür ve gece gündüz sıcaklık farkları büyür. Benzer şekilde çöllerde ve yüksek yerlerde gece hava sıcaklıkları hızla düşer.

Atmosferik Pencere

Artık dünyanın ateşi yükseldi, biz de bunaldık pencereyi biraz aralasak! Hangi pencere mi? Kuşkusuz atmosferin penceresini! Evet atmosferin de bir "penceresi" var.

Ben de bununla Ekim 1983'de Prof. Dr. Yurdanur Tulunay hocamız "Yüksek Atmosfer Fiziği" dersinin bir sınav sorusunda karşılaştım. Şekil 1.10'un alt kısmındaki şekile benzer bir şekil kastedilerek, *"Yukarıdaki şekil atmosferin başlıca gazları için yutulmalarını (gelen radyasyonun yutulan kesiminin oranını) dalga boyuna göre göstermektedir... c-) Meteorologlar $8x10^{-1}$ ve $12x10^{-1}$ cm aralığına "atmosfersel pencere" diyorlar. Neden?"* Evet neden bu aralığa "pencere" diyoruz, bu pencerenin küresel iklim değişimi ve kürsel ısınma problemi için önemi nedir? Onu inceleyelim...

Büyük ya da küçük her cisim, ışınım, enerji, elektromanyetik dalgalar yayar. Kitap, insan vücudu, çiçekler, ağaçlar, hava, Dünya, yıldızlar değişik dalga boylarında elektromanyetik dalga yayarlar. Bu enerjinin kaynağı, her nesnede bulunan milyonlarca elektronun titreşimidir.

Nesnelerin yaydığı dalgaların dalga boyu öncelikle, nesnelerin sıcaklığına bağlıdır. Şekil 1.10'un üst kısmında Güneş ile Dünya'nın sahip olduğu dalga boylarından da görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça elektronların titreşimi artar ve yayılan radyasyonun dalga boyu küçülür. Bunu daha iyi anlayabilmek için, bir ucu duvara tutturulmuş bir ipi düşünelim. Eğer ipi diğer ucundan hızlıca sallarsak, ki bu yüksek sıcaklığa karşı gelir, ip boyunca çok fazla sayıda küçük dalgaların oluştuğunu görürüz. Eğer ipi yavaş sallarsak, (düşük sıcaklığı temsilen) ip boyunca daha uzun dalgaların oluştuğunu görürüz (Ahrens, 1988).

5780 K sıcaklıktaki nesnelerin yaydıkları dalgaların bazıları görünen ışık bölgesindeki dalgaların dalga boylarına sahiptirler. Bu nesneler gerçekte parlak kırmızı görünürler. 255 K gibi daha soğuk nesnelerin yaydıkları dalgaların dalga boyları büyük olduğundan, biz onları göremeyiz. Örneğin bu sayfa elektromanyetik dalga yayıyor. Ancak bu sayfanın sıcaklığı 20°C derece civarında olduğundan, yayılan dalganın dalga boyu bizim görebileceğimizden çok büyüktür. Fakat yinede biz bu kâğıdı görüyoruz. O halde kâğıdı görmemizi sağlayan, bu görünen dalgalar nereden geliyor? Bu dalgalar, bizim gördüğümüz



Şekil 1.11. Sera etkisi. Atmosfer (bir seranın çatısı ve duvarları gibi) aldığı ısının bir kısmını yeniden yeryüzüne yayar. Güneşten direkt olarak atmosferden geçip yere ulaşan enerjinin yanı sıra atmosferden gelen bu ek enerji havanın daha sıcak olmasını sağlar (Gedzelman, 1980).

sayfa tarafından yansıtılan dalgalardır. Bu dalgalar, lamba ve Güneş gibi yapay ve doğal ışık kaynaklarından gelir. Eğer bu sayfa tamamen karanlık bir odaya götürülürse sayfa ışınım yaymaya devam ettiği halde sayfa siyah görünecektir. Çünkü odada sayfanın yansıtabileceği görünen ışık yoktur.

İnsan gözü, 0,4 ila 0,7 mikrometre arasındaki ışınımı algılar (Şekil 1.7). Bu dalgalar göze ulaşır ve renk duyarlılığını sağlar. Spektrumun bu kısmı, görünür bölge olarak adlandırılır. Güneş, radyasyonun %44'ünü görünür bölgede yayar. Bu bölgede, Güneş en çok ışımayı maviyeşil arası bir renkte gerçekleştirir. Mor rengi, görünür ışık bölgesinde en kısa dalga boyuna sahiptir. Mordan daha kısa dalga boyundaki dalgalara morötesi ışınlar denir. X ve gama ışınları bu kategoriye girer. Güneş toplam enerjisinin %7'sini morötesi dalga boyunda yayar.

Görünür ışık bölgesinde en uzun dalga boylu ışın, kırmızıdır. Kırmızıdan daha uzun dalga boylu ışınlara (0,7 mikrometre) kırmızı-altı ışınlar denir. Bu dalgalar insanlar tarafından görülemez. Güneş enerjisinin, %37'si 0,7 mikrometre ile 1,5 mikrometre arasında yayılır. %12'si 1,5 mikrometreden daha uzun dalga boyunda yayılır.

Sonuç olarak hangi sıcaklıkta olursa olsun, bütün maddeler enerji yayarlar. Sadece Güneş gibi sıcak maddeler değil, Dünya ve onun buzul kutupları da devamlı enerji yayarlar. Enerji yayarlar ama bu enerji Şekil 1.10'da gösterildiği gibi kısmen gazlar tarafından yutulurlar.

Şimdi Şekil 1.10'daki 0,3-1,2 ila 8-11 mikrometre aralıklarına dikkat etmenizi istiyorum. 0,3-1,2 mikrometre aralığında güneşten enerji büyük ölçüde atmosferdeki gazlar tarafından yutulmadan yeryüzüne ulaşabilmektedir. Benzer şekilde 8-11 mikrometre aralığında yeryüzünden giden enerji büyük ölçüde atmosferdeki gazlar tarafından yutulmadan uzaya kaçabilmektedir. Bu nedenle 8-11 mikrometre dalga boyları aralığı "atmosferik pencere" olarak adlandırılır.

Eğer hava bulutlu değilse bu "pencere" bize uydulardan Dünya'nın yüzey sıcaklığı gibi birçok özelliğini belirleme olanağı verir. Nesneler farklı sıcaklıklarda, maksimum enerjilerini farklı dalga boylarında yaydıklarından, kırmızı-altı fotoğraflar farklı sıcaklılardaki nesneleri ayırt eder. Bulutlar daima kırmızı-altı enerji yayar. Dolayısıyla ısıl algılayıcılar kullanan bulut resimleri gece ve gündüz boyunca çekilebilir.

Eğer bulutlar varsa bu pencereyi kapatarak, atmosferik sera etkisini kuvvetlendirirler. Çünkü bulutlardaki küçük, sıvı bulut parçacıkları, kırmızı-altı ışınımlar için iyi bir yutucu; görünür ışık bölgesindeki ışınım için kötü bir yutucudur. Alçakta bulunan, 100 metre kalınlığındaki bulutlar, kırmızı-altı ışınların yutulmasında özellikle etkilidir. Bunlar karbondioksit ve su tarafından yutulamayan, dalga boyları 8 ve 11 mikrometre arasında değişen ışınımı bile yutarlar. Dolayısıyla atmosferik pencereyi "kapatarak," atmosferik sera etkisini kuvvetlendirirler. Bulutlar ayrıca iyi bir kırmızı-altı ışınım yayıcıdırlar. Sonuç olarak bulutlar, Dünya tarafından yutulup, yeniden yayılacak olan kırmızı-altı ışınları yayarlar. Bu işlem bulutlu gecelerin, açık gecelerden, daha sıcak olmasını sağlar.

Böylece, küresel ısınma, dünya yüzeyindeki hava sıcaklığını arttırmakta. Isınan hava daha fazla suyun buharlaşarak havaya karışıp bu-

lutlanmanın artmasına neden olmakta. Artan bulutlanma da atmosferik pencereyi kapatarak dünyanın daha da ısınmasına neden olmaktadır. Buna karşılık daha fazla su buharlaşmakta... Kısır ama tehlikeli bir döngü!..

1.6. Atmosferde Kelebek Etkisi ve Hava Tahmini

1980'lerin son yarısında Türkiye'nin dört bir yanından gelip ABD'nin ve Dünya'nın dört bir yanına dağılmış olan öğrenciler olarak ABD'de kısa adı TEL (Turkish Electronic List) olan bir e-posta ağında bir araya gelmiştik. Daha sonra da ABD'de GÖZLEM adıyla bir de dergi çıkartmaya başladık. Bu dergide bir yandan ABD'den Türkiye'yi gözlüyor, bir yandan da şiir, öykü ve denemeler yazıyorduk. Benim Türkiye'ye döndükten sonra Cumhuriyet Bilim Teknik-Dergisi'nde arada bir de olsa yazılar yazmaya başlamamı, sonra Milliyet 2000'de bir süre köşe yazarlığı, vb işleri yapmamı ve belki de şimdi bu kitabı yazmamı öncelikle GÖZLEM'e borçluyum.

Önce 1990 yılında GÖZLEM dergisinde Can Bruce'nin editörlüğünü yaparak adam ettiği ve Tayfun Akgül'ün de karikatürleri ile ruh verdiği "Havadaki Kelebek ve Yeni Bir Bilim Dalı Olan Kaosun Doğuşu" adlı yazımı Türkiye'de ilk kez 1992 yılının 27 Haziran Cumartesi günü Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi'nde popüler bilim türünde bir yazı olarak yayınlanmıştı.

Bu yazılarda havanın kaotik yapısını "kelebek etkisi" ile açıklamış ve bunun modern hava tahminlerinde nasıl kullanıldığını anlatmaya çalışmıştım. Havanın kaotik yapısı ile birlikte, örneğin New York'daki bir kelebeğin bir kanat çırpmasının nasıl İstanbul'da bir ay sonraki bir fırtınanın nedeni olabileceğini anlamadan bilmeden küresel iklim değişimini anlamanın zor olacağını düşünerek, bu yazıları güncelleştirerek sizlerin dikkatine yeniden sunmak istiyorum.



Bir Kelebek Darbesi İle Kaos

Doğadaki karmaşıklığın da bir düzeni olduğunu artık "kaos kuramı" açıklıyor. Bugün meteorologlar da kaos kuramını atmosferin çok karmaşık yapısına uygulayarak hava tahminlerini daha başarılı ve uzun vadeli kılmaya çalışıyorlar.

Bilindiği gibi herhangi bir şeyin davranışlarındaki sadelik ve düzen onun gelecekteki hareketlerini de kolaylıkla öngörülebilir kılar. Örneğin, Dünya ve diğer gezegenler basit ve düzenli bir yörüngeye sahip olduklarından, onların astronomik hareketlerini kolayca tahmin edebiliriz. Halley kuyruklu yıldızının ne zaman tekrar görüleceğini çok önceden belirleyebilmesi gibi. Öte yandan, karışıklık ve düzensizlik ise, bir sistemin gelecekte alacağı durumun önceden bilinebilmesini imkânsız kılmaktadır. İşte atmosfer de çok karışık ve düzensiz bir yapıya sahip olduğu içindir ki, hava durumunun nasıl olacağı belli bir zamandan (teorik olarak 7 günden) sonrası için tam olarak tahmin edilemez.

Türkiye'de henüz pek yerleşmemiş, çoğunlukla uzmanı olmayan kişilerce yurtdışından hava tahmini satın alınarak yapılmaya çalışılan atmosferik bilimler, başka bir adı ile meteoroloji bilimindeki teorik çıkmazlar ve bu çıkmazların yarattığı yeni bir bilim dalı olan kaosun meteoroloji ile ilişkisinin ilginç bir öyküsünü sizlere kısaca sunmaya

çalışacağım.

Doğadaki karmaşa çok açık, şöyle gökyüzüne bir bakmak yeterli: Bulutlar, aslında doğadaki birçok başka cisim gibi, karışık ve düzensiz bir yapıya sahip; sonsuz değişik şekiller alıyorlar, aralarından birinin tıpkısının aynısını bir kez daha gözlemek olası değil. Üstelik, bulutların biçimlerindeki bu karmaşa ve düzensizlik, doğadaki diğer sistemlerin karmaşa ve düzensizliklerinden çok farklı niteliklere sahip, öyle ki bu tür sistemlerin her birinin kendine has özellikleri var. Uzun zamandır, "Bu düzensizlikler tümüyle rastgele mi oluyor, yoksa bunların ardında bir düzen mi var? sorusu ortalıkta dolaşmaktaydı.

Son on yılda fizikçiler, astronomlar, biyologlar, meteorologlar ve diğer bilim insanları, doğanın bu karmaşık, düzenli-düzensiz yapısının sırrını çözmek için yeni bir bakış açısı getirdiler ve geliştirdikleri bu yeni bilim dalını "kaos" teorisi olarak adlandırdılar. Böylece uzun zamandır teorik fizikte hissedilen yetersizlikler artık açıkça dile getirilerek, entropi, türbülans gibi sırrı çözülememiş fiziksel olguların esaslarının ne olduğu, hayatın nasıl başladığı gibi sorular tekrar ortaya atılıp onlara yanıt aranmaya başlandı.

Kaos teorisi, yalnızca bir görüş değil, aynı zamanda bir uygulamalı bilimsel çalışma yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Bu teori, çoğunlukla fiziksel sistemler tarafından ortaya konan düzensizliklerin matematiksel ifadelerini verip basit grafiklerle, şu ana kadar yalnızca bir rastlantı olarak kabul edilen düzensizliklerdeki varolan şaşırtıcı düzenlilikleri görmemizi sağlamaya çalışır. Kaos teorisi, günümüzde sadece meteoroloji değil, çıkmazlar içinde çabalayıp duran tüm bilim insanlarına kurtarıcı melek gibi gelmiş ve bunun sonucu kaos teorisine her taraftan bir akın başlamıştır. Matematikçiler, biyologlar, kimyacılar kendi alanlarındaki değişik düzensizlikler arasında ilişki kurmaya çalışmaktadırlar.

Psikologlar insan kalbinde gelişimi şu ana kadar açıklanması mümkün olamayan ani ölümlere (krizlere) kaosun hayret verici bir

düzen içinde neden olduğu sonucuna vardılar bile. Ayrıca şu ana kadar çözülemeyen, vahşi hayvanların nüfuslarındaki ani değişimlerin sırrı, politika ve modadaki umulmayan akımlar, kar kristalinin biçimi, şimşeklerin yolu, kan damarları ve galaksilerin yapılarını da kaos teorisi ile açıklama çalışmalarına başlanmıştır. Kaos teorisi üzerine düzenlenen uluslararası konferanslar ve bilimsel yayınların sayısı her geçen gün artmaktadır.

Havayı anlamaya ve açıklamaya çalışan meteorologlar, korkunç karmaşasına karşın, eninde sonunda onu tahmin edilebilir kılmak için sürekli çalışıyorlar, şüphesiz kaos teorisinin atmosferik bilimlere büyük bir katkısı olacağı beklentisi onu keşfedenin bir meteorolog olmasından çok, üç gün sonraki hava durumunu henüz tam olarak tahmin edemeyişimizden kaynaklanmaktadır. Uzayın keşfine çıkılan yüzyılımızda hâlâ ilkel çağlarda olduğu gibi iklimdeki beklenmedik değişimler sonucu açlıktan ölen milyonlarca insan manzaraları ile karşı karşıyıyız. Dünyayı defalarca yok edebilecek süper teknolojinin hava tahmininde ulaşabildiği başarı oldukça düşüktür. Dünyanın en iyi hava tahminlerini yapan, bizim de üyesi olduğumuz (Türkiye'de verilen hava tahminlerinin sırrı!) Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nin 2 veya 3 gün sonrası için yaptığı hava tahminleri güvenilmez. 6 ve 7 gün sonrası için olanlar da formalite icabı yapılmış değersiz tahminler olduğu uzmanlar tarafından da kabul edilmekteydi.

Hava tahminlerindeki bu başarısızlığa neden olarak sadece bir "kelebek" bulunmuştur (Şekil 1.12). "Kelebek etkisi" (The Butterfly Effect) bizim havayı; yani bulutların ve rüzgârın hareketlerini; bir gezegenin veya füzenin hareketinde olduğu gibi tahmin edebilmemizi imkânsız kılmaktadır. Şekil benzerliğinden hareket edilerek yarı şaka olarak verilen bu ad; rüzgârdaki küçücük bir esinti değişiminin belli bir zaman sonra korkunç bir fırtınaya neden olabileceğini, atmosferin en küçük bir fiziksel değişime karşı ne kadar aşırı derecede duyarlı olduğunu vurgulamaya çalışır. Kelebeğin küçük bir kanat çırpışı ve New

York'daki bugünkü hava şartları bir ay sonra İstanbul'da bir fırtınaya neden olabilmektedir.

Kelebek etkisi adı verilen bu olguyu, yani hava gibi dinamik sistemlerin, harekete başladıklarında değerlerine, fiziksel şartlarına son derece hassas bir şekilde bağlı ve duyarlı olmalarını, çok iyi anlatan deyişin Türkçe'ye çevirisini aşağıda vermeye çalışayım:

"Bir çivi yüzünden nalı kaybettik;
Bir nal yüzünden atı kaybettik;
Bir at yüzünden süvariyi kaybettik;
Bir süvari yüzünden savaşı kaybettik;
Bir savaş yüzünden krallığı kaybettik!"

Hava durumunu belirleyen kanunları anlamanın, evreni anlamak ile eşdeğer olduğu düşüncesi atmosferin bilgisayarlarla benzetim ve modelleme çalışmalarına çok önem verilmesine neden oluyor. Her ne kadar hava karmaşık bir sistemse de, bilinen fiziksel kanunlara uyması gerektiğinden onu en gerçekçi bir şekilde modelleyebilmek, bilim adamlarının uzun süredir üzerinde çalıştıkları konulardan biri olmuş. Öyle ki, 1950'lerde Von Neumann ilk bilgisayarı özellikle havayı modellemek için inşa etti. 1950'li ve 60'lı yıllarda hava tahmininde ulaşılacak başarının hayali, insanların başını döndürecek kadar büyüktü. Uluslararası araştırma projeleri insanoğlunun, havanın acımasız diktatörlüğüne son vermesini amaçlıyordu. Birleşmiş Milletlerde kurulacak merkezi bir meteoroloji örgütü, gerektiğinde uçaklarını ve uydularını gönderecek, bulutları, tayfunları özel dumanlarla perdeleyerek veya tohumlayarak havayı istenilen şekle sokacaktı. Ancak sonuç, başlangıçta kurulan bu büyük hayallere göre bir fiyasko oldu. Belki de, mevcut fiziksel kanunlar atmosfere uygulanamaz diye düşünenler dahi çıktı. Ama açıkça unutulan bir şey vardı, havanın davranışları bir sarkaç gibi sabit, periyodik bir özelliğe sahip değildi. Havanın her molekülünde bir başka kararsızlık, her tarafında bir başka karmaşa gizliydi, yani "kaos" göz ardı ediliyordu.

Kaos teorisinin gerçek kaşifi M.I.T.'nin günümüzün büyük meteorologu Edward Lorenz, 1960 yılında atmosferin ilk basit modeli olan, bir "oyuncak havaya" sahip olmuştu. Lorenz bu bilgisayar dünyasının tek tanrısı olarak doğacığının kanunlarını serbestçe ve dilediğince değiştirerek, onun üzerinde yıllarca deneyler yaptı. Rüzgârların esintileri konusundaki çalışmaları hiç beklenmedik sonuçlar verdi. Gerçek tanrının gerçek dünyasına benzeyen bu modelin içinde Lorenz'in oluşturduğu bir siklon aynı hareketini büyük bir inat ile bir daha tekrar etmiyordu. Bilgisayar modelinin başlangıç anındaki sayısal değerlerin on binler hanesinde, küçücük bir değişiklik yapıp modeli yeniden çalıştığında, sözü bile edilemeyecek bir ufacık farklılık, onun dünyasında birbirinden çok değişik fırtınalara neden oluyordu.

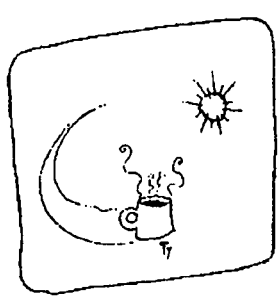
Lorenz'in 1963 yılında "Belirgin Periyodik Olmayan Akış" adlı makalesinde yayımladığı bu sonuçlar bugünkü kaos teorisinin ilk tohumları oldular. Bu çalışmaları, saniyede 60 tane çarpma işlemi yapabilen, vakum tüplü Royal Mcbee bilgisayarı ile yapan Lorenz, 1980'de milyarlara yaklaşan sayıda aritmetik işlemi bir saniyede yapabilen süper bilgisayarlardan CD Cyber 205 kullanmaya başladı. Böylece 12 denklemle yarattığı dünyasına 500.000'lik bir denklem ordusuyla hükmedebilme gücüne kavuşup, dünyasını dağlar ve denizlerle de süsleyebildi. Artık oyuncak, yapay dünya gerçeğine çok benziyordu. Yapay uydular, uçaklar, dev balonlar, roketler, kısacası ileri teknolojinin tüm ürünleri de Lorenz'in emrinde bir petek arısı gibi çalışmakta, her saat başı dünyanın en ücra köşesindeki sıcaklıktan, esen rüzgâra kadar her şeyden haber vermektedir. Ama Lorenz hâlâ bize İstanbul'da bir ay sonra havanın güneşli mi, yoksa yağmurlu mu olacağını dahi söyleyememektedir.

Bilgisayarlar nereden bilecek termometrenin 10 cm yakınında bir türbülansın sıcaklığın normalinden farklı olarak ölçülmesine neden olduğunu? Bolu dağında, rüzgârın şiddetini ölçen ve yönünü gösteren anemometrenin paslanmış olabileceğini de nasıl bilsinler? On

santimetrelik bir boşlukta ortaya çıkan bir türbülanstan dolayı doğan küçük bir hatanın birkaç ay sonra bir ülkeyi kasıp kavuracak bir fırtınaya dönüşecek olması bilgisayar modeli ve onun hükümdarı olan meteorolog için bilinmeyen bir sırdır.

Normal yaşantımızda olduğu gibi, bilimde de küçük bir şeyin zincirleme büyüyüşü büyük krizlere yol açmaktadır. Lorenz bunu kuşkusuz bilmektedir. Fakat onun çözümleyebildiği, ilk yarattığı 12 denklemli, gerçekte çok basit olan sisteminden böylesine zengin ve sonsuz bir kaosun nasıl meydana geldiğidir. Yarım milyonluk denklem ve ileri teknolojinin büyük hizmetine karşın, alınan sonuç 12 denkleminki ile temelde aynı idi; ve evrenin sırrı hâlâ çözülememiş, hava yine insanların canını bazen sadistçe, bazen de kibarca yakmaya devam etmekte.

Bir anlayışa göre bilim adamları önce bulutlar, sonra galaksiler üzerine çalışmalıydı. Yani insanoğlu kendi boyundaki olayları önce çözebilmeli ki, sonunda evrenin sırrına varabilsin. Çocukluğundan beri çözülemez matematik bulmacalarını çözmeye çalışan Lorenz de, doğrudan hava tahminine yönelik çalışmalarına artık veda etti. Lorenz'in gözü, artık burnunun dibine her getirişinde daha iyi gördüğü kahve fincanına, kahveden yükselen bu buhara takılmıştır. Birçok bilim adamı gibi Lorenz de karışık, zor ve büyükten vazgeçip, evrenin sırrını kahve fincanındaki türbülans gibi "basit" sistemlerde arama kararına vardı.



Kaos teorisi, bazı bilim adamları tarafından 20. yüzyılın en büyük gelişmelerinden biri olarak, izafiyet teorisi, kuantum mekaniği ile birlikte anılmaktadır. Bu bilim dalının başladığı yerde, klasik bilim duruyor günümüzde. Daha önce rastlantısal olarak kabul edilen olaylar arasında ilişkiler kurup şu ana kadar çözülemeyen olayların çözümüne yeni bir yaklaşım getirmiş, bilimde yeni ufuklar açmıştır. Bu yeni teori bizi nereye götürür bilinmez, ama bu yazıyı okuduktan sonra havaya daha başka bir gözle bakacak ve biçare meteorologların hatalarına karşı da daha hoşgörülü olacağınızdan eminim.

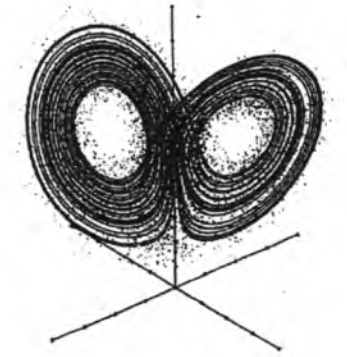
Atmosfer ve Hava Tahmini

Doğanın kendisi ve doğadaki dinamik sistemlerin çoğu kaotik yapıya sahiptir. Atmosfer de sürekli değişen, hareket halinde olan bir dinamik sistemdir ve diğer dinamik sistemler gibi onun da değişimi belirli zaman aralıklarında hareketlerinin belirlenmesiyle açıklanabilir.

Atmosferde değişimin tümüyle belirlenip açıklanması çok zor bir problemdir. Bununla birlikte basit matematiksel modeller, atmosferdeki dinamik işlemleri anlamak ve açıklamak da bize yardımcı olabilmektedir.

Böyle basit bir model Lorenz tarafından 1963'te oluşturuldu. Lorenz'in modeli, ısıtılmış yüzey üzerindeki bir akışkanın hareketlerini ifade eden üç basit diferansiyel denklemden oluşuyordu. Yüzey üzerinde ısınarak hafifleyen ve yükselerek konveksiyon adı verilen düşey hareketi oluşturuyordu. Lorenz, deneylerinin sonucu oluşan bu hareketlerin yörüngelerini kâğıt üzerine dökünce, tüm yörüngeleri gösteren çizgilerin sonuçta tuhaf bir çekicide toplandığını ve bu çekicinin doğada rastlanan diğerlerinden çok farklı olduğunu gördü (Şekil 1.12).

Bu çekicinin en önemli özelliği, iki bitişik yörüngenin kısa bir zamanda birbirinden ayrılarak çekici içinde çok farklı yollar takip ederek çok değişik yerlere gitmeleridir. Bunun anlamı şudur: Atmosferdeki hareketlerin gelişimi küçük farklara sahip iki başlangıç değeri



Şekil 1.12. Hava tahmini ile ilişkili olan ve kelebeğin kanatlarına da benzetilen tuhaf çekici. Birbirine çok yakın olan on bin nokta, hava sistemlerinin harekete başlangıç değerlerini göstermektedir (Tsonis ve Elsner, 1989).

için tümüyle farklılıklar gösterebilecektir.

Şekil 1.12'de bu, bir birinden ayırt edilemeyecek kadar çok küçük farklılıklara sahip başlangıç değerlerinin on bin tanesi noktalar ile gösterilmiştir. Bu noktaları, çekici içinde birbirlerine çok yakın oldukları için ayırt etmek oldukça zordur. Bu on bin nokta gerçekte atmosferde birbirinden çok az farklı olan değişik hava şartlarıdır. Hava şartlarındaki çok ama çok küçük farklar atmosferde önceden kestirilmesi mümkün olamayan çok değişik hava durumlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Bu durumda dünya atmosferinin rastgele bir davranış gösterdiği söylenebilir. Böyle rastgele hareketlerin görüldüğü ve basit deterministik denklemler ile ifade edilebilen birçok dinamik sistem vardır. Dinamik sistemlerde ortaya çıkan bu rastgele davranışlar günümüzde kaos terimi ile adlandırılmaktadır. Atmosfer ve benzeri sistemler kaotik dinamik sistemler ve bunların çekicileri de *acayip* veya *kaotik* çekiciler olarak adlandırılır.

Bu yeni kavramların günlük hayatta kullanımı gittikçe artmaktadır. Örneğin, meteorolojide başlangıç şartlarını (bir anlık hava duru-

munu) tam olarak bilebilsek, çekicideki yörüngesini takip ederek başlangıç değerlerinden itibaren havanın gelişim ve değişimini sonsuza kadar tahmin edebilirdik belki.

Fakat bizim en büyük problemimiz, meteorolojik parametreleri bütünüyle doğru olarak hiçbir zaman ölçemiyor olmamızdır. Diğer bir deyişle, hiçbir zaman bugünkü hava durumunu tam olarak bilemiyoruz. Meteorolojik aletler ile sıcaklık, basınç ve benzeri değişkenleri yaklaşık olarak çok seyrek noktalarda ölçmekteyiz. Bu eksik ve doğru olarak ölçülemeyen parametreler, meteorologlar tarafından hava tahminlerinde başlangıç değerleri olarak kullanılmaktadır.

Bu durumda, gerçek değerler ile ölçülen ve başlangıç değerleri olarak kullanılan değerler arasında her zaman bir farklılık vardır. Bu değerler birbirlerine oldukça yakındır ama hiçbir zaman aynı değildirler. Böyle bir durumda atmosferi kontrol eden tüm fiziksel kanunlar bilinse bile kaotik çekiciden dolayı tahmin gerçekten bütünüyle farklı olabilecektir. Bu, kaotik sistemlerin bir özelliğidir: gerçek ile kullanılan başlangıç değerleri arasındaki fark, yani hatalar, modellerde zamanla büyür ve sistemin hareketlerini tahmin edebilme yeteneğimizi sınırlar.

Şekil 1.12'de kelebeğin kanatlarına da benzeyen acayip veya kaotik çekici ile birlikte atmosferin başlangıç şartlarında bir kelebeğin kanat çırpışı kadar küçük olan farkların, havaya getirdiği tahmin edebilme sınırı "kelebek etkisi" olarak da adlandırılmaktadır.

Kaotik dinamik sistemler teorisi atmosferin davranışlarını anlamamızda çok yararlı olmuştur. Evet atmosfer rastgele hareketler ve kaotik bir yapıya sahiptir ama atmosferdeki düzensizliklerin yanında bir düzen de mevcuttur. Örneğin, bir siklonda rüzgârların saat ibresinin ters yönünde esmek gibi rastlantısal bir davranışı da hiçbir zaman görülmez.

Kaos teorisinin açık olarak ortaya koyduğu bir gerçek ise bugünün hava durumunu tam olarak bilmediğimiz sürece yakını hiçbir zaman doğru bir şekilde tahmin edemeyeceğimizdir. Ülkemiz hariç, bu-

nun farkında olan ve yeterli kaynaklara sahip olan uluslar günümüzde ulusal meteoroloji teşkilatı ve ölçüm ağlarını modernleştirmeye büyük önem vermektedir.

Bununla birlikte günümüzde havadaki kelebek kavramı, atmosferi inceleme ve tahmin etmedeki yaklaşımlarına yenilik getirerek hava tahminlerinin güvenilirliğinin tespit edilebilmesine de olanak tanımaktadır. Lorenz'in kelebeği, A.B.D. Ulusal Meteoroloji Merkezi (NMC) ve Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) ve diğer gelişmiş meteoroloji merkezlerinde artık nümerik modeller ile yapılan bir haftalık hava tahminlerince kaosun ortaya çıkıp çıkmadığı ve tahmin edilebilir kararlı atmosferik yapının ne kadar korunabileceğini tespit etmekte kullanılmaya başlanmıştır.

Orta vadeli hava tahminlerinin güvenilirliğini önceden tespit etmekte (NMC) başlıca şu iki yöntemi kullanmaktadır.

Birincisi, ECMWF ve diğer meteoroloji merkezlerinde nümerik hava tahminleri için kullanılan değişik yöntemler sonucu modellerin başlangıç değerlerinde ortaya çıkan farklılıklar nedeniyle merkezler ile NMC'nin tahminleri arasında kelebek etkisinin ortaya çıkardığı büyük bir farklılığın olup olmadığına bakılır. Değişik modellerin aynı günler için tahminleri oldukça farklıysa, o günler için atmosferin çok kaotik bir yapıya sahip olduğu ve güvenilir bir şekilde tahmin edilemeyeceğine karar verilir.

İkinci yol ise, NMC nümerik modelinin başlangıç değeri olarak birbirini takip eden bir kaç günün farklı başlangıç değerleri için verdiği sonuçların ("kaos duvarına" çarpmadan) kaç güne kadar benzer kalabildiğini görebilmekte ve kamuoyuna yanlış hava tahmini vermekten kaçınabilmektedir.

Lorenz, basit modeliyle yaptığı batılı rüzgârların hızının tahmini çalışmasında kelebek etkisini göstermektedir. Burada başlangıçtaki rüzgâr hızları değerlerinde çok küçük farklar olan iki simülasyon, yaklaşık iki haftalık bir süre için, aynı rüzgâr hızını tahmin ederken kele-

beğin havada kanat çırpışı kadar küçük olan, ilk rüzgâr değerindeki farkın etkisi ortaya çıkıp, iki simülasyonda birbirinden çok farklı rüzgâr hızları tahminine neden olmaktadır. Belkide bu yüzden 1810'da Filozof Arago "Bilimde İlerleme ne olursa olsun, prestijini düşünen bilim adamı hava öngörüsüne asla kalkışmaz" demiştir.

Bu olaya küresel iklim değişimi acısından baktığımız zaman, atmosferin en küçük değişimlere nasıl tepki gösterebileceği ve bu tepkinin zincirleme ne tür bir olaylara neden olabileceğini görüp korkmamız ve bu işi çok daha ciddiye almamız gerektiğini anlarız. Dünya iklimlerinin başlangıç değerlerindeki değişimlere ormansızlaşma, kentleşme ve sera gazlarındaki artışlar örnek olarak verilebilir. Atmosferin hareketlerini bir sınır değer problemi olarak düşünmeli ve yeryüzeyindeki değişimlerin bizi ne tür sonuçlara taşıyacağını hesaplamalıyız.


Mevsimler çıldırdı

Havalar Çıldırdı mı?

1991 Sonbaharında *Campus* dergisinde yayımlanan bu karikatürde "Önce Dünya" şeklinde bir ifade bulunan bantı kafasında taşıyan kadınla "Küresel Isınmayı Durdurun" gibi bir pankart tutan hippinin içinde bulunduğu durum biraz ilginç. Hippinin şortuna filan bakıp bu protestonun bir yaz gününde yapıldığını düşünüp hemen aklınıza küresel ısınmadan dolayı "havaların çıldırdığı" gibi bir şeyler gelebilir. Eğer bu protesto bir kış günü yapılıyorsa, böyle soğuk bir günde küresel ısınma problemini gündeme getirdikleri için protestocuları tebrik etmek gerekir.



Ülkemizde küresel ısınma ve küresel iklim değişimi problemlerini genellikle "yazın kar yağması" gibi olağandışı hava koşullarında hatırlarız. Böylece kamuoyunda her "olağandışı hava olayını" da bu problemlere bağlamak gibi genel bir kültürel davranış şekli oluştuğu için sapla samanı da birbirine karıştırır olduk. Onun için bu bölümde sap ile samanı yani iklim ile hava şartlarını birbirinden biraz ayırmaya çalışalım.

2.1. Hava Şartları ve İklim

Meteorolojinin çok farklı konuları olan iklim ve hava şartları ülkemizde birbirine çok karıştırılmaktadır.

Hava şartları ile iklim arasındaki farkı kısaca şöyle ifade edebiliriz: Hava şartları, belirli bir zaman ve kısa bir dönemde gözlenen hava olaylarıdır; fakat iklim, hava şartlarının uzun bir dönem boyuncaki ortalamaları veya eğilimleridir. Böylece hava şartları, belirli bir zamandaki hava durumunu ifade ederken, iklim belli bir yerdeki tipik hava şartlarının bir genelleştirilmesidir. Diğer bir deyişle, hava durumu, bizim maruz kaldığımız; iklim ise geçmişteki tecrübelere dayanarak beklediğimiz ve öngördüğümüz hava şartlarıdır.

Örneğin, "Dün öğleden sonra İstanbul gök gürültülü sağanak yağışlıydı" ifadesi hava şartlarını (durumunu), fakat "İlkbaharın sonlarında ve yazın başında İstanbul ikindi saatlerinde sık sık gök gürültülü sağanak yağışlıdır," ifadesi ise iklimi tanımlar.

Tekrar söylemek gerekirse bir yerin iklimini, orada uzun süre hükmeden hava durumları karakterize eder. Burada söz konusu edilen "uzun süre," 100 yılı aşkın bir zaman dilimidir. Diğer bir deyişle bir yerin iklimi, orada normal bir insan ömründen daha uzun bir süre görülen hava durumlarının bir ortalamasıdır. Uzun yıllar boyunca bir yerin iklimini belirleyen bu hava durumları içinde birçok aşırı sıcaklıklar, soğuk hava dalgaları, kuraklıklar, seller ve fırtınalar vardır. Diğer bir deyişle havanın kaotik davranışına ait birçok örnek bulunur.

Dünyanın farklı noktaları, güneş ışınlarının geliş açısıyla orantılı olarak ısınırlar (Lutgens ve Tarbuck, 1989). Örneğin, güneş ışınlarının dik geldiği ekvator bölgesi çok sıcak, fakat güneş ışınlarının en eğik geldiği kutuplar çok soğuktur. Ekvatordan kutuplara enlemleri geçtikçe güneş ışınlarının geliş açısındaki eğrilik artar, bu da bölgelerin farklı derecelerde ısınmalarına neden olur. Ancak enlemler, sıcaklık dağılımındaki tek etken değildir. Eğer böyle bir durum gerçek olsaydı, bir enlemdeki bütün yerlerde birbirlerine yakın sıcaklıkların olması beklenebilirdi.

Aynı enlemde ve birbirine yakın iki kentin yıllık ortalama sıcaklıkları birbirinden farklı olabilir. Bu farklılık, her iki kentin yükseklikleri-

ne ve dağın hangi tarafında olduğu gibi birçok etkene bağlıdır. Bilindiği gibi, troposferde kilometre başına 6,5°C'lik bir sıcaklık düşüşü vardır. Çünkü atmosferi ısıtan güneş ışınları değil, güneş ışınlarıyla ısınan yer yüzeyidir. Dolayısıyla atmosferde denizden yükseldikçe sıcaklık azalır. Benzer şekilde bir dağ silsilesinden aşağı inen havanın sıcaklığı aynı oranda artar. Havanın bir dağın tepesinden eteklerine doğru inerken ısınması olayına da "fön" etkisi deriz.

Örnek olarak İzmir ile Ağrı illeri verilebilir. Yaklaşık aynı enlemlerde olmalarına rağmen birbirlerine yakın iklim özellikleri göstermemektedirler. Kısaca, sıcaklık dağılımını etkileyen enlemler dışında başka etkenler de vardır.

İzmir ile Ağrı illeri arasındaki sıcaklığın birbirlerine yakın olmamasının nedenlerinden biri de yükseklikliktir. Bölüm 1.1'de "Troposfer" başlığı altında anlatıldığı gibi, troposferde yükseklikle birlikte her 100 metrede 0,65°C'lik bir sıcaklık düşüşü görülür.

Yükseklikle birlikte atmosfer basıncı ve yoğunluğu da azalır. Yoğunluğun azalması nedeniyle bu yoğunluğu oluşturan parçacıklar daha az güneş radyasyonu emer ve yayar. İzmir deniz seviyesinde olduğu için yoğunluğu daha fazladır. Dolayısıyla 1640 metre yükseklikteki Ağrı'dan daha sıcaktır.

İzmir ile Ağrı illeri arasındaki önemli bir fark da coğrafi konumlarıdır. İzmir, Ege Denizi kıyısındadır. Batılı rüzgârların etkisiyle denizin nemli havasına sahiptir. Bu durum, İzmir'de yazların daha serin, kışların ise daha sıcak geçmesine neden olur. Ancak Ağrı denizden uzak bir şehirdir. Dolayısıyla daha sert kışlar ile daha sıcak yazlar geçirir.

Öyleyse herhangi bir yerin iklimini kontrol eden belli başlı fiziksel etkenler özetle şöyle sıralayabiliriz:

1. Suya yakınlık (nem ve sıcaklığın kontrolü),
2. Enlem (alınan güneş enerjisinin miktarını belirler),
3. Yükseklik, yönelim, eğim gibi topografik özellikler (Örneğin, genellikle denizden yükseldikçe hava soğur),

4. Hâkim rüzgâr yönü. (Örneğin, hâkim rüzgâr yönü denizden karaya doğru ise karadaki iklim ılıman ve nemli olur. Bu nedenle, İzmir ile Ağrı illerimiz yaklaşık olarak aynı enlemlerde olmasına karşın denize yakınlık, yükseklik ve hakim rüzgâr yönlerinin farklı olması nedeniyle iklimleri de çok farklıdır. Örneğin dünyanın kendi ekseni etrafındaki dönüşü doğudan batıya doğru olsaydı, bu iki ilimizin iklimleri daha benzer bir hal alabilirdi),
5. Okyanus akıntıları, dağlara veya diğer topografik özelliklere yakınlık,
6. Fırtına yolları,
7. Şehir ısı adaları.

Bu bileşenlerin herhangi birindeki bir değişiklik, sıcaklık, yağış gibi yerel iklim elemanlarını değiştirerek dünyanın farklı farklı yerlerinde farklı farklı iklim değişikliklerine de neden olabilir.

Gedzelman'a göre iklim ile hava şartları arasındaki farkı daha iyi görebilmek için bir de Jack London'un "Bir ateş yakmak" (To Build a Fire) adlı hikâyesinden kısa bir bölüm okuyalım. Bu hikâyede yazar, genç bir maden arayıcısının nasıl bir acelecilikle ölürcesine donduğunu, dikkate değer meteorolojik anlayış, "hava şartları" ve "iklimin" inceliklerini ortaya koyar.

"Madenci meteorolojik tehlikeler konusunda duyarsızdı ve kışın en soğuk havasında amacı uğruna yola çıktı. Soğuk ve gri gün ağarmıştı, hava aşırı soğuk ve griydi... Saat dokuzdu. Gökyüzünde bir tek bulut olmamasına rağmen, ne güneş ne de güneşten tek bir iz vardı. Açık bir gündü ve etrafındaki her şey gündüzü karartan ince bir karanlık şeklindeki erişilmez bir perde ile örtülüydü, bu da güneşin yokluğundan dolayıydı. Bu durum adamı endişelendirmedi. O, güneşin yokluğuna alışıktı. En son güneşi gördüğünden beri günler geçmişti.

Yola devam ederken, hava sıcaklığını anlamak için tükürdü.

Adamı ürküten çıtırtılar oldu. Tekrar tükürdü. Tükürük havadayken daha yere düşmeden tekrar çıtırdadı. Tükürüğün -40°C derecenin (-50°F) altındaki sıcaklıklarda yerde çıtırdadığını biliyordu. Şüphesiz hava sıcaklığı -40°C'den daha soğuktu. Ama ne kadar daha soğuk olduğunu tam olarak bilemedi.

İlerlemenin kolay olduğu nehirden yukarı doğru yoluna devam ederken, suları gizleyen yerlerdeki ince buz tabakalarına dikkat etmesi gerekirdi. Ve derken olan oldu. Alttaki yumuşak bozulmamış karların sağlammış gibi göründüğü, hiçbir işaretin bulunmadığı yer tam adam üzerindeyken kırıldı. Derin değildi. O, bu sert yüzeyde bata çıka yürüyüp, çıkmadan önce, dizlerinin yarısına kadar ıslanmıştı.

Adam artık bir ateş yakmak zorundaydı, çünkü bu tip düşük sıcaklıklarda kuru kalması şarttı. Soğuk havanın hiçbir tolerans tanımadığını bilerek ateş yakmak için çalıştı. Ama o bir hata daha yaptı. Ateşi ladin ağacı altında yakmaması gerekirdi.

Açık bir alanda ateşi yaksaydı daha iyi olacaktı. Ama bu hareketi ile, çalıdaki dalların aşağı çekilmesini ve doğrudan ateşin üzerine düşmesini kolaylaştırmıştı. Şimdi ise altında bulunduğu ağacın dalları beraberinde bir miktar karı da taşımıştı. Haftalardır burada hiç rüzgâr esmemişti ve her dal tamamıyla buz tutmuştu. Dalı çektiği her sefer, ağaçtaki hafif bir sallantıyla karşılaştı. Bu sallanış, çok zayıftı; ama felaketi getirmek için yeterliydi. Ağacın epey yukarısındaki bir dal üzerindeki tüm kar kütlesiyle birlikte aşağıdaki dalların üzerine, onları da devirerek devrildi. Bu durum tüm ağacı kaysayarak ve yayılarak devam etti. Bir çığ gibi büyüdü, adamı ve ateşi uyarmaksızın aşağıya çöktü ve ateş söndü. Ateşin yanmış olduğu yerde küller ile karışmış karlı bir yüzey oluşmuştu.

Adam şok olmuştu. Kendi ölüm cümlesini duymuş gibi oldu."

Bu hikâye bölgenin iklimini kontrol eden "kıtasal kutup hava küt-

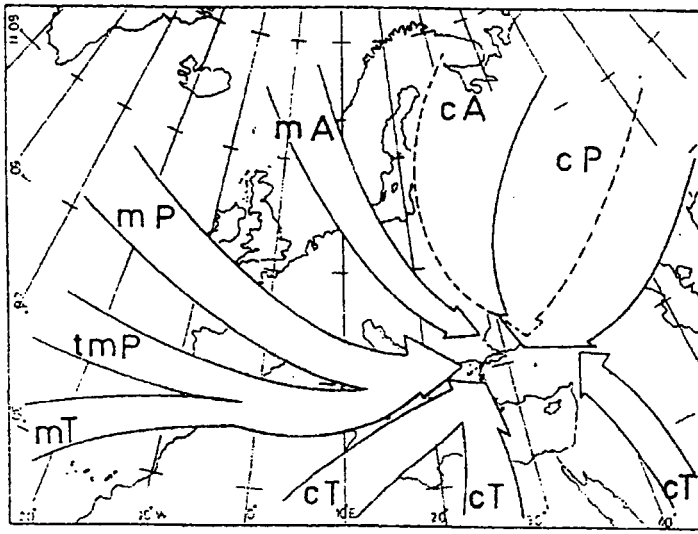
leleri" olarak bilinen donmuş hava kütlelerinin oluşturduğu hava şartlarını kusursuz bir şekilde tanımlar. Çok kuzeyde kışın güneş ya yoktur ya da gökte öyle alçaktır ki, havanın ısınmasında gerçekten çok etkisizdir. Ve en soğuk kış şartlarında bile hava daima bulutsuz olduğundan açıktır. Bu da yeryüzünün ısı enerjisinin uzaya kolayca kaçabilmesine neden olur. Çok kuzeyde hava ne kadar değişmeyip, olduğu gibi kalırsa, o kadar soğur; yalnızca çok hafif rüzgârların estiği bu bölgede, uzun bir süre sonunda hava çok soğur. Gördüğünüz gibi Jack London bütün bu iklim şartlarını "Bir ateş yakmak"ın içerisinde dikkatlice not etmiştir.

Sonuçta, kutuplardaki bu çok soğumuş durumda olan hava yer değiştirmeye başlar. Kuzey Kanada veya Sibirya'dan güneye ilerlerken, orta enlemlere ve üst tropiklere mevsimin en soğuk havasını getirirler. Bu soğuk havanın uzayıp giden hayali sınırını geçerken, sıcaklıkta ani bir değişme ile karşılaşırsınız. Örneğin, bu kutupsal (A) ve tropikal (T) hava arasındaki sınır çizgilerini (örneğin, soğuk cephe gibi) atmosferik cepheler olarak biliriz.

Türkiye, Güney Avrupa'nın doğusunda yer alıp Akdeniz makro-iklim bölgesinde bulunmaktadır. Üç tarafı denizle çevrili ve ortalama 1130 metre rakıma sahip Türkiye, değişik iklim rejimleri ile tanımlanır. Türkiye'nin farklı iklim bölgelerine sahip olmasının iki önemli nedeni vardır. Birincisi Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, Türkiye, tropikal ve kutupsal bölgelerden ortaya çıkan hava tiplerinin ve çeşitli atmosferik karışıklıkların etkisi altında olan bir geçiş zonunda bulunmaktadır.

Türkiye üzerinde etkili olan hava kütleleri de değişik denizler (m) ve kara (c) parçalarını takip ederek birçok değişime uğrarlar. İkincisi, kısa mesafe içinde yükseklikteki hızlı değişim gibi topografik özellikler de Türkiye ikliminde etkili olan en önemli parametrelerden biridir. Bütün bunlar ülkemizin herhangi bir noktasında bizim olmasını umduğumuz hava şartlarını yani iklimleri yaşamamıza neden olmaktadır.

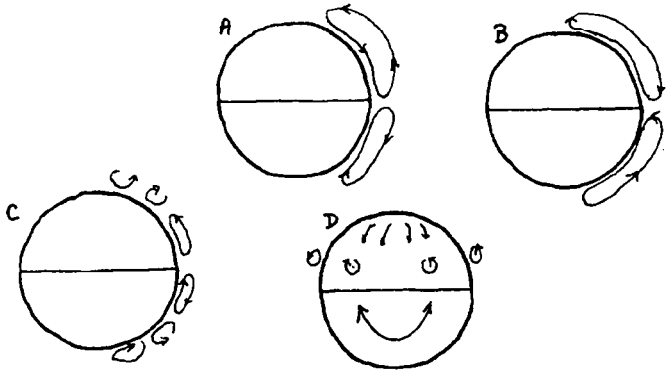
Bilindiği gibi güneş, dünyada hem yaşam kaynağı hem de hava



Şekil 2.1. Türkiye'nin hava şartları ve iklimi üzerinde etkili olan hava kütleleri, onların oluşum yerleri ve takip ettikleri yollar (Kadıoğlu ve ark., 1999).

şartlarının ve iklimlerin nedenidir. Aslında yeryüzüne gelen ışığın ve ısının görsel olarak tamamına yakını güneşten gelmektedir. Bu ışığın dünya yüzeyinde eşit olmayan bir biçimde dağılması sonucu bazı yerler (örneğin, kutuplar) diğer yerlerden (örneğin, tropiklerden) çok daha soğuktur. Bu sıcaklık farklılıkları sonucu, kuzeyin soğuk havası çökerek güneye; güneyin sıcak havası yükselerek kuzeye doğru yer değiştirir. Bu hareketi biz, atmosfer bilimleri jargonunda "baroklinik kararsızlık" olarak adlandırırız. İşte sıcaklık farkları veya bu kararsızlık, atmosferimizi dev bir motor gibi yönetmektedir.

Yalnızca dünyaya gelen güneş enerjisindeki farklılık, dünyanın bugünkü iklim şartlarını oluşturmaya yetmezdi, kuşkusuz. Örneğin kuzeyden güneye doğru dümdüz değil de; ticaret rüzgârları gibi, kuzeyden doğuya doğru eğik bir şekilde esen rüzgârlara, dünyanın kendi ekseni etrafındaki dönüşü neden olmaktadır. Askerliğini topçu olarak yapanlar bilir; dünyanın kendi etrafındaki dönüşü dünya üzerindeki



Şekil 2.2. Dünya kendi ekseni etrafında dönmeseydi, düşey hava dolaşımı nasıl olurdu?

büyük hava hareketlerini hareket yönünün sağına doğru saptırır. (Rahmetli Barış Manço televizyonda her ne kadar bir şeyler gösterdiyse de lavabolardaki suyun dönüşünün bununla hiçbir ilgisi yoktur! Coriolis kuvvet sadece büyük hareketleri etkiler.)

İklim (klimatoloji) dersi verdiğim bir dönem "şunu yazın, bunu tanımlayın" gibi öğrencileri ezbere yönelten sorular yerine "Dünya kendi ekseni etrafında dönmeseydi, İstanbul'un iklimi nasıl olurdu? Neden sonuç ilişkileri kurarak kısaca açıklayınız," gibi öğrendiklerini kullanmaya yönelik birçok 'ahiret' soruları sorardım. Çoktan seçmeli olarak da hazırlanmış olan bu tür sorulardan birinde de aynı soru havanın genel çevrimi için sorulmuştu (Şekil 2.2).

Bakarsınız ÖSS'de de bu tür bir soru çıkar. Lise öğrencileri bunun yanıtını öğrenmeden geçmesin; burada doğru yanıt (a)'dır. Yani, dünya dönmeseydi hava ekvator civarında yükselecek ve kutuplarda çökecekti. Fakat dünyanın dönüşü (c) şıkkında olduğu gibi bir hava sirkülasyonu; çeşitli rüzgâr ve iklimlerin oluşmasına neden oldu.

İlkokuldan beri kutupların eğik, ekvatoral bölgelerin ise dik açıda güneş ışınları aldıklarını ve bunun sonucu olarak ekvatoral bölgelerin kutupsal bölgelerden daha sıcak olduğunu öğreniriz. Ayrıca kuzey yarım kürede güneş ışınlarının temmuz ayında, ocak ayındakilerden da-

ha dik olduğunu ve bu dikliğin yazın kuzey yarım kürede temmuz ayı civarında gerçekleştiğini de biliriz.

Stanley David Gedzelman'a (1980) göre dünya iklimini anlayabilmek için şu üç sorunun da üzerinde düşünmemiz gerekiyor:

1. Neden güneş ışınları ekvatorda yazın tepede, niye kışın kutuplarda alçaktır?
2. Neden güneş ışınları yüksekteyken daha etkilidir?
3. Dünyadaki iklim ve atmosfer, yaşamak için nasıl bu kadar elverişlidir?

İlk soruyu yanıtlayabilmek için Dünya ve Güneş'in pozisyonlarına uzaydan bakmamız gerekiyor. İkinci soru için alçaktan ve eğik gelen ışınların tepeden gelen ışınlardan daha verimli ısıttığını açıklayan Sinüs Yasası incelenmelidir. Üçüncü soru için de gezegenleri şöyle bir incelememiz gerekir. Örneğin bizden Güneş'e çok daha yakın olan Venüs, yaşamak için çok sıcak bir gezegen. Sıcaklığı 1975'te bir Rus kozmonot tarafından 500°C olarak belirlenmiş. Jüpiter gezegeni Güneş'e bizden beş kat daha fazla uzak ve bildiğimiz türden bir yaşam için çok soğuk! Jüpiter üzerindeki bulutlardaki sıcaklık kabaca -110°C olarak belirlendi. Mars, Dünya'dan sonra yaşamı destekleme şansı olan tek gezegen. Biz Dünya'da nasıl bu kadar iyi bir iklime sahibiz? Konuyu dağıtmamak için burada bu soruya bir yanıt aramayacağız. Ayrıca Dünyayı daha iyi anlayabilmek ve onun değerini daha iyi bilmek için güneş sistemini inceleyerek uzaydaki komşularımızı da tanımalıyız.

Dünya ile ilgili özetle birkaç bilgiyi hatırlamak gerekise: Dünya 12 700 km yarıçaplı ve 40 000 km çevreli küre şekilli dev bir kayadır. Dünya, Güneş'e göre yaklaşık olarak 100 kat daha küçüktür. Güneş 1400 000 km yarıçaplı dev bir gaz yığınıdır. Güneş, Dünya'ya ortalama 149,5 milyon km uzaklıktadır. Güneşe saatte 90 km hızla arabayla hiç durmaksızın gitmeye kalksanız (eğer motor su kaynatmazsa!) yolculuğunuz 200 yıl sürerdi...

2.2. Hava Şartları ve Mevsimler

İlkbahar ekinoksu (21 Mart) yaklaşırken: "Takvimlerin ilkbaharda olduğumuzu gösterdiğini biliyorum; fakat bu havalarda kendimi kıştaymış gibi hissediyorum" dediğimiz zamanlar çok olmuştur. Aslında çok büyük kar yağışlarının bir çoğu da kışın değil, ilkbaharda görülmüştür. Belki de takvimler yalan söylüyor!

Günlük yaşantımızda, astronomik ve bilimsel çalışmalarda meteorolojik tanımlamalara göre bir yılı dörde bölen mevsimleri yaygın bir şekilde kullanmaktayız. Standart bir şekilde tanımlanmış olan bu mevsimlerin çok farklı iklimsel özelliklere sahip olan bölgeler için uygun olup olmadığı da günümüzde artık ciddi bir tartışma konusudur.

Ayrıca son yıllarda iklim değişikliklerinin daha belirginleşmesi ile mevsimlerin sürelerinde bir değişiklik olup olmadığı ve hatta "Mevsim kayması mı?" gibi sorular da sürekli olarak gündeme gelmektedir. Bu soruları irdelemeden önce iklimi karakterize eden mevsimler ile mevsimleri karakterize eden hava şartları arasındaki temel farklardan söz etmek zorundayız.



Bu yaz 13 gün gecikti

Deniz GÜÇER - ANKARA

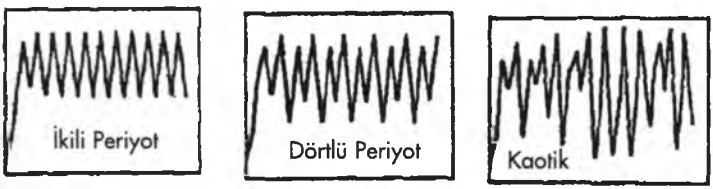
TÜRKİYE, 1997 Haziranı'nın ortalarına gelinmesine karşın henüz yaza "merhaba" diyemedi. Meteoroloji Genel Müdürü Selim Yaşa, herkesin özlemle beklediği yaza "başka bir anormallik ol-

Mevsimler ile hava şartları arasındaki en önemli farklardan biri hava şartlarının, mevsimler gibi periyodik olmamasıdır. Örneğin bir yerin mevsimlerini ve dolayısıyla iklimini sadece kuru ve yağışlı havalar gibi iki tip hava oluşturuyor olsun. Aşağıda Şekil 2.3'de gösterildiği gibi böyle bir yerde bir yıl içindeki mevsimlerin periyodu ikidir. Diğer bir

deyişle mevsimlerin bir birini takip eden tahmin edilir iki çeşit hareketi vardır. Hindistan gibi ülkeler muson adı verilen yılın bir kısmı yağışlı, bir kısmı kuru olan iklimin hâkim olduğu yerlerde durum budur.

Türkiye gibi dört iklimi yaşayan ülkelerde ise dörtlü bir periyod vardır (Şekil 2.3). Bu periyodik hareketler düzenli olarak sürüp gider. Dünyada (daha çok Avrupa'da) sadece bir kere volkan patlaması yüzünden yaz mevsimi yaşanmadığı söylenirse de, ama biraz uzun, ama biraz kısa, her yıl biz dört mevsimi yaşarız. Her zaman, örneğin yazdan sonra sonbaharın geleceğini biliriz. Diğer bir deyişle, hiçbir zaman kıştan sonra hemen sonbahar gelmemiştir ve geleceğini de beklemeyiz.

Mevsimlerin meteorolojik karakterini de oluşturan şeyler günlük hava olaylarıdır. Ve günlük hava olaylarında mevsimlerde olduğu gibi bir periyodiklik beklemek veya bir düzen aramak sadece bir hayaldir. Genellikle hava olayları aşağıda Şekil 2.3'de gösterildiği gibi kaotik, yani karmaşık bir davranış gösterir. Mevsimler gibi, hava şartlarının çok önceden bilinen tekrarlı bir hareketi yoktur. Bu da hava şartları ile mevsimler arasındaki en önemli farklardan biridir.



Şekil 2.3. Düzenli ikili ve dörtlü periyodik hareketler ile birlikte kaotik bir davranışın şematik gösterimleri.

Dinyar Godrej'e (2001) göre günümüzde değişen mevsimlerin işaretleri şunlardır:

1. Şimdi ABD'ye ilkbahar üç hafta daha erken geliyor.
2. İngiltere'de 20 kuş türü, daha önceki yıllara göre yuvalarını do-

kuz gün önce yapmaya başladı.

3. İngiltere'nin güneyinde Marsham ailesi 1736'dan beri ilkbaharın işaretlerini kayıt etmektedir. Bu kayıtlara göre meşe ağacının yaprak açmasında en erken davrandığı yıllar 1990'lı yıllar oldu.
4. Sıcakların artması sonucu, sincap gibi küçük hayvanlar Kanada'da kuzeye doğru göç ediyor.
5. İngiltere'de geçen 30 yılın her 10 yılında, sonbaharın 2 gün geciktiği görülmüştür. İlkbaharın ilerlemesi ise her on yılda 6 gün olmuştur.

Şimdi de "hava şartlarının astronomik mevsimlere uymak zorunda olup olmadığı"na değinmekle birlikte mevsimlerin ne olup ne olmadığını da tartışacağız. Bir de gözlenen hava şartlarına göre dünyanın değişik yerlerinde kullanılan değişik "doğal takvimler" tanıtılacaktır.

Takvimler

İnsanlar geçmişte yaşadıklarına ve gelecekteki beklentilerine bir işaret koyabilmek için zaman kavramını geliştirip kullanmaktadır. Zamanı sayısal olarak ifade edebilmek için de geleneksel olarak gökyüzünde Güneş'in günlük ve yıllık periyodlar ile takip ettiği yollar, Ay'ın bir ay içindeki devreleri gibi gözlenebilen birçok olay kullanılmıştır.

Pratik olarak, zaman içindeki değişik tarımsal, ticari, vergi ve dinsel gözlem ve etkinlikleri işaretlemek için değişik takvimler kullanılmıştır. Bu takvimler, güneşin gök yüzünde aldığı en yüksek pozisyon, dolunay gibi gözlenebilir ve tekrarlanan doğa olaylarına göre hazırlanmıştır.

Güneş takvimleri, güneşin gökyüzündeki periyodik hareketlerini takip eder. Güneş yılı, bir bahardan diğerine akıp geçen zamanı gösterir. Gündönümleri güneş takvimindeki, güneşin yörüngesinin gök yüzünde en yüksek veya en düşük olduğu zamanları gösteren, önemli olaylardır. Şu an kullandığımız ayların kaynaklandığı ay takvimi ise ayın tekrarlanıp duran evrelerine dayanır.

Ne yazık ki, Ay ile Güneş'in periyodik hareketleri (faklı uzunlukları

nedeniyle) birbirleriyle uyuşmaz. Ayın hareketlerine bağlı olarak tespit edilen on iki ayın uzunlukları farklı gün sayılarından dolayı eşit değildir ve bu nedenle ay yılı güneş yılına da tam olarak eşit değildir. Bununla beraber, ayın bu evreleri tam sayılar ile de ifade edilemez. Fakat bizler, küsüratlı sayılar ile uğraşmaktan pek hoşlanmayız. Bu nedenle çok eski yıllardan beri Ay yılları ile Güneş yılları arasındaki bu uyuşmazlığı ortadan kaldırabilmek için değişik ayarlamalar yapılmıştır.

İ.Ö. 1. yüzyılda Julius Sezar, bir yılın 12 ay ile birlikte 365 gün olduğunu ve (eski Roma yılının son ayı olan) Şubat ayının sonuna da dört yılda (artık yıl olarak) bir gün ekleyerek takvim reformu yaptı. 16. yüzyılda da Gregorian takvimini ortaya çıkartan yeni bir düzeltme yapılarak 365,244 gün (veya 365 gün, 5 saat, 48 dakika ve 46 saniye olan), güneş yılına uyduruldu. Gregorian takvimi sadece 400'e tam olarak bölünebilen yüzyılların artık yıl olmasını öngörüyor. Örneğin, 1800 ve 1900 yılları artık yıl olamazken, 2000 yılı 1600 yılından sonraki ile artık yıl oldu. Gregorian yaklaşımı da tam değil ama 3000 yılda bile sadece 1 günden daha az olan bir hataya neden oluyor.

Özellikle bilgisayarla yapılan günlük hesaplarda "Herhangi bir yılın artık yıl olup olmadığı nasıl belirlenir?" gibi bir soru karşımıza çıkabilmekte. Yıllardır verdiğim bilgisayar programlama derslerinde "Herhangi bir yılın artık bir yıl olup olmadığına karar veren bir program yazınız" şeklindeki soruda "artık yıl" kurallarını öğrencilerime şu şekilde anımsatırdım:

Bir yılın artık (Şubat ayının 29 gün olduğu yıllarda gün sayısının da 366 olduğu) yıl olduğunu anlamak için kullanacağınız kriterler şunlar olmalı:

1. Yıl, eğer 4'e bölünebiliyor (kalansız) ama 100'e bölünemiyorsa, artık yıldır.
2. Yıl, eğer 4 ile 100'e bölünebiliyor ve aynı zamanda 400'e de bölünebiliyorsa, artık yıldır.

   Aksi taktirde artık bir yıl değildir.

Mausim, Mevsim, Muson

Arapça'daki "mausim" kelimesinden bizler "mevsim" kelimesini türetmişiz, İngilizler de (monsoon) muson kelimesini. Muson aslında Arap Denizi'nde (kuru ve yağışlı olan) iki mevsimin birinden diğerine geçişi tanımlayan "yönü değişen rüzgârlar" olarak tanımlanır.

Benzer şekilde Vehbi Belgil'in (1995) İstanbul'un mevsimlerini yön değiştiren iki farklı rüzgâr (ve iki farklı mevsim) ile "Bu mevsimler, lodos ve poyraz..." şeklinde yaptığı benzetme de bana musonları hatırlatmaktadır. Belgil, eski İstanbulluların da İstanbul kentinin dört değil iki mevsimi olduğunu söylediklerini belirtip, İstanbul'un bu iki mevsimi bir anda yaşayan bir kent olduğunu söylemektedir.

Günümüzde ise hem muson hem de mevsim kelimeleri orijinalinden biraz farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Örneğin muson kelimesi, artık herhangi bir mevsim boyunca bir hâkim rüzgâr yönünün etkili olduğu ve takip eden mevsimde bu rüzgâr yönünün tersine ya da yaklaşık olarak tersine döndüğü büyük bir coğrafik bölgenin üzerini kaplayan atmosferik hareketlerin tümünü tanımlamakta kullanılmaktadır.

Bu olay, örneğin, kış aylarında Kuzey-Doğu musonlarının yaz aylarında ise Güney-Batı musonlarının etkili olduğu Hint okyanusunun kuzeyi ile Asya kıtasının güneyini kapsayan büyük bir kısım üzerinde meydana gelir. Aslında Asya'nın güneyinde ve Hindistan'da meydana gelmesine karşın, musona benzeyen koşullara Orta Afrika ve Kuzey Avustralya'da da rastlanır. Bunlar musondan çok muson tipi hava durumu olarak adlandırılır. Alçak enlemli bu bölgelerde yağış miktarını değiştiren rüzgâr yönündeki mevsimsel değişimler meydana gelmektedir.

Astronomik ve meteorolojik mevsimlerin yanında bazı sosyo-ekonomik etkinliklerin başlangıç ve bitiş zamanlarına göre tanımlanmış değişik mevsimler de vardır. Örneğin, bitkiler için "Büyüme Mevsimi," tatil beldeleri için "Turizm Mevsimi" gibi. Bu mevsimler de resmi mevsimlere pek uymaz. Ayrıca meteorologlar, hava şartlarına bağlı olarak "doğal mevsimler" ile birlikte, meteorolojik verileri belirli

amaçlara yönelik analiz edip kullanmaya yönelik başka mevsimlerde geliştirip kullanılmaktadır. Örneğin, ısıtma mevsimi, soğutma mevsimi, kar mevsimi, büyüme mevsimi ve su yılı.

Su yılının kullanılmasındaki amaç yılı yağışlı mevsimin başında başlatmak, sonunda bitirmektir. Böylece ekim ayı yağış mevsimin başına veya diğer bir deyişle eylül ayı kuru dönemin sonunu işaret etmek üzere su yılı, 1 Ekimden 30 Eylüle kadarki süredir. Türkiye'de de su ile ilgili çalışmalarda benzer şekilde bu su yılı kullanılmaktadır.

Meteorolojik Mevsimler

Mevsimleri tanımlamanın yaygın olarak bilinen iki yolu vardır. Bunlardan astronomik tanımlama şekli günlük hayatta oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi astronomik ve meteorolojik olarak dünya-güneş ilişkilerinden ortaya çıkan ve bir yılı, yaklaşık olarak dört eşit parçaya bölen mevsimler belirlenirken ne hava şartları ne de iklim özellikleri göz önüne alınmıştır. Bu nedenle de, örneğin, resmen yaz mevsiminin başlamasından haftalar sonra havaların hâlâ yeterince ısınmadığı sık sık gözlenebilmektedir. Genellikle bu gibi durumlarda kamuoyunda mevsimlerin değil de, "Bu yaz 13 gün gecikti" şeklinde hava şartlarının "yanlışlığı" üzerinde durulmakta ve iklimin değiştiği şeklinde spekülasyon yapılmaktadır.

Meteorolojik tanımlamaya göre ise bir yıl üçer aylık peryotlara bölünür ve mevsimler aynı zamanda yıllık sıcaklık salınımına uydurulmaya çalışılır (Trenberth, 1983). Dünyanın hemen hemen her yerinde halk tipik bir şekilde kış mevsiminin yılın soğuk zamanında, yazın da yılın en sıcak döneminde başladığına; ilkbahar ve sonbaharı geçiş mevsimleri olarak düşünür. Böylece (kuzey yarım küre için) yılın en soğuk üç ayı: aralık, ocak ve şubat kış mevsimini; yılın en sıcak ayları haziran, temmuz ve ağustos ayları da yaz mevsimini oluşturur.

İlkokullarda sınıflarımızın duvarlarında asılı olan mevsimler takvimini hatırlarsınız. Öğretmenimiz tarafından hazırlanan, mevsimine

uygun renklerle ve resimlerle süslü ilkbahar, yaz, sonbahar, kış mevsimlerini ilk öğrendiğimiz takvimlerdir bunlar. Mart, nisan, mayıs ayları ilkbahar aylarıdır; haziran, temmuz, ağustos, yaz ayları; eylül, ekim, kasım, sonbahar ayları; aralık, ocak ve şubat, kış aylarıdır. Belki farkında değilsiniz, aslında Meteoroloji Mühendisi Fuat Kurumahmut'un dikkatimi çekmeden önce, ben de bunun farkında değildim. Okullardaki bu bir yılı dörde bölen mevsim tanımlaması aslında meteorolojik bir mevsim tanımlamasıdır.

Pek çok meteorolojist tarafından yapılan çalışmalarda sıcaklığa dayanan bu tanımlama tercih edilmiştir. Böylece kuzey yarımkürede yılın en soğuk üç ayı aralık, ocak, şubat kış (90 gün), yılın en sıcak üç ayı haziran, temmuz ve ağustos yaz (92 gün) olarak tanımlanır. İlkbahar (92 gün) ve sonbahar (91 gün) bu iki mevsim arasındaki geçiş dönemleridir. Mevsimlerin bu tanımlama şekli meteorolojik çalışmalarda oldukça kullanışlıdır.

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi astronomik olarak dünya-güneş ilişkilerinden ortaya çıkan, uzun yıllardır kullanıla gelen ve bir yılı dörde bölen mevsimler fikri de günümüzde tartışılmaktadır (Trenberth, 1983). Bununla birlikte bu tanımlamaya uygun mevsimler günlük hayatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat, örneğin kışın resmen başlamasından haftalar önce veya çok sonra kar yağışları da gözlenmektedir. Genellikle bu gibi durumlarda kamuoyunda mevsimlerin değil de hava şartlarının "yanlışlığı" üzerinde durulmakta ve genelde (gerçek olan) iklim değişikliği kanısı daha da kuvvetlenmektedir.

Şekil 2.4. Astronomik takvim için Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesi üzerinde mevsimlerin belirlenen başlangıç ve bitiş tarihleri.

Benzer şekilde yaz mevsiminin bitişi de "pastırma yazı" olarak adlandırılan ikinci bir yaz yaşandıktan sonra olmaktadır. Astronomik olarak belirlenmiş mevsimlerin başlangıç ve bitiş tarihleri nedeniyle, bu iki yazı hiçbir zaman birlikte düşünmemekteyiz.

21 Mart İlkbahar ekinoksu ile kışa özgü uzun geceler sona erer ve gece ile gündüz uzunlukları birbirine eşit duruma gelir. Yeryüzeyinin güneşlenmeye olan tepkisi aynı anda olamadığından, kışın sonlarına doğru bu şekilde artan güneşlenme süresi ile hava sıcaklıkları doğru orantılı olarak artmaz. Mart ayında artan güneşlenme ile birlikte doğa canlanır ve kış boyunca daha çok iç mekânlarda bulunanlar dışarıya çıkmayı arzular. Güneşlenme süresindeki artışa bakarak "İşte artık yaz geldi dendiği" anda havanın kapanması ile birlikte kış birden bire geri de gelebilir. Bütün bunları da ifade eden "Mart havası gibi bir halde durmaz" ve "Mart kapıdan baktırır, kazma kürek yaktırır," gibi dilimizde öz deyişler vardır.

Bununla birlikte, daha önce de belirtildiği gibi, meteorolojistler sıcaklığı esas olarak bir yılı 3 aylık peryotlara bölmeyi uygun görürler. Her ne kadar hava şartları ve klimatolojik paternler hiç bir standart mevsim tanımlamasının belirlediği peryotlara uymazsa da, mevsimlerin meteorolojik tanımlanması sadece meteorolojik verilerin aylık toplam veya ortalamaları ile bilimsel çalışmalar yapılabilmesi için kolaylıklar sağlar. Ayrıca hava kirliliği gibi belirli zamanlarda görülen problemlere yönelik ölçüm ve gözlemlerin de resmi mevsimlere göre yapılmasının ne kadar doğru olduğu da tartışılmalı bir konudur (Green ve diğerleri, 1993).

Astronomik Mevsimler

Astronomik mevsimlerin hikâyesi Kopernik ile başlar. Nicolas Kopernik (1453 - 1543) Dünya'nın Güneş etrafında döndüğünü bulmuştur. O ana kadar herkes Güneş'in Dünya çevresinde hareket ettiğini düşünüyordu.

Her yıl Dünya, Güneş çevresinde aslında bir elips olan dairesel bir yörüngede döner. Bu yörünge, Samos (İ.Ö. 200) yılında Güneş ile Dünya arası uzaklığı ölçmeye kalkmış ve Güneş'in Dünya'dan çok uzak olduğunu anlamıştı. Bugün artık Dünya'nın, Güneş'ten yaklaşık olarak ortalama 149,6 milyon km uzaklıkta olduğunu biliyoruz. Dünya Güneş etrafında dönerken Ocak 1'de bu uzaklık 147,5 milyon km'ye iner ve Temmuz 1'de 152 milyon km'ye çıkar. Biz böylece Kuzey Yarımkürede Dünya, Güneş'e yakınken kış, uzakken yaz yaşıyoruz!

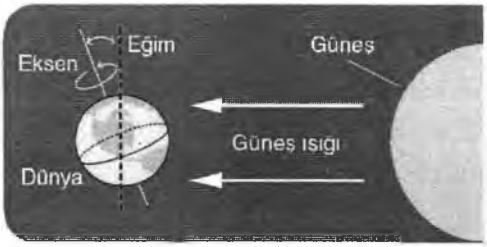
Bu size şaşırtıcı gelebilir... Neden ocak ayında havanın daha sıcak olamadığını düşünebilirsiniz. Ocak 1'de güneş ışığı Temmuz 1'dekinden %7 daha yoğundur. Fakat yaz-kışı belirleyen iki önemli etken vardır. Dünya'da bir bölgenin sıcaklığı, gün ışığı durumu ve güneş ışınlarının Dünya'ya geldiği açıya bağlıdır. Bu iki etken dünyadaki yerinize göre yazdan kışa %100 değişebilir. Bu yüzden Ocak'ta Dünya'nın Güneş'e daha yakın olması ikinci derece önemlidir. Onun etkisi sadece kuzey yarımkürede kışları daha ılık, yazları daha serin yapmaktır. Ve diyebiliriz ki:

a) Temmuz'da Güneş, kuzey yarımkürede daha yüksektedir.

b) Gündüz, ocak ayına göre daha uzundur.

Hatırlatmak gerekirse ekvator düzlemi dünyanın yörünge düzlemine dik değildir, yörünge düzlemine dik bir doğrudan $23^{1/2^{\circ}}$ eğiktir (Şekil 2.5). Buna eksen eğikliği denir ve eğer bu eğiklik olmasaydı, mevsimsel değişimler gözlenemezdi. Ayrıca, Dünya'nın Güneş çevresindeki dönüşü boyunca bu eksen daima aynı doğrultudadır (Kuzey yıldızı yönündedir.) Böylece eksen eğikliği ile güneş ışınlarının konumu daima değişir. Yılda bir kez eksen, Güneş'e doğru kuzey yarımküreden $23^{1/2^{\circ}}$ yatar. Altı ay sonra Dünya, yörüngesinin karşı kenarına geldiğinde kuzey yarımküre Güneş'ten geriye doğru $23^{1/2^{\circ}}$ yatar (Şekil 2.4 ve 2.5).

Böylece mevsimlere bağlı olarak değişen Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığı, Güneş'ten Dünya'ya gelen enerji miktarını iki şekilde etkile-

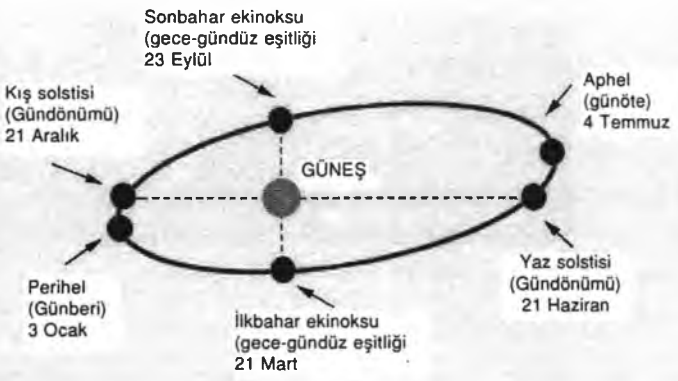


Dünyanin ekseninin eğimi

Şekil 2.5. Dünyanın ekseni etrafındaki eğimi ve aldığı güneş ışınları.

mektedir: Birincisi Dünya'ya gelen güneş ışınlarının açısı ve güneş ışınlarının atmosferden geçerken kat ettiği yoldur. Güneş ışınları Dünya'ya dikken, sadece 1 atmosfer kalınlığından geçerler. Yol ne kadar büyükse güneş ışınlarının yer yüzeyindeki etkisi o kadar düşüktür. Örneğin güneş ışınlarının dik geldiği öğle saatlerinde gün ışığı gerçekten göz kamaştırıcıdır, fakat batan güneş o kadar rahatsız edici değildir. İkincisi gün uzunluğuna bağlı olarak alınan toplam güneş enerjisidir. Böylece, Dünya, Güneş çevresindeki elipsoid yörüngesindeyken ancak belli aylarda belli enlemler güneş ışınlarını dik ve uzun süre alırlar (Şekil 2.4 ve 2.5).

Astronomik mevsimler böylece, ilk ve sonbaharlardaki gece ve gündüzün eşit olduğu ekinokslar ile birlikte yaz ve kış gündönümleri (solistisi) ile bir yıl dört eşit olamayan parçadan oluşur. (Ekinoks –equinox– eşit zaman anlamına gelen Latince bir sözcüktür.) Bu tanımlamaya göre kış solistisinden (21/22 Aralık) ilkbahar ekinoksuna (21 Mart) kadar olan zaman kış (89 gün), ilkbahar ekinoksundan (21 Mart) yaz solistisine (21/22 Haziran) kadar olan zaman ilkbahar (93 gün), yaz solistisinden (22 Haziran) sonbahar ekinoksuna (23 Eylül) kadar olan zaman yaz (93 gün), sonbahar ekinoksundan (23 Eylül) kış solistisine (22 Aralık) kadar olan zaman sonbahar (90 gün) mevsimidir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Astronomik mevsimlere göre ilk ve sonbaharlardaki gece ve gündüzün eşit olduğu ekinokslar ile birlikte yaz ve kış gündönümleri (solistisi).

Her yıl Haziran 21'de Güneş gökte en yüksek noktada bulunur. Buna yaz-gündönümü denir (Yılın en uzun günü). Aralık 21'de Güneş en düşük seviyeye iner. Buna kış-gündönümü denir. Her yıl 365 gün ve gecedir. Mart ve Eylül 21'de Dünya ekseni ne Güneş'e doğru ne Dünya'ya doğru eğilir. Bu yüzden bu iki güne ekinoks denir (Şekil 2.6). Dünyanın her yerinde gece ve gündüz 12'şer saat olur.

Hepimiz yıl içinde meydana gelen gündüz uzunluğundaki bu küçük fakat önemli değişikliği bizler kış ve yaz aylarını karşılaştırarak daha iyi görebiliriz. Yaz ortalarında Güneş, Dünya'nın etrafında dönüyormuş gibi mehtap çizgisinin üzerinde görülür, Güneş her akşam bir önceki akşama göre daha önce batar.

Özetle, güneş enerjisinin değişik büyüklükte Dünya'ya gelmesinin en önemli nedeni, güneş ışınlarının yüzeye mevsimsel değişmelere bağlı olarak değişik açılar ile gelmesi ve günün uzunluğudur.

Doğal Mevsimler

Meteorolojik ve astronomik mevsimlerin yanı sıra, dünyanın pek çok yerinde yine meteorologların her yıl belli hava şartlarının görül-

düğü zamanlara göre düzenlemiş olduğu "Doğal Mevsimler" de meteorolojide kullanılmaktadır.

Osmanlılar da yıl, musonlar gibi, Kasım (kış) ve Hızır (yaz) olmak üzere ikiye ayrılmıştı. Kasım 180, *hızır* 186 gündü. Kasım günleri 8 Kasım'da başlar. Kasımın kırk altısında, kırkgün anlamına gelen *erbain,* seksen altısında elli gün anlamına gelen *hamsin* girer. Böylece kışın en soğuk zamanları sayılan doksan gün geçmiş olurdu. Hatta yaz sonrası yaşanan sıcak günlere "Pastırma Yazı" adı da verilir.

Şinasi'ye göre, "Atasözleri ki avam, halk hikmetleridir, halk felsefesidir; dilinden çıktıkları milletin nasıl düşündüğünü, yani fikirlerinin ne mahiyette olduğunu anlatırlar. Osmanlı atasözlerinin hepsi manalıdır."

Ben de bu düşünceden yola çıkarak Milli Kütüphane Başkanlığı'nın iki ciltlik kitapta topladığı 10 730 Türk - Osmanlı Atasözü ve Deyimleri'ni tarayıp, halkımızın mevsimlere ait gözlem ve yorumlarını özetle "hava kültürümüzü" bir tanımak istedim. Bunun için atasözlerinin bazılarını aşağıya aldım:

Şubatın arpası, martın sıpası.
Mart ayı dert ayı.
Mart ayların çingenesi imiş.
Mart çıkmadıkça dert çıkmaz.
Mart içeri pire dışarı.
Mart martladı tavuk yumurtladı.
Martın dokuzu tefenin otuzu.
Martın onundan, şubatın sonundan korkulur.
Mart sonu kiremitçilere yarar.
Martta yağmasın, nisanda dinmesin.
Kasım gibi yüzü ekşi.
Kasım lodosu gibi insanın beyninde patlıyor.
Kasımın kırkı pastırma ayazı imiş.
Kış güneşi gibi ayda bir defa doğar.
Kış günü kırk türlü.
Kış, kış gerek, yaz, yaz.
Kıştan sonra bahar olur.

Kışın ekmeksiz, yazın gömleksiz yola çıkma.
Kışın soba al, yazın aba al.
Yaz ile kış ayrılır.
Yaz yağmuru gibi, gelir geçer.
Yaz yağmurudur geçer, geçer ama gömleğe.
Yaz gününün yağışı, iki sevgilinin döğüşüne benzer, şimdi gelir şimdi geçer.
Yaz ayransız, kış yorgansız olmaz.
Yaz diye yola çıkarsan, kışı gözüne al.
Yedi iklim dört bucak.
...

Ülkemizin içinde bulunduğu orta enlemlerde hava sıcaklığının yıllık "normal" salınımı, dünyaya gelen güneş enerjisinin karalar üzerinde bir ay, denizler üzerinde ise 6 hafta arkadan takip eder. Bu nedenle, bazen erken gelen güneşli günler nedeniyle yüksek güneşlenmeden ve bazen de kapalı geçen havalardan dolayı birkaç gün öncesi veya sonrasında "kış" ya da "yaz" benzeri hava şartları yaşanabilmektedir. Bu tür hava şartlarını gözetleyen atalarımız geçiş mevsimlerinde yer alan mart ve ağustos ayları için şu tespitlerde bulunmuştur:

Martın on beşi yaz, on beşi kış.
Ağustosun yarısı yaz, yarısı kış.

Aşağıda (Tablo 2.1, 2.2 ve 2.3'de), dünyanın birçok yerinde yapılan doğal takvimlendirme çalışmalarına örnekler verilmiştir. Görüldüğü üzere, mevsimler ve iklim karakteristikleri için belirlenen tarihler incelenen bölgelere göre değişmektedir. Bu nedenle, oluşturulan tablolar dünyanın her yerinde geçerli değildir.

Tablo 2.1. Merkez Avrupa ve İngiliz Adaları'ndaki mevsimlerin takvim dönemlerini karşılaştırmaktadır. Mevsimlerin başlangıç-bitiş dönemlerinin farklı coğrafik bölgelere göre değiştiği görülmektedir.

Tablo 2.1. İngiliz Adaları Ve Merkez Avrupa'da Doğal Mevsimler

Merkez Avrupa'nın Mevsim	İngiliz Adaları'nın takvim süresi	takvim süresi
Şiddetli kış	1 Ocak-14 Şubat	20 Ocak-31 Mart
Bahar öncesi	5 Şubat-31 Mart	"
Bahar	1 Nisan-16 Mayıs	1Nisan-17 Haziran
Erken bahar	17 Mayıs-30 Haziran	"
Şiddetli yaz	1 Temmuz-15 Ağustos	18 Haziran-9 Eylül
Yaz sonu veya sonbahar başı	16 Ağustos-30 Eylül	"
Sonbahar	1 Ekim-15 Kasım	10 Eylül-19 Kasım
Kış öncesi	16 Kasım-31 Aralık	20 Kasım-19 Ocak

Tablo 2.2. Japonya'nın doğal mevsimleri (Yoshino, 1968).

Kış	19 Aralık
Bahar öncesi	18 Mayıs
Bahar	17 Mart
Bahar sonrası	6 Mayıs
Yaz öncesi	18 Mayıs
Bai-u yağmurları	7 Haziran
Yaz	20 Temmuz
Yaz sonrası	6 Ağustos
Sonbahar öncesi	21 Ağustos
Shurin yağmurları	10 Eylül
Sonbahar	10 Ekim
Kış öncesi	26 Kasım

Yoshino (1968) beş yıllık periyotta basınç paternlerini inceleyerek bir tablo geliştirdi (Tablo 2.2)

Tablo 2.3. Dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiş olan doğal takvimler (Bradka, 1966). Mevsimlerin ortalama başlama zamanları.

	Sonbahar	Kış 1	Kış 2
Baur (1958)	16 Ağustos	16 Kasım	1 Ocak
Bradka (1966)	30 Ağustos	1 Kasım	19 Ocak
Bryson&Lahey (1958)	21 Ağustos	1 Kasım	
Chu (1962)	8 Ağustos	7 Kasım	
Dzerdzeevski (1957)	26 Ağustos	7 Ekim	6 Aralık
Multanovski (1920, Bradka, 1966)	13 Ağustos	5 Ekim	27 Aralık
Lamb (1950)	10 Eylül	20 Kasım	20 Ocak
Skata (1950)	29 Ağustos	27 Kasım	27 Aralık
Yoshino (1968)	21 Ağustos	26 Kasım	19 Aralık
Craddock (1957)	15 Eylül		4 Aralık
Zaharova (1969)	24 Ağustos	16 Kasım	25 Aralık

Ben şahsen Saatli Marif Takvimi gibi takvimlerimizdeki bu tür doğal mevsimlere yapılan atıflara, "fırtına" tahminlerinde daha çok güvenmekteyim.

İstanbul'da Mevsimler

Özellikle İstanbul'da ikliminin astronomik takvime uymadığını gösteren, İstanbul'un iklimi için söylenmiş birçok özdeyiş vardır. Bu özdeyişlerin ortak yönü "pastırma yazı" gibi hep bir mevsimin diğerine doğru sarkmasını ve gecikmesini tarif etmeleridir. Örneğin, "Hiç bir mevsim hemen gelmez, hemen gitmez," kanısını da uyandırmış ve İstanbul'un havası için "Benzeye benzeye yaz, benzeye benzeye kış gelir," gibi ifadeler kullanılır olmuştur. Bu gecikmeyi ifade eden başka bir söz de "İstanbul'un kışı sona kalır," şeklindedir (Belgil, 1995).

Vehbi Belgil de, Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'ndeki 28 Ocak

1995 tarihli ve "Karlar ve rüzgârlar" başlıklı yazısında bu "son" ile mart ayını kastedmektedir. Belgil yazısına şöyle devam eder: "İşte artık yaz geldi dediğiniz anda kış birden geri gelir, ağaçlar aldanır, soğuk algınlıkları başlar.

Fikret Martında bunu şöyle söyler:

> "Donmuş bakışlarıyla o, soğuk yüzüyle kış
> Ayrılmak istiyor, fakat ayrılmıyor gibi
> Örter, açar bakar, gene örter bulutları
> Birçok sürer bu kararsızlık, bu nazlanış."

Meteoroloji Yüksek Mühendisi Nevin Çağlar ile beraber yaptığımız yüksek lisans tez çalışmasında biz de İstanbul'un mevsimlerinin meteorolojik olarak tanımlanan mevsimlere ugunluk gösterip göstermediğini İstanbul'da gözlenen sıcaklık değerleri kullanılarak saptamaya çalıştık. Bu amaçla Kandilli Rasathanesi Meteoroloji Laboratuvarı'nın 1912-1993 yıllarına ait sıcaklık verileri önce grafiksel olarak analiz edilmiş sonra da kümeleme ve ana bileşen çözümlemesi gibi ileri istatistik yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Bu çalışmada da astronomik ve meteorolojik olarak tanımlanan mevsimlerin İstanbul için uygun olup olmadığı belirlendikten sonra, kayıt edilen sıcaklık değerleri kullanılarak İstanbul için grafiksel olarak gözlenen klimatolojik mevsimlerin başlangıç ve bitiş tarihleri şu şekilde belirlenmiştir:

Mevsim	Meteorolojik	Astronomik	Grafiksel
İlkbahar	Mart-Mayıs	21 Mart-21 Haziran	6 Mart-30 Mayıs
Yaz	Haziran-Ağustos	22 Haziran-22 Eylül	30 Mayıs-29 Eylül
Sonbahar	Eylül-Kasım	22 Eylül-22 Aralık	29 Eylül-3 Ocak
Kış	Aralık-Şubat	22 Aralık-21 Mart	3 Ocak-6 Mart

Bu mevsimler meteorolojik mevsimlerle karşılaştırıldığında İlkbahar mevsiminin süresinde önemli bir farklılık olmadığı, yaz mevsiminin, pastırma yazına doğru süresinin bir ay uzadığı, sonbahar mevsiminin süresinin bir ay kışa kaydığı, kış mevsiminin süresinin de bir ay kısa olduğu görülür.

Kandillinin 82 yıllık aylık ve günlük ortalama sıcaklık verileri, kümeleme ile birlikte dönmüş ve dönmemiş ana bileşenler gibi ileri istatistiksel yöntemler uygulanarak, benzer aylar gruplandırılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar şöyledir:

Mevsim	Meteorolojik	Astronomik	İstatistiksel
İlkbahar	Mart-Mayıs	21 Mart-21 Haziran	Şubat-Haziran
Yaz	Haziran- Ağustos	21 Haziran-22 Eylül	Temmuz-Ağustos
Sonbahar	Eylül-Kasım	23 Eylü-22 Aralık	Eylül-Ekim
Kış	Aralık-Şubat	22 Aralık-21 Mart	Kasım-Ocak

İstanbul'un klimatolojik mevsimleri olarak adlandırdığımız bu mevsimleri meteorolojik mevsimlerle karşılaştırdığımızda, ilkbahar mevsiminin süresinde uzama; yaz ve sonbahar mevsimlerinin sürelerinde ise kısalma; kış mevsiminin süresinde herhangi bir değişiklik olmamakla beraber bir ay geriye doğru kayma olduğu saptanmıştır.

Green ve arkadaşları (1993) tarafından sıcaklık, rüzgâr ve yağış verileri kullanılarak California için yapılan benzer bir çalışmada sıcaklık ve rüzgâr verilerinin kümeleme analizinden aynı mevsimler bulunurken, yağış verilerinin kümeleme analizinden farklı mevsimler bulunmuştur. Bu nedenle ileriki çalışmalarda sıcaklık verileri kullanılarak İstanbul için yapılan bu incelemenin diğer veriler ile de yapılarak elde edilen mevsimlerin klimatolojik mevsimlerin kararlaştırılması yararlı olacaktır. Ayrıca, bunlarla birlikte ortalama sıcaklıklar yerine maksimum ve minimum sıcaklıkların ayrı ayrı ele alınması daha da faydalı olacaktır.

Sadece aylık sıcaklık ortalamalarına bakarak kesin bir kanıya varmak doğru olmaz. Bununla birlikte okuyucu, eğer İstanbul'da uzun bir süredir yaşıyorsa, Meteorolojik, Astronomik, Grafiksel ve İstatistiksel olarak belirlenmiş olan mevsimlerden hangisinin daha gerçekçi olduğuna karar verebilir. Ben şahsen İstanbul'da istatistiksel analizlerin belirlediği mevsimleri yaşadığımıza inanıyorum.

Sonuç olarak serin ve yağışlı (sıcak ve kuru) havalar, hep normal atmosfer sistemleri tarafından oluşturulmaktadır. Serin ve yağışlı havalar ile küresel iklim değişikliği, hele hele küresel ısınma arasında ilişki kurmak sadece bir spekülasyondur.

Gelişmiş ülkelerde astronomik takvimlerin bu yanıltıcı yönü meteorolojik olaylara duyarlılığı fazla olan kimseleri "Meteoroloji veya Doğal Takvimleri" kullanmaya yöneltmektedir. İster astronomik, ister meteorolojik takvim kullanılsın, havanın hiç bir zaman bu takvimlerin belirlediği tarihlere tam olarak uyması beklenmemelidir. Çünkü bu havanın doğasına aykırıdır ("havai" bir şeydir şu hava!).

2.3. Meteorolojik Rekorlar

Hiç düşündünüz mü, ömrünüz (diyelim 70 yıllık bir süre) boyunca şu ana kadar gördüğünüzden daha büyük bir günlük yağış miktarını en az kaç defa daha görebilmeyi beklersiniz? İstatistiğe göre bunun sayısı yaklaşık olarak 5'tir. Diğer bir deyişle, istatistiğin rastlantı kanunları, hiç değişmeyen bir iklimde bile geçmişte görülmeyen meteorolojik olayların ortaya çıkmasıyla sıcaklık ve yağış miktarlarında belirli sayıda rekor değerlerin ölçülmesini normal karşılamamız gerektiğini ifade eder.

Ancak, resmi meteorolojik ölçümlere bakarak, örneğin "Bugün benim hayatımda yaşadığım en sıcak sekizinci 1 Haziran," diyebiliyorsanız, bir iklim değişikliğinden şüphe edebilirsiniz. Yoksa insan belle-

ği özellikle 365 günde bir ve uzun yıllar öncesi yaşadığı hava şartlarını sağlıklı bir şekilde hatırlayacak ve kıyaslayacak kadar güçlü değildir. (En azından benim için durum böyle!) Salt hafıza kayıtlarına dayanarak, "Bu ne sıcak, iklim değişti, ozon tabakası delindi," şeklinde yapılan yorumlar bizleri yanıltabilir.

Rahmetli Mehmet Köksal Hocamız "Hava Analizi ve Tahmini" kitabının ilk sayfasına Lord Kelvin'den şöyle bir alıntı koymuştur: "Söylediğiniz şeyi ölçebiliyor ve onu sayı ile ifade edebiliyorsanız, konu hakkında bazı şeyler biliyorsunuz demektir. Fakat onu ölçemiyor ve sayı ile ifade edemiyorsanız, bilginiz zayıf ve yetersizdir." Şimdi normal vatandaş gidip meteorolojiye, bastırıp parayı meteorolojik veri alıp inceleyecek değil tabii ki. Ama Lord Kelvin'in sözü, bilim insanları için bağlayıcıdır ve bilim insanları ve/veya akademik unvan taşıyıcılar mutlaka ölçümlerden sayılar ile ifade edilen sonuçlara göre konuşmalıdır. Sayılara biraz sonra bakacağız; önce neden "havalar çıldırdı" deniliyor ona bir bakalım.

Günümüzde ölçülen meteorolojik parametreler, daha önceki yıllarda gözlenenlerden daha büyük veya küçük olarak bir rekor değere ulaşabilir. Hava şartlarında meydana gelen bu tür değişimler, meteorolog olmayanları oldukça şaşırtmaktadır. "Aniden bastıran yağmurlar," normalin üzerinde gözlenen yüksek hava sıcaklıkları, "Havalar çıldırdı mı?, "Sera etkisi ve ozon seyrelmesi iklimimizi gerçekten değiştirdi mi?" gibi kafaları kurcalayan soruların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Aşağıda yer verdiğim değerli dostum Orhan Bursalı'nın, 18 Temmuz 1992 tarihli Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'nde yer alan "Havalar çıldırsa bile her şey normal!" başlıklı yazısında olduğu gibi bu sorular, şüphesiz çok kuvvetli varsayımlara dayanmaktadır.

"Havalar çıldırsa bile her şey normal!

Artık şunu öğrenmemiz gerek: Hava durumu ile ilgili hiçbir değişik durum, farklı gelişme, şaşırtıcı değil ve her şey normal. He-

men bu işin uzmanlarını arayıp yahu ne oluyor? demenin bir anlamı yok. İki hafta önce şiddetli sağanaklar ve 3-5°C'lik sıcaklık düşüşleri yaşanınca, bunun olağan olmadığını düşünüyorduk... Acaba değişen bir şeyler mi var? Öyle ya iklim değişikliği gündemden inmiyor. Gerçi bu iklim değişiminin uzun bir dönemi kapsadığını biliyoruz, ama güncel yaşanan olaylara da bir yorum getirmek gerekir değil mi?

Avrupa ülkelerine baktık, orada neler oluyor diye. Spiegel *dergisi korkunç kuraklıktan söz ediyor. Papazlar, kuzey Almanya'da yağmur duasına çıkmış. Kuraklık kasıp kavurmuş her şeyi. İskandinav ülkeleri de normallerin çok üzerinde sıcak günler yaşamış, kuraklık orada da var. Ama aşağılarda Stuttgart'ta örneğin alışılmışın iki misli yağmış. Kopenhag, kuraklığın merkezi. Würzburg'da bir kadın, arabası sel sularında sürüklenip gidiyorken son anda kendini dışarı atmış ve boğulmaktan kurtulmuş. Kuzeyde böylesine kuraklık en son 1891'de yaşanmış. Yani yüzyıl önce...*

Eh yüzyılda bir yaşanan olay da normal olamaz, öyle değil mi? Düşünün, bir insan yaşamı içine bile sığmıyor. Gerçi havalar her zaman insanı şaşırtabiliyor. Hava değişikliğinin salınım uçları 100 yıla kadar uzanabiliyor. 200 yılda da olabilir bu. Hava durumunu etkileyen o kadar çok girdi sayıyor ki uzmanlar, anladığımız kadarıyla bunlar arasındaki hakim ilişkilerin düzeneğindeki ufak değişiklikler, bize havalar çıldırdı mı dedirten sonuçlara yol açabiliyor.

Meteorologlar bunları normal karşılıyor. Havanın ne yapacağı belli olmaz! Pekin'de bir "kelebek kanat çırpsa; New York'ta bu, fırtınaya neden olabilir" saptamasını da onlar yaptıklarına göre, yapacak bir şey yok demektir. İyi bilinmeyen bir şey, her şey olabilir. Ele avuca almadığımız bir olay hakkında kesin yargıda bulunamayız. Bu açıdan meteorologlarımıza ve dünya meteorologlarına hak veriyoruz.

Ama gene de havalar çıldırdı! Bir insan beynindeki kimyasal

süreçlerin, bilişimlerin değişimi nasıl mental farklılıklara yol açıyorsa (isterseniz buna delirme durumu diyebilirsiniz), havalarda da normallerden 10 yılda bir de olsa, 25 yılda bir de olsa sapmalar, bir delirme durumunun işaretidir. Bunun bir nedeni olmalı, öyle değil mi?

Spiegel *dergisi de kendi meteorologlarına sormuş ve doyurucu bir yanıt almış. Şöyle: Avrupa'da hava durumunu bu aylarda belirleyen Azor yüksek basıncı kuzeye kaymış. Bu nedenle de alçak basınç alanları değişmiş. Kuraklık ve şiddetli yağmurlar da bu alçak basınç sistemlerinin değişimi sonucu. Akla müthiş yatkın. İşte bunu arıyoruz diye düşündük. Peki niçin yer değiştirmiş yüksek basınç alanımız böyle birdenbire? Acaba bu yer değiştirme mi Türkiye'deki şiddetli yağışların nedeni? Yoksa, daha önce kapak konusu yaptığımız gibi, iki yıl üst üste yaşanılan volkan patlamalarından atmosfere yayılan kükürtlü akımlar Güneş'i engelliyor mu yer yer? Basınç alanı bu nedenle mi değişti meteorologlarımızın güldüklerini hissediyoruz..."*

Aşağıda örnekler ile açıklamaya çalışacağım gibi, sporculara benzer şekilde meteoroloji de rekorlar kırar. Ve her gün dünyanın herhangi bir yerinde meteorolojik bir rekor kırılmaktadır da. Atmosfer bütün meteorolojik rekorları kırar, ama bütün fiziksel kurallara da tamamen uyarlar. Nasıl mı? Şöyle!

Meteorolojide Rekor Kırma

İstatistiksel olarak meteorolojide rekorlar, günümüzde ölçülen meteorolojik parametrelerin daha önceki yıllarda gözlenenlerden daha büyük ya da daha küçük olmasıyla kırılır. Glick'e (1978) göre bağımsız gözlemlerin, gözlem sırasına göre dizilişlerinden elde edilen, dizisinde maksimum rekorun teorik olarak beklenen değeri,

$1+1/2+1/3+...+1/n$

olasılıklarının toplamıdır. Yıllık meteoroloji olaylarında rekor kır-

ma, kayıt ve gözlem sürelerine bağımlıdır. Bir bölgeye yeni kurulmuş ve gözlemlere yeni başlamış bir meteoroloji istasyonunda 10 yıl içinde rekor kırabilecek soğuk kışları göz önüne alırsak, teorik olarak "beklenen" rekor sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$1/1 + 1/2 + 1/3 + ... + 1/10 = 2.92$

Diğer bir deyişle,

1. yılın rekor olasılığı	1/1= 1,00
2. yılın 1. yıldan küçük (daha soğuk) olma şansı	1/2= 0,50
3. yılın, 1. ve 2. yıldan daha soğuk olma şansı	1/3= 0,33
.	.
.	.
.	.
10. yılın, 1., 2., ... ve 9. yıldan daha soğuk olma şansı	+ 1/10=0,10
	2,92

ilk 10 yıl için yaklaşık olarak toplam en az 3 adet rekor kıran soğuk kış mevsimi beklenebilir.

Glick'e (1978) göre, analiz yaparken, kronolojik bir dizideki gözlemler ele alındığı zaman kolayca göze çarpan rekor değerinin, ne kadar sıklıkla bir önceki değeri aşacağına dikkat etmek gerekir. Rekor kırma yılının kaç tane olduğu hesaplanırken, rekorların ne zaman kırıldığı önemli değildir. Çünkü 1 yıl sonra da rekor kırılabilir, 10 yıl sonra da rekor kırılabilir. Önemli olan daima en son rekor değerinden biraz daha fazla (ya da küçük) olmasıdır.

Yaşantımız boyunca beklenen rekor sayısı için 70 yıllık bir periyot düşünelim. Yukarıdaki gibi 1/70 kadar ardışık ihtimalleri toplamamıza devam etmek zorundayız. Bu ihtimaller, 1'den 70'e kadar tüm yılların karşılıklarıdır. 70 yıllık periyot içinde rekor kırma olasılığı yaklaşık olarak 5'dir.

$1/1+1/2+1/3+... +1/70 \cong 5$

100 yıllık gözlem süresi için de aynı işlemi devam ettirirsek, yaklaşık 5 tane daha önce hiç gözlenmemiş rekor beklenmektedir.

$1/1+1/2+1/3+... +1/100 \cong 5$

Örneğin, n=1000 olduğu zaman beklenen rekor sayısı sadece 7,49'dur.

Gerçek verilerle, teorik olarak beklenen değerleri karşılaştırdığımızda ne olur? Ralph (1980) tarafından yapılan çalışmada 1942'den 1978-1979'a kadar 37 kış mevsimi için Chicago'da rekor analizi yapılmıştır. 37 tane kasım ayı boyunca 1942'den 1978'e 4 rekor kırma sayısı vardır. Bu sayı, aralıkta 4; ocakta, şubatta ve martta 4; nisanda 6'dır. Ortalaması 4,3'dür. Fakat, gerçekte gözlenen değer 7 olarak belirlemiştir. 107 yıllık kış mevsimi boyunca ise en soğuk üç ay için Chicago'da ortalama sıcaklık, düşük sıcaklıklarda 5 tane rekor kırıldığını göstermiştir. Bu durum teorik olarak hesaplamalarla elde edilen 5,2 değerine çok yakındır.

Uzun bir zaman periyodu demekle, şimdi burada 10 000 veya 100 000 yıllık bir süre kastedilmektedir. 10 000 yıl için rekor kırma olasılığı 10'dan biraz daha azdır. Bu yüzden zaman içinde birbirinin yerini alan hava olaylarını anlatan basit bir model uygun olmayabilir. Eğer iklim trentleri ihmal edilmezse, gerçek rekor kırma olasılığı basit model tahmininden farklı olacaktır (Glick, 1978).

Havanın, ekstrem uzun zaman için rastgele bir değişimde gittiğini düşünürsek; beklenen rekor kırma sayısı yavaş bir şekilde artar. Daima kar yağışı gözlemi yapsak bile acaba beklenen sayı çok büyük olur mu? Matematiksel ifadede ardışık gelen bütün olasılıkların toplamı sonsuz (sınırsız) bir şekilde büyük olacak mı?

Bilgisayarlarda çok büyük sayıların ardışık gelen olasılıklarını topladığımızı düşünelim. Bu durumun formal yorumunu burada vermeyeceğim. Fakat, bu toplamın her adımında bir önceki adımdan daha küçük bir sayı toplama eklenecektir. Dolayısıyla periyot uzadıkça top-

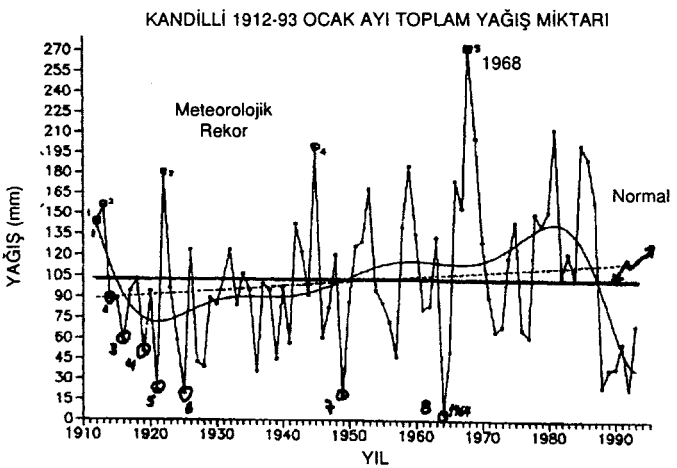
lam çok büyük olmayacaktır.

Soru : 100 rekor kıran kış mevsimi görmek istersek ne kadar zaman beklemeliyiz?

Yanıt : 12 bin 367 kış geçmelidir!

İstanbul'da Rekorlar

İstanbul'da, örneğin, Kandilli Rasathanesi'nde uzun yıllardır kayıt edilen hava şartlarını temsil eden önemli meteorolojik parametrelerden biri olan yağışın, 1912 yılından 1993 yılına kadar olan 82 yıllık gözlemlerini ele alalım. Bu kayıtlardan yararlanarak istatistiğe göre "İstanbul'da, örneğin 1981 Ocak ayında görülen şiddetli yağışlar normal midir?" sorusunu irdeleyelim. 82 yıllık kayıtlardan yararlanılarak İstanbul'da ölçülen ocak aylarındaki toplam yağışın yıllara göre dağılımının zaman dizgisi aşağıda verilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil. 2.7. İstanbul (Kandilli) 1912-1993 Ocak aylarına ait toplam yağış dizisi.

Her zaman olduğu gibi 1981 Ocak ayında İstanbul'da "ansızın patlayan" veya gözlenen yağışlar pek çok kişiyi şaşırtıp, hatta telaşlandır-

mıştı. Hiç düşündünüz mü, İstanbul'da hayatınız boyunca şu ana kadar gördüğünüzden daha büyük miktardaki yağışı en az kaç defa daha göreceksiniz? İki? On?..

Burada daha fazla yağışla, yani yağışın daha fazla, daha fazla değerlere ulaşarak rekor kırmasını ele alıyoruz. Bu nedenle Şekil 2.7'deki "normal" çizgisinin üzerindeki aşırı yağışlarda görülen rekorlar bizi ilgilendiriyor, çünkü yağış değerleri genellikle daha yüksek bir değere ulaşarak rekor kırabilir. Genellikle kurak yerlerde günlük ve hatta aylık toplam yağışın en küçük değeri her zaman sıfırdır. Bu durumda yağış eski değerde olamayacağı için sadece tek yönde rekor kırabilir.

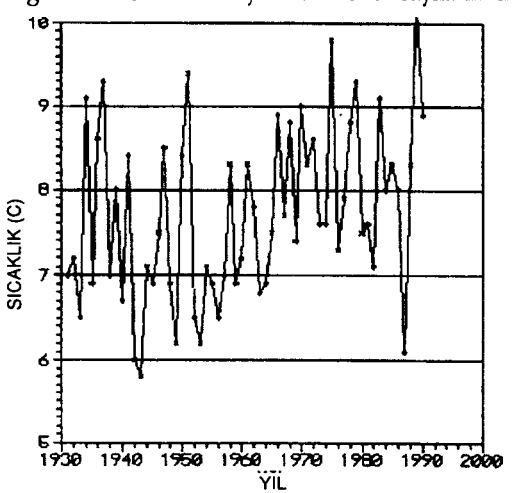
Yukarıda teorik olarak 100 yılda 5 rekor kırılmasının normal olacağını gördük. Bu değeri Kandilli meteoroloji istasyonunda yapılan gözlemler ile kontrol ederek değişen iklim ile birlikte "İstanbul'da havanın çıldırıp çıldırmadığına" karar verelim. Kandilli'de, ilk yağış rekoru (Şekil 2.7'ye göre) 1912 yılı Ocak ayında gözlenen ilk değerdir, yani metrekareye düşen yağış miktarı yaklaşık olarak 140 kg'dır. Grafikten görüleceği gibi, bu yağış miktarı 1913 yılında kaydedilen 160 mm'lik toplam yağış miktarı ile aşıldı ve böylece ocak ayında görülen en yüksek toplam yağış miktarında 2. rekor kırıldı. Daha sonra 1922'de 180 mm ile 3. rekor, 195 mm ile 1945 yılında 4. rekor ve 260 mm ile 1968 yılında İstanbul'da 5. ve serideki son rekor kırıldı. Örneğin, 1981 Ocak ayında gözlenen 200 kg'lık toplam yağış, 1968 yılından sonra görülen en yüksek toplam yağış miktarı, fakat yeni bir rekor değildir.

Yine yukarıdaki grafikten görüleceği gibi, Kandilli yağışlarındaki düşük yağış rekorlarının sayısı oldukça fazladır. Gerçi yağışlardaki en düşük değer (rekor) sıfır ile sınırlanmıştır ama en yağışlı mevsim olmasından dolayı kışın, aylık toplam yağışların İstanbul'da yüksek olmasını bekleriz. Böylece, Şekil 2.7'de Ocak ayının düşük yağış rekorlarının sayısının 8 olduğu görülmekte. Bu değer beklenen rekor sayısı 5'den oldukça yüksektir. Başka bir ilin Ocak ayı yağışlarına ya da Kandilli'nin başka bir ayının yağışına bakarsanız onlarda da en az bek-

lenen kadar ve hatta beklenenin çok üzerinde bir sayıda rekorlar kırılmış olduğunu görürsünüz. Kuraklık olan birçok yerde yüksek yağış miktarlarında büyük sayılarda artan yağış miktarı rekorları da görürseniz sakın şaşırmayın. Yıllık, mevsimlik toplam yağışların önemli olduğu yerlerde bir günün veya bir ayın çok büyük miktarlarda yağış almış olmasının fazla bir önemi ve yararı yoktur. Aslında rekorları kıran "yağış rejimidir" miktarı değil.

Şüphesiz yıllar sonra kentlerimizi ve kırsal alanlarımızı felç eden bu şiddetli yağmurların nedenleri merak konusudur. Kaotik bir yapıya sahip atmosferde görülen hareketlerin niçinlerini kolayca açıklamak mümkün değildir, ama bu tür şiddetli hava şartlarından korunmanın bazı basit yolları vardır.

Küresel ısınma daha çok akıllara hava sıcaklığını getirir ve hava sıcaklıkları daha yüksek veya daha düşük bir değere sahip olarak iki yönde de rekor kırabilir. Örnek olarak İstanbul'da kayıt edilen günün en düşük hava sıcaklıklarının, yani gece sıcaklıklarının, aldığı en büyük ve en küçük değerlerine bakarak iki yöndeki rekor sayılarını inceleyelim.



Şekil 2.8. İstanbul (Göztepe'de) 1931-1990 yılları arası ilkbaharda gözlenen minimum sıcaklıkların zaman serisi.

Yukarıda (Şekilde 2.8) Göztepe'de ilkbahar mevsimine ait minimum (gece) sıcaklıklarının 60 yıllık bir zaman periyodu boyunca değişimi görülmektedir. İlk yılda gözlenen sıcaklık değerinin üzerinde kalanlar minimum sıcaklıkların yüksek değerleri, altında kalanlar minimum sıcaklıkların düşük değerleri olarak tanımlanmaktadır.

Bu rekor kırma sayıları, teorik olarak hesaplandığında beklenen rekor olasılığı nedir? Yukarıdaki teorik hesap örneklerindekilere benzer olarak 60 yıllık bir periyot için beklenen rekor sayısı yaklaşık 5 olarak hesaplanır. Bununla birlikte, Göztepe'de ilkbahar mevsiminde gece sıcaklıklarının ekstrem yüksek değerlerinde gözlenen rekor sayısı 7'dir, düşük değerlerinde gözlenen rekor sayısı ise 4'dür.

Bu durumda minimum (gece) sıcaklıklarının yüksek değerlerinde kırılan rekor sayısı beklenen rekor sayısından daha fazla, düşük değerlerinde kırılan rekor sayısı ise beklenen rekor sayısından daha azdır. Ekstrem yüksek sıcaklık değerlerinde giderek daha fazla rekor kırılarak sıcaklık trendinin pozitif bir eğilimde olduğu (bunu destekleyici diğer kanıtların ışığında) söylenebilir. Diğer bir deyişle, İstanbul'da gece sıcaklıklarında önemli bir artış var ve bu ileriki bölümlerde başka şekillerde gösterilecektir. Şimdi problemimiz, gece sıcaklıklarındaki bu ısınmanın nedenini belirlemektir. Küresel ısınma mı? Yoksa şehir ısı adası mı? Bu sorunun yanıtını ileriki bölümlerde arayacağız.

Türkiye Genelinde Sıcaklık Rekorları

Bugüne kadar yapılan birçok çalışmada, gözlenen meteorolojik rekorlar, iklim değişimine bağlanmıştır. Fakat literatürde, aylık ekstrem değerlerin sayısından farklı olarak rekor analizi ile ilgili yapılmış çok az çalışma vardır. Örnek olarak Ralph (1980) ve Glick (1978) verilebilir. Her iki çalışmada da tek istasyon üzerinde inceleme yapılmıştır. Ralph (1980) maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanarak maksimum ve minimum rekor kırma sayılarını iklim değişimine bağlamıştır. Glick (1978) ise maksimum ve minimum sıcaklık verileri

kullanarak maksimum ve minimum rekor kırma sayılarını belirlemiştir. Fakat bunların iklim değişikliği ve iklim dalgalanmaları ile ilişkisini araştırmamıştır.

Degaetano (1996) tarafından yapılan bir çalışmada, ABD'nin kuzeydoğusunda 1951-1993 yılları arasında yıllık ortalama maksimum ve minimum sıcaklık verileri incelenmiştir. İlk yılda gözlenen sıcaklık değerini aşan yüksek değerlere ve altında kalan düşük değerlere göre eğilim bileşenleri belirlenmiştir. Buna göre 1959'dan 1993'e kadar olan sürede minimum sıcaklıkların düşük değerlerinde istatistiksel olarak azalma eğilimine yönelik önemli trend bileşenleri bulunmuştu. Degaetano çalışmasında, aynı görüşü paylaşan Knapp ve ark., (1993)'nın da, düzensiz bir şekilde anormal sıcaklık artış veya azalışlarının meydana geldiği olayları, önemli iklim değişimlerine bağladığını söylemektedir. Gates ve arkadaşlarına (1990) göre, iklim modelleri verilerinden yerel ölçümler yapılan bir meteoroloji istasyonunda rekor kıran yüksek sıcaklıkların frekansının da tahmin edilmesi mümkündür. Karl ve arkadaşlarının (1993b) yapmış oldukları çalışmada ise, ABD'de son 10 yılda ekstrem yıllık minimum sıcaklıklarda ısınma, ekstrem yıllık maksimum sıcaklıklarda soğuma gözlemiş olduğunu belirtmektedir.

Ortalama sıcaklıkların yerine ekstrem hava sıcaklıklarının çok büyük sosyal ve ekonomik etkiler meydana getirebileceği belirtilmektedir (Karl ve ark. 1993b). Gerçekte bu ekstrem sıcaklıkların meydana getirdiği durumları genel anlamda bir iklim değişimine bağlamak doğru mudur? Gerçekten rekor değerler, belirgin sıcaklık değişimine neden oluyor mu?

Popüler bir görüşe göre de, iklim değişikliği sonucunda yüksek sıcaklıkların (ekstrem gündüz sıcaklıkların) özellikle yaz mevsiminde, hem büyüklüğü hem de frekansı artacaktır. En büyük ve en küçük değerler ekstrem değerlerdir. Ekstrem değer istatistiği, veri grubundan sadece en küçük ve en büyük değerleri kullanan veri analiz me-

todundan gelir (Hershfield, 1973).

Bazı spekülasyonlara göre, atmosferin artan sera etkisi günün her zamanında hava kütlelerine ısı ilave edecek ve böylece rekor kıran yüksek sıcaklıkların frekansında önemli artışlar olacaktır (Balling, 1992). Bu iddialar sadece basında ve halk arasında dolaşan bilimsel olmayan söylentiler değildir. Bilimsel literatürde de küresel ısınmanın ekstrem yüksek sıcaklıkların frekansını, diğer bir deyişle yüksek sıcaklıklarda kırılan rekor sayılarının arttıracağı iddia edilmektedir (Mearns ve arkadaşları (1984), Hansen ve arkadaşları (1988). Ekstrem yüksek ve düşük sıcaklıkların insan ve hayvan sağlığı, tarımsal üretim, su kaynakları ve enerji kullanımı ile yakından ilişkili olduğu düşünülürse bu konunun oldukça önemli olduğu görülür.

Şu ana kadar ülkemizde yapılan çalışmalarda genellikle hava sıcaklıkları ele alınmıştır. Bu çalışmalarda, genellikle maksimum ve minimum sıcaklıkların aylık ortalamalarından oluşan veri setleri kullanılmıştır. Sıcaklık ortalamalarının yanı sıra sıcaklık ekstremleri, yağış toplamları, güneşlenme toplamları, bulut örtüsü, kar örtüsü ve göl seviyeleri gibi birçok iklim elemanındaki değişimin de analizi yapılmalıdır. Aylık ortalama sıcaklıkları kullanan çalışmalar, sıcaklık ortalamalarındaki en küçük değişime çok bağlıdır. Bu nedenle bu yöntemler klimatolojik zaman serilerindeki hata ve problemlere karşı çok hassastır. İklim serilerindeki gözlem hatalarının yanı sıra, istasyonun yerinin değiştirilmesi, istasyon çevresindeki fiziksel değişim ve şehirleşme gibi etkenler sıcaklık ortalamaları üzerinde sıcaklık ekstremlerinden daha çok etkilidir. Bu nedenle ortalama sıcaklıkların yerine ekstrem sıcaklıkların kullanılması ile hem klasik iklim serileri problemleri ve hataları aza indirgenebilir, hem de ekstrem değerlerin analizi ile ekstrem ve ortalama sıcaklıklara ait iklim serilerindeki trendlere değişik bir bakış açısı getirilebilir.

Bütün nedenlerden dolayı Meteoroloji Yüksek Mühendisi Füsün Kemeroğlu (1997) yaptığı Yüksek Lisans tez çalışmasında, öncelikle

Türkiye üzerinde ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıklarda bir artış olup olmadığını belirlenmeye çalışmıştır. Ayrıca ekstrem değerler ile ortalama maksimum ve minimum sıcaklık trendlerini de belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirip denemiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmadaki yöntemler, verilerdeki hatalara ve verinin dağılımına daha az duyarlı olarak, verilerin küçük değerlerine fazla bağımlı olmayıp ekstrem değerlere bağlıdır. Bu analiz ile Türkiye genelinde gözlenen rekor değerlerin, önemli sıcaklık değişimleri ile beraber görülüp görülmediği de araştırılmıştır.

Kemeroğlu yaptığı çeşitli analizler sonucunda, istatistiksel anlamda %5 önem seviyesine ulaşan maksimum ve minimum sıcaklıkların ekstrem değerlerinde gözlenen rekor kırma sayılarındaki artış veya azalışların, yersel dağılımdan çok, mevsimlere göre zamansal dağılımın daha belirgin olduğunu göstermiştir.

Türkiye genelinde gündüz ekstrem sıcaklıklar, istatistiksel anlamda gece ekstrem sıcaklıklara göre ya hiç artış göstermemiş ya da çok az artış göstermiştir. İlkbahar ve kış mevsimlerinde ekstrem gündüz sıcaklıklarında %5 oranında değişim olan istasyonlar çok azdır. İstatistiksel anlamda da önemli değişimin olduğu yerlerde gözlenen ekstrem sıcaklıklar azalma eğilimindedir. Fakat Türkiye geneline bakıldığında, ilkbahar ve kış mevsimlerinde gündüz, ekstrem sıcaklıklarında artış olduğu görülmüştür. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise, ekstrem sıcaklıklar bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Yaz mevsimi boyunca Güneydoğu Anadolu'nun dışında kalan hemen hemen tüm yerlerde ekstrem sıcaklıklar azalma eğilimindedir. Özellikle ağustos ayında Karadeniz bölgesinde soğuma eğilimi daha belirgindir. Sonbahar mevsiminde ise, ekstrem sıcaklıklarda önemli değişimler görülmemektedir. Fakat, yaz mevsimine benzer olarak Türkiye'nin doğu ve batı sınırının dışında kalan yerlerde ekstrem sıcaklıklarda azalma meydana gelmiştir.

Kemeroğlu'na göre ekstrem gece sıcaklıklarındaki değişimin ekst-

rem gündüz sıcaklıklarından farkı, istatistiki anlamda gece sıcaklıklarındaki trendlerin daha önemli olmasıdır. İlkbahar mevsiminde ekstrem gece sıcaklıklarında %5 seviyede önemli artış eğilimi görülmüştür. Kış mevsiminde de, ilkbahar mevsimine benzer olarak ekstrem gece sıcaklıklarında artış eğilimi vardır. Kuzeydoğuda bu artış, beklenenden daha fazladır. Sonbahar mevsiminde ekstrem gece sıcaklıklarında beklenene yakın rekor kırma sayıları elde edilmiştir. Sıcaklıklar genelde artış eğilimindedir. Yaz mevsiminde ise, özellikle ağustos ayında Karadeniz'de gece %5 önem seviyesinde ekstrem sıcaklıklarda azalma görülmüştür.

Ekstrem gece sıcaklıklarında meydana gelen bu değişimler ekstrem gündüz sıcaklıklarında meydana gelen değişimlerden daha belirgindir. Gece sıcaklıklarının gündüz sıcaklıklarından daha fazla artmasıyla gözlenen maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki fark (aralık) dizisinde bir azalma meydana gelmektedir. Gece, özellikle ilkbahar ve kış mevsiminde net olarak önemli sıcaklık artışları görülmektedir. %5 önem seviyesine göre belirgin sıcaklık değişimlerinin olduğu bölgeler, genellikle sınır kesimlerde bulunmaktadır. Bölgesel değişimlerden çok, zamansal sıcaklık değişimleri daha belirgindir.

Genel olarak, istatistiksel anlamda %5 önem seviyesine ulaşmış rekor farkları, ortalama sıcaklıkların değişimi hakkında yorum yapılmasını sağlamaktadır. Ancak kullanılan yöntemin, bazı durumlarda meydana gelen değişime yeterli cevap veremediği görülmüştür. Bu durumlarda, kırılan rekor sıcaklık değerlerinin, birbirlerini kaç derecelik sıcaklık farkıyla geçtiği çok önemlidir. Rekor değerler arasında az miktarda artış gözlenmesi, rekor kırma sayısını artırabilir. Fakat bu durum, sıcaklıkların zaman içinde artış eğiliminde olduğu anlamına gelmeyebilir. Böylece yöntem yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bunun için, gözlenen rekor sayılarını, teorik olarak hesaplanan rekor sayısı ile karşılaştırmak yerine, kendi zaman serisi içindeki sıcaklıklarla değişimlerine de bakılmıştır. Gözlenen rekor sayıları ardışık 10 yıllık ara-

lıklarla ortalama sıcaklıklarla karşılaştırılmıştır. Buna göre, sıcaklık rekorlarının her zaman ortalama sıcaklıklarda önemli değişime işaret etmediği görülmüştür.

Kemeroğlu'nun çalışmasında elde edilen sonuçlara göre de ortalama maksimum ve minimum sıcaklıkların ortaya koyduğu trendler ile ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların ortaya koyduğu trendler genelde uyum içinde; fakat bazı istasyonlarda ortalama sıcaklıklar ısınma gösterirken, ekstrem sıcaklıklar soğuma veya bunların tersini gösterebilmektedir.

2.4. Hava Şartları ve Normalleri

Bazen meteoroloji raporlarında, "Bu hafta hava sıcaklıkları mevsim normallerinin altında seyredecektir," şeklinde ifadeler kullanılır. Böylece, hava sıcaklıklarının veya yağış miktarlarının "mevsim normallerinin altında veya üstünde" olması durumları kamuoyu tarafından kolyaca "iklim değişimi" olarak yorumlanabilmektedir. Bu sorun sadece Türkiye'de değil hemen hemen dünyanın her tarafında benzer şekilde yaşanmaktadır.

Bu nedenle, ABD Ulusal Şiddetli Fırtınalar Laboratuvar'ından Profesor Chuck Doswell, "normal" hakkındaki yanlış algılamalar üzerine yazdığı uzun makalesinde şu noktalara dikkat çekiyor:

1. *Havanın en belirgin karakterinden biri değişimdir.*
2. *Ortalama demek, tipik hava şartları demek değildir. Gerçekte "normal" olarak adlandırılan 30 yıllık (veya başka bir uzunlukdaki) verinin ortalamasına benzer hava şartları çok nadiren gözlenebilir. Diğer bir deyişle, gerçekte "normal hava diye bir şey yoktur".*
3. *Ortalamaları (normalleri) bilmek bir bölgedeki tipik hava şartını bilmek demek değildir. Daha önemlisi bir bölgedeki*

havanın değişkenliğinin bilinmesidir. Havanın değişkenliği aynı zamanda içinde bulununan zaman ve yer ile de ilişkilidir.

4. *Meteorolojide kullanılan "normaller" bir bölgedeki uzun yıllar ortalamasıyla diğer bir deyişle iklimi ile aynı şey değildir. Meteorologların kullandığı bu kelimenin anlamı, belleklerdeki normal tanımına da uymaz ve "bu olağan ve bildik hava şartları" demek değildir. Meteorolojide kullanılan "normal" kelimesi kullanılmadan önce meteorolojide nasıl tanımlandığını ve hesaplandığının bilinmesi gerekir.*

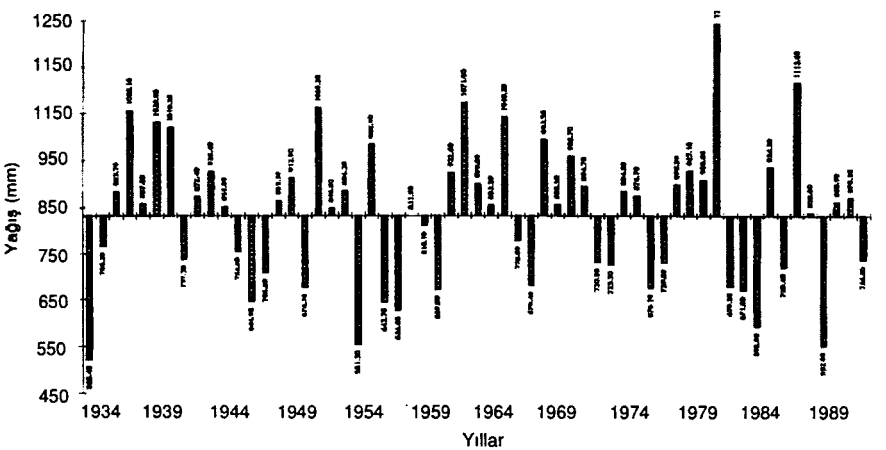
Doswell'in de söylediği gibi bir kere meteorolojide normallerin, iklimin en önemli özelliklerinden biri olan "değişim" olduğu ve bu özellik göz önüne alınarak her on yılda bir meteorolojik "normallerin" de değiştiğini unutmamak gerekir. Bu nedenle, 1991'den itibaren kullandığımız normaller 1961-1990 yılları arasındaki 30 yılın ortalamasıydı. Şu an 2001 yılından itibaren 1971-2000 yıllarının ortalamasını "normal" olarak kullanmaktayız veya kullanmamız gerekmektedir. 2011 yılından itibaren de 1981-2010 yıllarına ait ortalamalar normal olarak kullanılacaktır.

Örneğin, meteoroloji ve iklim biliminde, mesela İstanbul için 22 Hazirandaki sıcaklığın günümüzdeki normali, 1961-1990 yılları arasındaki 30 adet 22 Haziran günlerinin sıcaklık ortalaması ile verilir. Bu 30 yıllık ortalamada kullanılan yıllar her 10 yılda bir değişir. Örneğin 2001 yılında, 22 Haziranın sıcaklık ortalaması 1971-2000 yıllarında gözlenen 22 Haziran sıcaklıklarının bir ortalaması olacaktır. Buradan da görüldüğü gibi değişen zaman ve iklim şartları ile birlikte iklim veya mevsim normalleri de değişmektedir.

Burada öncelikle dikkat edilmesi gereken şey, hava sıcaklıklarının, normallerinin üstünde veya altında bir süre seyretmesinin iklim değişikliğinin işareti olamayacağıdır. Yine örnek olarak ele aldığımız

22 Haziran sıcaklıklarının yıldan yıla değişimini incelersek, bugünün bir yıl normalinin üzerinde; bir değer bir yılda normalinden daha düşük başka bir değere sahip olarak zikzaklar yaptığını görürüz. Diğer bir deyişle 22 Haziran çok nadiren, normal denen ortalama sıcaklıkta seyreder. Sıcaklıklar, genellikle normalden büyük veya küçüktür. Meteoroloji raporlarında "normalin üzerinde" veya "normalin altında" gibi ifadeler iklim değişikliğini belirtmek için değil, sadece değişiklikleri karşılaştırmak amacı ile kullanılmaktadır.

Benzer şekilde aşağıda Şekil 2.9'da Kandilli Rasathanesi tarafından İstanbul'da kayıt edilen yıllık yağış toplamlarının bir grafiği verilmiştir. Bu grafikte yıllık toplam yağışların 1951-1980 normal dışı olan farkları çizilmiştir. Diğer bir deyişle, ortadaki düz çizgi Kandilli için yıllık toplam yağışın normalini göstermektedir.



Şekil 2.9. Kandilli Rasathanesi tarafından İstanbul'da 1934-1992 yılları arasında kayıt edilen yıllık yağışların 1951-1980 ortalamasından farkları. Ortadaki çizgi "normali", çubuklar da normal dışı eksiklik ve fazlalıkları göstermektedir.

Bu grafiğe göre İstanbul'da yıllık toplam yağış sadece ve sadece 1958'de "normal yıllık toplam yağışa" biraz benzemektedir. Diğer yıllarda yağış toplamları ya normalden fazla ya da azdır. Diğer bir deyiş-

le yağış miktarları normalin etrafında sürekli olarak değişmektedir. Örneğin 1934, 1954 ve 1989 yıllarında olduğu gibi bazı yıllarda yağış miktarı normalinde çok düşük olmuş (diğer bir deyişe kuraklık yaşanmış); 1937, 1962 ve 1981 yıllarında da çok yüksek olmuştur (diğer bir deyişle ıslak bir yıl, belki de seller yaşamışız). Gerçekte hava şartlarının bu değişkenlik gösteren davranışı çok nomaldir. Yoksa "normal" olarak adlandırılan çizgiyi takip eden bir yağış, hava şartları veya dünya da yaşamak "normal" olmayacaktı.

Özet olarak hava şartları, çok nadir olarak normallerinde seyreder. Atmosferin normal yapısı ve davranışı da budur: Hava çok havaî bir şeydir ve atmosfer çok kaotik bir ortamdır. Hava şartlarında ne bir normallik ne de bir periyodiklik filan vardır; atmosferi tanımalı ve yıllardır dünyanın her yerinde yapıla gelmiş çalışmalara bakıp ders almadan konunun uzmanı olmayan kişilerce yağışta veya kuraklıkta periyodik filan aranıp "Amerika" ya da "tekerlek" yeniden keşfedilmeye çalışılmamalıdır.

2.5. Göllerimiz ve İklim Elemanlarındaki Salınımlar

Marmara Bölgesi'nde yaşadığımız son iki büyük depremden sonra bölgedeki suları da artık daha dikkatlice izler olmuştuk. Böylece, "Sapanca Gölü Taşıyor!" diye 2000 yılının ilkbaharında gazetelerimizde manşetler çıkmıştı. O zamanlar bir internet gazetesinde "Havadan-Sudan" adlı köşemde haftalık yazılar yazıyordum. Bu başlıkları görünce ben de "Sapanca Gölü Taşmıyor!" diye aykırı bir yazı yazmıştım.

Anlatmak istediğim, çok normal bir şekilde gölün bazı canlılar gibi (bana göre göller, dağlar, diğer bir deyişle doğa canlıdır!) "kış uykusundan uyanıp ve gerinmeye başlaması" ile birlikte esas taşkınlık yapan ve sınırlarını aşanların, Sapanca Gölü etrafında su altında kalmış park, bahçe ve turistik tesisleri yapan insanlar olduğuydu.

Birçok gölde olduğu gibi Sapanca Gölü'nün sonbahar başlarında en düşük seviyede olan su seviyesi, mart ayının son haftasında, güneyindeki dağlarda biriken karların erimesi ile yükselmeye başlamıştı. Diğer bir deyişle, her sene nisan ayında olduğu gibi o günlerde Sapanca Gölü yükselmeye başlamıştı. Hatta etrafındaki şehirler ve sanayi tesisleri tarafından gölden eskisi kadar su çekilmemesinden dolayı da, artık göl uzun yıllar önceki çok daha yüksek olan su seviyesine ve kıyı çizgisine dönebilecekti...

Sonuç olarak, basında ele alındığı gibi bu gölümüz "taşmış" ya da "bendine sığmıyor" değildi. Sapanca ve Van Gölü kıyılarında yaşananlardan ders almazsak, küresel ısınma sonucu yükselen deniz su seviyeleri tüm kıyılarımızı etkileyince ne yapacağız bakalım!

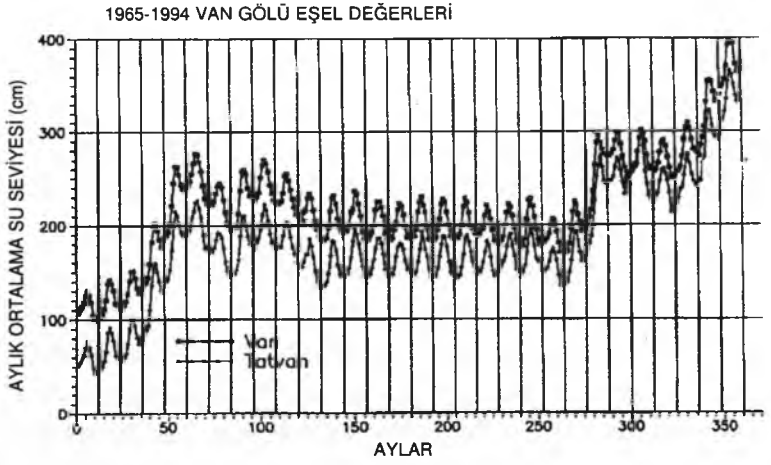
Evet, göl su seviyeleri çok alçaldığı veya yükseldiği zamanlarda çevrelerinde büyük ekonomik kayıplar ortaya çıkar. Ülkemizde 1987 yılında görülen Van Gölü'ndeki su seviye yükselmesi, güneş lekelerinden Keban Barajı'na kadar birçok değişik nedene bağlanmıştı. Sonra da pek çok kişi, Sapanca Gölü'ndeki yükselmeyi depremler ile ilişkilendirmişti.

Entegre kalkınma projesi GAP'ın, kısmen de olsa tamamlanması ile birlikte Güneydoğu Anadolu, GAP-Mezopotamya ve dolayısıyla Doğu Anadolu ile birlikte Van Gölü kapalı havzası kadar, yakın bölgedeki iklim elemanlarında da önemli değişikliklere neden olduğu öne sürülmektedir. Van Gölü'nde ortaya çıkan aşırı su seviyesi yükselmelerinin nedeninin, gölün su bütçesi, güneş lekeleri veya GAP entegre kalkınma projesi çerçevesinde yakın bölgede oluşturulan yapay baraj gölleri ile ilgili olup olmadığı araştırılıp ayrıntılı olarak ortaya konulabilirdi. Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'nin Yayın Danışmanı Orhan Bursalı ve Şahika ve Asaf Ertan çiftinin desteği ile Prof. Dr. Zekaî Şen ve Eşref Batur ile yaptığımız araştırmalar sonucunda yurtiçinde ve yurtdışındaki saygın bilim dergilerinde dördü A tipi olmak üzere birçok makaleler yazarak o zamanlar Van Gölü'nün neden yükseldiğini

uluslararası bilim ortamlarında tartışarak açıklamaya çalışmıştık.

2000 Ağustos ayı itibari ile Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kuraklıktan dolayı Van Gölü'nün suları geri çekilmiş durumda. Fakat geçmişte olduğu gibi gelecekte de iklim elemanlarındaki değişimler ister küresel, ister yerel olsun denizlerle birlikte göllerimizdeki su seviye değişimleri sürekli olarak gündeminizi meşgul edecektir. Bu nedenle, göllerimiz ve iklim elemanlarındaki *salınımlar* arasındaki ilişkileri özellikle Van Gölün'deki tecrübelerimizden yararlanarak incelemek ve anlamamızda yarar vardır.

"Van Gölü'nün su seviyesi, 1648 metre civarında iken 1987-1994 yılları arasında hızlı bir şekilde yükselerek 1650 metre kotuna ulaşmıştı (Şekil 2.10). Bu şekilde 8 yılda yaklaşık olarak 2 metre yükselen Van Gölü'nün tuzlu ve sodalı sularının alçak kodlu yerleri basması nedeniyle, tarlalar, binalar ve yollar kısmen tahrip olmuş; kıyı erozyonu nedeniyle kıyıdaki dinlenme ve eğitim tesisleri kullanılamaz hale gelmiş; göl üzerindeki su taşımacılığı, demir ve karayolu ulaşımı, kısaca göl etrafında sosyal ve ekonomik faaliyetlerin önemli bir kısmı aksamıştı.



Şekil 2.10. Van Gölü'nün su seviyesindeki değişimler. EİEİ tarafından 1965-1994 Van ve Tatvan'da yapılan su seviye (eşel) ölçümleri arasındaki farklılıklar.

"Van Gölü örneği, Türkiye'de kıyılarda yoğunlaşan şehirleşme ve sosyal ve ekonomik etkinlikler, iklim değişiklerine karşı ne kadar duyarlı bir hale geldiğimizi bugünden göstermektedir. 2000'li yılların ortalarında Türkiye genelinde daha çok hissedilmeye başlanacak olan küresel iklim değişikliği ve deniz suyu seviye yükselmeleri, önemsenmezse, bir ulusal afete yol açma riski vardır." Kadıoğlu, 1993 ve 1997) Bu nedenle, bilimsel çevreler ve kamuoyunun aklına takılan gölün su seviye yükselmeleri ile ilgili iddialar üzerinde burada kısaca durularak Van Gölü'ndeki su seviye yükselmelerinin nedeni açıklanmaya çalışılmıştır.

Öncelikle Van Gölü civarında yapılmış arazi çalışmaları ve tarihi kayıtlar, Van Gölü'nün su seviyesinde tarih boyunca büyük değişim gözlendiğini ortaya koymaktadır. Yağışlı periyodlar, yüzeysel akışlar ile göle su girdisini arttırıp buharlaşmayı azalttığından, göldeki su hacmi artmıştır. Kurak periyodlarda bunun tersi görülmüş ve göldeki su seviyesi düşmüştür. Diğer bir deyişle, Van Gölü'nden olan su çıktısı büyük ölçüde buharlaşma ile olmaktadır. Bu nedenle de bu kapalı göldeki su hacmi, havzaya hakim iklim şartlarına, özellikle yağış ve buharlaşmaya karşı çok duyarlıdır.

Hidrolojik çevrimin en büyük girdi ve çıktılarını atmosfer sağlamaktadır. Eğer Van Gölü'ndeki su seviyesi normalin üzerinde ise, su girdisi yani yağış yüksektir ve/veya çıkış, yani buharlaşma düşüktür. Su seviyesinde aşırı yükselmeye neden olan şartlar değişse bile göl yüksek su seviyesini uzun süre koruyabilir. Genellikle yaz aylarında gözlenen su seviyesindeki maksimum, kar erimesi ve mevsimsel yağışların en fazlası ilkbaharda olması sonucudur. Su seviyesindeki minimumun genellikle kış aylarında gözlenmesi ise az yağış ve büyük buharlaşmadan dolayıdır. Bazı çalışmalara göre açık (bulutsuz) gökyüzü ve yüksek sıcaklıkların hakim olduğu yaz ve sonbahar ayları ile birlikte, soğuk ve kuru havanın hakim olduğu kış aylarında (ağustostan aralık ayına kadar) göllerden buharlaşma ile olan su kaybı maksi-

mum değerdedir (Changnon, 1987; Balek ve ark., 1994; Bingham ve ark., 1985; Brutsaert, 1982; İkebuchi ve ark., 1988).

Yarı-kurak bir bölgede bulunan Van Gölü, kıyısındaki iklimi yumuşatarak bölgede bir "vaha" etkisi göstermektedir. Bu yükseltide kışın hava şartları oldukça ağır geçmektedir. Hava sıcaklıkları kışın birçok kez 0° C'nin altına düşmektedir. Böylece, yağışın çoğu bu göl havzasında kışın kar şeklinde görülmektedir. Önemli yağışlar ise ilkbaharın sonlarına doğrudur. Temmuzdan eylüle kadar ki üç aylık periyot, ortalama hava sıcaklıkları 20 °C civarında olmak üzere en kurak ve kuru zamandır. Bu periyotta günlük (gece-gündüz) sıcaklık farkı da 20 °C'dir.

Herhangi bir doğal su çıkışı olmayan Van Gölü 600 km^3 su içermektedir. Van Gölü havzası volkanik kayalar ile kaplıdır ve gölün tabanı yoğun bir çamur ile örtülmüştür. Bu yüzden jeofiziksel çalışmalar da göl tabanından olan sızmanın ihmal edilebileceğini belirtmektedir. Van Gölü büyük bir su kütlesi oluşturduğu için havzadaki yağış rejimini de değiştirmektedir. Genel olarak gölün su seviyesi, ilkbahar ve yazın, çevresindeki karasal alandan daha ılık, sonbaharın sonları ile kış aylarında ise daha sıcaktır. Nispeten ilkbaharın sonu ve yaz mevsiminde daha soğuk olan göl su yüzeyi, havzada gökgürültülü fırtına ve sağanak yağışlarına neden olmaktadır (Detwiller, 1974; Changnon ve Jones, 1972; Eichenlaub, 1970; Guo ve Schuep, 1994; Changnon ve Satnley, 1973). Kışın ise soğuk ve kuru olan siklonik-cephesel hava sistemleri, göl üzerinde ısınıp nem ile yüklendiği için Van Gölü'nün doğusunda "Göl Etkisi" nedeniyle daha fazla kar yağışıyla ortaya çıkmaktadır (Kadıoğlu, 1993b; Kadıoğlu ve ark., 1994).

Kış aylarında düşük sıcaklıklar ve yüzey akışının donması, havzadaki derelerde su azlığına; yağmurlar ve Van Gölü'nün çevresindeki yüksek dağlarda biriken karların erimesi, ilkbahar ve yaz aylarında derelerde su fazlalığına neden olmaktadır. Böylece göldeki su genellikle, temmuz ayında en yüksek, ocak ayında ise en düşük seviyesine ulaşmaktadır. Normal iklim şartlarında, yıl içindeki su seviyesinde gö-

rülen bu yükselme ile alçalma arasında ortalama 50-60 cm'lik bir fark vardır (Şekil 2.10).

Van'ın kuruluşunda ve yüzyıllar boyunca varlığını sürdürmesinde, sahip olduğu bol su ile toprakları sulanabilen verimli bir ovanın bulunmasının da büyük payı vardır. Su yapıları bakımından da İ.Ö. 9. ve 6. yüzyıllar arasında Doğu Anadolu Bölgesi'nde hüküm süren Urartu Krallığı'nın kısa ömrüne rağmen, Van'da inşa ettiği baraj ve sulama kanallarının dünyada bir eşi daha yoktur. Günümüzde bile türkülere konu olan 51 km uzunluğundaki Menua (Şamran) kanalı Van Ovası'nı çok eskilerden beri kesintisiz olarak sulamaktadır. Belli (1989)'a göre dünyanın hiçbir yerinde 2800 küsur yıldır sürekli çalışan başka bir su kanalına rastlanmamıştır. Benzer şekilde, Van'da yaklaşık olarak deniz seviyesinden 2544 metre yükseklikte bulunan Keşiş Göl Barajı, şu anda hem Anadolu'nun hem de dünyanın en yüksek rakımlı barajını oluşturmaktadır, (Belli, 1989).

Her ne kadar Van Gölü'nün denizden olan yüksekliği, derinliği ve kapladığı alan hakkında eski kaynaklarda çok değişik rakamlar veriliyorsa da, normal iklim şartlarında göl yüzeyinin deniz seviyesinden olan ortalama yüksekliğinin 1646 metre olduğu kabul edilir (Kafalı, 1976). 1936 yılında Türkiye'de yayınlanmış Hayat Ansiklopedisi'ne göre düşük buharlaşma nedeniyle göl seviyesi sürekli olarak yükselmektedir. Rüzgârın sakin olduğu günlerde göl suyunun içinde fark edilen yapı kalıntıları da göl sularının gün geçtikçe yükseldiğinin işareti olarak ifade edilmektedir. Ayrıca gölün kuzeydoğusunda yer alan sığ Erciş körfezi ile güneydeki doğu-batı doğrultulu derin çanağı birbirinden ayıran boğazın çevresinde görülen yıkıntılar, eskiden burada iki göl varken, daha sonra yükselen sular ile bu iki gölün birleşerek Van Gölü'nün bugünkü şeklini almış olduğuna dair görüşlerin ileri sürülmesine neden olmuştur.

Aynı kaynağa göre, orman bakımından bugün Türkiye'nin en fakir bölgelerinden biri olan Van havzasında, 1930'lu yıllarda Tatvan ve da-

ha güneydeki iskelelerden Van'a, Karçigan kazasının ormanlarından indirilen odun ve kömürün nakledildiği belirtilmektedir. Erciş Kale adası, Van Gölü'ndeki birçok adadan biridir. Bu kale önceleri karaya bitişikken 1887'den sonra gölün yükselen suları ile ada halini almıştır. 1899'da da Kozmabağ ve Çelebibağ köyleri de dereden uzakça bir yerde iken sonraları kısmen su altında kalmıştır.

1994 yılında basılan Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi'ne göre, yöre halkının deniz olarak adlandırdığı Van Gölü su seviyesinin örneğin 1740, 1810, 1850 ve 1875-1880 yıllarında normalinden daha yüksek, 1852 ve 1892 yıllarında ise daha alçak olduğu bilinmektedir. Hatta seviye yükselmesinden dolayı Erciş ilçesi, kıyıdan içeriye doğru yer değiştirmiştir. Dördüncü Zaman'daki yağışlı ve soğuk dönemlerde ise gölün daha büyük seviye, alan ve hacim değişikliğine uğradığı, sahil dolguları ve eski kıyı çizgilerinden kanıtlanmaktadır. Bu kanıtlar, göl seviyesinin bugünkü normal seviyesinden 10-15, 25-30 ve 45-50 metre yükseklikte olduğunu belirtmektedir. Özgür (1995) belirttiğine göre eski kıyı çizgilerine bağlı olarak, günümüzden 18 bin yıl önce Van Gölü su seviyesi bugünkü seviyesinden 72 metre daha yüksekte bulunmaktaydı. Bu yüksek seviye de, o zamanki hava sıcaklıklarının 5 °C daha düşük ve havanın daha fazla yağışlı olmasına bağlanmaktadır.

Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, eskiden yapılan bilimsel çalışmaların da, Van Gölü'nde gözlenen su seviye yükselme ve alçalmalarını bölgedeki iklim değişimlerine bağladığını belirtmektedir.

Göl ve deniz kıyılarında yaşayanlar, yazın en yüksek ve kışın en düşük olan su seviyelerinde yıldan yıla ortaya çıkan değişimleri gözlerler. Bu değişimler, basit periyodik "salınım" göstermez (Şekil 2.10). Göl seviyelerinin çok alçaldığı veya yükseldiği zamanlarda çevrede büyük ekonomik kayıpların ortaya çıkması nedeniyle, bu problem hep meteorolojik araştırmalara konu olmuş ve bu konuda çok sayıda yayın yapılmıştır. Genelde göllerdeki su seviye salınımları, yağış, akış ve buharlaşma gibi klimatolojik faktörlerin kompleks etkileşimine gölün tepki

göstermesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar (Brinkmann, 1985; Cohen, 1986; Changnon, 1987; Cohen ve Allsopp, 1988). Bu çalışmalar çeşitli yönlerden mutlaka incelenmeli ve gerekli dersler alınmalıdır. Bu çalışmalar incelenmeden ve dünyanın, böyle bir soruna karşı verdiği mücadeleden ders alınmadan Van'a yapılacık uzun vadeli yatırımlar, ülke kaynaklarının boşa harcanmasına neden olacaktır.

Türkiye'de Van Gölü'ndeki su seviye değişimleri başlıca üç nedene bağlı olarak açıklanmaya çalışılmaktadır: (a) Su bütçesi, (b) taban hareketleri, (c) dünya dışı etkiler, (Kadıoğlu, 1994b).

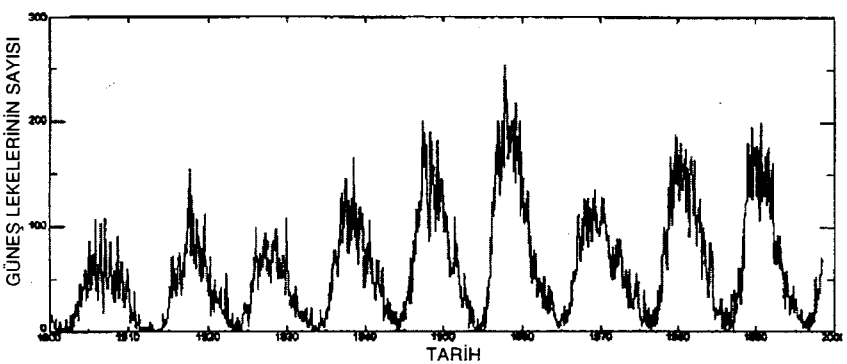
Tektonik Nedenler

Katı yer bilimcileri, Van Gölü'ndeki su seviyesinin yükselmesine, tektonik terimiyle tanımlanan yerkabuğu hareketlerinin neden olmadığını belirtmektedir (Barka ve Şaroğlu, 1995). Özgür (1995) yerkabuğu hareketlerinin uzun jeolojik periyotlar içinde yıllık mm ölçeğinde değişmeye neden olduğunu ve büyük depremlerde bile yüzeyde ancak cm ölçeğinde kırıklar oluşabileceğini, gözönüne alarak Van Gölü'nde son 8 senede 2 metreye varan su seviyesi yükselmesinin tektonik hareketlere bağlı olamayacağını ileri sürmektedir. Gürel (1995) yörede 1967'den beri tektonik olarak herhangi bir deformasyon veya çökme olayına rastlanmadığını belirtmiştir. Yıldırım (1995) ise, bölgedeki Nemrut, Süphan, Tendürek volkanlarının suskunluk dönemi yaşadığını ve göldeki su seviyesi yükselmesine etkisinin söz konusu olmadığını söylemiştir. Ayrıca, Van Gölü'ndeki bugünkü problem üzerine şu ana kadar yapılan iki ayrı sempozyumda konu ile ilgili yerbilimciler, depremlerin Van Gölü'ndeki su seviyesinin yükselmesine neden olmadığını, bunun aksine gölde artarak 15 milyon m^3'e ulaşan suyun meydana getirdiği ilave yüklemeler sonucu bölgedeki küçük çaplı depremlerin olabileceğini belirtmişlerdir (Barka ve Şaroğlu, 1995).

Dünya Dışı (Ekstra-Terrestrial) Hayali Nedenler

İklim değişimi ve göllerin anormal su seviye salınımlarında sürekli dile getirilen hipotezlerden biri de, Güneş'in bir yıldız olduğu ve dışarıya verdiği enerjinin zamana göre değiştiğidir. Bu değişim esnasında güneş radyasyonu, atmosferin ısınmasına veya soğumasına neden olacaktır.

İklim değişimi için birçok öneri, böylece Güneş'teki "güneş lekeleri" üzerine dayandırılmıştır. Güneşin yüzeyi konusunda en çok bilinen ve kara leke gibi görülen lekeler "güneş lekeleridir". Herhangi bir merkezi olmamasına rağmen güneş lekelerinin, güneş yüzeyinden 35° enleminden başlayarak ekvatora doğru giden magnetik fırtınaların güneş alevleri ile ilgili olduğu anlaşılmıştır. Diğer radyasyon aktiviteleri ile beraber azalan veya çoğalan güneş lekeleri bir periyodunu 11 senede tamamlar (Şekil 2.11).

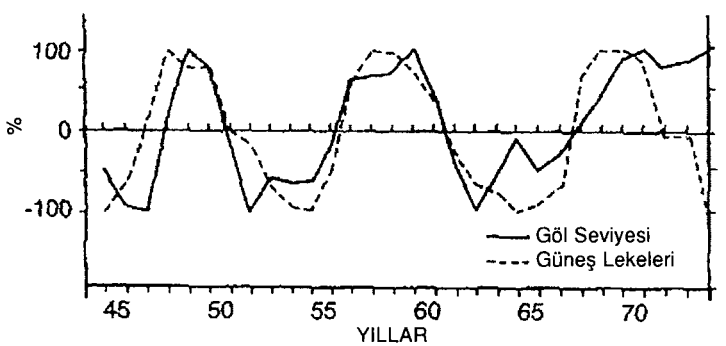


Şekil 2.11. 1900 yılından günümüze güneş lekeleri sayısındaki salınımlar.

Güneş lekeleri ve meteor sağanakları gibi, atmosfer dışı etkenlerin dünya atmosferi ile birlikte gölleri de etkilediği çok eskiden beri iddia edilip gelmektedir. Hatta bazı çalışmalarda hidrometeorolojik gözlemler ile 11 yıllık salınımlar gösteren güneş lekelerinin sayısı arasında önemli ilişkiler (korelasyonlar) olduğu ortaya konulmuştur

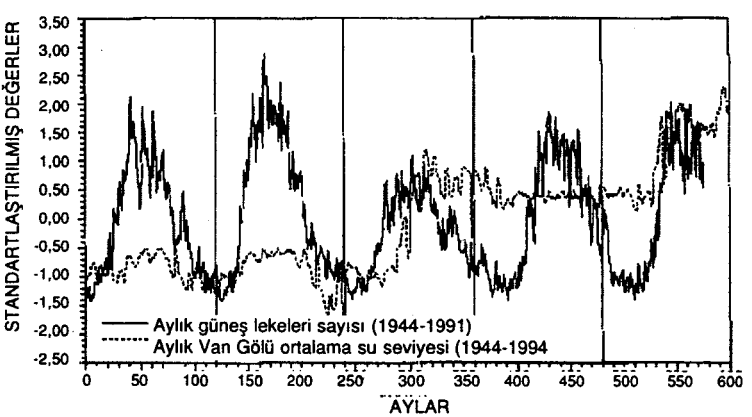
(Newhall, 1988; Burroughs, 1992). Yapılan çalışmaların bazılarında, yağış, gölün su seviyesi ve nehir akışlarındaki artış ile birlikte güneş lekelerinin sayısı arasında pozitif korelasyonlar bulunmuşsa da bazı çalışmalar bunun tersini veya karışık bir ilişkiyi ortaya koymuştur. Bu tür çalışmalar eğer tespit edilmişse, güneş lekelerinin sayısı ve meteor sağanakları (meteor-toz-gün veya meteor-toz-ay sayıları) ile yağış arasındaki ilişkiyi fiziksel esaslara göre açıklayamamaktadır.

Buna rağmen Kempe ve ark., (1978) bir çalışmalarında Van Gölü su dengesinin güneş lekelerinden etkilendiğini belirtmektedir. Bu yazarlara göre güneş lekelerindeki artış bir yıl sonra göl seviyesinde artışa neden olmaktadır. "Artan güneş aktivitesi muhtemelen hava şartlarını daha kararlı kılar, daha fazla bulut sadece yağışın artışına değil aynı zamanda daha az buharlaşmaya neden olur ve iklim daha nemli olmaya meyleder" şeklindeki bir ifade ile bu iddialarını fiziksel bir temele oturtmak istemişlerdir. Fakat bu açıklamadaki "kararlı havada daha fazla yağış alınır" şeklindeki tez ile de meteoroloji bilimine ters düşülmektedir. Kempe ve ark., (1978) yaptıkları analizde 1944-1973 yıllarında (30 yıllık) Tatvan'da gözlenen göl seviyesi ile güneş lekelerinin sayısının birbirleriyle iyi bir şekilde (r=0,66) uygunluk gösterdiği de belirtilmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. 1944-1974 yılları arasında Van Gölü'nde gözlenen su seviye salınımları ve Güneş lekeleri sayısının yıllara göre değişimi. (Kempe ve ark., 1978).

Kempe ve arkadaşlarının ortaya koyduğu bu ilişkiye dayanarak güneş lekelerinin sayısının maksimum olması beklenen 1981 yılında Van Gölü'nün su seviyesinin de tekrar yükselmesi gerekirken, Şekil 2.11-2.13'den görülebileceği gibi 1970 ile 1987 yılları arasında göl su seviyesi oldukça kararlı bir seviyede seyretmiş, güneş lekelerinin 11 yıllık salınımı ile birlikte değişmemiştir. 1967 yılındaki göl su seviyesindeki sıçramadan 20 yıl sonra 1987'de, gölün su seviyesinde büyük bir yükselme görülmüşse de hiç bir şekilde güneş lekelerinin 11 yıllık periyoduna uymamıştır. Kempe ve arkadaşlarını da 1944-1974 yılları arasındaki "rastlantı ilişki" yanıltmıştır. Kempe ve arkadaşları Şekil 2.11'de gösterilen bugünkü veriye sahip olsalardı, 1974 -1987 yılları arasındaki büyük uyumsuzluğa dayanarak güneş lekeleri ile su seviyesi arasında genelde bir ilişkinin olmadığını görebilirlerdi. Ayrıca Şekil 2.13'den görülebileceği gibi güneş lekelerinin aylık sayıları 1990 yılından itibaren düşme periyoduna girmişse de 1987 yılında Van Gölü'nde başlayan su seviye yükselmesi hâlâ devam etmektedir.



Şekil 2.13. Aylık ortalama güneş lekeleri sayısı ile Tatvan'da ölçülen Van Gölü'ndeki aylık ortalama su seviyesindeki salınımların zamanla değişimi, (Kadıoğlu ve ark., 1995b).

Kempe ve arkadaşlarından çok daha önce benzer bir şekilde Napi-

er Shaw tarafından 1902-1921 gibi sınırlı bir periyot içinde (Afrika'nın doğusunda yer alan) Viktorya Gölü'nün su seviyeleri ve güneş lekeleri incelenip aralarında kuvvetli bir ilişki bulunduğu sanılmıştır (Shaw, 1933). Bu, sözde kuvvetli ilişkiye dayanılarak da bir sonraki periyotta güneş lekeleri sayısının en fazla olacağı 1928 yılında göl seviyesinin de yüksek olacağı tahmin edilmiş, fakat bu öngörü tümüyle yanlış çıkmıştır (Burroughs, 1992; Kadıoğlu ve ark., 1995b). Meteoroloji literatüründe buna benzer sayısız başarısızlık örneği yer almaktadır.

Özellikle güneş lekeleri ile hava arasındaki ilişkiyi doğrulama açısından yapılan girişimler, birçok meteoroloji kuruluşu tarafından uygun görülmemiştir. 1970'li yılların sonuna kadar bu konuda binden fazla makale yayınlanmış, ancak bu araştırmalara hep kuşku ile bakılmıştır. 1978'li yılların sonunda Avustralya'dan Barrie Pittock, bütün bu çalışmaları ve eleştirileri özetleyerek şu sonuca varmıştır: "İklim veya hava ile güneş lekeleri arasındaki ilişkilerin inandırıcılığı çok azdır veya hiç yoktur" (Burroughs, 1992).

Fiziksel bir dayanağı olmayan bu tür hayali iddiaların açıklayamadığı birçok soru da bulunmaktadır: Örneğin, 1989-1991 yıllarında her ay gözlenen güneş lekelerinin sayısı 100'ün üzerindedir. Bu nedenle tüm dünyada kuraklığın 1989 yılından itibaren kalkması gerekirken İstanbul başta olmak üzere, tüm Ege Bölgesi bu yıllarda çok büyük kuraklık yaşamıştır. Kısacası, tüm dünyayı etkilemesi beklenen bu tür kaynağı yeryüzü dışında olan parametreler ile dünya üzerinde sadece bir kaç noktadaki göl arasında bazen ve kısa bir süre içinde görülebilen ilişkiler sadece rastlantıdan ibarettir.

Su Bütçesi ve İklim Parametreleri

Dünyada Van Gölü'ndekine benzer probleme sahip olan göllerle ilgili yapılan bu bilimsel araştırmalara ait literatür incelendiğinde, genelde göllerin su seviyesi yükselmelerinin meteorolojik nedenlere dayandığı görülmektedir. Genellikle göl veya deniz kıyılarında yaşayanlar, ya-

zın en yüksek ve kışın en düşük olan su seviyelerinde yıldan yıla ortaya çıkan değişimleri gözleyebilmektedir. Bu değişimler zannedildiği gibi, basit periyodik salınımlar göstermemektedir. Genelde bu salınımlar, yağış, akış ve buharlaşma gibi klimatolojik faktörlerin kompleks etkileşimine gölün tepki göstermesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Batur, 1996; Cohen, 1986; Changnon, 1987; Cohen ve Allsopp, 1988, Kadıoğlu, 1994a,b ve 1995a,b; Kadıoğlu ve ark., 1997).

ABD'nin kuzeyinde ve Kanada sınırında yer alan ve hepsi birden 'Great Lakes' olarak adlandırılan Michigan, Superior, Huron, Erie, Ontario ve St. Clair Gölleri'nde eski ve yeni gözlenen (2 metrelik) su seviyesi değişiminin de, bölgedeki yağış rejimindeki farklılaşma ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir (örneğin, Quinn, 1982 ve 1986; Kopec, 1965 ve 1967; Brinkmann 1983 ve 1985). 1958-1963 periyodunun ilk üç yılı boyunca su seviyesi sürekli yükselerek 1 metre artan ve bu periyodun son iki yılında da ani düşüş gösteren Erie Gölü'ndeki değişim, havzadaki net su girdisinin neden olduğu klasik bir çalışmayla gösterilmiştir, (Mather, 1961). Yine su seviye değişimi ile ilgili olarak Quin ve Guerra (1986), Erie gölünün 1940-1979 periyodu için aylık ve yıllık su denge modelini oluşturarak göldeki su seviye değişimini incelemişler ve göl seviyesindeki dalgalanmaların havzadaki net su girişi ve çıkışı ile ilgili olduğunu göstermişlerdir. Bu göllerin su seviyelerindeki değişimler, gelişen klimatolojik su bilanço hesaplama yöntemleriyle açıklanabilmekte ve göllerin su seviyeleri önceden stokastik hidrometeorolojik modeller ile de tahmin edilebilmektedir (Sanderson, 1966; Quinn, 1978 ve 1986; Quinn ve ark., 1981; Kite, 1992). Great Lakes'de su seviyesinin belli bir seviyede tutulabilmesi için birçok kanal açılması gerekmiş ve bu kanallar havzanın aldığı yağış ve diğer hidrometeorolojik parametrelere göre boyutlandırılmıştır (Quinn ve Croley, 1981).

Bu göllerin, çevrelerindeki iklim elemanlarındaki değişime, 2 ay ile 3 yıl sonra tepki gösterdiği de tespit edilmiştir (Brunk, 1959; Sander-

son, 1966; Quinn, 1981; Changnon, 1987). ABD, Michigan-Huron drenaj havzasında, kara üzerine düşen yağışın göl seviyesi ile olan ilişkisi, Brunk, (1959) tarafından sayısal olarak belirlenmiştir. Brunk çalışmasında, sadece yağışın etkisi dikkate alındığında, aynı zamanda bir faz gecikmesi olduğunu da göstermiştir. Michigan-Huron havzasındaki jeolojik durum, yağış ve yağışın etkisindeki faz kayması için fiziksel bir neden olarak ileri sürülmüştür. Kara yüzeyinin büyük bir kısmını kum ve çakıl kaplamaktadır. Akış donmadığı zaman, yağmur yavaş yavaş göle ve akış yataklarına süzülürken yeryüzeyi yağmuru kolaylıkla yutar ve buharlaşmadan korur. Bu yüzden yeraltındaki suyun ve yağmurun önemli bir kısmı, bir sonraki yılın akışına katılır. Sezen (1996) ile Kadıoğlu ve ark. (1995a)'ın yaptığı benzer amaçlı çalışmalarda "beraberlik matrisi" adı verilen şartlı ihtimal matrisleri ile Van Gölü'nün su seviyesindeki değişimlerin yağış ile olan ilişkisini belirlemiştir. Bu çalışmalarda, Tatvan'da ölçülen yıllık ortalama su seviyesi ile yine Tatvan'da gözlenen yıllık toplam yağışlar arasında 2 yıl gecikme (aralık) ile istatistiksel anlamda önemli bir ilişki olduğu da görülmüştür.

Gana'da Bosumtwi gölündeki su seviye değişimleri de su denge modeli ile incelenmiş ve 1968 yılına kadar göl su seviyesindeki artışın nedeninin, göle giren toplam su miktarının, gölden oluşan buharlaşmadan fazla olduğu belirlenmiştir (Turner ve ark., 1996). Endonezya'da Toba gölünde 1984-1987 periyodu boyunca su seviyesindeki 2.5 metrelik düşüşün nedeni, yine su denge metodu ile araştırılmış ve göldeki net su girdisindeki azalışın neden olduğu belirlenmiştir, (Acreman ve ark., 1993). İsrail'de ise, Kinret gölündeki su seviye değişimi ile havzadaki meteorolojik elemanlar ve hidrolojik bileşenler arasındaki ilişki o kadar iyi belirlenmişki artık gölün günlük su seviye tahminleri su denge metodu ile yapılmaktadır, (Khavich ve Ben-zvi, 1995). Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi göllerdeki su seviye değişimleri havzalarındaki meteorolojik değişkenlere bağlıdır. Bu yüzden bu tür problemler ile ilgili yapılan son çalışmalarda artık hav-

zaların yıllık su dengelerinin kavramsal modelleri de oluşturulmaktadır (Ponce ve Shetty, 1995a,b).

Batur ve Kadıoğlu (1997) ile Batur ve ark., 1997a,b çalışmalarında, su seviyesindeki ani yükseliş su dengesi metodu ile araştırılmış ve sonuç olarak, göle gelen toplam su ile göl yüzeyinden buharlaşma ile çıkan su arasındaki farkın, göl seviyesindeki değişime neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu makalede ülkemizdeki mevcut hidrometeorolojik gözlem ve hesap yöntemleri ile Van Gölü için şimdiye kadar yapılan su bütçesi hesaplarının göldeki su fazlalılığını neden açıklayamadığı üzerinde durulmuştur ve değişik bir şekilde yapılan su bütçesi hesabı ile göldeki su seviye değişiminin yağış-buharlaşmadaki değişim ile açıklanabildiği gösterilmiştir.

Erol (1996) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise su seviye değişimleri ile iklim verileri arasındaki ilişki, korelasyon ve regresyon modelleri ile incelenmiş fakat iklim verileri ile su seviye değişimleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamadığı için su seviyesindeki artışın nedeni açıklanamamıştır. Ayrıca kurulan bütçe yaklaşımı ile göl su seviye değişimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Klasik regresyon modeli ile Van Gölü'ndeki su seviye salınımlarını tahmin etmeye yönelik ilk çalışma Türksoy ve Seçkin (1995) tarafından yapılmıştır. Türksoy ve Seçkin (1995) aynı zamanda göl su seviye farklarının tekerrür analizlerini de yapmıştır. Batur ve ark. (1997) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise Van Gölü'ndeki su seviye değişiminin, tamamen gölün su bütçesi ile ilgili ve havzasındaki meteorolojik değişkenlere bağlı olduğu gösterilmiştir.

Böylece, Van Gölü'nün su seviyesinde geçmişte ve günümüzde gözlenen aşırı yükselmelerin nedenleri hakkında ortaya konan hipotezlerden biri ve en önemlisi gölün su bütçesi ve iklim parametrelerindeki değişim ile ilgili olanıdır. Nitekim su seviyesi yükselmeleri, su bütçesi, taban hareketleri, dünya dışı etkilerden biri veya birkaçına kısmen veya tamamen bağlı olabilirse de İTÜ Meteoroloji Mühendis-

liği Bölümü Hidrometeoroloji Grubu tarafından Van Gölü'ndeki son su seviyesi yükselmesi üzerine yapılan ilk incelemeler bu olayın meteorolojik nedenlere bağlı olduğunu belirtmektedir. Eski bilimsel çalışmalarda, Van Gölü'nün su seviyesinde eskiden görülen yükselmeleri bölgenin iklimindeki değişikliklere bağlamaktadır. Van'da yapılan ilk bilimsel sempozyumda da Van Gölü'ndeki son su seviyesi yükselmesine meteorolojik parametrelerin neden olduğu teyit edilmiştir, (Kadıoğlu, 1994a,b; Yılmaz ve ark., 1994).

Bu konuda yapılan bilimsel çalışmaların çoğu, göllerdeki su seviye değişimlerine göllerin su toplama havzalarındaki iklim elemanlarındaki salınımlar ve dolayısıyla su bütçesindeki değişimlerin neden olduğunu göstermektedir. Ülkemizde ise Van Gölü'ndeki su seviye yükselmesi güneş lekelerinden Keban Barajı'na kadar birçok değişik nedene bağlanmak istenmiştir (Emrah, 1994; Türksoy ve Seçkin, 1995). Bu tür hayali nedenlerin üretilmesine en başta yetersiz gözlem ağından dolayı Van Gölü'nde biriken suyun, gölün su bütçesi hesapları ile açıklanamamasından kaynaklanmıştır.

Dünyadaki örnekleri incelendiğinde göllerin klimatolojik su dengelerinin tam olarak bilinmesi ile, bu tür su seviyelerindeki değişimlerin çok önceden tahmin edilerek kıyı kullanımı ve yönetiminde tedbirlerin alınabildiği görülmektedir. Van Gölü'nde geçmişte ve günümüzde görülen su yükselmelerinin, gelecekte de görüleceği muhakkaktır.

2.6. El Nino - La Nina ve Olası Etkileri

Bu günler bir kaç şiddetli sağanak ve sonucunda oluşan seller de hemen "iklim değişikliğine" bağlanıyor. Oysaki, 1998-2000 yıllarında bir ara bunlardan El Nino (Sel Nino adı ile) sorumlu tutulmaktaydı.

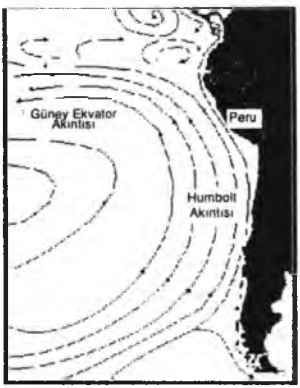
El Nino'nun ileriki yıllarda, çevre kirliliği ve atmosferin sera etkisi sonucunda meydana gelebilecek küresel sıcaklık artışı ve iklim değişik-

liği ile nasıl değişeceği ise şu an bir bilinmezden öteye gidememektedir. Bununla birlikte ileriki yıllarda El Nino'nun Dünya'nın değişen iklimi ile beraber daha şiddetli ve yıkıcı bir şekilde ortaya çıkması muhtemeldir. Bu olasılık, ortaya çıkış şekli ve ne zaman görüleceğinin önceden tahmin edilememesi, nedeniyle değişik atmosferik hareketler sonucunda tüm dünyayı etkisi altına alan El Nino olayını, daha ilgi çekici ve bir o kadar da tedirgin edici boyutlara vardırmaktadır.

Okyanuslarda bölgesel su akıntılarındaki değişimler, El Nino ve La Nina gibi küresel olarak dünya iklimini etkileyebilen olaylara neden olabilmektedir. El Nino konusu ülkemizde çok konuşuldu; önümüzdeki yıllarda da gündemimizi meşgul edeceğe benziyor. Bu nedenle, bu olayı ve onun ülkemiz üzerindeki olası etkilerini bu bölümde inceleyeceğiz.

Etimoloji

Nino, İspanyolca bir sözcüktür ve "çocuk" demektir. El eki Arapça'dan İspanyolca'ya geçmiştir. İngilizce'de isimden önce kullanılan ve başına eklendiği ismi belirleyen "the" ekinin karşılığıdır (Rasmusson ve Wallace, 1983; Kung 1988). Bu nedenle, El Nino, İngilizce'de "the child" diye ifade edilebilir. Böylece, El Nino, Türkçe'ye "özel çocuk" veya "o erkek çocuk" diye çevrilebilir.



Şekil 2.14. El Nino ve La Nina'nın görüldüğü Peru kıyıları. Bu olayların oluşumunda önemli rol oynayan Pasifik Okyanusu Güney Amerika'nın doğu kıyısında doğulu ticaret rüzgârlarına paralel akan Peru veya Humboldt adlı soğuk su akıntısı.

El Nino'nun (okunuşu, "El Ninyo") tersine, Pasifik Okyanusu'nun doğu ve tropikal enlemlerindeki su yüzey sıcaklıklarının mevsim normallerinden daha soğuk olduğu yıllara La Nina adı verilir. La Nina (okunuşu, "La Nina"), "kız çocuğu" veya "kız kardeş" olarak Türkçeye çevrilmelidir. Böylece, (El Nino/Güneyli Salınımları) ENSO'nun sıcak devresi El Nino olarak adlandırılırken; soğuk devresi de La Nina olarak adlandırılmaktadır. ENSO'nun soğuk devresine ilk zamanlarda El Viejo veya anti-El Nino da denmişse artık ENSO'nun soğuk devresine genellikle La Nina denmektedir.

Tablo 2.4'de gösterildiği gibi El Nino ile La Nina olayları birbirlerini izler. Şu ana kadar gözlenmiş La Nina yılları 1800'lü yıllardan beri kayıtlara geçmiştir. El Nino olayının yokluğu da alarma sebep olabilir. Genelde şiddetli olan El Nino'nun, 1940'dan 1951'e kadar olan 10 yıllık bir aralıkta hiç görülmemiş olması da ilginçtir. Özellikle, yukarıda verilen La Nina yıllarına ait tabloya bakılınca, İstanbul'da etkisi şiddetle hissedilen kuraklıktan dolayı suni yağmur yöntemine bile başvurulan 1988-1989 yıllarının aynı zamanda bir La Nina yılı olduğu görülür. Fakat sadece bir yıla bakarak La Nina'nın İstanbul'da kuraklığa neden olduğu gibi kesin bir kanıya varılamaz.

El Nino Denilen Doğa Olayı

Bu doğa olayı nasıl oluşmaktadır? Pasifik okyanusunun tropikal enlemlerinde su yüzey sıcaklıklarını mevsim normallerinin üzerine çıkaran ve Ekvator'dan Peru'nun güney kıyılarına doğru akan zayıf bir sıcak su akıntısı vardır. Bu akıntı, her yıl Noel'de yani 25 Aralık'da muz, portakal ve Hindistan cevizi ağaçlarının dallarını taşıyarak Peru kıyılarını yalar (Şekil 2.14).

Hz. İsa'nın doğum günü sayılan Noel günlerinde ortaya çıktığı için, Peru'nun Paita limanı çevresindeki balıkçılar, bu akıntıyı El Nino (o erkek çocuk/özel çocuk) diye adlandırmışlardır. Balıkçıların bu deyimle ima ettikleri çocuk, Hz. İsa'nın bebekliğidir. Onun çocukluğu-

dur. Hemen hemen her yıl tekrarlanan ve El Nino olarak adlandırılan bu masum sıcak su akıntısı sadece bir kaç hafta ya da bir ay sürer. El Nino bölgedeki nehirlerin tatlı suları ile karıştığından okyanusun sularından daha az tuzlu ve daha sıcaktır.

El Nino'nun en fazla hissedildiği Ekvator ve Peru gibi ülkelerin 1500'lü yıllara dek uzanan doğadaki izlerinden ve meteorolojik kayıtlardan anlaşıldığı üzere, bu sıcak su akıntısı her 2 ila 7 yılda bir ortaya çok kuvvetli bir şekilde çıkarak, alışılmışın dışında meteorolojik ve ekolojik olaylara yol açmaktadır. Pasifik Okyanusunun tropikal enlemlerinde su yüzey sıcaklıklarını mevsim normallerinin çok üzerine çıkaran bu sıcak su akıntısı günümüzde bizim üzerinde konuştuğumuz El Nino'dur.

El Nino, meteorologlar için, El Nino/Güneyli Salınımların (El Nino/Southern Oscillation, kısaca ENSO'nun) kısaltılmış adıdır. Güneyli Salınımlar ile tropiklerdeki hava sirkülasyonunu, diğer bir deyişle Güneyli Salınımların El Nino (ısınan sular) ve La Nina (soğuk sular) adlı okyanustaki değişimler arasında bir ilişki vardır. Şekil 2.15'de gösterilen bu ilişkiyi ilk defa fark eden Albert Walker adlı meteorolojisttin anısına Pasifik Okyanusu'nun tropikal enlemlerindeki doğu-batı yönündeki hava döngüsüne Walker Sirkülasyonu veya Walker Hücresi adı verilmiştir. Böylece meteorolojistler için El Nino, basit bir sıcak su akıntısından öte, atmosferin genel sirkülasyonunu etkileyen üç boyutlu karmaşık bir olay demektir.

El Nino'nun Oluşumu

El Nino olmayan yıllarda, normal şartlarda, Dünya'nın en sıcak okyanus suları büyük bir havuz şeklinde Batı Pasifik'te bulunur. Şekil 2.14'de gösterildiği gibi doğu-batı yönündeki ticaret rüzgârları (alizeler), tropik güneş tarafından ısıtılan okyanusun yüzey sularını batıya doğru iterek sıcak suların Endenozya civarında ve tarih değiştirme çizgisinin batısında birikmesine neden olur.

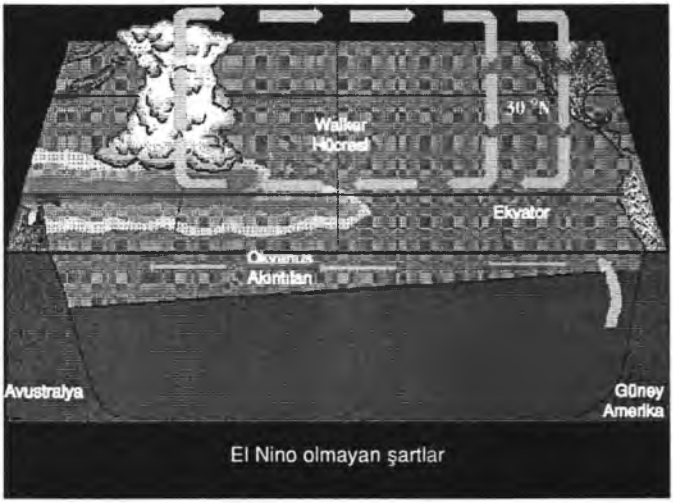
Tablo 2.4. Japon Meteoroloji Ajansına (1991) göre son iki asırda ENSO yılları.

La Nina	Sakin	El Nino
		1868
1869	1870	
1871-1875	1876	1877
	1878-1879	1880
	1881-1885	
1886	1887	1888
1889	1890-1891	
1892-1893	1894-1895	1896
	1897-1898	1899
	1900-1901	1902
1903		1904-905
1906	1907	
1908-1910		1911
	1912	1913
	1914-1915	
1916	1917	1918
	1919-1921	
1922	1923	
1924		1925
	1926-1928	1929-1930
	1931-1937	
1938	1939	1940
	1941	
1942	1943	
1944	1945-1948	
1949	1950	1951
	1952-1953	
1954-1956		1957
	1958-1962	1963
1964		1965
	1966	
1967	1968	1969
1970-1971		1972

1973	1974	
1975		1976
	1977-1981	1982-1983
	1983-1985	1986-1987
1988	1989-1990	1991
	1992-1996	1997

Tam olarak bilinmeyen nedenlerden dolayı El Nino başlangıcında atmosferik basınç, Pasifik okyanusunun doğusunda düşerken, batısında yükselmeye başlar. Bu ve bunun tersi olaya, "güneyli salınımlar" denir. Böylece Pasifik okyanusunun doğu batı yakası arasındaki basınç gradyanı ve dolayısı ile doğudan batıya doğru esen ticaret rüzgârları zayıflar (Şekil 2.14). Bunun sonucu olarak da batı Pasifik'teki okyanusun sıcak yüzey suları doğudaki Peru kıyılarına doğru akmaya başlar.

Nedeni bilinmemekle birlikte, El Nino yıllarında ticaret rüzgârları zayıflayarak sıcak suyun yer değiştirmesini önlemektedir. Derinleşen

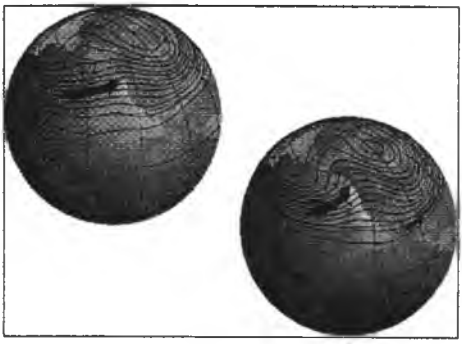


Şekil 2.15. El Nino olmayan (La Nina) yıllarında Avustralya ile Güney Amerika kıyıları arasındaki okyanus akıntıları, upwelling, Walker dolaşım hücresi ve batı Pasifik'te oluşmuş sıcak su havuzu ile birlikte konvektif fırtına bulutları gösterilmektedir.

termoklinin (deniz yüzeyindeki karışım tabakası ile deniz dibindeki derin su tabakası arasında sıcaklık farkları açısından geçiş bölgesi) sonucunda soğuk suyun yükselmesi engellenerek, batı kıyılarına özgü iklimsel olaylar doğuda meydana gelmekte ve düzenli olarak devam eden atmosferik çevrim bozulmaktadır. Doğu kıyılarının deniz ve hava sıcaklıklarının artmasıyla, aşırı yağışlar ve buna bağlı seller meydana gelmektedir. Genel anlamda ekvator üzerindeki hava sirkülasyonunun (Walker Circulation) bozulması olarak ifade edilebilecek bu durum, Türkiye'nin yer aldığı orta enlemleri de Rossby dalgaları vasıtası ile etkileyebilmektedir (Şekil 2.16).

Sıcak sular Peru kıyılarına ulaştığı zaman, Peru kıyılarında okyanus yüzeyinin su sıcaklığı 12-13 °C ve su yüzeyi 15-20 cm yükselmektedir. Normalde, örneğin, aralık ayında batı Pasifik'te deniz yüzeyi su sıcaklıkları doğu Pasifik'tekinden 22 °C daha sıcaktır. El Nino'nun oluşumuna veya devam ettiğine dair en önemli işaret, orta ve doğu Pasifik'te ekvatorun her iki tarafındaki anormal yükseklikteki su yüzeyi sıcaklıkları olmaktadır.

Sıcak su akıntısının olduğu yerlerde gök gürültülü fırtınalar, okya-



Şekil 2.16. Kış aylarında jet akımı seviyesindeki rüzgârlar (oklar), normal şartlardaki (yukarıdaki şekil) pozisyonundan (aşağıdaki şekilde gösterilen) El Nino yılındaki pozisyonla yer değiştirir. Böylece yukarı seviyedeki hava sirkülasyonu da (Rossby dalgaları vasıtası ile) değişir.

nus üzerindeki sıcak ve nemli hava ile beslenir. Hava ne kadar sıcaksa fırtınalar o derece şiddetlidir. El Nino yıllarında Pasifik'in sıcak suları doğuya doğru yayıldıkça, büyük fırtınalar da onunla birlikte hareket ederek yer değiştirir (Şekil 2.15'e bakınız).

Bu durumda El Nino/Güneyli Salınımlar (kısaca ENSO) dünya atmosferindeki havanın genel dolaşımını da etkiler. Böylece Dünya genelinde Rossby dalgalarının genliği, jet akımları (dünya yüzeyindeki sıcak ve soğuk bölgeleri birbirinde ayıran yukarı seviyelerdeki kuvvetli rüzgâr kuşakları), fırtınaların takip ettiği yollar ve musonlar yer değiştirir. ABD'nin batı kıyılarında yükselen okyanus su yüzey sıcaklıkları, yüksek basınç sırtını kuvvetlendirerek jet akımını kuzeye doğru iter (Şekil 2.16). Böylece ABD'nin batı kıyılarındaki fırtınalar daha kuzeye kayar. Atmosferin yukarı seviyelerindeki sırt ve oluk paternlerindeki (Rossby veya uzun dalgaların genliğindeki) değişiklik nedeniyle El Nino orta enlemlerin tümünde etkili olur.

El Nino yıllarında Pasifik Okyanusu'nun batısında kuraklık hüküm sürerken doğusunda şiddetli yağışlar görülür. 1951, 1957, 1965, 1972, 1976, 1982 ve 1991 El Nino yıllarında ABD'nin California eyaletinde aşırı yağışlar sonucunda seller, ABD'nin doğu kesimlerinde ise ılıman kışlar ve Avustralya, Afrika ile birlikte Endonezya'da da şiddetli kuraklıklar görülmüştür.

El Nino, Pasifik Okyanusu kıyılarında ve alt enlemlerde meydana geldiği için bu bölgedeki ülkelerin önemle üzerinde durduğu ve çözmeye çalıştığı bir sorun haline gelmiştir. Fakat, yakın geçmişte en şiddetli El Nino'nun görüldüğü 1982-83 yıllarında, dünyanın pek çok kesiminin farklı şekillerde de olsa bu olaydan etkilendiği kaydedilmiştir. Pasifik Okyanusu kaynaklı bu şiddetli El Nino sırasında, Güney Afrika, Hindistan, Avustralya, Endenozya ve Meksika'daki kuraklığa karşılık, Amerika'nın batı kıyılarında, Ekvator, Küba ve Peru'da yağmur ve seller, Tahiti ve Hawaii'de ise su hortumları gözlenmiştir.

Pasifik Okyanusu kıyılarında gözlenen El Nino olayı, dünyanın

herhangi bir bölgesinde meydana gelen iklimsel değişimlerin diğer bölgeler üzerinde de ne denli büyük bir etkiye sahip olabileceğinin en önemli kanıtlarından biridir.

Ekolojik Etkileri

Pasifik Okyanusu'nun Peru kıyıları, güney Amerika kıtasının batı kıyılarından kuzeye doğru yönelmiş Humboldt adı verilen soğuk su akıntısının etkisi altındadır (Şekil 2.14). Bu soğuk su akıntısı büyük miktarda besin maddesi ve besleyici tuzlar içermektedir. Planktonlar ve dolayısıyla balıklar okyanusun bu kısmında çok kolay bir şekilde üremekte ve büyümektedir.

Eğer balıklar 10 °C'den daha sıcak El Nino su akıntısı ile karşılaşırlarsa, büyük bir felakete uğrarlar. Balıkların yaşam çevresindeki, örneğin su sıcaklığı, tuzluluk ve benzeri parametreler aniden değişir. Balıkların gıdası olan planktonlar, hızla değişen bu su çevresine uyum sağlayamayarak sürüler halinde ölürler. Su çevresindeki hızlı değişim ve azalan besin maddesi nedeniyle, El Nino yıllarında sardalyeler yığınlar halinde ölür. Balıkların bir kısmı yiyecek bulabilmek için daha güney ve kuzeydeki soğuk sulara göç eder.

Deniz yüzeyinde yüzen plankton ve sardalye cesetleri çürür ve büyük miktarda hidrojen sülfür gazı açığa çıkar. Bu gaz, su yüzeyinde kalır ve bu bölgede dolaşan gemilerin boyalarını karartarak lekeler meydana getirir. Bu olay "Callao Ressamı" olarak adlandırılır. (Callao, Peru'nun başkenti Lima civarındaki, bölgenin en büyük limanıdır.)

Diğer taraftan, yaklaşık olarak 16 milyon pelikan ve benzeri deniz kuşları bu bölgedeki sardalyeler ile beslenmektedir. Sardalyelerin kitlesel ölümü ile ortaya çıkan yiyecek kıtlığı deniz kuşlarının da ölümüne neden olur. Kuşların bir kısmı okyanusun derinliklerine yiyecek bulabilmek için dağılarak yavrularını terk ederler. 1965 yılında El Nino olayı görüldüğünde yaklaşık olarak 12 milyon kuş açlıktan ölmüş ve cesetleri kıyılara vurmuştur.

Bu olağandışı olay bölgede birçok anormal hava şartlarına neden olur. Örneğin, Güney Amerika kıyılarında yer alan çöllere yağmur yağmaya başlar ve çöllerde seller oluşur. Bu seller de sivri sineklerin olağanüstü boyutta çoğalmasına ve böylece sıtma, sarıhumma gibi bulaşıcı hastalıkların bölgede yayılmasına neden olur.

Sosyal ve Ekonomik Etkileri

El Nino denilen bu olay tüm dünyaya zarar verir. Neden olduğu maddi zararların yanı sıra, insan kayıpları ve insanların çektiği sıkıntı parayla hesaplanamayacak kadar büyüktür. Maalesef Türkiye'de, dünya iklimini etkileyen bu tür büyük iklim olaylarının ekonomik ve ekolojik yönü çoğu kez göz ardı edilmektedir. Bu olayların önceden kestirilmesi ve anlaşılmasının sadece bir ülke için değil dünya ekolojisi ve ekonomisinde büyük önemi vardır. Örneğin, 1982 - 1983 El Nino'su bilindiği gibi dünya genelinde 10 milyar dolardan daha fazla bir zarara neden olmuştur (El Nino/ENSO, 1997).

El Nino'nun görülmediği zamanlarda Pasifik Okyanusu'nda doğudan batıya doğru esen ticaret rüzgârları, batı kıyılarında deniz yüzeyi sıcaklıklarının ve su derinliğinin artmasıyla Avustralya ve Endonezya gibi ülkelerde yağışın çoğalmasına neden olurken, Peru ve Ekvator'un yer aldığı doğu kıyılarında deniz dibindeki soğuk suyun yukarıya yükselerek (upwelling), batıya hareket eden sıcak suyun yerini almasını sağlar. İçerdiği mineraller sebebiyle balıklar için en uygun ortam olarak kabul edilen soğuk su, bu bölgenin ekonomisinin de belirleyicisi durumundadır.

Böylece, normal zamanlarda kuzey Peru açığındaki deniz yüzeyi, çoğunluğu sardalye türünden olmak üzere, dünyanın en iyi balıkçılık alanıdır. Bu bölgede yılda 10 milyon ton balık yakalanmaktadır. Bu balıkların bir kısmı pizza katkı maddesi olarak şişelenir, çoğu balık unu haline dönüştürülür.

El Nino yılları bu bölgedeki sardalye avında ve dolayısıyla balık

unu üretiminde büyük düşüşlere neden olur. Bu bölgede üretilen balık unu dünya piyasasına büyük baş hayvan ve kümes hayvanları için besin maddesi olarak sunulmaktadır. El Nino nedeniyle bu besin maddesi piyasaya sunulamayınca, protein kaynağı olarak Amerikan soya fasulyesi kullanılmaya başlanır. Böylece Amerikan soya fasulyesi piyasada sınırlı hale gelmekte ve fiyatı yükselmektedir. Bu da Japonya'yı çok kötü bir şekilde etkiler. Japonya, ülke içinde tüketilen soya fasulyesinin % 70'ini Amerika'dan ithal eder. Örneğin, Japonya'da soya fasulyesinden yapılan soya peynirinin fiyatı astronomik miktarlarda artar.

Ayrıca Orta Amerika'da El Nino yıllarında görülen kuraklık nedeniyle kahve ve kakao üretimi düşerek fiyatları yükselmektedir. Kuraklıkta büyük baş hayvanlar öleceği için El Nino yılının başında satılmaktadırlar. Panama kanalına su sağlayan göller kuruduğundan, kanaldan gemileri geçirmek için yeterli su da bulunamamaktadır.

El Nino yılları Peru balıkçıları açısından zararlı olsa da, bölgenin bol yağış almasına neden olur. El Nino'nun aksine La Nina yılları ise balıkçılık için uygun şartlar oluştururken bölgede kuraklığa neden olduğundan bu sefer de çiftçiler büyük ekonomik kayıplara uğrarlar. Çiftçilerin ekonomik kayıplarını en aza indirgemek için El Nino ve La Nina yıllarının önceden tahmin edilmesi büyük önem taşır. Böylece bölge çiftçileri El Nino yıllarında bol suya kavuşacağı için pirinç; La Nina yıllarında ise kuraklığa daha dayanıklı olan pamuk ekimine zamanında karar verebilirler.

Türkiye gibi tropiklerin dışındaki birçok ülke (ABD, Japonya) için de El Nino yıllarının tahmini tarım alanlarının planlanması, su kaynaklarının yönetimi, tahıl, petrol ve doğalgaz stoklarının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. İşte bu nedenle ABD'nin NASA, Ulusal Meteoroloji Servisi ve benzeri birçok kamu kuruluşu El Nino'yu gözetleme, belirleme ve tahmin etmek için önemli çalışmalar yapmaktadır. Pasifik Okyanusu kıyılarında gözlenen El Nino ve La Nina olayları.

dünyanın herhangi bir bölgesinde meydana gelen iklimsel değişimlerin diğer bölgeler üzerinde de ne denli etkili olabileceğinin en önemli kanıtlarından biridir.

El Nino'nun Askeri Önemi

Bu konu Meteoroloji Mühendisi Filiz Türk (1999) tarafından Askeri Meteoroloji üzerine hazırlanan Lisans Bitirme Çalışması'nda incelenmiştir. Türk'e göre El Nino'nun askeri etkinliklere olası etkileri konusunda literatür daha çok Kore Yarımadası üzerine yapılan çalışmaları içermektedir. Bu çalışmalarda özetle şu noktalar üzerinde durulmaktadır:

"El Nino hadisesinin geliştiği Kuzey Pasifik'in güneybatısındaki suların büyük bir ekonomik, politik ve stratejik önemi söz konusudur. Ama hadise genişlemeye ve yayılmaya devam ederek, mevcut hava şartlarında ve kısa vadeli periyodik iklim olaylarında değişimler, ABD'den Güney Amerika'ya, Avrupa'dan Afrika'ya, Asya'dan Avustralya'ya ve hatta Avrupa'da da hissedilebilir.

Kore Yarımadası bölgesinde El Nino genel olarak pirince dayalı tarım ve balıkçılık endüstrisinde negatif ekonomik etkilere sahip olabilir ve özel olarak aç bir popülasyonu beslemeye yönelik yapılan girişimlerde stratejik kargaşa doğurabilir. Eğer El Nino göz önüne alınmaz ve mevcut iklimsel veriler kullanılırsa, hem askeri hem de sosyal durumlar için taktiksel kararlar hatalı olabilir. Askeri planları hazırlayanlar, askeri manevraları ve yeniden teçhizatlanmanın lojistiklerini saptamaya çalışırlarken mutlaka, düzenli iklim verilerinden epeyce farklı olabilen El Nino'nun bölgesel etkilerini ve bu etkilerin kullanılan sistemlerin çeşidi ve bütün önemli 'reaksiyon zamanları üzerine etkileyişini' de belirleyip gözönüne almalıdır.

Bir El Nino olayının askeri önemi kuraklıklar ve seller olarak iki temele dayanır. ABD'nin 'Elektronik Harp ve Sindirici Tedbir-

ler' konusuna büyük önem göstermesine dayanarak, kuraklıkların büyük miktarda toz ürettiğine dikkat etmek gerekir. 1982-83 El Nino hadisesi sırasında Doğu Avustralya'da meydana gelen kuraklık, sadece kırk dakika içerisinde 11 bin tondan fazla toprağın Melbourne şehri üzerine boşaldığı bir toz fırtınası üretmiştir. Bu kuraklık, 200 yıldan fazla bir zaman içerisinde Melbourne bölgesinde yaşanmış en kurak yaz olmuştur."

Bu taktiksel ve lojistik kuraklık sorununun tersi ise Kuzey Peru ve Ekvator'da meydana gelen sellerdir. Peru'da, 1982-83 El Nino periyodu sırasında, ikiyüz yıldan daha fazla bir zaman içerisindeki en büyük yağış miktarları kaydedilmiştir. Ekvator'daki Guayaquil'de aynı periyod içerisinde 13 kez normal yağış kaydedilmiştir. El Nino, şiddetli yağmurları ve Peru ile Ekvator'da 650 milyon doları aşan geniş kıyısal hasar ile sonuçlanan, hemen hemen devamlı şiddetteki dalgaları üreten fırtınalar ile bağıntılıdır. Şiddetli yağmur tepeleri iyice ıslatmıştır, çamur akışları ve heyelanlar sonucunda binlerce ev harabeye dönmüştür. Ayrıca, lojistik olarak yeniden teçhizatlanmaya ve kurtarmaya yönelik hiçbir plan, yerel yollar geçişe el vermediğinden uygulanamamıştır.

Okyanus akımlarındaki değişiklikler, askeri kararlara yönelik plan hazırlayanlar için diğer bir sorun kaynağı olarak görülür. Eğer sıcak ve soğuk su akımlarının, bir ENSO hadisesinin oluşmasına bağlı olarak yoğunluk ve pozisyonları değişiyorsa, hemen ardından bu akımlarla ilgili olan sıcak ve soğuk su eddy havuzlarının normal akışları da değişecektir. Denizaltılar, bu gibi koşullarda ya da buna yakın koşullarda rahatlıkla saklanabilecekleri için anti-submarine taktik ve tekniklerinin bu okyanus akımındaki değişiklikleri daha kusursuz ele alacak biçimde değiştirilmesi zorunludur. Gemilerin rotaları, okyanus akım hızı ve yönündeki değişikliklerden dolayı değil, gemilerin kendisi, tayfalar ve transitteki materyaller için mümkün olacak en güvenilir hattın temini şeklinde düzeltilmelidir. Bu sebepten amiraller, veriler-

deki temel değişiklikleri en çabuk şekilde anlamanın taktiksel avantajlarını bilmelidirler.

Kore Yarımadası esasen dağlık olduğu için, burada sadece rüzgârlarla ilişkili olan hiçbir tropikal fırtına ve tayfunun zararı sözkonusu değildir. Hasar, genellikle şiddetli yağmurlar ve bunların sonucunda oluşan ani seller şeklindedir. Güçlü tayfunlarla birlikte dikkate alınması gereken diğer bir sorun, yüksek hıza sahip rüzgârlarla ilişkili sağanaklarda ve yüksek yoğunlukta popülasyona sahip merkezler civarındaki karayı görüş mesafesidir. Japonya'nın Tokyo bölgesinde meydana gelen ve karayı görüş mesafesinin azalmasından kaynaklanan iki olayda, 1958'de 1269 kişi, 1959'da 5098 kişi ölmüştür. Doğal afetlerin neden olduğu bu gibi kaçınılmaz karışıklıklar, bu bölgede yeniden yapılanma ve teçhizatlanmaya teşebbüs edilseydi azaltılabilinirdi. Buna benzer bir olay Güney Kore'deki Seul ve Puson yakınlarında meydana gelseydi, kolayca Kuzey Kore orduları tarafından istifade edilebilecek bir askeri zayıflık olarak yorumlanabilirdi.

1950-54'teki Kuzey Kore askeri liderliğinin Kore'nin hava ve iklim verilerine ait her türlü bilgiyi yok etmeyi denemeleri, stratejik bir silah olarak meteoroloji verilerinin önemine son derece inandıklarını göstermektedir. Kuzey Kore ordusu, meteorolojik kaynakları bulduklarını yerde yok etmişlerdir. Bunun önemi, Güney Kore'nin hava durumuyla ilgilenen personeli esir alınmasından ve idam etmesinden anlaşılabilir. Meteorolojik veri merkezlerinde ortaya konan ve meteoroloji ile ilgilenen personele uygulanan bu tip aşırı davranışlar, stratejik ve lojistik plan hazırlayan Kuzey Kore ordusunun plan subaylarının düşman ordusunun avantajlarını yok etmek amacıyla sahip oldukları yerel hava paternlerine ait Bilgileri de kullanmaya derhal meyledeceklerinin kanıtı olarak görülmektedir.

Sonuç olarak, El Nino bir askeri tehdit değildir, ama bununla beraber gerçek bir tehdidi başlatan katalizör olabilir. Bunun sonucunda, ekonomik zorluklara neden olan askeri bir rizikonun göze alındığı

tehlikeli bir oyun başlayabilir. Eğer askeri plan hazırlayanlar bir El Nino mekanizmasının mevcut ve uzun vadeli etkileri üzerine daha ileri bir anlayış edinirlerse, stratejik ve lojistik olarak, operasyonlarda sel, fırtına, tayfun gibi şiddetli hava olaylarını önemsemeden güçlü ve caydırıcı bir kuvvete sahip olabilirler.

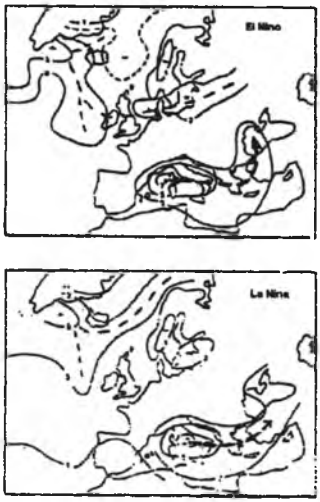
El Nino'nun Türkiye'ye Etkisi

Geçmiş günleri anımsayanlar bilir, 1997'nin son 5 ayı içinde Pasifik Okyanusu'nda kuvvetli bir ENSO gelişmişti. Örneğin, 1997'nin Ağustos ayında, orta ve doğu Pasifik'te okyanus su yüzeyi sıcaklıklarında, son 50 yılın en büyük artışı gözlenmişti. Bu nedenle, 1997-1998 El Nino'su, geçen son 50 yılda gözlenen 14 El Nino içinde en güçlü olanıydı ve basınımızda bu yıl "Asrın Kışı'nı" yaşayacağız şeklinde haberler yer alıyordu. Bizde o zaman "önümüzdeki kış" için tahminler yapmaya çalışıyorduk. Gelecekte de benzer olayları tekrar yaşayacağımız için bu olayın Türkiye'ye etkilerini burada daha ayrıntılı olarak incelemek istiyorum.

Yağış ve hava sıcaklığının, atmosferde aynı anda etkili olan çok farklı yersel ve zamansal ölçekteki oldukça karmaşık hava hareketlerinin ve *non-lineer* olan okyanus-atmosfer-kara etkileşimlerinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı unutulmamladır. Diğer bir deyişle, El Nino'ların küresel hava paternlerini farklı farklı etkilemesinden dolayı, her El Nino'nun günlük hava durumunu nasıl etkileyeceğini tam olarak tahmin etmek mümkün değildir. Onun için yağış ve hava sıcaklığındaki değişimin bütünüyle El Nino veya La Nina gibi tek bir okyanus-iklim olayı ile bire bir açıklamak mümkün değildir.

Bildiğiniz gibi Türkiye'deki hava şartlarını, dünya atmosferindeki değişimlerden soyutlamak da mümkün değildir. ENSO'nun Pasifik Okyanusu'nun tropikal enlemlerindeki etkisi oldukça iyi bir şekilde bilinmesine rağmen, dünyanın değişen genel hava hareketleri nedeniyle Türkiye'de de La Nina'dan dolayı hava şartlarında bazı değişik-

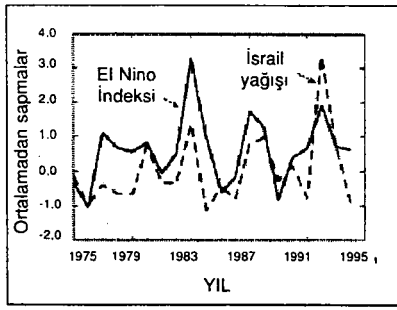
likler olması ihtimal dahilindedir. Özellikle, Alman meteorologlar Fraedrich ve Müller (1992) fırtınalar ve cephesel sistemler normal yörüngelerinin dışına çıkmasıyla El Nino'nun Türkiye'de anormal sıcaklık ve yağışlara neden olabileceğini göstermiştir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. El Nino yıllarında Türkiye'yi etkileyen fırtına yörüngeleri (Fraedrich ve Müller, 1992).

El Nino'nun Pasifik Okyanusu'nun tropikal enlemlerindeki etkisi oldukça iyi bir şekilde bilinmesine rağmen, "Avrupa ülkeleri ve Türkiye'nin aldığı yağışlar ile El Nino arasında bir ilişki var mıdır?" sorusuna şu an kesin cevap vermek mümkün değildir. Ne kadar ve nasıl? sorularına şimdilik cevap veremezsek bile dünyanın değişen genel hava hareketleri nedeniyle Türkiye'de de El Nino'dan dolayı hava şartlarında bazı değişiklikler olacağı muhakkaktır. Türkiye'deki hava şartlarını, Dünya atmosferindeki değişimlerden soyutlamak mümkün değildir.

Bununla birlikte İsrail'de Weizmann Bilim Enstitüsü tarafından 1996 yılında yapılan bir araştırma, Orta Doğu'da yağışlar ile El Nino arasında önemli bir ilişkinin varlığını ortaya koymuştur (Şekil 2.18). Özellikle, El Nino yıllarında İsrail'in kış aylarında normallerinden daha fazla yağış aldığı görülmüştür. Bu sonuç bu bölgede yer alan Tür-

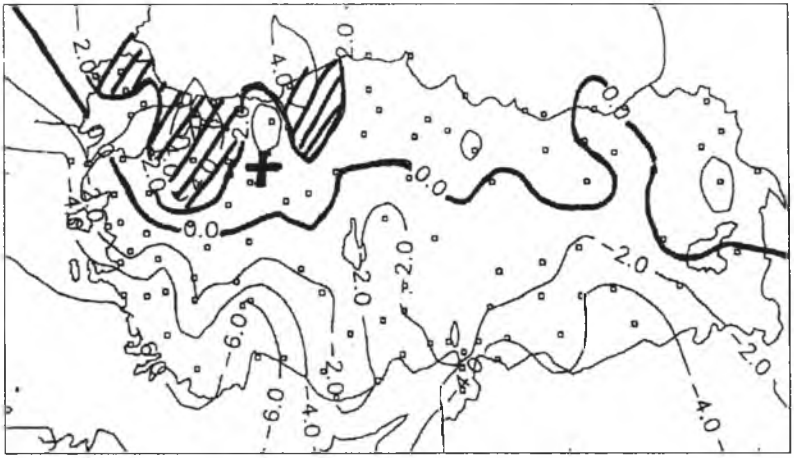


Şekil 2.18. Bu şekildeki düz çizgiler, İsrail'deki toplam yıllık yağış sapmalarını (normalden olan farkları) kesik kesik çizgiler ise El Nino indeksini göstermektedir.

kiye için de önemle göz önünde tutulması gerekirdi. Aksi ispat edilmedikçe Türkiye'deki yağışların İsrail'dekine benzer şekilde El Nino ile kış aylarında artacağını kabul etmek birçok yönden daha doğru ve yararlı olacaktı.

Almanya ve İsrail'de yapılan bu araştırmaların sonucu Türkiye'nin de içinde yer aldığı bölgenin tümü için genelleştirilebilir mi? Diğer bir deyişle, Türkiye'deki yıllık toplam yağış miktarlarında El Nino'nun etkisini belirleyebilir miyiz? Bunun için ben ve iki hocam, Türkiye'deki El Nino yıllarındaki yağışları sakin yıllardaki yağışlar ile karşılaştırmaya karar verdik.

Böylece Şekil 2.19'daki noktalar ile işaretlenmiş olan 108 meteoroloji istasyonun 1931-1990 yıllarına ait aylık toplam yağış gözlemleri incelenmiştir (Kadıoğlu ve ark., 1999). Bu çalışmada El Nino yılları ile sakin geçen yılların yağışları (superposed epoch metotu ile) karşılaştırılmıştır. Yağış verileri olduğu gibi değil de her ayın yağışının yıllık toplam yağışa göre yüzdesi elde edilerek aralık ayındaki değişimin üzerinde durulmuştur.



Şekil 2.19. Türkiye üzerinde aralık ayı aylık toplam yağışların sakin yıllardaki değerleri ile El Nino yıllarındaki değerleri arasındaki % olarak faklar (Kadıoğlu ve ark., 1999).

Şekil 2.19'da görüldüğü gibi El Nino yıllarında Marmara ve Batı Karadeniz Bölgesi'nde değişen oranlarda bir artış; diğer bölgelerde ise azalmalar var. Tükiye'nin Kuzeybatı kesimlerindeki bu yağış artışına ve Güneybatısındaki yağış azalmasına, El Nino'nun Şekil 2.16'da gösterildiği gibi yukarı seviye hava sirkülasyonlarını etkilmesi ve bunun bir sonucu olarak da (Şekil 2.17'de Alman araştırmacılar tarafından ortaya konduğu gibi) Türkiye'yi etkileyen fırtınaların izlediği la veri ve fiziksel yaklaşımla ENSO ve dünya üzerindeki buna benzer (NAO gibi) birçok olay ile Türkiye üzerinde görülen hava sıcaklıkları ve yağış arasında olması muhtemel bir ilişkinin varlığının araştırılmasına devam etmeliyiz.

El Nino'nun ileriki yıllarda, çevre kirliliği ve atmosferin sera etkisi sonucunda meydana gelebilecek küresel sıcaklık artışı ve iklim değişikliği ile nasıl değişeceği ise şu an bir bilinmezden öteye gitmemektedir. Bununla birlikte ileriki yıllarda El Nino'nun, Dünya'nın değişen iklimi ile beraber daha şiddetli ve yıkıcı bir şekilde ortaya çıkması muhtemeldir. Bu olasılık, ortaya çıkış şekli gibi, ne zaman görülece-

ğinin de önceden tahmin edilememesi, değişik atmosferik hareketler sonucunda tüm dünyayı etkisi altına alan El Nino olayını, daha ilgi çekici ve bir o kadar da tedirgin edici boyutlara vardırmaktadır.

2.7 Geçmişte Ekstrem Hava ve İklim Olayları

Bugünlerde yaşadığımız her aşırı hava olayını "eşi ve benzeri görülmemiş" bir doğa olayı olarak yorumlamadan önce, geçmiş yıllarda Dünya'da ve Türkiye'de yaşanmış doğal iklim değişimleri, meteorolojik afetler veya meteoroloji karakterli doğal afetleri incelemekte yarar vardır.

Dünyada Doğal İklim Değişiklikleri

Volkan patlamaları, Dünya'nın ekseni etrafındaki açının ve Güneş etrafındaki yörüngesinin değişimi gibi doğal etkiler de geçmişte iklim değişimine neden olmuştu.

Birtakım kanıtlar iklimin geçmiş yıllar boyunca değiştiğini göstermektedir. Bazı iklimsel değişiklikler, küçük ve bir yıldan diğerine biz fark etmeden gerçekleşir. Diğer; devamlı kuraklık, yıllık muson yağmurlarındaki bir gecikme gibi değişiklikler, milyonlarca insanın yaşamını kötü bir şekilde etkileyebilir. Eğer uzun yıllar göz önüne alınırsa yavaş yavaş canlı yaşamı için elverişsiz bir hale gelecek olan otlaklar gibi küçük değişikliklerin de zararları olduğu görülür.

Dünyadaki iklim değişimi aslında binlerce yıldır var. Yaklaşık 18 bin yıl önce Dünya buzul bir çağ yaşamaktaydı. Kuzey Amerika ve Avrupa gibi çok büyük alanlar buzullarla kaplıydı. Günümüzde ise buzullar dünyanın sadece onda birini kaplamaktadır.

Ahrens'e göre, eğer tüm Dünya'da sıcaklığın artarak buzulları erittiğini düşlersek, okyanusların yaklaşık 65 metre yükseleceği ve New York, Tokyo ve İngiltere'nin tamamı gibi birçok önemli bölgenin su-

lar altında kalacağı tahmin edilmektedir. Dünya sıcaklığının bir kaç derece Santigrad artması bile deniz seviyesinin bir kaç metre yükselmesi için yeterli olabilir. Bu da kimi sahil yerleşimlerinin sular altında kalmasına neden olabilir.

Birçok kaynakta geçmişteki iklimler ile ilgili bilgiler yer almaktadır ve Milyonlarca Yıl Önce (MYÖ), Yüzyıllar Önce (YÖ) ve Milattan Sonra (M.S.) büyük iklim olayları şu şekilde özetlenmektedir.

MYÖ	İKLİM
65	Dünya daha sıcaktı, buzulların varlığına dair hiçbir delil yok.
55	Dünya uzun süren bir soğuma eğilimine giriyor. Kutuplarda buzullar oluşmaya başlıyor.
10	Antarktikayı derin bir buz tabakası kaplıyor. Buz Çağı başlıyor. Karaları kaplayan buzullar oluşarak ileri-geri hareketleri ile bir döngü başladı. Sıcak dönemler Buzul Devreleri Arası olarak adlandırılır.
YÖ	İKLİM
18-22.000	Kuzey Amerika buzulları en büyük alana yayılmış durumda; okyanuslar bugünkü seviyelerinden 85 metre daha düşük.
10.000	Kuzey Amerika'dan buzullar çekildi.
7-5.000	Sıcaklıklar 2^{o} -3^{o}C daha sıcak.
5.000	Soğuma eğilimi ve Alplerde buzullar oluşmaya başlıyor.
M.S	İKLİM
1.000	Kuzey Amerika nispeten daha sıcak ve kuru. İngiltere'de üzüm bağları gelişmeye başladı. Vikingler etrafa dağıldı.
1.350-1.800	Soğuma eğilimi (Küçük Buzul Çağı). Küçük buzul çağı.

	Dünya yüzeyinin normalden daha soğuk ve Maunder Minimumu olarak adlandırılan güneş etkinliklerinin en düşük ve güneş lekelerinin olmadığı bir döneme rastlar.
1.816	"Yaz mevsimi olmayan yıl."
1.800'lerin sonu	Isınma eğilimi başlıyor. Bu eğilim yaklaşık olarak 1940'lara kadar devam etti.

Tarihimizde Meteorolojik Afetler

Şiddetli hava olayları ve doğal afetler, ya savaşların kaderini değiştiren ya da salgın hastalıklara, kıtlıklara ve isyanlara neden olan olaylar olarak tarih kitaplarında yer almıştır. Bazı tarihçiler, doğal afetleri bir halk için felaketken, diğer bir halk için "fırsat anları" olarak yararlı olabildiğine işaret ederek onlardan askeri faaliyetlerle bağlantılı olarak söz etmişlerdir.

Örneğin, 1529'da Kanuni Sultan Süleyman'ın Viyana kuşatmasında, aşırı yağışlar, erken gelen ve olağandışı olan soğuk havalar nedeniyle yarıda kesip geri çekilmesi gibi. Eylül 1854 - Şubat 1856 ayları arasında Rusya'ya karşı Osmanlılar ile birlikte İngiliz ve Fransızlar arasında cereyan eden Kırım Savaşı'nda hem meteorolojik olaylar savaşı önemli ölçüde etkilemiş, hem de savaş meteoroloji biliminin gelişmesine önemli katkılarda bulunmuştur.

Çinlilerin binlerce yıllık tarihlerine ait arşivleri didik didik edip, meteorolojik afetlerden özellikle sellere ait olan bilgileri ortaya çıkartmalarına ait makalelerin hep birer kopyasını çıkartmış, saklamışımdır. Hayalimde bir gün benzeri bir çalışmanın Osmanlı arşivlerinin taranarak yapılması vardı. Böyle bir çalışma bugünkü yerleşim yerlerinin seçimi ve köprü vb su yapılarının inşasında da çok büyük faydalar sağlayabilirdi. Şimdiye kadar Osmanlı arşivleri hep başka amaçlar için taranmış; meteorolojik, hidrolojik veya afetler ile ilgili bir amaçla taranmamıştır diye düşünüyordum.

Bu düşünce ve hayalim, Elizabeth Zachariadou'nun 1999 yılında

editörlüğünü yaptığı *Osmanlı İmparatorluğu'nda Doğal Afetler* adlı kitap ile tanışana kadar devam etti. Bu kitabın birinci bölümünde birçok Türkolog tarihçi Osmanlı İmparatorluğu tarihinde bilinen doğal afetlerden depremleri saptamış ve bu afetleri çeşitli sosyo-ekonomik yönleriyle incelemiştir.

Kitabın "Seller ve Kuraklıklar" adlı İkinci Bölümü'nde sadece üç makale yer almaktadır. İlk makalede Suraiya Faroqhi, 1688-89 yıllarında Edirne bölgesinde çayırları ve tarım ürünlerini tahrip eden selleri, tarım ürünlerinden alınan vergilere ait kayıtlara dayanarak incelemiştir. Faroqhi bu makelesinde Osmanlı arşivlerinde doğal afetlerle ilgili pek fazla belge olmadığını ve bunun nedenini de bir "muamma" olarak yorumlamaktadır. Yazar ayrıca, 17. ve 18. yüzyıllara ait belgeler incelendikçe özellikle orman yangınları ve kuraklıkların vermiş olduğu zararlar ile ilgili resmi kayıtlara ulaşılabileceğini de ummaktadır. Faroqhi'ye göre çekirge zararlıları, Osmanlı uzmanları tarafından araştırılmış birkaç doğal afetten biridir.

Bu bölümde yer alan ikinci makalede Michael Ursinus, Manastır (Bitola) kazasının kayıtlarını inceleyerek 1816 yılından itibaren dolu, sel ve yangınlardan dolayı yapılan vergi indirimlerini ortaya koymuştur. 1817, 1822 ve 1823 yıllarında (özellikle Nisan sonu ve Kasım sonunda görülen) dolu fırtınaları; 1826 ve 1828 yıllarında "su ziyanları"; 1828 ve 1835 yıllarında da yangınlar Ursinus tarafından incelenmiştir.

Üçüncü makalede Gilles Veinstein, 1559-1560 yıllarında Karadeniz'in kuzeyinde (Kırım Hanı topraklarında) havaların çok soğuk ve yağışsız geçmesi sonucu hüküm süren büyük kuraklık ve kıtlığa karşı Osmanlı yetkililerinin gösterdiği tepkileri ele almıştır. Yazarın "iklimden kaynaklanan bu felakete hiçbir çare bulunamamıştı" şeklindeki yorumu maalesef bu günkü Türkiye için hâlâ geçerlidir. Öyle ki günümüz Türkiye'sinde kuraklık resmen bir afet dahi sayılmıyor.

Bu konuda basınımızda çok nadir olarak çıkan yazılardan birinde Mustafa Armağan, 20/06/2000 tarihinde Zaman Gazetesi'ndeki *Çepe-*

çevre köşesinde "Osmanlı'yı Donduran Soğuk" başlıklı yazısında birkaç tarih kitabından söz eder: William J. Griswold'un 1350-1800 tarihleri arasında Dünya'da hüküm süren "Küçük buzul çağı"na bağlı olarak soğuk havaların hububat rekoltesinde düşüşe yol açtığına, bunun köylerin boşalmasına, tarihçilerin deyişiyle "büyük kaçgun"a, onun da Celali İsyanları'na (1591-1611) neden olduğunu söylüyor. (Anadolu'da Büyük İsyan, Çeviren: Ülkü Tansel, İst. 2000, Tarih Vakfı Yurt Yay.). Benzer şekilde Süreyya Faruki de Küçük Buzul Çağı'nın Osmanlı topraklarındaki isyanlarda oynadığı role değiniyor (Approaching Ottoman History, Cambridge, 1999).

Evliya Çelebi 1611 yılında doğmuş ve 70 yıl seyyahat ederek gezmedik ve yazmadık şehir bırakmamıştı. Böylece 17. yüzyılın Osmanlı İmparatorluğu'na pek çok yönden ışık tutan Çelebi'nin Seyyahatnamesi'nde "havada-sudan" pek bahsedilmemiş. Okuduğum "En Güzel Seçmeler" kısmından sadece 1611 yılında Tuna Nehri'ndeki buzlardan ve 1640 yılında Azak dönüşü Karadeniz'de tutulduğu "mühtiş fırtına"dan ballandıra ballandıra söz ediyor.

Vehbi Belgil, Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'ndeki 28 Ocak 1995 tarihli ve "Karlar ve Rüzgârlar" başlıklı yazısında "Anormal kışlar"dan bahsederken sözü 1928 kışında İstanbul'da yaşadıklarına gediriyor:

"1928 kışını çok iyi anımsıyorum. Kürediğimiz karlar bir gün sonra yine örterdi yerleri, doldururdu kuytuları. Tuna'da dinamitle patlatılan buz parçaları İstanbul Boğazı'nı köprüye çevirmişti. Kıyıdan kıyıya yürüyerek geçenlerin resimleri yer alıyordu gazetelerde.

Başka bir "kara kışı" da Cenap Şehabettin'in vefatı günü 13 Şubat 1937'de yaşamıştık. Kum rüzgârı gibi insanı boğan toz şeklindeki kar müthiş bir esinti ile yağıyordu. Okullar hemen tatil edildi: Hocaların, öğrencilerin bir an önce evlerine gidebilmesi için. Dilimize en güzel kar şiirini kazandıran üstat, karlı bir günde gitmişti. ..."

Osmanlı arşivlerini inceleme olanağımız yok; ama elimize geçen

iklim ve tarih kitaplarına başvurabiliriz. İklim çalışmalarının birinde Butzer (1958), 673, ve 800-801 kışlarında Karadeniz'in donduğunu belirtiyor. Birçok Türkçe kaynak ile beraber Baron Joseph Von Hammer Purgstall'ın 10 cilt olarak dilimizde yayımlanmış olan "Büyük Osmanlı Tarihi" gibi tarih kitaplarını da karıştırırsak meteorolojik olaylara dair şöyle bir liste hazırlayabiliriz:

M.Ö. 1200	Hititler kuraklıktan dolayı Mısır'dan yardım istedi.
M.Ö. 235	Türklerin Orta Asya'dan Göçü.
590-645	Yakın Doğu'da şiddetli kuraklıkları takiben soğuk kışlar.
673	Karadeniz dondu.
800-801	Karadeniz dondu.
1263	Berke Han şiddetli bir kış sayesinde Tuna'yı buz üzerinden geçerek İstanbul surlarına kadar geldi.
1301	(27 Temmuz) Sakarya Nehri'nin taşması.
1343	Aydın Beyinin donanmasını (Trakya kıyılarında) Obe Adası yakınlarında bir fırtınanın dağıtması.
1368	(14 Ağustos) Meriç Nehri'nin taşması.
1431	Osmanlı'da kıtlık.
1472	Karaman'da şiddetli kış.
1490	(4 Temmuz) İstanbul'da kasırga.
1565-67	Osmanlı buğday ihracatını yasakladı.
1509	(22 Kasım) Edirne'de Tunca Nehri boyunca su baskını.
1509	(14 Eylül) İstanbul şehrinde sel.
1515	(25 Ağustos) Büyük İstanbul yangını.
1563	(20 Eylül) İstanbul'da büyük su baskını.
1564	Anadolu'da kıtlık.
1571	(23 Ekim) İstanbul'da kasırgayla birlikte görülmemiş kalınlıkta kar yağması.
1585	Ocak ve Şubat aylarında İstanbul hiç yağış almadı.
1586	Çorum'da açlık.
1588	İstanbul'da kıtlık.
1591-1611	Küçük buzul çağı ve Anadolu'da Celali İsyanları.
1612	İstanbul Boğazı dondu.
1621	(9 Şubat) Şiddetli kış. Boğaziçi dondu ve şehirde kıtlık başladı.
1630	(25 Haziran) İstanbul'da fırtına ve IV. Murad'ın önüne yıldırım

düşmesi.

1630	(3 Nisan) Gök gürültülü sağanak yağış fırtınası Mekke ve Kabe'de sele neden oldu.
1660	İstanbul ve Anadolu'da yangınlar ve kıtlık.
1667	(28 Temmuz) Mısır'da kasırga. Yağan iri taneli dolu nedeniyle havadaki birçok kuş ile birlikte yeryüzünde birçok hayvan telef oldu.
1681	(15 Ocak) Aşırı yağışlar Mekke ve Kabe'de sele neden oldu.
1687	(25 Ağustos) İstanbul'da yangın.
1689	Büyük fırtına; Boğaz'daki bütün kayıklar battı.
1690	(18 Mayıs) İstanbul'da fırtına, Haliç'te gemiler battı ve 500 kişi öldü.
1693	(5 Eylül) Kuvvetli rüzgârların körüklediği yangınlar, İstanbul'u harabeye çevirdi.
1699	İstanbul'da şiddetli kış.
1717	(2 Aralık) İstanbul'da kasırga ve birçok geminin batması.
1719	(21 Temmuz) İstanbul'da büyük yangın.
1728	(6 Ağustos) İstanbul'da kasırga.
1748	(24 Eylül) İstanbul-Haliç üzerindeki köprüyü sel aldı.
1749	(4 Mart) Kasırga (hasar bilgisi yok).
1751	(15 Ağustos) İstanbul-Haliç-Kasımpaşa-Üsküdar'da sel.
1751	(15 Temmuz) Büyük İstanbul yangını.
1755	(12 Temmuz) Büyük İstanbul yangını.
1762	(18 Ekim) İstanbul'da fırtına.
1828	İstanbul'da yiyecek kıtlığı başladı.
1849	İstanbul'da kışın 20 gün aralıksız kar yağdı, Çekmece gölü dondu, Eyüp-Sütlüce arası buz tuttu.
1873-74	İç Anadolu ve Balkanlarda kuraklık, seller ve kıtlık.
1925-28	Anadolu'da kuraklık.
1928	İstanbul'da soğuk bir kış, aşırı kar ve Boğazda buzlar.
1954	(14 Ocak) Şiddetli kış, İzmit Körfezi ve Boğaziçi dondu.
1971-72	Dicle Nehri dondu, iki yüzyılın en soğuk kışı yaşandı.

Özellikle Hammer, fırtınaların yok ettiği donanmalar ile birlikte soğuk ve kıtlıklardan çok sıkça bahsetmektedir. Yukarıdaki listeye bakınca havalarımızın sürekli olarak çıldırdığını düşünebilirsiniz. Ama havanın karakteri bu işte, yani hava sürekli ekstrem değerler alabilen çok değişken bir şey!

Anadolu'da İklim Değişiklikleri

Türkiye'yi neredeyse karış karış dolaşan Amerikalı Profesör Peter Ian Kuniholm gibi dendrokronolojistler ağaçların yaş halkalarını inceleyerek geçmişteki iklime ışık tutabilmektedir (Şekil 2.20). Dendrokronoloji bilim dalına mensup uzmanlar ağaçların yaş halkalarının büyük ve küçük olmalarından hareket ederek çok önemli iklimsel sonuçlar çıkarabiliyorlar. Örneğin çok eski bir ağaç bulunduğunda ortasından bir kesit veya örnek alınıp incelenir. Eğer bir dönemde ağaç iyi su almışsa o ağacın yaş halkaları geniş oluyor, su alamamışsa yani kuraklık yaşamışsa halkaları dar oluyor. Bundan, ağacın yaşadığı tarihlerde, bazı dönemlerde sulak mevsimler, bazı dönemlerde kurak mevsimler yaşandığı sonucu çıkartılabiliyor.



Şekil 2.20. Ağaçların yaş halkalarının incelenerek geçmişe ait iklim bilgilerinin belirlenmesi (Lutgens ve Tarbuck, 1989).

Kuniholm (1990) yılındaki çalışmasında iklimsel olayları kısa ve uzun vadeli olarak ikiye ayırarak incelemiştir. Uzun vadeli olaylara örnek olarak 1585-1640 yılları arasında görülen Celali İsyanlarını ele almıştır. Bunun için 1560-1620 yılları arasında ağaç yaş halkalarındaki büyüme yüzdelerini belirlemiştir. Kunilhom 61 yılın ağaç yaş halkala-

rındaki büyümeleri incelediğinde 48 yıl normalin çok altında kaldıklarını görüyor. Bu kuraklığın olgun bir yaşta kökleri derinlere inmiş ağaçlardan daha çok, buğday gibi tahılları etkileyeceği de açıktır. Kuniholm, Profesör H. Inalcik ve W. Griswol'e de danışıp, seyyahları ve diğer arşiv bilgilerini de kullanarak 1564-1612 yılları için daha çok kuraklık ve kıtlık olmak üzere meteorolojik olayları Tablo 2.5'de ağaç yaş halkalarındaki büyüme yüzdeleri ile karşılaştırmıştır. Griswold (1977, 1983, 1989)'a göre 16. yüzyılın sonu ve 17. yüzyılın başında Anadolu'da köylülerin huzursuzluğu, göçler ve Celali İsyanları olarak adlandırılan olaylar yaşanıyor.

Tablo 2.5. 1564-1612 yılları için ağaç yaş halkalarındaki büyüme yüzdeleri ile Osmanlı İmparatorluğu'ndaki sosyo-ekonomik olayların karşılaştırılması (Kuniholm, 1990).

Yıllar	Rapor edilen şartlar	Yaş halkalarının büyümesi%
1564	Anadolu'da yaygın olarak görülen kıtlık	%96
1565-1567	Osmanlı'nın tahıl ihracatını yasaklaması	%110, %105, %91
1570-1571	Yasaklar katılaşıyor. Venedik Konsolosu yiyecek fiyatlarının dört kat arttığından şikâyet ediyor.	%109, %87
1574-1576	Tahıl yokluğu. Anadolu ve İstanbul'da açlık.	%105, %90, %94
1579	Ege'de ve Suriye'de kıtlık.	%100
1580	Ege'de ve Batı Anadolu'da kıtlık.	%79
1583	Ege'de ve Halep Şehri'nde kıtlık.	%95
1584	Ege'de, Batı Anadolu'da, Suriye kıyılarında ve Trablusgarp'ta kıtlık.	%96
1585	Ocak ve Şubatta İstabul'da yağmur yağmadı. Yazın Rumeli ve Edirne'de yağış görülmedi. Batı Anadolu'da, İnebahtı ve Anadolu'nun doğusunda kıtlık.	%55
1586	Çorum'da açlık.	%74
1588	İstanbul'da kıtlık.	%82
1589	Akdeniz'in doğusunda kıtlık.	%78
1590	Şam'da kıtlık. İtalya'da büyük kıtlık ve	

	Kuzey ülkelerinden buğday ithalı.	%90
1591	Üsküp'de kıtlık. Doğu Akdeniz'de tahıl pazarı yeniden açıldı.	%72
1592	Sonbaharda Şam'da açlık, soğuk Ocak ayı ve veba.	%71
1594	Veba, fırtınalar. Osmanlı yasakları. Çiftçi olmadığı için tarım alanları ekilemedi. İtalya Kuzey ülkelerinde önemli miktarda tahıl ithal etti.	%84
1595	Açlık	%76
1598	Açlık. Hazar Bölgesi'nde çok sıcak havalar. Temmuz'da çok dalgalı Akdeniz. Sör Anthony Sherely Anadolu'nun çoraklaştığını rapor ediyor.	%76
1599	Adriya Denizi'nde olağandışı rüzgârlar. Zanta Adası'nda kuraklık.	%78
1610	Seyyah Charles Robson "kilometrelerce ovalar insansız". Çekirge belası.	%106
1611	Anadolu'da Kıtlık. Halep Şehri'nde yoğun kar yağışı.	%75
1612	Aşırı kar yağışı sonucu (herhalde çatısı çöken) evinde Fransız Konsolosu'nun ölümü.	% 86

Kısa vadeli olaylara örnek olarak 1873-1874 yılları arasında Türkiye'de etkili olan Büyük Kuraklık verilmiştir. (Bu yılların, ENSO yılları tablosuna bakıldığında, La Nina yılları olduğu görülmektedir.) Kuniholm, Christiansen- Weniger and Tosun'un 1939 yılında yaptıkları bir çalışmada Ankara'da (Keskin) 1874 yılında yaşanan kuraklıkta ineklerin %81'i ve koyunların %97'sinin öldüğü. 52 bin kişilik nüfustan 7 bininin göç ettiği ve 20 bininin de ölmüş olduğu belirtilmektedir. Seyyah C. Naumann'a (1983) göre Kastamonu, Ankara ve Kayseri'de 150 bin insan ile birlikte, 100 bin çiftlik hayvanı öldü. Açlık ve hastalıklar da 1873-1874 kışında ayrıca 100 bin kişinin ölümüne neden oldu.

Ankara ve çevresinde görülen bu büyük kuraklık, bölgedeki ağaçların yaş halkalarına da yansımış olmalıdır. Kuniholm tarafından bölge-

deki ağaçlar üzerine yapılan çalışmalarda elde edilen ağaç yaş halkaları büyüme miktarlarının, önemli ölçüde normallerinden (%100'den) çok düşük olduğu tespit edilmiş ve Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Ağaç yaş halkalarına göre 1873 ve 1974 yıllarındaki bitki büyüme yüzdeleri, (Kuniholm, 1990).

Yer	1873 Büyüme İndeksi	1974 Büyüme İndeksi
Mihaliççik	%25,2	%20,8
Çeltikçi	%23,0	%54,2
Çamlıtepe	%46,7	%87,8
Hamidiyeköy	%54,6	%85,7
Yozgat	%66,1	%67,7
Ovacık	%66,3	%73,9
Güdül	%74,4	%69,6
Kızılcahamam	%70,9	%70,0
Baglum	%59,4	%94,4
Yarakın	%69,1	%95,1
Çatacık	%84,6	%87,1

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Doğal ve Yapay İklim Değişimleri

Dünyanın iklim sistemi, atmosfer ve okyanusların doğal güçleri ile rüzgâr, yağmur ve sıcaklık dağılımını kontrol eder. Bu dinamik sistem, bir buzul çağından diğerine doğru sürekli değişmektedir. Geçen 3 milyon yıl içinde, iklimdeki değişimleri ve ekolojik sistemlerin kendilerini bu değişimlere nasıl ayak uydurduğunu, jeolojik bulgulardan kabaca görmek mümkün. Buzul çağlarda bitki örtüsü güneye, iki buzul çağın arasında da kuzeye doğru gelişmiştir. İnsan ve hayvanların sayısında da bu bitki örtüsündeki değişim sürekli olarak yansımıştır. Jeolojik bulgular, Dünya atmosferinin sıcaklığında düzenli ve periyodik değişimler olduğunu ortaya koyuyor. Sürekli olarak, yaklaşık 100 bin yıl süren bir buzul çağını, ılık ve biraz daha sıcak 10 bin ila 20 bin yıl süren bir ara iklim takip etmiştir.

Buna rağmen, 80'li yıllardan önce iklim değişimi konusunun önemi, kamuoyunda az iken akademik camiada büyüktü. En büyük sorun, "Buzul çağına ne yol açtı?" sorusuna yanıt vermekti. Aslında 19. ve 20. yüzyılların başlarındaki bir düşünceye göre iklim değişimleri geçmişe ait bir olaydı ve sadece çok uzun jeolojik zamanlarda meydana geldiğine inanılıyordu. Sonuçta, bilim insanları özellikle geçen 10 veya 20 yılda, iklimin tüm zamanlar boyunca değişerek bugünkü haline geldiği fikrinde birleşti. Bununla beraber iklim değişimine artan bir şekilde ilgi gösterenler sadece bilim insanları değildir. Son zamanlarda hükümetler de, Dünya iklimi üzerindeki olası değişikliklerle ilgilenir hale geldi. İklim değişiminin, neden bu kadar üzerinde tartışılan bir konu ve gelecekte kaygı duyulacak bir sorun haline gelebileceği nedenlerini şu şekilde sıralanabilir:

1. İklim verilerine göre, iklim geçmişte zaman zaman değişmiş ve gelecekte de insanlık için daha zor veya en azından daha farklı olabilecektir.
2. İklim insan faaliyetlerinin ve çevre üzerindeki etkilerinin artması sonucu, insanların da artık iklimi değiştireceği konusundaki şüpheler artık kalkmıştır.
3. Artık dünya ikliminin daha değişken hale geliyor olmasıyla ilgili somut deliller de bulunmaktadır.

Buna rağmen bugün hâlâ, atmosfer bilimciler arasında küresel iklim değişiminin nedenleri ve olası etkileri hakkında bazı görüş ayrılıkları da vardır. Herhangi bir noktada ele alınan bir kış mevsiminin sıcaklığının, bir öncekinden daha yüksek olması, veya bir yaz mevsiminin bir öncekinden daha kurak olması iklimin değiştiğini kanıtlamaz. Geçmiş zamanlardaki iklim ve hava özellikleri, dünyamızın yakın zamanda veya çok ileri zamandaki iklimi hakkında bilgi vermez. Çünkü iklimdeki gidişatın belirlenmesi için uzun yıllara ait veriye gereksinim vardır.

3.1. Doğal İklim Değişimleri

Lutgens ve Tarbuck (1989)'e göre iklim değişimini açıklamaya çalışan hipotezler çok fazla sayıda ve çeşitlidir. Birçokları önce geniş bir destek bulmuş, bir sonraki bir öncekini çürütmüş ve bazıları da bazı yönlerden tekrar tekrar gündeme getirilmiştir. Böylece, Dünya'daki iklim değişimlerini açıklayan tek bir model olmadığından, bilimsel her öneri geçerlidir. (Bu biraz bizdeki Marmara'daki fay hatları üzerine olan tartışmalara benziyor!) Bu durumda bilimsel çevreler tarafından ortaya konan önerileri inceleyelim. Bunlardan 4 tanesi insanla hiç bir ilgisi olmayan, doğal iklim değişimi mekanizmalarıdır. Bunlar, kıtasal sürüklenme ve volkanik etkiler olduğu gibi aynı zamanda, güneş enerjisindeki dalgalanma ve dünya yörüngesindeki değişimdir.

Diğer büyük ve yapay etki ise, insan etkisidir. İnsan etkisi konusunda, bazı gazların konsantrasyonunun artması sonucu, havadaki muhtemel karbondioksit gazının etkilerini de inceleneceğiz.

Böylece bu bölümü okuduğunuzda, iklim değişiminin birden fazla mantıksal açıklaması olduğunu göreceksiniz. Aynı zamanda da, iklim değişimini bir tek hipotezin veya teorinin açıkladığını göreceksiniz. Bazen milyonlarca yıllık değişimi açıklayan öneri, birkaç yıl için düşündüğümüz zaman pek faydalı olmuyor. Bana göre birkaç etkeni birden göz önünde bulundurmakta fayda vardır.

Bilindiği gibi iklim elemanlarının alet verileri en iyi şartlarda sadece birkaç yüz yıllık bir geçmişe dayanıyor. Buna göre bilim insanları geçmiş zamanlara ait iklim değişikliğini nasıl araştıracak ve bulabilecek? Bu sorunun yanıtı, kesin olmayan delillerle geçmiş atmosfer koşullarını tahmin etmektir ki, bu da değişen atmosfer şartlarına sebep olan doğal veya yapay olayların araştırılması ve incelenmesiyle mümkün olur. Şimdi bu araştırma tekniklerinden bazılarını değineceğiz.

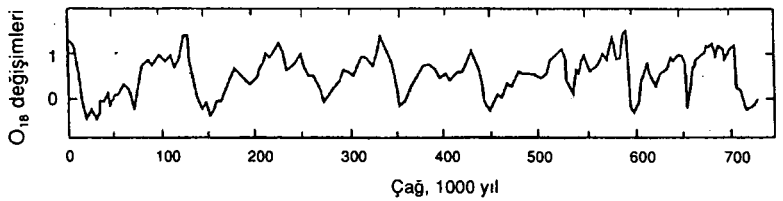
Tortul ve Oksijen İzotopları Analizi

Dünyanın milyarlarca yıllık geçmişine kadar iklim tarihinin araştırılmasındaki en ilginç ve en önemli teknikler, okyanus tabanındaki tortullar (sedimentler) ve oksijen izotopları analizidir. Her iki metot, geçmiş iklimi yeniden ortaya çıkarmak için yeni gelişmelerdir ve birbirleriyle yakından ilişkilidirler.

Tortul Analizi: Deniz tabanındaki tortullar (sedimentler) çok çeşitli olmakla birlikte, birçoğu daha önce deniz kenarında yaşamış olan organizmaların artıklarını içerir. Bu organizmalar öldüğü zaman, hücreleri yavaşça okyanus tabanına yerleşerek tortulları oluşturur ve bugünkü tortul analizinin bir verisi haline gelirler. Deniz tabanındaki tortulların kullanılabilir bir veri olmasının nedeni, deniz kenarında yaşayan organizmaların sayılarının ve nesillerinin iklimin değişimiyle beraber değişmesidir.

Lutgens ve Tarbuck'a (1989) göre bu prensip Richard Foster tarafından şöyle açıklanıyor: "Okyanusun herhangi bir yerinde su yüzeyi sıcaklığının yıllık ortalamasının bizi, o zamanki atmosfere yaklaştıracağını umuyoruz." Deniz yüzeyindeki su sıcaklığı ve hava sıcaklığının karşılaştırılması göstermiştir ki, iklimdeki değişiklikler, deniz tabanına yakın yerlerde yaşayan organizmalarda da değişikliklere neden olmuştur. Okyanusun geniş bir alanda, deniz tabanındaki tortuların ara halleriyle hücreler içerdiğini hatırlarsak, bu organizmaların, su sıcaklığındaki değişimlerin etkisiyle oluşan yapılarındaki değişim, tortullarla ve iklim değişikliği arasındaki bağlantı da belirmiş olur. İklim değişiminin anlaşılması için yapılan araştırmalar, çevresel değişimlerde olduğu gibi deniz tabanındaki büyük miktarlardaki tortul verilerine büyük ilgi uyandırdı. 60'lı yıllardan bu yana, uluslararası birçok karot alma programları düzenlendi. Bu araştırmalar, donatılmış aletlerin okyanus dibinden örnekler toplaması sonucu yapılmaktadır. Bu araştırmalarla tortulların, geçmiş zaman iklimleri hakkında çok iyi bir veri bankası olduğu görüldü.

Oksijen izotopu analizi: İkinci teknik olan oksijen izotopu analizi, O_{16} ve daha ağır olan O_{18} arasındaki belirli oran üzerine kurulmuştur. Daha hafif olan O_{16} izotopu, okyanuslardan daha çabuk bir şekilde buharlaşarak atmosfere kaçar ve yağışla yere inerek buzullarda daha fazla bulunur. Şüphesiz bu olay, buharlaşma nedeniyle azalan okyanus suyundaki O_{18} izotopu konsantrasyonunun artmasını sağlar. Bu nedenle buzullar genişlediği zaman, azalan okyanus suyundaki O_{18} konsantrasyonu artar; bunun tersi olarak, buzulların erimeye başladığı süre içinde ise, O_{16} izotopu yoğunluğu O_{18} izotopuna göre azalır (Şekil 3.1). Mikro-organizmaların kabuklarında kalsiyum karbonat bulunduğu için bu kabuklardan O_{16}/O_{18} oranını tespit edebiliriz (Emiliani, 1978).



Şekil 3.1. Son 700 bin yılın oksijen izotopu değişimi. O_{18}'in izotoplarının büyük miktarları, buzul çağlarını göstermektedir. İzotopik ölçümler zoolojik deniz planktonlarının iskeletlerinde bulunan kalkerden de elde edilir (Emiliani, 1978).

Sonuç olarak, soğuk havaların etkili olduğu süreler, deniz tortularında gömülü bulunan belirli organizmaların oksijen izotoplarındaki değişiklikle bulunabilir. Grönland Adası'nı kaplayan buzul tabakalarındaki O_{16} ile O_{18} izotoplarının oranlarında değişim gözlendi. Oksijen izotopları oranındaki bu değişimin nedeni sıcaklığın değişmesidir. Sıcaklığın arttığı zamanlarda, okyanustan daha fazla O_{18} izotopu buharlaşmakta, sıcaklığın düşük olduğu zamanlarda ise daha az buharlaşma olmaktadır. Bu yüzden ağır izotop, sıcak dönemlerdeki yağışlarda daha çok, soğuk olan dönemlerde ise daha azdır. Bu ilkeden yararlanarak bilim insanlarının Grönland Adası'ndaki buz ve kar tabakaları üzerindeki çalışmaları ile geçmişteki sıcak dönemler ortaya çıkartılmıştır.

Geçmişteki iklimler hakkında bilgi elde etmek için kullanılan metotlar arasında ağaç gövdesindeki halkaları da incelemek vardır (Bölüm 2.7'ye bakınız). İklimin, toprağın nemi ve dolayısıyla bitki gelişiminde önemli bir etkisi vardır. Dolayısıyla ağaç gövdesindeki yaş halkalarındaki gelişmeler, toprağın yapısıyla ilgili olduğu için bu halkalar, iklim değişiminin incelenmesi için de kullanılmaktadır.

Levha Tektoniği

Levha tektoniği kuramı, yeryüzü kabuğunu oluşturan dev boyuttaki parçaların (levhaların) hareketlerini açıklar. Bu dev tektonik lev-

haların hareketleri sırasındaki olaylar geçmişten günümüze Dünya iklimini de önemli ölçüde etkilemektedir. Levha tektoniği Dünya iklimini üç değişik mekanizma ile etkiler: 1. Dünya üzerindeki kara ve deniz dağılımları, 2. kıtaların ve dağların yüksekliklerinin değişimi ve 3. atmosferdeki karbondioksit miktarı değişimi (Barron, 1994).

Kıtaların Evrimi

1912 yılında Alman meteorolog Alfred Wegener'in başlattığı 'levha tektoniği kuramı' 60'lı yıllardan sonra, yerbilimcileri tarafından bir "evrim teorisi olarak" kabul edilmeye başlandı. Modern yer bilimlerinde devrim yaratan bu teori, Dünya'nın dış yüzeyinin levha denilen yer kabuğunun hareket halindeki irili ufaklı parçalardan oluşmasına dayanır. Levhaların hareketiyle kıtalar da yer değiştirmektedir. Bu teori, yer bilimcilerin sadece sorularını cevaplamakla kalmıyor, aynı zaman da iklim bilimcilere de şimdiye kadar açıklanamamış iklim değişiklikleri hakkında da yol gösteriyor. Örneğin, bugün Afrika, Avustralya, Güney Amerika ve Hindistan'daki buzullara ait izler, bu bölgelerin 230 milyon yıl kadar önce buzullarla kaplı olduğunu gösteriyor.

Levha teorisi ortaya atılıp kanıtlanmadan önce, buzulların neden değişik kıtalarda olduğu hakkında hiçbir açıklama yapılamıyordu. Oysa jeolojik zaman evrelerine bakıldığında kıtaların dağılımın büyük ölçüde değiştiği görülür. Örneğin, bugünkü 7 kıta yerine 165 milyon yıl önce sadece *Pangea* adı altında süper bir kıta ve *Panthalassa* adlı büyük bir okyanus vardı (Şekil 3.2). Sonraları bölünen bu kıtanın parçaları, her biri değişik bir levhayla hareket ederek bugünkü yerlerini aldılar. Bu nedenle o zamanki buzul sahaların büyük bir bölümü, kıtaların bugünkü subtropikal enlemlere gelmesiyle eridi. Bugün sadece deniz kıyısında hayat bulunan tamamen buz ile kaplı Antarktika, Güney Kutbu buzlarla kaplı bir durumda değildi. Antarktika'daki kömür yatakları, geçmişte buranın daha sıcak iklime ve ormanlara sahip olduğunu gösteriyor. Grönland Adası da bir zamanlar ekvatorda ve

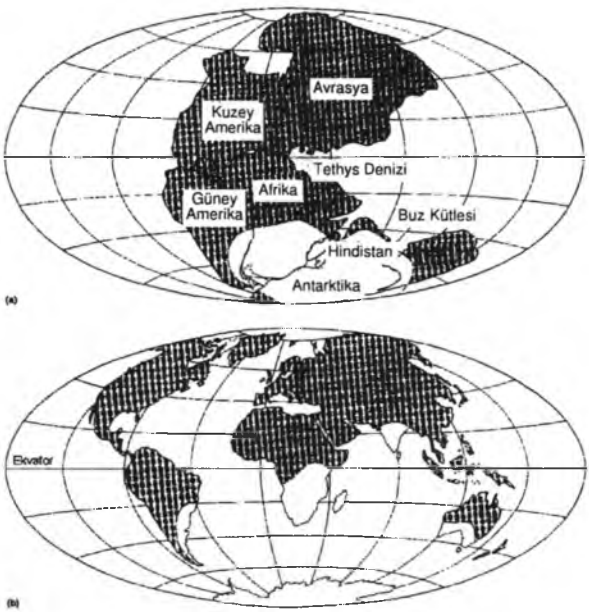
Sahra Çölü de Güney Kutbu'nda bulunuyordu. Kıtaların pozisyonlarındaki bu dramatik farklılıklar Dünya'nın 4,6 milyar yıllık tarihi boyunca küresel iklimde de dramatik değişimlere neden olmuştur.

22 Ağustos 2001 tarihli gazetlerimizde çıkan haberlere göre bir zamanlar Anadolu'nun tropikal ormanlarında gergedanlar yaşıyormuş. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Çoğrafya Fakültesi Arkeoloji Bölümü Prehistory Ana Bilim Dalı öğretim üyelerinden Prof. Dr. Işın Yalçınkaya'dan elde edilen bilgilere göre, Antalya Karain Mağarası'nda yaptıkları kazılarda su aygırı, mağra aslanı ve fil kemiklerinden sonra bulunan gergedan çene kemikleri ve benzeri bulguların bu yörede yontmataş devrinde tropikal bir iklimin hüküm sürdüğünü tespit etmiş. Anadoludaki tropikal iklimi de ancak levha tektoniği teorisi ile açıklamak mümkündür.

Barron (1994) tarafından açıklandığı gibi "Karaların dağılımının küresel iklime etkilerini değerlendirebilmek için şu beş etkendeki değişimler üzerinde durulmalıdır:

1. Yeryüzeyi albedosu: Bir yüzey tarafından yansıtılan güneş enerjisi miktarı albedo olarak adlandırılır (daha fazla bilgi için Bölüm 4,6'ya bakınız). Bir tropikal okyanusun albedosu %7 iken, aynı enlemlerdeki bir çölün albedosu %25'dir. Dünya'dan yansıtılan güneş enerjisi ile yutulan arasındaki bu farklılık, Dünya'nın toplam enerji bütçesini büyük ölçüde etkiler. Özellikle, aşağı enlemler (ekvator çıvarı) yukarı enlemlerden (kutuplar civarından) daha büyük miktarda güneş enerjisi aldığından, aşağı enlemlerdeki kara veya okyanus yüzeylerin oranındaki değişimler Dünya tarafından yutulan veya yansıtılan güneş enerjisi miktarına büyük etkisi olacaktır.
2. Yüksek enlemlerdeki karasal alan: Güneş'ten gelen enerji miktarı yüksek enlemlere gidildikçe azaldığına göre, yüksek enlemlerde kar ve buz daha kolay bir şekilde birikir. Kar ve buzun birikmesi pozitif geri beslemeye neden olur. Diğer bir deyişle, kar

ve buzlu yüzeyler albedoyu arttırır (%65-80'lere); artan albedo nedeniyle de buraları daha fazla soğur ve daha soğuk olması sonuçta daha fazla kar ve buzun birikmesine neden olarak bir sarmal oluşmasına neden olur (daha fazla bilgi için Bölüm 4.6.'ya bakınız).



Şekil 3.2. (a) Süper kıta Pangaea ve bu kıta üzerinde koyu olarak gösterilen bölgeler 300 milyon yıl önceki buzul çağında buz ile kaplı olan alanları gösteriyor. (b) Kıtaların bugünkü durumu ile birlikte bu kıtalar üzerinde buzul çağına ait izler bulunan bölgeler koyu olarak gösterilmiştir (Flint ve Skinner, 1977).

3. Atmosfere salınan gizli ısı: Okyanuslardan suyun buharlaşıp atmosferde yağışa dönüşmesi okyanus yüzeyinden ısı alınarak atmosferde ortama gizli ısı olarak verilmesi demektir. Bu enerji Dünya'daki hava sistemlerine gücünü sağlar (Duxbury ve Duxbury, 1994). Örneğin, buharlaşma ile gizli ısı kaybı okyanuslar üzerinde, karalar üzerindekinden çok daha fazladır. Böylece

aşağı enlemlerde daha büyük okyanus yüzeylerinin olması daha fazla buharlaşma ile ısı kayıplarına neden olacaktır.

4. Okyanus akıntılarının engellenmesi: Okyanus akıntıları, ekvator bölgesi ile kutup bölgeleri arasıdaki ısı değişiminin belli başlı mekanizmalarından biridir. Kıtaların yer değiştirerek okyanus akıntılarının önünü kesmesi kutuplara doğru olan bu ısı transferini etkiler ve kutuplarda daha fazla kar ve buz birikmesine neden olur. Buna ek olarak, nemin dağılımı da değiştiği için iklim etkilenir.
5. Karaların ve okyanusların ısı ataleti (özgül ısısı): Deniz ve okyanusların kıyısında yaşayanlar suyun havayı yumuşatma özelliğini çok iyi bilir. Buna okyanusların yüksek ısıl inertiası (özgül ısısı) neden olur (daha fazla bilgi için Bölüm 1.2'ye bakınız). Karalar güneş enerjisindeki değişimlere çok hızlı bir şekilde tepki verirken, okyanuslar yüksek özgül ısısı nedeniyle çok yavaş tepki verir. Okyanuslarda güneş enerjisi yazın depolanıp kışın salınır. Benzer şeyler göller için de geçerlidir. Örneğin, Küçükçekmece Gölü gibi sığ göller çabuk ısınıp çabuk soğuduğu için buharlaşmanın büyük bir kısmı yaz aylarında olurken, Van Gölü gibi derin göller aldığı güneş ışınlarını derin sularına ulaştırdığı için yavaş ısınır ve yavaş soğur. Bu nedenle Van Gölü'nde buharlaşma gölün su yüzey sıcaklığı ile çevresindeki karaların sıcaklığının farkının en büyük olduğu kış mevsiminin başında gerçekleşir. Böylece karaların okyanuslar ile (veya tersi bir durumda) yer değiştirmesi ve dağılımları farklı özgül ısıları nedeniyle, iklimi etkileyen diğer bir önemli faktördür.

Levhaların Evrimi

Yer kabuğu yüzeyindeki (litosferik) levhaların çarpışması karaların topografik özellikleri ile birlikte, 1. arazi yüksekliğinin değişimini, 2. atmosferin genel sirkülasyonunu ve 3. bölgesel iklimleri de değiştirir.

1. Arazi yüksekliğinin değişimi: Yüksek arazinin iklim üzerine olan en belirgin etkisi, soğuk havanın dağlar ile ilişkili olmasından kaynaklanır. Bölüm I'de anlatıldığı gibi atmosferik sıcaklık, atmosferde yükseklikle belli bir oranda azalır. Yükselen arazideki çok düşük hava sıcaklıkları yıl boyunca yerden kalkmayan kar örtüsüne ve dolayısıyle de yüksek albedoya neden olur.
2. Atmosferin genel sirkülasyonu: Atmosferdeki hava sirkülasyonu, okyanus akıntıları gibi, ekvatordaki ısı fazlalığı ve kutuplardaki ısı açığı nedeniyle oluşur. Dünya kendi ekseni etrafında döndüğü için çok karmaşık hava hareketlerine sahiptir. Bunun sonucu olarak dünya her iki yarım kürede olmak üzere kutuplarda doğulu, orta enlemlerde batılı ve ekvator bölgesinde de ticaret rüzgârları olarak adlandırılan üç değişik rüzgâr kuşağına sahiptir. Bu rüzgâr kuşaklarının kuvveti ve dağılımı dağların arasındaki basınç farklıkları tarafından büyük ölçüde etkilenir. Dağlar ve platolar, hava kütlerinin ve fırtınaların takip ettikleri yolları da değiştirerek atmosferik sirkülasyon paternlerinde ortaya çıkan farklarda daha direk bir rol oynarlar.
3. Bölgesel iklim: Dağların rüzgârın geldiği yöne bakan yamaçları genellikle daha yağışlı olur, fakat rüzgârın gittiği yöndeki yamaçlarda "yağmur gölgesi" adı verilen bir kuraklık görülür. Diğer taraftan, rüzgârın geldiği yöndeki yamaçlarda hava yükselirken soğur. Rüzgâr altında ise çöken hava ısınarak (fön etkisi) bir çeşit çöl oluşturur. Örneğin benim doğum yerim Trabzon - Maçka tarafındaki Zigana dağlarının etekleri yemyeşilken, Bayburt'a doğru giderken Zigana tünelini geçer geçmez bozkırla karşılaşırsınız. Bu nedenle dağların farklı tarafları farklı iklimlere sahiptir.

Levhaların bu tür evrimleri sonucu, örneğin 135 milyon yıl önce İkinci Zamanın son kısmında Tebeşir dönemi olarak adlandırılan jeolojik zaman diliminde Dünya bugüne göre daha sıcak ve nemli bir

iklime sahipti. Tebeşir dönemindeki hava sıcaklıkları, bugün yüksek enlemlerde bulunan kömür yataklarına, eskiden mercan kayalarının dağılımına, yer değiştiren bitki kuşakları ve yüksek olan deniz seviyelerine göre 6-12°C; Küresel İklim Modelleri ile yapılan simülasyonlara göre ise 4,8°C kadar bugüne göre daha sıcak olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle tektonik levhaların hareketlerinin (dolayısıyla o zamanki kıta ve okyanusların dağılımının) yorumları, bugünden farklı ve daha sıcak iklim koşullarının var olduğunu ortaya koymuştur.

Sıra dağlar, platolar, yaylalar vb. gibi yüksek yerlerin rüzgâr sirkülasyonunu, sıcaklık ve yağışları değiştirerek iklimi büyük ölçüde değiştirebileceğini gördük. Örneğin, 180 milyon yıl önce süper kıta Pangaea parçalanınca, Hindistan kuzeye doğru hızla hareket ederek, Güney Asya'ya çarptı. Bu çarpışmanın sonucu Himalayalar oluştu. Ekvatorun üstünde ve altında yüksek basınç kuşaklarında bulunan çöllerden farklı bir şekilde oluştuğuna inanılan Gobi Çölü bu şekilde ortaya çıkmış olsa gerek. Benzer şekilde İtalya, Afrika'nın kuzeye doğru hareketi sonucu Avrupa'yla birleşince Alpler yükseldi. Himalaya ve Alpleri oluşturan jeolojik olaylar günümüzde de devam etmektedir. Afrika levhası da sürekli olarak kuzey doğru ilerleyerek çok uzun yıllar sonra Akdeniz'i yok edecektir. Bugünkü Akdeniz'in yerini yeni sıra dağlar aldığında Antalya'nın Bodrum'un ikliminin nasıl bir hal alacağını artık varın siz düşünün.

Böylece, yeryüzeyindeki levhaların jeolojik zamanlar sırasındaki hareketinin iklim değişikliğine yol açtığına inanılmaktadır. Mutlaka, okyanussal dolaşımda, nem ve ısı iletiminde bu evreler sırasında da değişiklikler olmuştur. Çünkü, levhaların hareket hızları, yılda 1 cm gibi küçük bir değerdir ve kıtaların bugünkü yerlerine gelmeleri için birkaç jeolojik zaman aralığı (milyonlarca yıl) geçmesi gerekir. Bundan yola çıkarak levhaların hareketlerinin milyonlarca yıl sürdüğünü söyleyebiliriz. Sonuç olarak levha tektoniği teorisi, on yıl, yüzyıl gibi kısa zaman aralıklarındaki iklim değişikliklerini açıklamak için kullanışlı değildir.

Volkanik Etkinlikler

8 Mayıs 1902'de, Pasifik Okyanusu'ndaki Martinique Adası üzerindeki Peleè Dağı yamaçlarında aşağı zehirli gazlar ve kül bırakarak gelip St. Pierre kentinin içinde, yanan dev bir ateş topu gibi şiddetle patladı. Kalın duvarlarla korunan zindanda fena yanmış bir mahkûm dışında, 30 binden fazla insanın hepsi öldü.

Peleè Volkanı patlaması bir hava kirliliği örneğidir. Hava kirliliğinin yapay nedenlerden olduğunu düşünme eğilimimize karşın, birçok doğal kirletici kaynak da vardır. Volkanlar, orman yangınları ve toz fırtınaları gibi bazı kirleticiler oldukça önemlidir. Ama volkan patlamaları gibi bazı doğal olaylar, sürekli olarak ve yoğun bir şekilde havayı kirletir.

Volkanik patlamaların arazinin yapısını değiştirmesi, havayı kirletmesi ve neden olduğu yıkımı gördük; fakat volkanlar aynı zamanda iklimde de önemli değişime neden olabilirler. Volkanlar bunu atmosfere büyük miktarda silikat (kuvars kumu) ve sülfürik asit aerosolları pompalayarak yapar. Sülfürik asit aerosollarının özellikle stratosfere girmesi küresel iklimde kısa dönemde önemli değişime neden olur (Bölüm 1.1'e bakınız).

Bu aerosollar, stratosfere taşındıklarında gelen güneş ışınımlarını yutup ve geri yansıttığı gibi yeryüzünden uzaya giden kırmızı-altı ışınımı da yutarlar. Bu yutma nedeniyle stratosferin sıcaklığının artmasıyla birlikte aerosollar Güneş'ten gelen ışınımı engellediği için atmosferin aşağı seviyesinde soğuma görülür. Büyük volkan patlamalarının neden olduğu volkanik emisyonların yeryüzü sıcaklığını birkaç yıl için ve küresel ölçekte birkaç derece Celcius azaltabildiğini gösteren birçok bilimsel çalışma vardır. Örneğin, Sigurdsson (1990)'a göre volkanik bir patlamanın atmosfere saldığı 1012 kg sülfürik asit yeryüzü hava sıcaklığını 3 ila 4°C soğutabilir. Bununla birlikte tarihte görülmüş volkanik patlamaların neden olduğu aerosolların hacmi bu değerden çok daha fazladır.

Farklı tipteki volkanlar farklı aerosol emisyonlarına neden olur. Bazalt lavları (İzlanda'da olduğu gibi) atmosfere daha fazla kükürt salarak silikatlı patlamalardan daha fazla iklimi etkiler. Bu nedenle volkanlar, iklim değişimi çalışmalarının sadece vazgeçilmez bir unsuru değil, aynı zamanda tektonik hareketler ve magma kimyası için de göz önünde tutulmaları gerekmektedir (Mouginis-Mark ve ark., 1993). Buna bir örnek olarak, 1980 yılında St. Helens Dağı'nın volkanik patlaması ile 1980 yılında Meksika El Chichon patlaması aynı büyüklükte olmasına karşın etkileri çok farklı oluşunu verebiliriz. Her iki patlama küçük miktarda magmayı (0,3 ila 0,4 km^3) atmosfere saçmıştı ama El Chichon patlaması kükürt bakımından çok daha zengindi. Böylece St. Helens Dağı önemli bir iklim değişimine neden olmazken, El Chichon, stratosfere 20 milyon ton sülfürik asit göndererek Kuzey Yarım kürede yaklaşık olarak bir yıl boyunca hava sıcaklığının bir kaç derece düşmesine neden oldu (Rampino ve ark., 1988).

Volkanik patlamalar sonucu iklim değişiminin oluştuğunun farkına varılması, 1783 yılında Benjamin Franklin'in Avrupa'daki (İzlanda) Laki patlamasının artından "kuru sis" gözlemine kadar geri gider. Gerçekte tarihsel kayıtlar, geçmişteki volkanik patlamaların iklime etkisini ortaya çıkartmak için çok kullanışlıdır. Bölüm 2.7'de anlatıldığı gibi tarih kitaplarında yazsız geçen yıllar, soğuk geçen yaz ve kış ayları, düşük tarım rekoltesi, kıtlık, açlıkların ve isyanların bir kısmı volkanik patlamaların ardından ortaya çıkmıştır. Örneğin 1883 Krakatao patlamasından sonra gökte ilahi işaretler olarak algılanan bulanık ışıklar, Güneş'in tuhaf mavimtırak görünüşü, müthiş gün batımı ve doğumları gibi tuhaf atmosferik optik olaylar da gözlenmiştir (Rampino ve ark., 1988).

Geçmişteki volkanik patlamaların iklime etkisi üzerine çok iyi bilinen başka bir örnek verelim: 1815 yılında Endonezya'daki Sumbawa Adası'nda bulunan Tambora volkanının patlamasının ardından 1816 yılı dünyadaki "yazsız bir yıldır". Geçmiş 10 bin yılda Tambora, bilinen en

büyük volkan patlamasıdır (Rampino ve ark., 1988). Bu patlama $4x10^5$ km²'lik bir alanı kaplayacak kadar kül üretmiş ve iki gün boyunca volkanın çevresinde 600 km'lik alanda hava karanlık geçmiştir. Ağaç yaş halkalarının gösterdiğine göre 1816 yılının yazı, 1815 yazından 1,5°C daha soğuk olmuştur. Bu soğuk yaz aylarında Avrupa'da hava çok soğuk ve yağışlı geçerek tarım alanlarını tahrip ederek açlık, salgın hastalıklar ve iç karışıklıklara neden olmuştur (Rampino ve ark., 1988).

Benjamin Franklin tarafından 1783 yılında fark edilen İzlanda Laki Yanardağı yarığından çıkan püskürme olağandışı bir olaydı. Püskürme haziran ayında başladı ve yaklaşık sekiz ay boyunca sürdü. Püskürme sürekli olarak şiddetli bir şekilde sürmedi, daha çok lav akışı olarak gerçekleşti. Franklin'in tarif ettiği sis, Asya ve Kuzey Afrika'da da gözlenmişti. Her ne kadar büyük bir volkanik patlama gerçekleşmemişse de etkileri çok dramatik oldu. İzlanda da tarım alanları tahrip oldu, evcil hayvanlarının %75'i telef oldu ve İzlanda'nın açlık ve salgın hastalıklar nedeniyle 1/4'ü öldü. Bu volkanik aktivitelerden sonraki kış 225 yılın en soğuk kışı oldu. (Osmanlı döneminde 1783 ve 1816 yıllarında neler olduğunu doğrusu merak ediyorum.)

Volkanik patlamalar Dünya iklim değişiminin en önemli nedenlerinden biri olarak görülüyor.

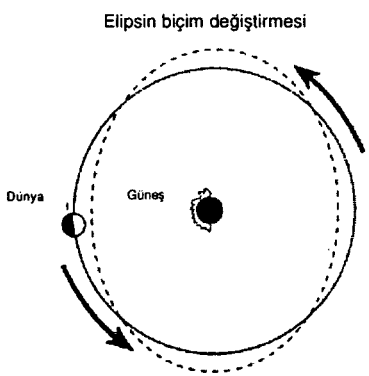
Astronomik Teori: Milankovitch Devirleri

Gedzelman'a göre iklim değişimi, Dünya üzerindeki olaylardan daha çok, Dünya'nın uzaydaki pozisyonundan kaynaklanır. 20. yüzyılın başlarında, Milutin Milankovitch Dünya'nın yörüngesinde periyodik döngülerin olduğunu, bu nedenle de Dünya'nın Güneş'ten aldığı ısı enerjisinin miktarı ve dünya üzerindeki dağılımı değişerek buzul ve buzul çağları arasındaki sıcak dönemlerin oluştuğunu açıkladı. Her ne kadar buzul ve sıcak dönemlerin nedenleri hâlâ tartışılıyorsa da, Dünya atmosferine ulaşan güneş ışınımındaki periyodik değişimlere Dünya'nın yörüngesi üzerindeki değişimlerin neden olduğu ve

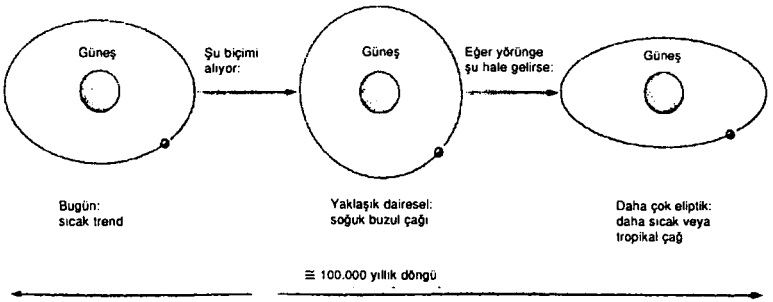
bunun da sonuçta iklim değişimi üzerinde önemli etkileri olduğu kabul ediliyor. Milonkovitch devirleri üç bileşende oluşur: Eksantriklik, eğim ve presesyon.

Eksantriklik, Dünya'nın şu an Güneş etrafındaki hareketinde takip ettiği eliptik yörüngenin şeklindeki değişim: Bilindiği gibi Dünya'nın şu an Güneş etrafındaki hareketinde takip ettiği yörünge daire ile hafif elips arasında bir şekile sahiptir (Şekil 3.3).

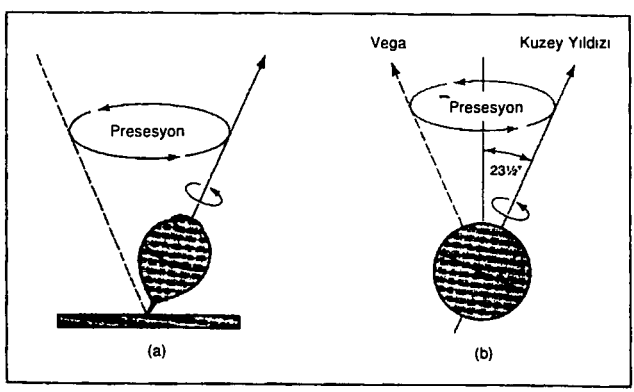
Dünya'nın yörüngesinin şeklinin önceleri uzun elips olduğu ve bugünkü gibi daha yuvarlak hale gelmesi için 90 bin yıl ya da 100 bin yıl arası bir zaman geçtiği biliniyor. Dünya'nın yörüngesinin eksantrikliğinin bir sonucu olarak Dünya ve Güneş arasındaki yıllık maksimum ve minimum mesafeler 96000 yıllık periyot ile değişir (Şekil 3.4). Maksimum eksantriklik zamanlarında (yani maksimum eliptik şekilli yörüngede), yaz ile kışın farklı olan Dünya-Güneş mesafeleri mevsimler arası sıcaklık farklarını arttırarak daha sıcak yazlara ve daha soğuk kışlara neden olacaktır (Barron, 1994). Eksantrikliğin bir fonksiyonu olarak Dünya atmosferine gelen toplam güneş ışınımında değişim %1'den daha küçüktür.



Şekil 3.3. Dünya'nın yörüngesinin şekli eliptikten daha çok daireseldir (Barron, 1994).



Şekil 3.4. Dünya'nın Güneş etrafındaki dönüşünde takip ettiği yörüngenin şekil (eksantriklik) değişiminin iklim değişimine etkisi (Weisberg, 1981).

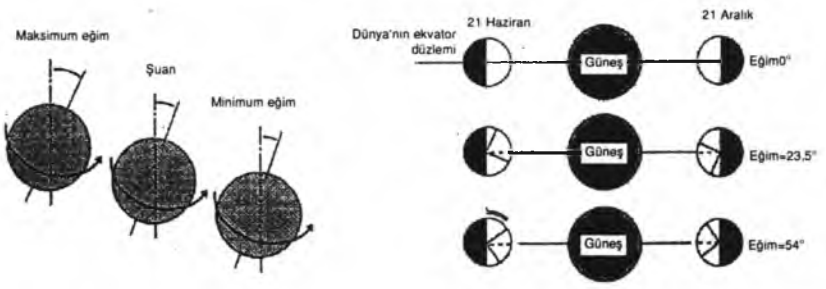


Şekil 3.5. (a) Dünya'nın presesyon hareketi topaç ile temsilen gösterilmektedir. (b) Dünyanın presesyon hareketi sonucunda kuzey yarım küre gelecekte apheliona yakınken kış mevsimini yaşayacaktır (Lutgens ve Tarbuck, 1989).

Eğiklik, Dünya'nın kendi ekseni ile Güneş etrafındaki hareketinde takip ettiği eliptik yörünge düzlemi arasındaki açının değişimi: Eğiklik, Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketinde takip ettiği yörüngeye dik olan doğru ile dünya ekseninin arasındaki açıdır (Şekil 3.4) (Barron, 1994). Bugün, Dünya ekseni ile eliptik düzlemin yaptığı açı 23,5 derecedir. Bu açı, 41000 yıllık bir dönemde 22° ila 24,5° arasında değişir. Her ne kadar eğiklik Dünya atmosferinin Güneş'ten aldığı enerji mik-

tarını değiştirmese de, yeryüzünde ısının enlemsel dağılımını etkiler. Eğikliğin en küçük olduğu zaman, kutup bölgeleri çok az güneş ışığı alır (Şekil 3.5) ve eğiklik maksimum olunca mevsimler arasındaki farklar büyür (Barron, 1994). Böylece mevsimsel ısıların azalmasının büyük buzulların oluşmasına neden olduğuna inanılmaktadır.

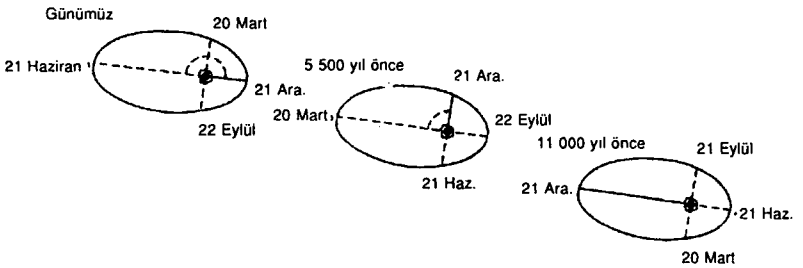
Presesyon, Dünya'nın etrafında döndüğü ekseninin topaç hareketi: Dünya tam olarak yuvarlak değildir, daha çok ekvatorda bir şişkinlik ve kutuplarda basıklık vardır. Bu da Dünyanın dönüşünde dönen bir topaçta olduğu gibi (Şekil 3.5 ve 3.6) hafif yalpalanmaya neden olur.



Şekil 3.6. Dünya ekseninin eğimindeki maksimumdan minimuma değişim yeryüzündeki güneş ışığının (ve ışınımın) dağılımını etkiler. Eğim şu anki 23,5° değerden daha küçük olduğunda, kutuplara daha az güneş ışığı ulaşacaktır; eğim şu anki değerden daha büyük olduğunda ise kutuplar daha fazla güneş ışığı alacaktır (Barron, 1994).

Bu yalpalanma ekinoksların ve solstisilerin (Bölüm 2.2'ye bakınız) Dünya'nın Güneş etrafında takip ettiği yörünge üzerindeki oluşum yerlerini değiştirir. Şekil 3.7 ekinoksların presesyonunu göstermektedir. Ekinoksların presesyonu 19 bin ila 23 bin yıl arasında değişen periyotlara sahiptir.

Dünya'ya tepeden bakılınca kendi ekseni etrafında topaç hareketi yaptığı gözlenir. Yakın zamana kadar eksen noktası Polaris yıldızına



Şekil 3.7. Ekinoksların presesyon hareketi. Dünya ekseninin presesyonu ve diğer astronomik hareketler ile ekinoks ve solstisiler dünyanın eliptik yörüngesi üzerinde yavaşça yer değiştirir ve bu döngüyü her 22 bin yılda bir tamamlarlar. 11 bin yıl önce, kış solstisi yaklaşık olarak yörüngenin bir ucunda oluşurdu. Bugün ise kış solistisi onun karşıtındaki uca yakın bir yerde oluşmaktadır (Barron, 1994).

doğru bakıyordu. Ne var ki uzun yıllar önce, Kuzey Yıldızı olarak bilinen Vega Yıldızı'na doğru döndü. Çünkü topaç hareketinin periyodu 26 bin yıl olduğu için, bu periyot içinde yine Polarise dönecek ve periyod sonuna doğru ise yine Vega'ya bakacak (Şekil 3.5). Bu periyod zarfında, yine dünya ekseni ile eliptik düzlem arasındaki açıda değişiklik olacağı için, mevsimsel ısınmalarda yine bir farklılaşma olacaktır.

Her ne kadar, eksantriklik, eğim ve presesyon dünyanın aldığı toplam güneş enerjisinde çok küçük değişime neden oluyorsa da, güneş ışınımın yerel dağılımı ve zamanlamasını (mevsimsel döngüleri) büyük ölçüde değiştirebilmektedirler. Bu değişimlerin de iklim üzerinde önemli etkileri olmaktadır.

Bu üç neden dikkate alındığında iklimde meydana gelen değişikliğin açıklanmasında, dünyaya ulaşan güneş ışınımının değişiminin önemli etken olduğu açıktır. Milankovitch'in, güneşlenme ve yörünge değişimindeki süreçler üzerindeki bu öncü çalışması, daha sonraları birçok defalar ele alınarak geliştirildi. Kimi hatalar düzeltildi ve ölçümler daha da güvenilir duruma getirildi. Yıllar boyunca 'astronomik teori' büyük bir ilgi gördü ve yeni buluşlara ışık tuttu.

Kuşkusuz bu öykü bu kadar basit değildir. Şu ana kadar astronomik devirlerle buzul verileri arasında tespit edilen istatistiksel ilişki, buzul çağlar ile güneş ışınımı arasında fiziksel bir temele dayandırılıp açıklanarak desteklenemedi. Güneş enerjisindeki küçük değişim, kıtasal buzulların oluşumunu tek başına açıklayamamaktadır. Bunlar ya bazı mekanizmaları tetiklemekte veya buzulların oluşmasına neden olan işlemleri güçlendirmektedir. Buna ilave olarak bazı geri besleme mekanizmaları, buzullara neden olan olaylar periyodik olmasa bile, bir sarmala girilmesine neden olabilir. Günümüzde bilgisayar modelleri pozitif ve negatif geri besleme mekanizmalarını iyi bir şekilde modelleyebilecek kadar gelişmiş değildir.

Güneş Aktivitelerindeki Değişim

Dünya'nın, Güneş etrafındaki yörüngesindeki değişimin (Milankovitch devirlerinin) Dünya iklimini etkileyen dış etkenler olduğunu önceki bölümlerde gördük. Ayrıca Güneş'in kendisi de, iklim sistemimizi etkileyen başka bir dış etkendir. Güneş aktiviteleri değiştikçe Dünya'nın aldığı güneş enerjisi de değişir. Çok değil, elli yıl önce Dünya'nın uzayda bir boşluk ve değişmeyen bir vakum ile çevrildiği sanılırdı. 1950'lerde uzaya ilk uyduların gönderilmesinden sonra bu görüş değişti. Şimdi uzayın kuyruklu yıldızlarının kalıntıları, güneş rüzgârları (solar winds), arora (güneşteki fırtınalar sonucu kutuplarda geceleri görülen renkli ve hareket eden ışıkların) kaynakları ve radyasyon kuşakları ile dolu olduğunu biliyoruz (NOAA, 2001).

Güneş aktiviteleri fazla olduğu zaman güneş rüzgârları, atmosferde 14C ve 10Be gibi kozmeojenik izotopların oluşmasına neden kozmik ışınları, Dünya'ya yönelmiş olan yollarından saptırırlar. Bu durumda güneş aktivitelerinin yüksek olduğu zamanlar kozmojenik izotopların dünya yüzeyine ulaşan miktarında azalmalar olur. Güneş etkinliklerinin tarihsel değişimi ağaçların yaş halkalarında bulunan 14 C ve buzullarda bulunan 10Be ölçülerek tespit edilebilir. Güneş etkin-

likleri aynı zamanda güneş lekelerinin sayılarına ait kayıtlardan da tespit edilebilir. (Şekil 2.11'de gösterildiği gibi güneş lekeleri devirlerinin uzunluğu güneş etkinliklerine bağlı olarak değişir.)

Diğer ışınım etkinlikleri ile beraber azalan veya çoğalan güneş lekeleri döngülerini 11 yılda tamamlarlar. Önceleri bazı bilim insanları, güneş lekelerinden şüphelenerek onları Güneş'in sonu geldiğine dair bir işaret olarak da yorumlamışlardı. Fakat bu periyodik hareketler hâlâ devamlı olarak tekrarlanıyor ve şimdi, 2000-2001 yılında, kayıtlara gecen 23. Güneş Deviri (Solar Cycle 23) içindeyiz (Şekil 2.11). Güneş maksimumu, 11-yıllık periyot içinde, güneş lekelerinin sayısının en fazla olduğu zamandır. Bunun sonucunda güçlü güneş fırtınaları olacak ve dünyanın atmosferi şiddetli güneş fırtınalarından etkilenebilir.

Örneğin, Osmanlı İmparatorluğu'nda Celali İsyanlarına neden olduğu da iddia edilen 13. ila 19. yüzyıllar arasında gezegenimizde küçük buzul çağı yaşanmıştır (Bölüm 2.7'ye bakınız). Buzullar her tarafa yayılmış tarım alanları ve ürünler tahrip olmuş, örneğin Londra'daki Thames ve Romanya'da Tuna gibi nehirler donmuş; Grönland Adasında kolonilerde yaşayan hayvan ve insanlar ölmüştü. Son zamanlarda tarımsal ürün rekolteleri, hasat zamanları, yakalanan balık miktarları, dağların eteklerinden aşağılara inmiş buzulların gösterildiği tablolar gibi çeşitli kaynaklardan, o zamana ait iklimsel bilgiler elde edildikçe küçük buzul çağı üzerine yapılan çalışmalar da artmaya başladı. Kutuplar ve yüksek enlemlerden alınan buzul örnekleri, ağaçların yaş halkaları, denizlerin tabanındaki tortullar ve mercanlardan da jeolojik veriler elde edilmiştir. Bölüm 2.7'de anlatıldığı gibi tarihsel olaylar ile bu iklim bilgileri arasında ilişkiler kurmak olasıdır. Her ne kadar küçük buzul çağı'nın oluşumu hâlâ tartışılıyorsa da Şekil 3.8'de gösterilen Maunder Minimumu olarak adlandırılan güneş etkinliğinin çok düşük olduğu periyoda karşılık gelmektedir. Bazı hesaplara göre küçük buzul çağı'ndaki soğumanın 0,5 °C ila 1,5 °C arasında bir değerde olduğu düşünülüyor (Rind ve Overpeck, 1993). Fakat bilgisayar

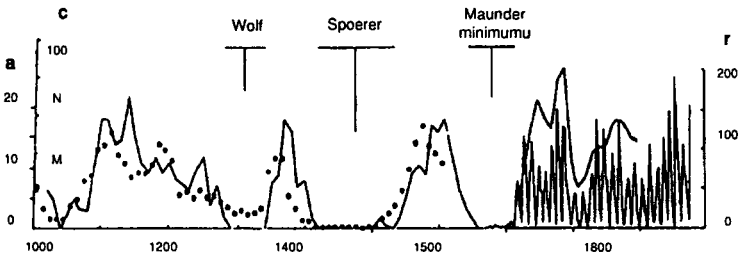
modelleri Maunder Minimumu'nun güneş enerjisinde sadece %0,25'lik bir azalmaya neden olduğunu ve bunun da sadece 0,45 °C'lik bir sıcaklık düşüşüne neden olacağını göstermektedir. Eğer modeller doğruysa küçük buzul çağı'nın oluşumuna Maunder Minimumu tek başına neden olmamıştır. Bu buzul çağının oluşumuna katkıda bulunan diğer faktörler, 1815 yılında patlayan Tambora yanardağı ve kutuplara ısı transfer eden okyanus akıntılarındaki değişimler de sayılmalıdır.

Diğer bir deyişle, iklim değişimindeki sürekli dile getirilen hipotezlerden biri de, güneşin bir yıldız olduğu ve dışarıya verdiği enerjinin zamanla değiştiğidir. Bu değişimin etkisinden kolayca anlaşılacağı gibi, güneşten gelen enerjinin artması atmosferin ısınmasına neden olacaktır.

Güneş etkinliklerindeki değişim Dünya'nın sıcaklığını değiştirme potansiyeline sahiptir. Günümüzde kullanılan bilgisayarlar Güneş sabitinde %2'lik bir değişimin yeryüzü sıcaklığında 4 °C'lik bir soğumaya neden olacağını göstermektedir (Rind ve Overpeck, 1993). Diğer bir deyişle, güneş enerjisindeki %1'lik bir azalma CO_2 ve diğer sera gazlarının endüstri devriminden bu yana atmosferde görülen ısınma kadar bir soğuma etkisi yaratabilir. Filtrelenmiş güneş lekeleri sayısı dizileri ile sıcaklık sapmaları arasında zaman zaman harika ilişkiler saptanmışsa da, bunlar arasında fiziksel neden ve sonuç ilişkileri henüz ortaya konulamamıştır (Friis-Christensen ve Lassen, 1991; Burroughs, 1992).

Aslında Güneş lekeleri ve meteor sağanakları gibi Dünya dışı (extra-terrestrial) etkenlerin dünya atmosferi ile birlikte hava şartlarını ve iklimi de etkilediği çok eskiden beri ileri sürülmektedir. Örneğin, uzun vadeli hava tahminleri yapmak ve su kaynaklarının akılcı yönetimi için uzay havasının (space weather) da göz önünde bulundurulması teklif edilmiştir (Burroughs, 1992; Newhall, 1988). Bilimsel çalışmaların bazılarında, örneğin, yağış ve nehir akışlarındaki artış ile birlikte güneş lekelerinin sayısı arasında doğru bir ilişki bulunmuşsa

da bazı çalışmalar bunun tersini veya karışık bir ilişkiyi ortaya koymuştur (Burroughs, 1992). Bu tür çalışmalar, güneş lekelerinin sayısı ve meteor sağanakları (meteor-toz-gün veya meteor-toz-ay sayıları) ile yağış arasındaki ilişkiyi fiziksel esaslara göre açıklayamamış ve bu ilişkiye dayanarak yaptıkları tahminlerde de çoğu kez yanılmışlardır.



Şekil 3.8. 1000 yılından günümüze güneş lekeleri sayısındaki değişimler, güneş maksimumları ve güneş devirleri. Güneş etkinliklerindeki uzun dönem değişimlerde Wolf, Spoerer ve Maunder minimumu olarak adlandırılan üç uzun dönem boyunca güneş etkinlikleri düşük olmuştur (Global Change in the Geosphere - Biosphere, NCR, 1986).

Günümüzde uzay havası (space Weather) günlük hayatımız için de büyük önem kazanmıştır.

3.2. Karbondioksit ve İklim Değişimi

Buraya kadar iklim değişikliğinin nedenlerinden bazılarını gördük. Şu ana kadar işlenilen konuların hepsinin de ortak noktası, her bir nedenin bütünüyle insan etkeni dışında olmasıydı. Bu doğal etkenlerin yanı sıra bölgesel ve küresel olarak insanlığın iklime etkisi modern endüstriyel komplekslerin kurulmasıyla başladı. İnsanların binlerce yıldır çevreyi kirletmede kullandığı temel araç ise ateştir. Yaşamımızın her evresinde ateşi kullanmamız ise doğasal dengeyi önemli ölçüde etkiledi. Özellikle bitkilerin durumunda büyük değ-

şiklikler gözlendi. Kısmen de olsa, yeryüzeyinin bazı bölümlerinin yakılarak tahrip edilmesiyle iklim faktörlerinden olan, yüzey albedosu, buharlaşma oranları ve yüzey rüzgârlarında değişikliklere neden oldu. Bütün bunlar, insanların ateşin bulunmasıyla birlikte iklim değişimine büyük etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Endüstri Devrimi'nden önce hava kirliliği olayları sıkça yazılı kayıtlara geçirilmemiştir. Fakat bunların o zamanlarda da yaşandığından eminiz. 2000 yıldan bu yana şehirlerde kömür yakılmaktadır. Böylece kömürün ürettiği karbondioksit ve diğer aerosollar nedeniyle havası çok kötü bir şekilde kirlenmiş günler yaşıyoruz.

Sonuçta atmosferde en sık rastlanan gaz kirletici karbondioksittir. Karbondioksitin yüksek bir miktarı kömür, gaz, benzin yakılmasının bir sonucu olarak atmosfere bırakılıyor. Bütün bunlar fosil akaryakıt olarak adlandırılır. 1890'lardan beri gözlenen iklimsel etkilere bağlı olarak atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu yaklaşık % 15 arttı. Karbondioksit, tehlikeli miktarlara ulaştığı büyük yerleşim yerlerinde baş ağrısı gibi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bitkiler de doğal olarak, bir çeşit karbondioksit, metan ve karbon içeren kimyasal bileşikler yayarlar. Bu hidrokarbonlar, genellikle ormanlar üzerinde mavimsi bir pus oluştururlar ve dağların "Büyük Dumanlı Dağlar" şeklinde adlandırılmasından sorumludurlar. Otomobiller, hidrokarbon yayarlar, fakat bunlar hiç de iyi kokmaz. Bataklık gazı ya da doğal gaz olarak bilinen Metan ve büyük miktardaki sülfürdioksit hemen havada reaksiyona girer. Sülfürdioksit aynı zamanda kömür yakılmasının da direkt bir ürünüdür (Ahrens, 1988).

Havadaki katı parçacıklar ya da aerosollar çok çeşitlidir. Bu aerosollerin boyutları da değişiktir. Bunlar, yarıçapı aşağı yukarı 0,01'den 0,2 mikrona kadar değişen yuvarlağımsı bir boyuta sahiptir. Onlar "Aitken Çekirdek" olarak adlandırılır ve büyük oranda yanma sonucu oluşurlar. Bunların doğal kaynakları ise volkan patlamaları ve orman yangınlarıdır. Aitken Çekirdek, bazen Mavi Ay, Güneş ve Kırmızı gü-

neş ışını gibi tuhaf şekillerle kendini gösterir. Bunlar karanlık günlere neden olarak tanınırlar. Daha büyük parçacıklar ya da dev çekirdekler kuru veya ıssız alanlardaki rüzgâr tarafından taşınırlar. Bu aerosollerin bazıları bulutlarda donma çekirdeği olarak hizmet eden kil parçacıklarıdır. Örnek olarak; Çin'deki önemli bir aerosol'ün doğal kaynağı, Gobi Çölü'nün geniş alanlarından sürülmüş löstür. Kış mevsimi boyunca, rüzgârlar daha çok veya daha az sıklıkla Gobi'den Çin'e eserken, hava tozla dolar ve birçok Çinli yüzlerine koruyucu maske takarlar (Gedzelman, 1980).

Fakat şimdi iklim değişimi üzerindeki insan etkisini incelediğimizde önemle göz önüne alacağımız karbondioksitin doğal değişimini ve atmosfere verilmesi olayını inceleyeceğiz. Karbondioksit kuru ve sade bir hava tabakasının sadece % 0,003'ünü içermesine karşın meteorolojik olarak çok önemli bir gazdır.

Küresel ısınma ve atmosferin sera etkisi üzerine yapılan tartışmalarda karbondioksit, en sık sözü geçen gazdır, çünkü Bölüm 1.5'de anlatıldığı gibi karbondioksit hem uzun dalga boylu ışınımı yoğun bir şekilde yutar, hem de diğer sera gazlarına göre çok daha fazla miktarda atmosferde bulunur. Böylece, karbondioksit gazının önemi, güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyonu geçirmesinden çok, dünyadan uzaya giden uzun dalga boylu radyasyonu yutmasından kaynaklanır. Bu sayede yeryüzünü terk eden radyasyonun bir kısmı karbondioksit tarafından tutularak, yeryüzeyine yakın yüzeylerin daha çok ısınmasına, dolayısıyla daha çok sıcak olmasına neden olur. İşte bu yüzden karbondioksit ve subuharı "atmosferin sera etkisi"nden büyük ölçüde sorumludur. Karbondioksitin iyi bir ısı yutucu olması dolayısıyla, karbondioksit oranındaki herhangi bir değişiklik, troposferin alt seviyelerindeki hava sıcaklığının değişimine neden olur.

Endüstri devriminden önce de bazı büyük doğal olaylar nedeniyle atmosfere önemli miktarda karbondioksit salınmıştı. Örneğin, jeolojik zamanlardan Tebeşir döneminde deniz tabanın açılma hızının

artması sonucunda volkanik etkinlikler ile büyük miktarda karbondioksit gazı açığa çıktığı düşünülmektedir. Atmosferik karbondioksitin artan miktarı karbondioksit tüketen silikatın hava ile temas etmesi ile ilişkili olabilir. Bununla birlikte, deniz tabanının açılmasındaki artış aynı zamanda yüksek deniz su seviyesi ile ilişkilidir. Bu işlemi ağzına kadar doldurulmuş bir bardağı hayal ederek anlamaya çalışın. Bardağın tabanına ek olarak konulacak herhangi bir şey suyun bardaktan taşmasına neden olacaktır. Karasal alanların sular altında kalması silikatların hava ile temasını azalttığı için, hava ile temas işlemini karşılayacak bir şekilde, tektonik etkinlikler artmıştır.

Karbon döngüsü nedeniyle biyosfer, atmosfer, hidrosfer ve litosfer ile etkileşir. İnsanlar, havyanlar ve bitkiler için karbondioksitin fizyolojik bir önemi vardır. Solunumda bir seri kimyasal reaksiyonla yiyecek moleküllerinin enerjiye dönüştürülmesi sırasında oksijen tüketilip üretilmiş olan karbondioksit açığa çıkartılır. Karbondioksit aynı zamanda bitkiler tarafından fotosentezde kullanılarak güneş ışığında su ile birlikte basit bir şekere dönüştürülür.

Biyosferde karbon döngüsü fotosentez yoluyla organik bileşikleri hidrokarbona dönüştürür. Karbondioksitin biyosferdeki döngüsü her 4,5 yılda bir tamamlanacak kadar hızlıdır. Karbon atmosfere kısmen solunum ile kısmen de organik maddelerin çürüme ve oksitlenmesi ile geri döner. Yaşayan bir organizma ölünce onda depolanmış olan karbon, oksijenle birleşerek tekrar karbondioksite dönüşür. Çürüyen organizmalardaki karbonik maddenin bir kısmı atmosfere geri dönmez, tortu olarak birikerek tortu kayalarını oluşturur. Bu karbon sonuçta atmosfere tektonik hareketler ve tortul kayaların hava ile teması sonucu geri döner.

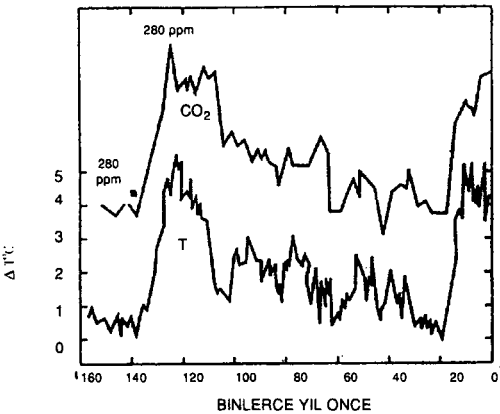
Atmosferdeki karbondioksit, aynı zamanda okyanus sularında da çözülür. Okyanusların karbondioksit yutma hızı okyanusun yüzeyindeki biyolojik işlemler ve okyanusun dibindeki su sirkülasyonu tarafından kontrol edilir. Okyanuslardaki yosunlar, karalardaki bitkiler gi-

bi fotosentez ve solunum yoluyla karbondioksit kullanır. Buna ilave olarak okyanuslardaki birçok organizma grubu karbondioksitten çözülmüş inorganik karbon ile kalsiyumu birleştirerek kalsiyum karbonatlı kabukların oluşumuna neden olur. Bu biyolojik işlem suyun yüzeyinden CO_2'i yok ederek atmosfer ile okyanusun CO_2 alış veriş döngüsünü sürdürür.

Endüstriyel devrimden sonra insan etkinlikleri karbon içeren farklı kaynakların hem büyüklüğünü hem de kaynaklardan açığa çıkan karbon miktarını değiştirmiş bulunmaktadır. Örneğin şu anki atmosferde bulunan karbon miktarı 750 milyar ton iken, endüstri devriminden önce bu 600 milyar tondu (Houghton ve ark., 1994). Ormanların yok edilmesi, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının kullanılması ile daha önce bu kaynaklarda depolanmış karbon atmosfere salınmaktadır. Atmosferden karbondioksit alan doğal işlemler, insan etkinlikleri ile atmosfere salınan karbondioksiti artık dengeleyememektedir. Bunun sonucunda atmosferdeki karbondioksitin miktarı önemli ölçüde artmıştır.

Artan atmosferik karbondioksit miktarı ile küresel ısınma arasındaki pozitif ilişki, buzul örneklerindeki atmosferik karbondioksit seviyesinin buzul periyotlarda düşük, sıcak dönemlerde yüksek olması ile oldukça belirgindir (Şekil 3.9). Şekil 3.9'daki yüksek atmosferik karbondioksit miktarının buzul çağlarının arasındaki sıcak dönemlere karşı geldiğine dikkat ediniz. Bununla beraber, bunun da fiziksel bir temelde neden sonuç ilişkisi tam olarak açıklanabilmiş değildir; karbondioksit miktarındaki artış mı sıcaklığı arttırdı, yoksa sıcaklıktaki artış mı karbondioksit seviyesini etkiledi? Bu henüz tam olarak bilinmiyor.

Antarktikanın Vostok bölgesindeki buzul katmanlarının aralarına sıkışmış antik hava örneklerinin analiziyle karbondioksitin atmosferdeki 160 bin yıllık dağılımı Şekil 3.9'daki gibi tespit edildi. Bu veriler ile aynı zaman diliminde Dünya'nın ortalama hava sıcaklığındaki değişimler karşılaştırılınca atmosferdeki karbondioksit miktarı ile atmosferik sıcaklık arasında çok belirgin bir ilişki olduğu görülmekte-



Şekil 3.9. Dünyanın sıcaklık tarihi ile buzullardaki hava kaparcıkları içinde bulunan atmosferik karbondioksitin son 160 bin yıllık tarihinin bir karşılaştırılması (Barron, 1994).

dir. Böylece karbondioksitin eski jeolojik dönemlerde de sürekli değişitiğini ve bunun sonucu mevsimlerde de sürekli olarak farklılıklara yol açtığı ispatlanmıştır. Atmosfermizde, şu ana kadar görülmemiş bir hız ve miktarda artmakta olan karbondioksit ve diğer benzeri gazların miktarlarının da, çok daha değişik bir biçimde, iklimi bozacağına artık kesin gözüyle bakmalıyız (Barron, 1994).

3.3. Şehirleşmenin Şehir İklimine Etkisi

İnsan sadece atmosferdeki kardondioksit, metan vb. sera gazlarının miktarlarını arttırarak iklimi değiştirmiyor. Aynı zamanda faklı arazi kullanımları, ormanların yok edilmesi ve şehirleşme ile yeryüzünün şeklini de önemli ölçüde değiştirerek iklimi etkiliyor.

Bunun teknik ayrıntılarına girmeden önce, Vehbi Belgil, Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'ndeki 28 Ocak 1995 tarihli ve "Karlar ve Rüzgârlar" başlıklı yazısında şehirleşmenin iklime etkilerini ve şehir

ile kırsal alan arasındaki hava şartları farklılıklarını çok güzel bir şekilde açıklamış. Ona bir bakalım:

"Karlı havada uçaktan bakınca, kentleri karsız, kırları karlı görür, bu ayrıcalığın nedenini düşünürsünüz. Evet, her yeri beyazlatan kar kentleri neden böyle bırakır?

Normal kışlarda bu böyledir. Anormal soğuklarda kent de beyazlaşır. Ancak, buralarda kar kısa sürede erir... Evet, neden böyledir bu?

Sorumuzu İstanbul'a göre yanıtlarsak öbür kentler için de fikir vermiş oluruz.

1. *1927 sayımında nüfusumuz 13 milyon küsur dolayındaydı, bütün Türkiye için. İstanbul'unki 800 bin dolayındaydı. Bugün o zamanki toplam nüfus kadar insan yaşıyor kentimizde üç aşağı, beş yukarı... Önce bu kadar insanın vücut sıcaklığı var. Beş bin kilometre karelik bir alanda bu sıcaklığı pek duymayız. Ama, bir sinemada, kapalı bir salonda kaloriferler yanmasa bile halk sıcaktan bunalır. Otobüslerde de öyledir. Gençler, ilk iş, pencereleri ya açar, ya aralar.*
2. *Kışın, her evde ateş yanar. Bunu dört milyon ton saysak işin önemi ortaya çıkar. Bu kadar kömürden çıkan sıcaklık havayı ısıtıyor.*
3. *Bu arada, fabrikalar, imalathaneler, atölyeler de yakıt kullanıyor. Isınmak için olmasa bile üretmek için.*
4. *Motorlu taşıtların egzoz gazları, uçakların, vapurların, trenlerinki ile birlikte, büyük, hatta tehlikeli düzeylere ulaşıyor. Bütün İstanbul'un günlük elektrik tüketimi ne kadar? Fabri-*
5. *kalarda, binalarda, araçlarda, elektrikli ev aletlerinde? İstanbul rüzgârların, fırtınaların harmanlandırdığı bir yer.*
6. *Kuzey rüzgârlarına her zaman açık. Kent dümdüz olsaydı bu rüzgâr, sıcakları alır götürürdü. Ama öyle olmuyor. Kentimiz bina-yoğun bir yer. Esintiler, bu binaların arasından*

kendilerine yol ararken ister istemez ısınıyor ve ısınmış halde göğe yükseliyor.

7. *İstanbul en kötü günlerinde bile güneş alan bir kent. Güneşin sıcaklığını akşama kadar yutan binalar gece bunu dışarı verir, yalnız gece değil gündüz de.*
8. *İstanbul'umuzun bir de lodosu var. En soğuk havada birden esen lodos pencereleri açtırır, balkonlardaki çamaşırları kâğıt gibi kurutur.*

   Bu yüzden, İstanbullular, kentin dört değil iki mevsimi olduğunu söyler: Poyraz ve lodos. Damların, yolların karla kaplı olduğu bir zamanda birden esen bir lodos ne kar bırakır, ne buz... Sokaklar vıcık vıcık çamur deryasına döner. Ancak bu çamurun kuruması da en çok bir gün alır.
9. *Kentimizin kıyı kenti olması havasının ısınmasında rol oynar. Güneşin sıcaklığı, batması ile biter. Fakat, akşama kadar sıcaklığı içen deniz bunu hemen yitirmez; yavaş yavaş salıverir.*

   Ve bütün bu nedenlerle İstanbul'da karın sadece yağışı zevk verir. Kar, bir yandan yağarken bir yandan erir. ..."

İnsanoğlu varolduğu toprak üzerinde, yaptığı taşkınlıklarla sürekli doğanın bozulmasına yol açtı ve havayı dilediği gibi kullandı, bu durum bugün doğanın yanında canlıların hayatını da tehdit etmektedir. Ama havanın önemli bir şekilde etkilenmeye başlaması, sadece geçen 150 yıl içinde olmuştur. İnsanoğlunun, her ne kadar yüzyıllardan beri, büyük çarpışmalar, geniş yangınlar ve atomik patlamalar gibi aktivitelerinin hava üzerindeki etkileri biliniyor ise de; bunun üzerinde daha çok, kuramsal olarak düşünülmüştür. Bundan 700 yıl önce, Londra'da sıcaklığın artması ve görüş mesafesinin azalmasına şehirlerin neden olduğu kabul edilmiştir (Chandler, 1970). Bu konu üzerinde ciddi olarak çalışan bilim adamları, geçen 25 yıla kadar insanoğlu

tarafından oluşturulan hava değişimini sınıflandırmışlardır.

Kentleşmenin artmasıyla birlikte havada meydana gelen değişimi ve sorunları birkaç konu ile de sınırlandırmak imkânsızdır. Gelişmekte olan teknolojinin zararlı etkilerinden ve yeşil alanların her geçen gün biraz daha azalmasından bazı sonuçlara ulaşmak oldukça kolaydır. Fakat şehirleşmeyi büyüme olarak görmek isteyenlerin problemi ise, Dünya'nın geleceği hakkında hiçbir şey öğrenmek istememek ve hayata karşı vurdumduymaz olmaktır.

Şehirlerde kurulan her binanın, yapılan her fabrikanın, elektrik santrallerinin ve havaya kimyevi madde salan her kaynağın atmosferi etkilediğini bilmekteyiz. Bu etki, yeryüzeyi - hava arasındaki dengeyi bozmakta ve bununla da kalmayıp bu dengeyi tersine çevirebilmektedir. Yeryüzeyinden salınan gazlar ve partiküller havadaki gazlar tarafından tutulur ve havada asılı kalır. Meteorolojik parametrelerin değişimine yol açan bu durum, daha sonra yeryüzeyine herhangi bir şekilde yansır. Örneğin, rüzgârın yön ve şiddetinin değişimi ile birlikte sıcaklığın değişiminden daha çok yağışlar bize zarar verir. Halk dilinde zararlı yağışların bir çeşitine "asit yağmuru" denir.

Şehirlerde betonlaşmanın bir sonucu olarak oluşan 'Şehir Isı Adaları'nın üzerinde de durulacağı bundan sonraki bölümde, şehirleşmenin hayatı nasıl etkilediği birlikte göreceğiz.

Bölgesel iklimlerde, çeşitli antropojenik (insani) etkilerin olması muhtemeldir. Ancak, orta ölçekte meydana gelen hava değişimiyle, normal antropojenik etkilerle meydana gelen hava değişimini birbirinden ayırmamız gerekir. Fakat şehirleşmeden dolayı olan değişimleri kanıtlamak başlangıçta oldukça zor olmuştur. Şehir iklimindeki değişiklikler; örneğin haftanın günleri arasındaki önemli sıcaklık ve yağış farklılıkları olduğunun kanıtlanmasıyla görülmüştür.

İklimin yıldan yıla değiştiğini gösteren en somut örnek, sıcaklığın değişmesiyle değişen yağışın tipi ve oranıdır. Bu yüzden, öncelikle yağış değişimini gözlediğimiz, genel iklim değişimi üzerindeki incele-

meleri gözler önüne sermek doğru olacaktır.

Bugün artık biliyoruz ki; iklim, bütün zamanlarda değişmiştir. Üstelik, insanın sorumlu olduğu birçok değişimin varlığı da bir gerçektir. Birazdan göreceğiz ki; insanoğlu sadece yöresel iklimi değiştirmekle kalmayıp, aynı zamanda küresel iklimin değişiminden de sorumludur.

Aslında, endüstriyel devrimle birlikte artan, kentleşme, sonucunda bu merkezlerde de iklim değişmeye başladı. Böylece, insanın iklime en belirgin darbesi kentsel yapılandırmalarda, atmosferik çevreyi değiştirmesidir. Her yolun, fabrikanın, iş merkezlerinin ve evlerin inşası, varolan mikroiklime zarar verir ve içinden çıkılamaz bir hale getirir. 19.yüzyılın sonlarına doğru, yaptığı bulut sınıflandırması ile tanınan Luke Howard, Londra'daki havanın, etrafındaki tüm kırsal alana göre, görüş mesafesinin azalmasına ve kısa dönemlerde meydana gelen sıcaklık artışlarının farklı olduğuna bir yüzyıl önceden dikkat çekiyor.

Kentsel alan büyüdükçe, kent iklimi de çevresindeki kırsal bölgeden daha farklı olur. Nitekim kent gecelerinin, kırsal bölgelerin gecelerinden daha ılık olduğunu, kenti kaplayan duman ve sis tabakasından da anlayabiliriz (Ahrens, 1988; Lutgens and Tarbuck, 1989).

Geçen yüzyılın başında dünya nüfusunun % 2'si, yani 100 binden fazla kişi, kentlerde yaşıyordu. Bugün ise, dünya nüfusu büyümekle kalmadı, nüfusunun büyük bir çoğunluğu kentlerde oturmaya başladı. Asıl bütün dünyayı düşündüğümüzde; belki dünya nüfusunun çeyreği kentlerde yaşıyor. Fakat Batı Avrupa, Amerika ve Japonya'nın dahil olduğu bölgelerde ise oran, bunun iki veya üç misli kadardır (Lutgens and Tarbuch, 1989). Bazı değişiklikler ortada ve kıyas yapabilecek kadar kolaydır. Herhangi bir zamandaki değişim miktarı; şehirsel yapının büyüklüğüne, endüstriyel kaynakların (örneğin; fabrikaların) su kaynaklarına yakınlığına, günün uzunluğuna, yılın mevsimine ve hava koşullarıyla birlikte birçok nedene bağlıdır.

Tablo 3.1. Şehirleşmenin Sonucu iklim elemanlarında oluşan ortalama değişimler (Landsberg, 1973; Lutgens ve Tarbuch. 1989).

	Kırsal Alanla Karşılaştırma
Partikül	10 defa daha çok
Sıcaklık	
Yıllık Ort. Sıc.	0,5-1,5°C yüksek
Kışın Ort Sıc.	1-2°C yüksek
Isıtma Derece Günler	% 10 az
Güneş Radyasyonu	% 15-30 düşük
Ultroviyole, Kış	% 30 düşük
Ultroviyole, Yaz	% 5 düşük
Yağış	% 5-15 fazla
Oraj Frekansı	% 16 fazla
Kış	% 5 fazla
Yaz	% 29 fazla
Bağıl Nem	% 6 düşük
Kış	% 2 düşük
Yaz	% 8 düşük
Bulutluluk Frekansı	% 5-10 fazla
Sis Frekansı	% 60 fazla
Kış	% 100 fazla
Yaz	% 30 fazla
Rüzgâr Hızı	% 25 düşük
Sakinlik	% 5-20 fazla

Kentler, taşraya göre, daha büyük ısı kapasitesi olan granit ve benzeri (öz ısısı yüksek) malzemelerden oluşurlar. Birçok binası ve karmaşık yüzey şekilleri ile, kentin üç boyutlu doğası, atmosfer için karmaşık bir geometri sunar. Kentin, taşrada bulunmayan yoğunlukta, endüstriyel ve evsel ısıtma, otomobiller gibi ilave ısı kaynakları vardır. Sonuç olarak; endüstri atıkları, evsel faaliyetler ve modern ulaşımın hepsinden şehrin atmosferine bırakılan materyallerin kalite ve miktarları da ana değişim yardım eder.

Şehir alanları fiziksel olarak beş ana başlıkta, kırsal alanlarından

ayrılırlar:

a-) Yüzey materyalleri,

b-) Yüzey şekilleri,

c-) Isı kaynakları,

d-) Nem kaynakları,

e-) Hava kalitesi.

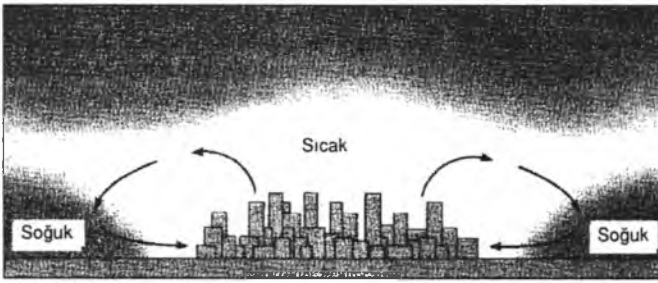
Bütün bunlar ve diğer nedenlerden dolayı şehirlerin sahip olduğu hava şartları kırsal alanlara göre farklılıklar göstemektedir (Tablo 3.1). Tablo 3.1'de özetlenen şehirleşme sonucunda oluşmuş değişiklikler, büyük yüzey hava koşullarını kapsar ve iki sınıfa ayrılabilir.

1. Hava sıcaklıklarının artması, rüzgârın zayıflaması, atmosferin kirlenmesi sonucu görüş mesafesi azalması gibi görünen veya ölçümü daha kolay olan olaylar,
2. Değişimi herhangi bir zamanda, çeşitli faktörlere bağlı olan sis, smog, bulutluluk, yağmur miktarı, güneş radyasyonu, nem, atmosferik elektrik, şiddetli hava durumu (fırtınalı gök gürültüsü gibi), dolu, şiddetli yağmur fırtınası gibi şehirleşmenin etkileri fark edilmeyen veya ölçümü zor olan olaylar.

Şehirleşmenin Neden Olduğu Sıcaklık Artışı: Şehirsel Isı Adaları

Şüphesiz en çok üzerinde çalışılan ve kanıtlanan iklim etkisi "şehir ısı adası"dır. Bu terim basitçe, şehirlerdeki hava sıcaklığının genellikle kırsal kesimlerden daha fazla olduğunu ifade eder (Şekil 3.310). Isı adalarını gözlemenin en kolay yollarından biri de uydulardan elde edilen özel görüntüleri incelemektir.

Şehir ısı adasının oluşumuna neden olarak, kırsal alanların dışında kalan kentleşmiş yüzeylerde oluşan birçok ciddi fiziksel değişiklikler sayılabilir. İlk önce, şehirdeki beton ve asfalt yüzeyler, kırsal kesimlerdeki bitki örtüsünden ve topraktan daha çok güneş enerjisini, emerek depoluyor. Şehirdeki bu yüzeyler suyu ve su buharını da ge-



Şekil 3.10. Bulutsuz, rüzgârların sakin olduğu bir gecede şehir üzerindeki hava sirkülasyonun idealize edilmiş bir gösterimi. Oklar rüzgârları temsil eder. Koyu renkli bölgeler soğuk havayı gösterirken, açık renkli bölge sıcak havayı ve dolayısı ile "şehir ısı adasını" göstermektedir (Landsberg, 1970).

çirmez. Bu da, bazı kesimlerdeki buharlaşma oranlarının ve dolayısı ile havadaki bağıl nem oranının düşmesine neden olur. Böylece sıvı suyu, gaz haline (su buharına) dönüştürmek için, kullanılan ısı, bu kez ışınım kaybından dolayı soğumasına rağmen, kaya gibi sert görünümlü şehir yüzeyinin, gün boyunca elde ettiği ısıyı azar azar kaybetmesi, şehirlerin kırsal kesimlerden daha sıcak olmasına, diğer bir deyişle şehir ısı adasına neden oluyor.

Şehirlerdeki ısı artışının bir bölümüne, evde ısıtma için kullanılan ısı, güç jeneratörleri, endüstri ve ulaşım neden olur. Birçok araştırma göstermiştir ki, insanların yerleştiği yerdeki insan yapımı olan bu enerji türleri, yeryüzeyine ulaşan güneş enerjisiyle karşılaştırabilir, bir orandadır. Berlin, Sheffield ve İngiltere'deki araştırmalar bu şehirlerdeki yıllık yapay ısı üretiminin güneş radyasyonundan elde edilen enerjinin üçte birine eşit olduğunu göstermektedir. Başka bir araştırma ise, Manhatten'ın kalabalık olan yerlerindeki yanma sonucu oluşan ısının, 2,5 katı olduğunu göstermiştir. Fakat yazın bu oran 1/6'ya düşmektedir. İlginçtir ki, yaz boyunca, şehrin gece sıcaklığı ve insanın vücut sıcaklığı da bu orana katkıda bulunur.

Isı adasının oluşum nedenlerine, başka faktörlerin etkisi de eklenebilir. Örneğin; bir şehirde, su buharı ve karbondioksit gibi şehrin

üzerine örtülmüş özel maddeler, yutulma yoluyla, yüzeye yayılan ve bazıları yeniden geri dönen uzun dalga radyasyonları vasıtasıyla, ısı yayar. Buna benzer bir etki, kompleks ve 3 boyutlu şehirlerin şeklinden dolayı ortaya çıkar. Düz duvarlı ofis binaları, mağazalar, dükkânlar ve apartmanlar, kapalı alan oluşturdukları için yutulan radyasyonun dışarıya kolay kolay kaçmasına izin vermezler. Bu binaların cepheleri, yuttukları ısıyı yaydıkları zaman, ısı bina aralarına doğru yayılır.

Özetle şehir ısı adalarının belli başlı dört nedeni şunlardır:

1. Şehirlerin güneş enerjisini yutmaya çok elverişli maddelerden kurulmuş olması,
2. Ulaşım, ısınma, endüstriyel kompleks vb. yerlerde kullanılan ilave ısı kaynakları,
3. Yeryüzeyinden yayılan radyasyonun atmosfer tarafından tutulup, tekrar yeryüzeyini ısıtması,
4. Hava akışını zorlaştıran ve ısı değişimini engelleyen binalar ve diğer şehir dokusu.

Şehir havasının kirli olduğu ve daha fazla güneş ışığının hava kirleticileri dolayısıyla yansıtıldığı zamanlarda, temiz havadaki duruma göre, gündüz sıcaklık farkının da azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, daha serin hava şehre nüfuz etmedikçe, sıcaklık farkının artacağı ortadadır. Açıkça Tablo 3.2 ve 3.3'ün verilerinde gösterildiği gibi sıcaklık farkı (şehirlerin hava sıcaklıkları) özellikle gece daha fazla oluyor. Şehir meteorolojisi uzmanları bu değerlerin her yerde, geniş orta büyüklükteki şehirler için tipik olduğu konusunda görüş birliğine varmıştır.

Landsberg (1973), Lutgens ve Tarbuch (1989) tarafından Tablo 3.1'de şehir-kırsal farkını temsil edici değerler, birçok meteorolojik değişkenlerle geniş bir literatür araştırmasından sonra verilmiştir. Sıcaklık farkları uzun uzadıya tartışıldı ve şehirdeki güneş enerjisinin ve nemin azaltılması üzerinde de duruldu. Güneş tayfının kısa dalgalar kısmına, şehir havasının etkileri (morötesi) de önemlidir (Şekil 1.7). Şehrin esası da, ortalamaya yakın nem de olduğu gibi açıklık göster-

Tablo 3.2. Mitchell'e göre haftanın değişik günlerinde şehir ile kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkları, Kentsel - Kırsal alan [$(T_Ş-T_K)$ (^oF)] olarak verilmiştir.

Haftanın Günleri	Maksimum Sıcaklık (Gündüz sıcaklıkları)	Minimum Sıcaklık (Gece sıcaklıkları)	Ortalama Sıcaklık
Pazar	0,1	1,2	0,6
Pazartesi-Cuma	0	2,2	1,1
Cumartesi	0	2,1	1,0

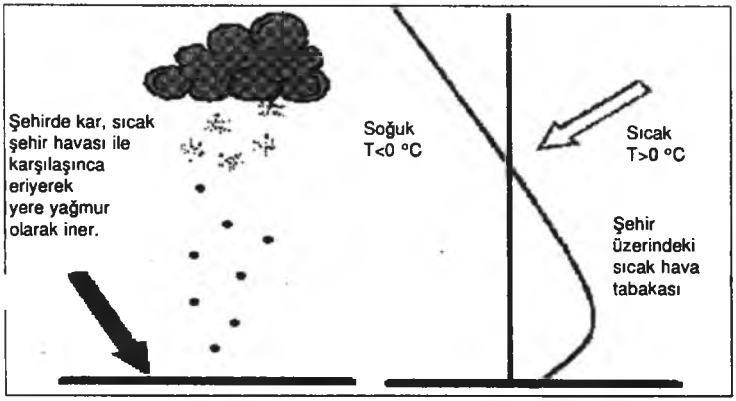
diği eklenmelidir. Ayrıca Tablo 3.2'de verilerin bağıl nem değerleri için bütün farlılıklar tek başına sıcaklıkla ifade edilemez. Şehrin binalarının ve kulelerinin rüzgâra uyguladığı sürtünme etkisinin rüzgâr şiddetini %25 oranında azaltabileceği hesaplanmaktadır.

Tablolarda gösterilmeyen fakat Landsberg tarafından sözü edilen sıcaklık farkları ile ilgili iki dikkat çekici sonuç vardır: Şehirlerde kar yağışlı günlerin sayısında %14 azalma ve don görülemeyen bitki büyüme mevsiminin üç haftaya kadar uzadığı gözlenmiştir. Şehirlerdeki kar yağışının neden azaldığı Şekil 3.10 ve 3.11'de açıklanmaktadır.

Şehirlerde absorblanan ısı enerjisi, genellikle kırsal kesimlerden daha fazla olduğu için şehirlerdeki hava sıcaklıklarının yüksek olmasına ilave olarak bu yerlerin, kırsal bölgelere oranla sıcak günlerinin sayısı da soğuk günlerinin sayısından fazladır.

Görüş veya görüş mesafesi üzerine şehir etkileri nelerdir? Tablo 3.1'de Landsberg, sis yüzünden şehirde azalan görüş mesafesini açıkça göstermektedir; fakat havadaki kirleticilerden dolayı görüş mesafesindeki azalmanın sonuçları Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Landsberg Detroit için çizdiği bu şekilde duman yüzünden 1,5 km'den daha az azalmaya sahip yıllık saatlerin sayısındaki artış görülmektedir.

Havanın, şehir merkezi üzerinde artan yükselmesi konveksiyonel olarak oluşmuş herhangi bir çeşit yağmurun gerekli şartları olduğu



Şekil 3.11. Ülkemizin bulunduğu enlemlerde yağışlar genellikle bulutlardan kar şeklinde başlar. Buluttan düşen kar kristalleri, aşağı seviyedeki hava tabakasının sıcaklığı 0^{o}C'ın üstünde olduğu yerlere ulaşınca eriyerek yağmura dönüşürler. Bir ısı adası olan şehirler üzerinde, daha soğuk olan kırsal alanlardan daha sık bir şekilde, kar yağışları eriyerek yağmura dönüşdüğü için şehirlerde görülen kar yağışlı günlerin sayısı azdır.

için; bulutluluk ve yağmur miktarlarındaki artışın açıklanması mümkündür. Havanın, kasaba üzerinde akım sistemini tamamlama isteği tabii ki, aynı zamanda bulut ve yağmur için, şehir ve taşra arasındaki farkı artırıcı şekilde çalışır. Şekil 3.10'da gösterilen çevirime benzer çevirimler kuvvetli yersel rüzgâr akımları olmak koşuluyla tamamen şehir üzerindeki konveksiyon iyi olduğu zamanlarda oluşan, ılık ve nemli günler için küçük artışların bir sonucu olarak, temelde bulut ve yağmurda yıllık artışın büyük olduğu sonucuna ulaşılır.

Tablo 3.1, sisli günlerin çoğunlukla kış mevsiminde görüldüğünü göstermektedir. Bu, büyük olasılıkla, gelen temiz hava kütlesinin yersel boyutlarından dolayıdır ki, bu, şehirdeki ısınmanın fosil yakıtlarının yakılmasının artışından etkilenir. Yanma, su buharı ve partikül kirleticiler oluşturur. Soğuk şehir, yavaşça ısınmaya başladığından bu partiküller, su buharı için yoğunlaştırıcı çekirdek görevi görürler. Bu, ısınma tamamlanana kadar devam eder; fakat yoğunlaşma, sis oluşturarak

ısınmayı geciktirir. Sis tabakasının tepesindeki albedo, ısınmayı geciktirir ve sis kendini devam ettirebilmek için kar örtüsü gibi davranır.

Adveksiyon sisi; soğuk, rutubetli hava akımı, kasabadan şehre yavaşça geldiği zaman oluşabilir. Şehir çevresi çok ısınmadan önce, soğuk hava şehrin sunduğu yoğunlaştırıcı çekirdekleri içine alır. Kasaba ve şehir çevresinde sis görülmediği zaman, şehir çevresinde sis görülmesi bu yüzdendir.

Tipik olarak Philadelphiadaki veriler ısı adasının, minimum sıcaklıkların oluştuğu zaman gözlendiğini göstermiştir. Ortalama maksimum sıcaklıklar şehirde sadece 0,3-0,4 derece daha sıcak olmasına rağmen, minimumlar 1,2-1,7 derece daha fazladır. En yüksek kış sıcaklığı şehrin merkezinde belirmiş, dış mahalle ve etraftaki kırsal bölgelerdeki ölçülen minimum sıcaklık 3,3 derece daha düşük çıkmıştır. Unutmamak gerekir ki, bu sıcaklıklar ortalama değerlerdir; öyleki, birçok açık ve sakin gecelerde şehir merkezi ile kırsal kesim arasındaki sıcaklık farklılığı 11 derece veya daha fazladır. Bunun tersine, rüzgârlı ve soğuk gecelerde sıcaklık farkı 0 derece olarak ölçülmüştür. Aynı çalışma, ABD başkenti Washington DC' de ısı adasının ilginç bir yanını karşımıza çıkardı. 5 yıllık çalışma süresi içerisinde son kışlardaki şehir içindeki donma olayları şehir dışındakinden 18 gün önce görüldü. Kırsal alanlardaki şehirsel değişiklikler şehirsel ısı adasının nedeni olarak yüzeyde önemli değişikliklere neden oluyor. İlk önce, şehrin artan beton ve asfaltları kırsal kesimlerdeki bitkisel canlılar ve topraktan daha çok güneş enerjisi yutarak depoluyor; çünkü, şehir yüzeyi su veya buhar geçirmez, bu olay bazı kesimlerdeki buharlaşma oranının düşmesine neden olur. Bu nedenle sıvı suyu gaz haline geçirmek için kullanılan ısı bu kez de yüzeysel ısı artışına neden olur. Geceleri hem şehirsel bölgelerin hem de kırsal kesimlerin ışınım kaybından dolayı soğumasına rağmen, kaya gibi sert görünümlü şehir yüzeyinin gün boyunca elde ettiği ısıyı azar azar kaybetmesi, şehirsel bölgelerin kırsal kesimlerden daha da sıcak olmasına neden olur.

Bu binaların cepheleri yuttukları ısıyı yaydıkları zaman, ısı bina aralarına doğru yayılır. Şehirlerdeki ısı kaybını geciktirmeye şunu da ekleyebiliriz ki, yüksek binalar aynı zamanda hava akışını da değiştirebilir. Büyük şehirsel yüzeyin pürüzlüğü nedeni ile rüzgâr hızı şehirsel bir alanda azalır. Mevcut kayıtlardan edilen tahminlere göre, şehirsel bölge rüzgârlarında kırsal kesimlere göre %25 azalma görülüyor. Düşük rüzgâr hızları, dışarıdaki soğuk hava haraketlerini tutarak şehrin havalandırılmasını azaltmakta, eğer içine girebilirse, sadece şehrin hava sıcaklığını düşürmektedir. Bölgesel rüzgârların ancak kıritik değeri geçtiği an ısı adalarına ulaşabildiğini göstermiştir. Bu kıritik değer, şehirsel bölgenin genişliği, şehrin büyüklüğü, rüzgârın büyüklüğüne göre değişir.

Şehirleşmenin Rüzgâra Etkisi

Şehirlerdeki ısı kaybını geciktirmeye ek olarak yüksek binalar aynı zamanda hava akışını da keserek değiştirebilir. Büyük şehir yüzeyinin düzgün olmayışı nedeniyle rüzgâr hızı kentsel bir alanda azalır. Tahminlere göre şu an şehirlerde ki rüzgârlar, kırsal kesimlere göre % 25 azalmıştır. Düşük rüzgâr hızları nedeniyle, dışarıdaki soğuk havanın hareketleri tutulduğu için şehrin havalandırılması ve şehir içindeki hava sıcaklığının düşürülmesi mümkün olamamaktadır. Bölgesel rüzgârlar ancak belli bir kritik değeri geçtiği zaman şehir içindeki sıcak hava dağılabilmektedir. Bu kritik değer, şehirsel bölgelerin genişliği, şehrin büyüklüğü, rüzgârın büyüklüğüne ve ısı tabakasını değiştirebilecek kadar gerekli olan güce göre değişir.

Munn, 1970 yılında, kırsal kesimlerde, havanın akışını inceledi. Bu inceleme gösterdi ki; Yüzeyin pürüzlülüğü artarsa, şehirlerdeki rüzgâr kesilir. Fakat belli noktalarda, rüzgârın hızı artar. 'Pürüzlülüğün artışı, türbülansa sebep olur.' Aşağıda Tablo 3.3'de 50 yıllık rüzgâr hızları gösterilmiştir. Bu tabloya göre, Amerikan şehirlerinde, kent merkezi havası; yüksek hava basıncında, rüzgâr hızı daha düşük, düşük hava basın-

cında, rüzgâr hızı daha büyük olur. Dolayısıyla kent merkezinde, bölgesel etkilere bağlı kalarak, rüzgâr hızı düşüktür. Örneğin; şehir kanyonları, rüzgâr hızına ters bir etki yaratır; rüzgârın hızını düşürür. Aslında rüzgârın, şehirlerde ki mikro etkileri, oldukça fazladır. Eğer, bölgesel rüzgâr hafif olursa, şehir kendi rüzgâr alanını kendisi yaratır ve gerçeğine bağlı kalınarak bu komplekslik azaltılabilir.

Tablo 3.3. Amerika'nın seçilmiş havalimanı ve şehirlerinde 50 yıllık verilerle karşılaştırılan rüzgâr hızları (Munn, 1970).

	Şehir Bölgesi		**Havalimanı (Kırsal)**	
	Anemometre Yüksekliği (m)	Rüzgâr Hızı (m/sn)	Anemometre Yüksekliği (m)	Rüzgâr Hızı (m/sn)
Boston	57,3	32,2	19,2	46,0
Chicago	—	25,1	11,6	31,3
Omaha	36,9	29,1	20,7	40,7
Knoxville	33,8	25,5	21,6	39,0
Spokane	33,5	22,8	8,8	34,9

Rüzgârın şiddetli olduğu durumlarda, kirleticilerin konsantrasyonu düşer. Rüzgâr, şehirlerde hava kirliliği ile oluşan partikülleri, şehirlerden uzağa taşır. Bunun en hızlı etkisi, kırsal alanlardaki sıcaklık yükselmesi olarak görülebilir. Yani şehrin merkezi ile çevresi arasında bir fark olduğunu gösterir. Bu olay, şehrin etrafındaki rüzgârın hafif olduğu yerleri etkiler.

Aynı zamanda şehirlerin hava hareketini engellediğinden, genellikle yüzey yakınında rüzgârın zayıfladığı şehirlerde, yukarı atmosferde düşey hareketin ve türbülansın arttığı, aynı zamanda şehirsel-kırsal sirkülasyon paterninin ara sıra ortaya çıkan bir daralma yaptığı kabul edilir.

Şehirleşmenin Neden Olduğu Yağış Artışı

Birçok Alman ve İngiliz bilim insanları 20. yüzyıl çalışmalarıyla bulut ve yağışın, şehirlerin rüzgâraltı ve içindeki şiddetli havayla ilişkili olduğunu gösterdi (Ashworth, 1929; Kratzer, 1956). Her ne kadar, anlatılan şehirleşme Amerika'daki yağış durumunu değiştirse de 1950' ye kadar buna dikkat edilmedi. 1956' ya gelindiğinde ise Landsberg, Tulsa'daki yağmur artışının, şehirleşmenin bir belirtisi olduğunu gösterdi.

Böylece, birçok klimatolojist, şehirlerin kendi içindeki ve etrafındaki yağış olayına etkisi olduğunu kabul eder. Şehirsel hava kompleksine sahip olan bölgelerin yağışa etkisini muhtemel kılan birçok neden vardır. Lutgens ve Tarbuck (1989)'a göre:

1. Şehirlerin oluşturduğu ısı adaları nedeniyle şehir üzerinde bulunan sıcak hava, şehir üzerindeki atmosferin kararsızlığını arttırır.
2. Fosil yakıtlarının evsel ve endüstriyel kullanımı sonucu şehir üzerindeki havada sayısı artan yoğunlaşma ve donma çekirdekleri bulutların mikro-fiziksel yapısını etkiler.
3. Pürüzlü şehir yüzeyleri, düşük seviye de hava sistemlerini yavaşlatır ve şehir üzerinde daha fazla kalmalarına neden olur.

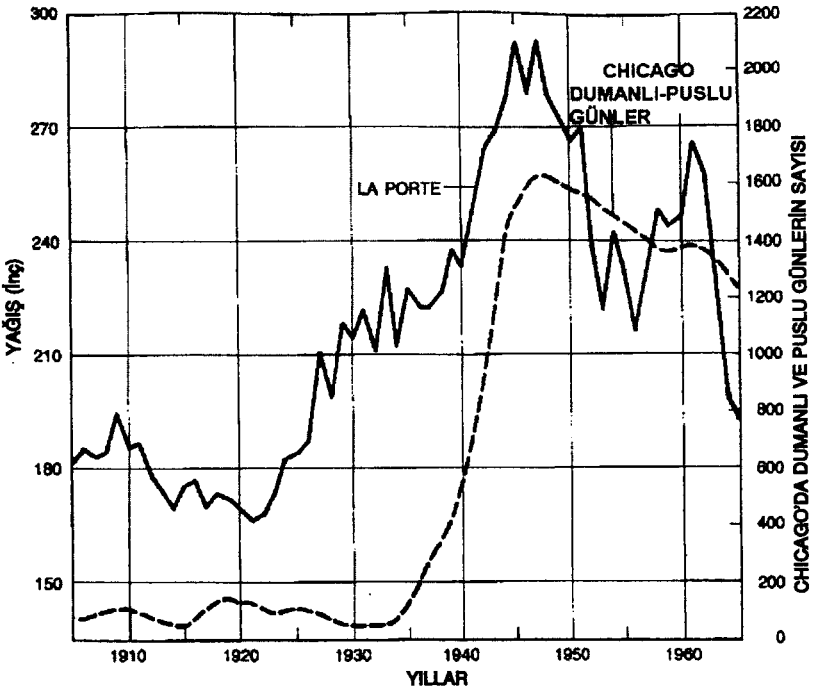
Diğer bir deyişle pürüzlü şehirsel araziler, bir hava sistemlerinin hareketlerini engelleyici ve tutucu etki yaratıyorlar. Böylece yağmur getirecek bir hava sistemi, şehir üzerinden ayrılmakta kırsal alana göre daha yavaş davranıyor ve böylece bulut daha fazla yağış bırakabiliyor.

Şehirsel ve kırsal alan yağışlarını içeren birçok araştırma, şehir üzerine düşen yağış miktarı, en yakın kırsal kesime düşen yağış miktarından % 10 daha fazla olduğunu göstermiştir ("şehir yağış adası"). Daha sonraki araştırmalar ise, şehirlerin yağış miktarlarını arttırmasının en büyük nedeninin şehir merkezlerindeki zayıf rüzgârlar olduğunu göstermiştir.

Muhtemel bir zayıf rüzgâr etkisi, 1960 yılında Stanley Chagnon ta-

rafından incelendi. Kayıtlara gösre, 1925'den beri, La Porte, A.B.D. Indiana'nın büyük endüstriyel komplekslerinin zayıf rüzgârından 48 km uzakta kurulmasına rağmen, gökgürültülü gün sayısı ve dolu yağan gün sayısında gözle görülebilir bir artış, olmuştur (Şekil 3.12). Böyle bir farklılığın olması ve etrafta görülmemesi, insanların dikkatini çekiyordu. Karşımıza çıkan hava durumundaki bu kuraldışılık, gerçekte rasat yapanın veya da aletlerdeki değişime dayanmıyordu. Çalışmalar tamamlandıktan sonra, Chagnon, ölçümlerdeki farklılıkların doğru olduğu sonucuna vardı. Varılan bu sonucun nedenleri arasında, 1930 Chicago'daki, sisli günlerin sayısı ve atmosferik kirlenmenin ölçümü, La Porte'nin yağış eğrisi ile çok iyi bir şekilde kıyaslandı (Şekil 3.12). Bu kıyaslamadan çıkan genel sonuç, şehirlerdeki yağış artışının hava kirliliğini gösteren grafikteki artışla birlikte arttığı idi. Yine de tüm bunlar insan etkinliklerinin, yağış üzerine etkisini göstermekteydi. Yağmur artışının zayıf rüzgâr alanlarındaki artışa bağlı olduğunu kanıtladı. 8 Amerikan kentinde yapılan araştırmalar sonucunda, 6' sında kırsal alanın çevresine göre % 9'dan % 27'ye varan bir oranda daha fazla yağışa rastlandı. Buna ilave olarak; gök gürültülü gün sayılarında ve dolu fırtınalarında da bu artışı gösterdi.

İkinci ve daha geniş olan şehirsel yağmur araştırmaları, St. Louise, Missouri'de gerçekleştirildi. METROMEX adı altında verilen daha büyük bir program, çok değişik türlerde aletler ve birçok araştırma grupları içeriyordu. Metromex'in en büyük başarısı kompleks atmosferik davranışların -özellikle yağışın- etkisinin, nasıl, ne zaman ve nerede olacağını tespit etmesiydi. Sadece süregelen çalışmalar, St. Louise şehirsel endüstriyel kompleksi, yağış dağılımını ve şehir merkezindeki alçak rüzgâr akımını, kesinlikle değiştirdiğini göstermiştir. Bu konuda ki veriler, göstermiştir ki; sakin rüzgâr alanlarında % 10 dolayında ortalama yağış artışı olmuştur.



Şekil 3.12. La Porte, Indiana'daki yağış değerleri ile Chicago'daki dumanlı-puslu günlerin sayısının 5-yıllık kayan nokta ortalaması (Stanley ve Changnon, 1968).

Eklemek gerekirse, zayıf rüzgâr yağışının artışı, endüstriyel gelişimin artmasıyla oldu. Diğer bir kanıt ise, şehirlerin bu artıştan sorumlu olduğu idi. Eğer şehirler, gerçekten yağış değiştiriyorlar ise, şehirsel aktivitelerin bugünden daha fazla olacağı ileri ki yıllarda, şehirlerin yağış üzerindeki etkileri daha fazla olacaktır. St. Louise ve Paris için yapılan çalışmalarlarda, hafta içindeki yağış miktarına göre fark edilebilen bir artış olduğu görülmüştür (Şekil 3.14). Bu çalışmalarda, hafta sonunun kısa olmasına karşın, pazartesinden cumaya doğru git-

tikçe, yağışta bir yükselme olduğu gözlendi.

Bakış noktaları farklı olan Japon şehrinde, araştırma yapılmıştır. Büyük şehirlerde çok fazla yağmurun yağmadığı görülmüştür. Büyük şehirlerin dış eteklerine doğru fazla yağmur yağdığı görülmüştür (Eteklere doğru yağmur miktarının arttığı gözlenmiştir). Bu yağış; sebebinin de anlaşılacağı üzere, şehir içindeki kirlenmeden dolayı, istenilen miktarda ve şiddette olmamıştır.

1971'de Atkinson, Londra'da bir bölgede, ölçüm yapmıştır; Batıdan doğuya doğru rüzgârın esmesini gözlemlemiş ve bunun sonucunda, bulutların bir araya toplandığını, daha sonra oluşan fırtınayla dağıldığını göstermiştir. Londra'nın 30 km batısında olan bu olayda, şunu gözlemlemiş; Bir fırtına, şehrin üzerinden geçiyor, bulutlarda büyüme ve bir noktada kümelenme var, bunun sebebi; sıcak, nemli hava, Londra'nın üzerinde duruyordu ve bu hava fırtına tarafından alındı. Şehirlerdeki bu tür bulutların oluşması için, bütün her şeyin bir araya gelmesi 'bir noktada bulunması' gerekir.

Peterson 1969'da şehirlerdeki nemin şehir dışına göre daha az olduğunu gözlemlemiştir. Burada bahsedilen bağıl nemdir. Bağıl nem ve sıcaklığa bağlı bir büyüklüktür. Şehirlerde sıcaklık, daha fazladır. 1963'de Caluder tarafından tarafından mutlak nem ölçümleri, şehirlerde mutlak nemin kırsal alana göre daha fazla olduğunu göstermiştir.

3.4. Şehirleşmenin İstanbul'daki Yağışa Etkisi

Genellikle hafta içinde sürekli olarak kapalı ortamlarda çalışanlar, hafta sonlarında havanın yağışlı olup olmamasına çok fena halde dikkat eder ve yağışlı hafta sonlarından hiç hoşlanmazlar. Yaygın bir inanışa göre de hafta sonları zaten hep yağışlıdır! Bu İstanbul, Paris vb. gibi büyük şehirlerde yaşayanlar için ne kadar doğru bir inanış veya gözlemdir?..

Hatırlarsanız bir önceki bölümde şehirleşmeden dolayı yerleşim bölgelerinin yüzeylerinde oluşan pürüzlülük ve artan sosyo-ekonomik etkinlikler sonucu atmosfere salınan kirleticilerin, şehirlerde yağış artışına (yani "şehir yağış adasına") sebep olduğu anlatıldı. İstanbul gibi çok büyük nüfusu barındıran bir megapoldeki aşırı şehirleşmeden, çevre iklimi de etkilenir. İstanbul ve çevresinde yoğunlaşan nüfus ve sanayinin ulaştığı tatlı su talebinin karşılanması da zaman zaman mümkün olamamaktadır. Bu yüzden İstanbul'daki şehirleşmenin yağışa şimdiki ve gelecekteki olası etkilerini incelemeliyiz.

İstanbul ve çevresinde aşırı şehirleşmeden dolayı kaydedilen yağışlarda bir farklılık olup olmadığını araştırmak için Kireçburnu, Florya, Göztepe ve Şile'deki DMİ'ye ait Meteoroloji İstasyonlarının günlük yağış verileri analiz edildi. Belirli periyotlardaki haftanın her bir gününün yağışlı olma yüzdesi, toplam yağışa katkı yüzdesi ile ortalama yağış miktarları belirlenmişti. Böylece haftanın 7 günü arasındaki muhtemel farklar ortaya konmaya çalışıldı (Kadıoğlu, 1994).

1990 Nüfus sayımına göre ise, Türkiye nüfusunun yarıdan fazlası (% 59), yoğun insan aktivitesi tarafından etkilenmiş kent iklimlerinde yaşamaktadır, (DİE, 1992). Diğer taraftan 1985 nüfus sayımına göre ortalama 65 kişi/m^2 olan nüfus yoğunluğunun 1990 yılı esas alındığında ortalama 73 kişi/m^2'ye ulaştığı şehirlerimizde etkili olan klimatolojik şartların uzun yıllar öncesine göre belli bir ölçüde değişeceği izlenimini vermektedir. Ülkemizdeki büyük yerleşim alanlarından atmosfere salınan kirleticilerin, kentlerdeki hava şartlarını nasıl etkilediği ve kentlerin iklimine nasıl tesir ettiği henüz ayrıntılı bir şekilde tespit edilmiş değildir, (Kadıoğlu ve ark., 1993a).

Doğalgazın yaygın olarak kullanılmadığı yıllarda hava kirliliği, İstanbul'u da yaşanmaz duruma getirmişti. İstanbul'da olduğu gibi büyük şehirlerde atmosfere aşırı ölçüde salınan kirleticilerin ve çarpık kentleşmenin sıcaklık ve yağış gibi yerel iklim elemanlarını değişik şekillerde etkilediği literatürden bilinmektedir.

Özellikle İstanbul' un geometrik bir hızla çoğalan nüfusu sonucu, hava kirliliğinin yanı sıra artan ihtiyaçları karşılayabilmek için içme, kullanma ve endüstri suyu sorununu da birlikte getirmektedir. Fakat, küresel ve bölgesel ölçekte atmosferde ortaya çıkan değişimler, yerel hava sirkülasyonunu ve hava paternlerinin normal yörüngelerini etkileyerek değişik yağış rejimlerine de neden olabilecektir. Büyük şehirlerimizde kritik seviyeye düşmüş içme suyu ve GAP gibi büyük su kaynaklarının planlaması ve işletilmesinde, iklim ve onun sonucu olan yüzey hidrolojisinde anlamlı bir değişim olup olmadığının da şimdiden belirlenmesi gerekmektedir, (Kadıoğlu ve ark., 1993b).

Bundan dolayı İstanbul'da görülen aşırı, çarpık şehirleşme ve hava kirliliğinin, doğal çevre ile birlikte atmosferik çevremizi nasıl etkilediğini, özellikle bu kentimizin çeşitli noktalarında uzun yıllardır ölçülen meteorolojik elemanlarından biri olan, yağışta ne tür değişikliklerin ortaya çıktığını tespit edebilmeyi amaçlayan ilk çalışmalardan birini yapmaya karar vermiştim, (Kadıoğlu, 1994).

Türkiye genelindeki 18 il ile birlikte İstanbul'un nasıl bir iklim değişimine maruz kaldığını belirleyebilmek için, yaklaşık 60 yıllık düşük ve yüksek sıcaklık kayıtları ile yağış gözlemleri, Kadıoğlu (1993); Kadıoğlu ve Toros (1993, 1994); Kadıoğlu ve ark., (1993a) tarafından incelenmişti. Bu çalışmalar sonucunda, Türkiye'de kayıt edilen düşük hava sıcaklıklarında, özellikle İlkbahar mevsiminde, önemli artışların olduğu; yüksek hava sıcaklıkları ile toplam yağış miktarında ise önemli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Her ne kadar Tablo 3.4'den görüldüğü gibi, İstanbul'un yaz aylarındaki yağışlarda eğilim, azalma yönünde ise de onlar henüz istatistiki anlamda önemli trendler değildir.

Bu çalışmalarda İstanbul sıcaklıkları için elde edilen bulguların, ABD, eski Sovyetler Birliği ve Çin'deki 747 Meteoroloji istasyonuna ait gözlemlerin analizinde görülen gece sıcaklıklarındaki belirgin artış ve gündüz sıcaklıklarındaki önemsiz değişimler ile uyum içindedir, (Karl, 1992).

Yağışın yerel ve zamansal değişiminin çok büyük ve süreksiz olması nedeniyle kaotik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle yağıştaki trendler, sıcaklıklardaki gibi, belirgin değildir, (Kadıoğlu ve Toros, 1994). Bundan dolayı da atmosferin küresel ısınmasına benzer bir şekilde yağışın küresel değişiminden de bahsedilmez. Benzer şekilde, bu çalışmanın Türkiye geneli ve İstanbul için tespit edilen yağış trendleri arasında bir benzerlik de yoktur. Diğer bir deyişle, yıldan yıla artan şehirleşmeden dolayı artan sıcaklığa paralel olarak İstanbul (Göztepe'de) gözlenen yağışta zamanla önemli bir artış görülmemiştir.

Tablo 3.4. İstanbul, Göztepe' de gözlenen ortalama maksimum, minimum sıcaklıklar ve toplam yağışta, mevsimsel ve yıllık trendler. Önem seviyeleri: % 95 (*), % 99 (**) olarak gösterilmiştir, (Kadıoğlu ve ark., 1994).

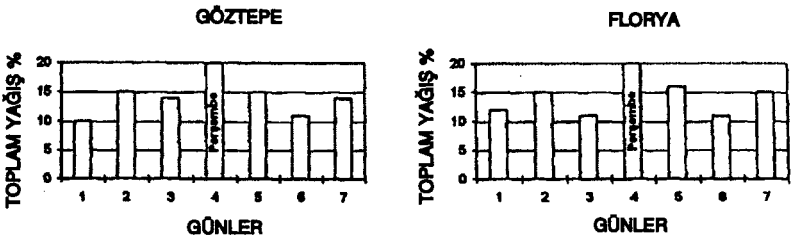
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıllık
Mak. Sıcaklık	0,97	0,38	-1,73	-1,83	-0,98
Min. Sıcaklık	1,86	2,67**	2,16*	-0,60	2,87**
Yağış	0,40	0,80	-0,21	0,10	0,23

Özellikle şehirleşmenin daha fazla hissedildiği verinin son beş yıllık periyodunda yağışın bir hafta içindeki günlük dağılımı şehirsel aktivitelerin yağış üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bir hafta içinde günlerin yağışlı olma yüzdeleri 1985-1989 periyodu için Şekil 3.13'de grafiksel olarak verilmiştir.

Şehirlerdeki hizmet diğer sektörlerdeki üretim ve diğer ekonomik etkinliklerin başladığı Pazartesi gününden itibaren atmosferde yoğunlaşma ve donma çekirdeği görevi görebilecek kirleticilerin salınmaya başlanması Perşembe günleri, yağışta maksimuma neden olmaktadır. Şekil 3.13'den çok açık bir şekilde bu görülmektedir. Haftanın 4. günü olarak Perşembe günleri, diğer günlere göre yağışta -Kireçburnu hariç- yaklaşık olarak % 20 fazlalık göstermektedir. Şekil 3.14'de Paris için ve-

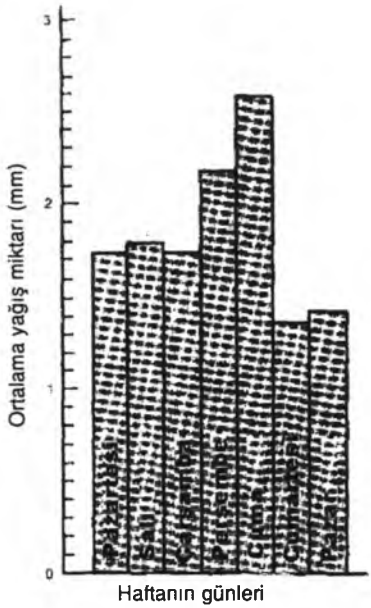
rilen benzeri grafikte ise, maksimum yağışın Cuma günü kayıt edildiği görülmektedir. İstanbul ile Paris arasındaki bu farklılığın nedenlerini daha ayrıntılı bir çalışma yapmadan tam olarak açıklamak zordur.

Bununla beraber şu an bir açıklama getirmek gerekirse bunun nedeni o zamanlar İstanbul'da aşırı bir seviyede olan hava kirliliği ile şehre gereğinden çok fazla çekirdek salınmasını söyleyebiliriz. Örneğin, yağışlı gün sayısı Cuma günü, Perşembe gününden % 4 daha fazla olmasına rağmen, Perşembe günü ölçülen yağış miktarı, Cuma gününkinden % 6 daha fazladır.



Şekil 3.13. İstanbul' un çeşitli noktalarında 5 yıllık periyoda (1985-1989) ait bir haftalık günler için ortalama yağış. Pazartesinden Perşembe gününe kadar yağıştaki giderek artış ve cumadan pazar (5-7) gününe kadarki düşüşe dikkat edilmelidir (Kadıoğlu, 1994).

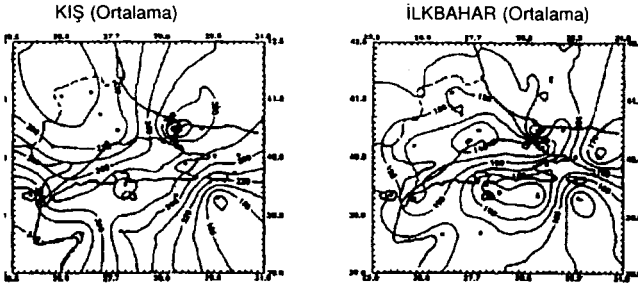
Bulut tohumlama çalışmalarından da bilindiği gibi (bkz Bölüm 3.7), bulutların yoğunlaşma çekirdekleri ile aşırı tohumlaması sonucu, buluttaki su damlacıkları yeterli büyüklüğe ulaşamadıkları için gözlenen toplam yağış miktarında önemli azalmalar olur. Bu da İstanbul' da Cuma günleri sayı olarak daha fazla yağışlı gün görülmesine rağmen, yağışa dönüşebilir suyun daha çok sayıda fakat daha küçük bulut damlacıklarına dönüşmesi ve sonuçta yağışın çisenti olarak gerçekleşmesinden dolayı, ölçülen yağış miktarı düşük olmaktadır. Buna benzer bir şekilde, Japonya'nın en kirli üç şehri Tokyo, Osaka ve Nagoya' da gözlenen yağışın kırsal kesimlere göre giderek azalttığı da belirlenmiştir (Seiguti ve Tamiya, 1970).



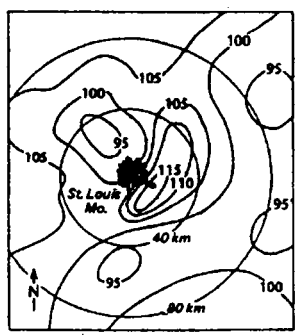
Şekil 3.14. Paris'te 8 yıllık periyotta (1960-1967) ait bir haftalık günler için ortalama yağışlar. Pazartesinden Cuma gününe kadar yağıştaki giderek artış ve C.tesi ile Pazar günlerindeki keskin düşüşe dikkat edin. Hafta içinde yağışın ortalaması 1,93 mm'yi hafta sonundaki 1,47 mm'lik yağışla karşılaştırın. Aradaki fark % 24'dür. (Detwiller ve Landsberg, 1974).

İstanbul'un rüzgâr altına rastgelen kısmı Anadolu yakasının da, daha fazla yağış aldığı Kadıoğlu (1995) tarafından gösterilmiştir. Örneğin, Florya' da ortalama yıllık yağışlı günlerin sayısı % 30 iken, şehir merkezinden yaklaşık olarak 50 km uzakta olan ve rüzgâr altında bulunan Şile'de % 43' dür(Şekil 3.15). Şüphesiz bunda, topografya gibi birçok faktör rol oynuyorsa da, Chicago'nun hava kirliliği tarafından etkilenen La Porte gibi, Şile'nin batısındaki İstanbulu düşünürsek, kentmerkezinin oluşturduğu hava kirliliği Şile' yi kısmen etkilemektedir.

Örneğin, İstanbul'da da şehirleşme ile yıldan yıla bina yoğunluğu



Şekil 3.15. Marmara Bölgesinde ortalama yağışın (mm/m^2) yersel ve zamansal dağılımı. İstanbul Boğazı civarındaki yağış maksimumlarını gösteren kapalı izohyetlere dikkat ediniz, (Kadıoğlu ve Erdun, 1994a).



Şekil 3.16. ABD'nin orta bölgesinde yer alan St. Louis şehrinde 149-1968 yılları dönemindeki kırsal/şehir yağış oranları. Şehirin ortasında yağış kırsala göre %15 daha fazla olduğu görülmektedir (Changnon ve ark., 1971).

ve dolayısıyla sürtünme artmaktadır. Böylece rüzgâr şiddetinde beklendiği gibi İstanbul' da bir azalma gözlenmektedir. Rüzgâr şiddetinde azalma Florya ve Göztepe Meteoroloji istasyonlarında 2 ve 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr kayıtlarından Ok (1994) tarafından belirlenmiştir. Bu şekilde rüzgârın sakinleşmesi sonucu, yağış getiren sistemler, birazda şehrin oluşturduğu pürüzlülükten dolayı, şehir üzerinde kırsal kesime göre daha uzun süre kalarak kent merkezlerinin

daha fazla yağış almasına neden olmaktadır.

Böylece, her ne kadar yağışta uzun yıllar boyunca (Tablo 3.4) zamanla ve henüz belirgin bir artış gözlenmemişse de, aylık toplam yağış miktarlarının gruplandırıldığını mevsimlik ve yıllık paternler İstanbul içiyle çevresinde de farklılıklar görülmektedir, (Şekil 3.15). Burada iki yağışın bölgesel dağılımının sadece genel özellikleri, Fiziksel Klimatoloji ve Sinoptik Meteoroloji kavramlarıyla açıklanabilir. Örneğin, Marmara Bölgesi'nde kış aylarındaki yağışlara sinoptik ölçekli fırtınalar neden olmaktadır. Bununla bilirlikte, bölgeye her ne kadar aynı yağış mekanizması hakimse de, yağış İstanbul'un merkezine doğru büyük artışlar göstermektedir, (Kadıoğlu ve Erdun, 1994a, b). Yine Şekil 3.15'den de görüldüğü gibi bu fırtınaların bıraktığı ortalama yağış (mm/m^2), şehrin merkezi sayılabilecek İstanbul Boğazı ve civarında, şehrin dış kısımlarından daha fazladır. Benzer sonuçlar Dünyanın birçok yerindeki (örneğin, St. Louis ve Paris gibi) büyük şehirlerde de görülmektedir (Şekil 3.16).

Bu paternlerin, mevsimden mevsime oldukça farklı olduğu görülmektedir. Fiziksel Klimatoloji ve Sinoptik Meteoroloji kavramları ile bu kadar küçük bir alanda görülen bu farklılıkların tümünü açıklamak için, mikro ölçekte düşünüp şehirleşme ve kent iklimi gibi İstanbul'un mikro-klimatolojisini gözönüne almak gerekir.

Böylece yeşil alanların yok edilmesi ile çarpık şehirleşme, atmosferik çevrede geriye dönüşümü olmayan değişimlere neden olabilmektedir. Şehir ısı adaları ile birlikte şehirlerin hava sıcaklığı artarken yağış rejimlerinde de farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Kentsel etkinliklerin bugünden çok daha fazla olacağı ileri ki yıllarda, şehirlerin yağış üzerindeki etkileri nasıl olacağına da ayrıca dikkat etmek zorundayız.

Sonuç olarak, yurt dışında yapılan benzeri çalışmalara göre hafta içindeki maksimum yağışın İstanbul'da bir gün daha önce görülmesine, İstanbul'daki çarpık şehirleşme ve hava kirliliğinin çok daha fazla olması neden olmuştur. Şu an doğal gaz kullanımın yaygınlaşması kla-

sik hava kirliliği problemini İstanbul'da geriletmişse de, başka hava kirleticilerinin miktarında önemli artışlar olmaya devam etmektedir. Bu kirleticilerin de daha fazla artması durumunda İstanbul ve civarındaki yağışta belirgin azalmalar görülebilir. Bu da İstanbul ve benzer bir şekilde diğer büyük şehirlerimizdeki çok kritik bir seviyeye ulaşmış, içme ve kullanma suyu problemlerini büyütebilir.

3.5. Büyük Su Yapılarının İklime Etkisi

Basınımızda devlet erkanından veya başka çevreler tarafından entegre kalkınma projesi GAP'ın, kısmen de olsa, tamamlanması ile birlikte Güneydoğu Anadolu, GAP-Mezopotamya ve dolayısı ile Doğu Anadolu ile birlikte Van Gölü kapalı havzası kadar yakın bölgedeki iklim elemanlarında önemli değişikliklere neden olduğuna dair sık sık açıklamalar yapılır. Örneğin, bu bölgede bir çığ olsa ya da Van Gölü'nün su seviyesi biraz yükselse bunları hemen GAP'a bağlayanlar oluyor. Gerçekten barajlar çevre iklimini nasıl etkiler?..

Nehirlerin önünü keserek inşa edilen (Atatürk, Keban, Hasan Uğurlu, Hirfanlı vb. gibi) hidrolik barajlar sel kontrol, sulama ve/veya hidroelektrik enerji üretimini amaçlayan projeler tamamen hidrometeorolojik karakterli projelerdir. Bu nedenle yağış, akış, buharlaşma ve diğer hidrometeorolojik parametreler, bu projelerin temel girdileridir. Küresel ısınma ve iklim değişimi projeksiyonlarına göre bu projelerin yağış gibi temel girdilerinin yakın bir gelecekte nasıl etkileneceği, bu tür projelerin sosyo-ekonomik verimini de belirleyecektir.

Yerel ölçeklerde ortaya çıkan farklılaşmalar, sıcaklık ve yağışın etkisiyle çevreyi, tarımsal üretimi ve sosyo-ekonomik etkinlikleri olumsuz bir şekilde etkileyebilecektir. Böylece bu tür projeler ile bölgede oluşturulacak olan suni göller, baraj vb. büyük su yapıları, yerel bitki örtüsü ile birlikte proje bölgesinde ki, imar, tarım ve ulaşımda da bazı de-

ğişikliklere neden olabilir. Bu nedenlerden dolayı, bu tür projelerle yapılması planlanan büyük su yapılarının proje bölgesinde neden olabileceği yerel iklim değişikliği ve atmosferin küresel ölçekte ısınması, özellikle proje bölgesindeki yağışları ve bölgenin ekolojik dengesini nasıl etkileyeceği, uluslararası literatürdeki vaka çalışmalarından alınan derslere göre önceden sorgulanması ve incelenmesi gerekir.

Genel olarak herhangi bir yerin iklimindeki değişimde, atmosferin küresel değişimine ilaveten, yöredeki insan faaliyetleri sonucu oluşturulan biriktirme hazneleri (örneğin, baraj, rezervuar, başlama, sulama şebekeleri gibi büyük su yapıları) de rol oynamaktadır. Bu faaliyetler sonucunda o yöredeki geleceğe yönelik tasarım, ıslah ve projelerin gerçekleştirilerek işletilmeleri için bu etkenlerin geçmişte olan davranışlarının bazı bilimsel yöntemlerle anlaşılmış olması gerekir, (Kadıoğlu, 1993a).

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan benzer projeler sonucu ortaya çıkan yerel iklim değişimleri üzerine yapılan vaka çalışmalarının ışığında, üklemizde bir hidrolojik baraj proje bölgelerinde göz önüne alınması gereken olası iklim değişimleri kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kar yağışında artış,
- Çığ sayısında artış,
- Rüzgâr şiddetinde artış,
- Rüzgâr yönünde değişim,
- Havadaki nemde artış
- Yazları daha serin; Kışları daha ılık bir iklim,
- Sis ve don olaylarındaki artış.

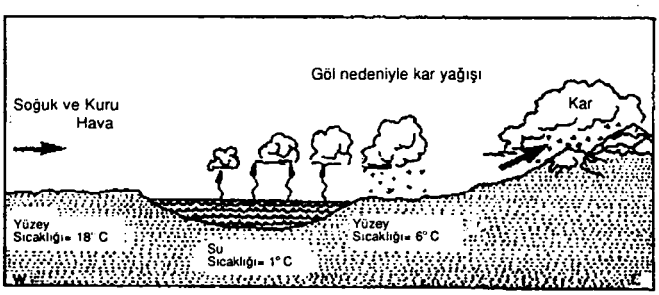
Kurak ve yarı kurak bölgelerde baraj gölleri ve sulama şebekeleri gibi büyük su yapılarının, çevre iklimi ve hidrolojisinde değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca büyük su yapılarının ortaya koyduğu "vaha etkisi", bölgedeki su dengesini de değiştirebilmektedir.

Baraj göllerinin çevrede havaya daha fazla nem salacağı için, böl-

gelerindeki don olayları ile birlikte "göl etkisinden" dolayı kar yağışında ve kar çığlarında da büyük artışlar görüldüğü literatürden bilinmektedir. Bu nedenle, elektrik taşıyan yüksek gerilim hatları, kara ve demir yolları gibi teknik hizmetlerin proje ve işletme aşamalarında da bu meteorolojik afetlerin göz önünde bulundurulması gerekir, (Kadıoğlu ve ark., 1993a).

Genellikle büyük baraj göllerindeki su kütlelerinin topraktan farklı olan termal özellikleri, barajların su tutmaya başlamadan öncekine kıyasla, çevresinde daha serin yaz ve daha ılıman kışlara sebep olur. Atmosferin sınır tabakasında az da olsa bitki örtüsüyle kaplı ve engebeli olan toprak alanların pürüzlülüğü nispeten çok daha küçük olan düzgün su yüzeyleri ile yer değiştirmiş olması, bölgedeki hakim rüzgâr yönünde bir (sağa kayma gibi) farklılığa ve rüzgâr şiddetinde de belirgin bir artışa neden olabilmektedir, (Oke, 1978).

Su ve havanın farklı su buharı basınçları nedeniyle göl yüzeyinden karalara doğru büyük miktarda nem transferi olur. Havadaki nemin artmasıyla bölgede sis ve don olaylarında, "göl etkisinden" dolayı da kar yağışında ve çığlarında büyük artışlar görülebilir. Göl etkisinden dolayı kar yağışının gelişmesinin mekanizması, Oliver (1981)'den değiştirilerek alınıp Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

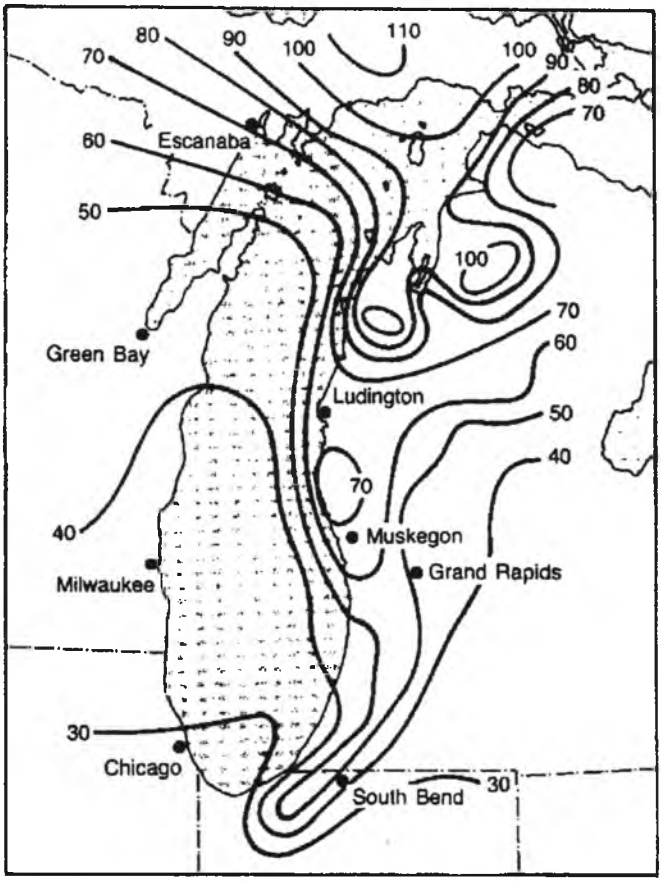


Şekil 3.17. Doğal ve yapay göllerin doğu kıyılarında, "göl etkisi" ile kar yağışındaki artışın mekanizması (Oliver, 1981).

Mühendislik yapılarından büyük su kütlelerinin iklime olan etkisi konusunda yapılan çalışmaların en eskilerinden birinde Thornwaite (1956), Rusya'daki Rubinsky Barajı çevresindeki sıcaklık değişiminin az olduğunu belirtmiştir. Thornwaite'e göre bu barajın bulunduğu alanda rüzgâr hızı ortalama iki kat artmış, fakat bu sadece gölün kıyısıyla sınırlı kalmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) güneybatısındaki kurak alanda oluşturulan yapay göllerin çevre ikliminin değişiminde çok küçük etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir (Oliver, 1973).

Kısaca SMIC olarak bilinen ABD'deki diğer bir çalışmada ise büyük su yapılarının uzun vadede iklimi değiştirebileceği savunulmaktadır, (SMIC, 1971). Bu çalışma, baraj gölleri ve sulama şebekeleri ile sulanan toprağın albedosunun da (Güneş ışınlarını yansıtma yeteneğin de) düşeceğine dikkat çekerek, bunun bölgedeki buharlaşmayı arttırarak sıcaklıkları düşüreceğini belirtmiştir. Bu raporda iklimde ortaya çıkabilecek muhtemel değişimler bu şekilde sıralandıktan sonra, kurak bölgelerde kurulan büyük su yapılarının yağış miktarını arttırmayacağı görüşü de açık bir şekilde ortaya konmuştur.

Bununla beraber doğal veya yapay göllerin genellikle rüzgâr altı kısmı olan doğu kıyılarında kışları yoğun kar yağışı görülür (Şekil 3.18). Örneğin, Şekil 3.18'de gösterildiği gibi ABD'nin kuzeyinde topluca Great Lakes olarak adlandırılan beş gölün doğu kıyıları, bu göllerin etkisinden dolayı sonbaharın sonu ve kış mevsiminin başlarında kar fırtınalarına maruz kaldığı ayrıntılı bir şekilde tespit edilmiştir, (örneğin bakınız, Petterssen ve Calabrese, 1959; Jiusto ve Kaplan, 1972; Condella, 1983). Bölgesel ölçekte dinamik, sinoptik hava şartları ve topografya uygun olduğunda, alttan ısınarak yükselmeye başlayan hava akışı, 1966 Lake Ontario, Kanada'da birçok kez gözlendiği gibi çok kısa bir süre içinde 2 metrelik kar birikimine neden olan kar fırtınalarını da oluşturabilmektedir. Benzer şekilde, GAP, Ilısu, Munzur proje bölgesinde kar yağışına ve dolayısıyla doğularında kalan arazide kar çığlarının sayısında artışlar olabilir.



Şekil 3.18. Michigan Gölü çevresindeki yıllık ortalama kar yükseklikleri (inç olarak) Görüldüğü gibi "Göl Etkisi" nedeniyle kar yükseklikleri gölün doğu kıyısında daha iki katına yakın bir şekilde fazla olabilmektedir (Lutgens ve Tarbuck, 1989).

Ayrıca bir bölgede artabilecek olan kar yağışı, örneğin, binaların çatılarını etkileyen kar yüklerini arttıracak ve ulaşımı da etkileyecektir. Bunlardan dolayı baraj göllerinin doğu ya da hakim rüzgâr yönlerindeki kıyıların olası kar artışı, bu bölgedeki can ve mal güvenliği ile ilişkili olması bakımında araştırılması gereken önemli bir konudur.

Bu nedenlerden dolayı bir hidrolojik baraj projesinin ekonomik, sosyal ve demografik bakımlardan uygun ve verimli bir proje olup olmadığına kesin karar verilebilmesi için, hem Proje bölgesindeki büyük su yapılarının yerel iklime, hem de küresel iklim değişiminin projeye olası etkilerinin ayrıntılı bir şekilde araştırılıp ortaya konması ve proje ile ilgili her türlü teknik hizmetler ile birlikte sosyo-ekonomik program ve planlama çalışmasında da bu bulgular gözönüne alınmalıdır.

Ne yazık ki Türkiye'de yapılan HES Çevre Etkileri Değerlendirme (ÇED) Raporlarında projenin ortaya çıkaracağı çevre sorunları ile ilgili genel gözlemler arasında "İklim" ile ilgili çok yetersiz olmak ile birlikte bir kaç söz söylenip bazı ortalamalara ait rakamalar verilir fakat "etki değerlendirmesi"nde bu konuya hiç yer verilmez.

Bunlara ilave olarak, GAP projesi dahilinde yapılan büyük su yapılarının bunda nasıl rol oynadığını bilemiyorum ama, 80'li yılların sonlarında, Güneydoğu Anadolu'da enfeksiyon oranı Türkiye'nin diğer bölgelerine oranla önemli ölçüde yüksek olmuştur. Benzer şekilde Diyarbakır ilinde 1994 yılında 31000: 1997 yılında 12000 yeni malerya vakası tespit edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı malerya vb hastalıkları kontrol altına almak için (hiçte tropikal bir iklime sahip olmayan) Diyarbakır'da "Tropikal Sağlık Merkezi Kliniği" kurulmuştur.

3.6.Keban Barajının Çevre İklime Etkisi

Bir önceki bölümde kısaca görüldüğü gibi yarı kurak bölgelerde baraj gölleri gibi büyük su yapıları çevre iklimi ve hidrolojisinde etkili olabilmektedir. Türkiye'ye özgün büyük su yapılarının yerel ve bölgesel iklime etkisi konusunda yapılan ve bilgim dahilinde olan çalışmalarda; Özgüler (1984), Keban ve Seyhan Baraj gölleri civarındaki meteorolojik elemanların zaman serilerini incelemeye çalışmış; Yalçın (1986) ise Keban Baraj gölünün Elazığ iklimine olan etkisini ince-

lemiştir. Gürer ve Baki (1989) de, Türkiye'deki bazı su yapılarının çevre ve ekolojiye muhtemel etkilerini özetlemişlerdir.

Klimatolojik bilgileri toplamak için Devlet Meteoroloji İşleri'nin (DMİ) işlettiği meteoroloji istasyonları genellikle şehir ve kasabalarda kurulmuştur (DSİ, 1992). şehirleşmenin bu istasyonlarda ölçülen iklim elemanları üzerinde etkili olması nedeniyle Keban Barajı çevresindeki DMİ meteoroloji istasyonlarından, Keban Barajı'nın iklime olan etkisini tespit etmek oldukça zordur. Bu nedenle Özgüler ve Yalçın'nın sonuçları, Keban Baraj gölünden çok uzak olması ve şehirleşmeden etkilenmeleri bakımından, tamamen baraj gölüne dayandırılamaz.

Diğer bir kısım çalışmalarda Keban baraj gölünün, çevre iklimini nasıl etkilediğini tespit etmek için, parametrik olmayan ve non-lineer istatistiksel analiz yöntemi olan Mann-Kendall trend testi, Keban Baraj Gölü civarındaki DSİ hidrometeoroloji istasyonlarında gözlenen sıcaklık, nem ve yağışı değişkenlerinin zaman serilerine uygulanmıştır. Baraj öncesi ve sonrası periyoda ait her ayın ortalamaları da karşılaştırılarak Keban Baraj Gölü'nün çevre iklim elemanlarına olan etkisi incelenerek Keban Baraj Gölü'nün çevresinde oluşturduğu "vaha etkisi" ortaya konmaya çalışılmıştır, (Satılmış, 1993; Kadıoğlu ve ark., 1993a).

Bu çalışmaların sonucunda, Şekil 3.19'da görüldüğü gibi Keban Baraj Gölü'nün doğusunda rüzgâr altı kısmında kurulmuş olan ve sadece Keban hidrometeoroloji istasyonunda, Keban Baraj gölü hacminin belirgin bir büyüklüğe ulaştığı 1975 yılından sonra, yaz mevsiminde gözlenen gündüz sıcaklıklarında düşüş; gece sıcaklıklar da ise sonbahar ve kış aylarında bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, Keban Baraj Gölü'nden mayıs aylarında ortaya çıkan belirgin bir nem artışı ile beraber görülmüştür. Baraj öncesi tamamen karasal iklime sahip olan Keban'da böylece gölün 'denizsel' etkisi ile maksimum ve minimum sıcaklıklar arasında küçülen farklar ile beraber bir yumuşama ortaya çıkmıştır. Benzer bir yorumu yağış için yapmak mümkün olmamıştır. Yağışta 1960 yıllarından beri devam eden ilkbahar ve kış

aylarında önemli olmak üzere tüm yıl boyunca düşüş vardır.

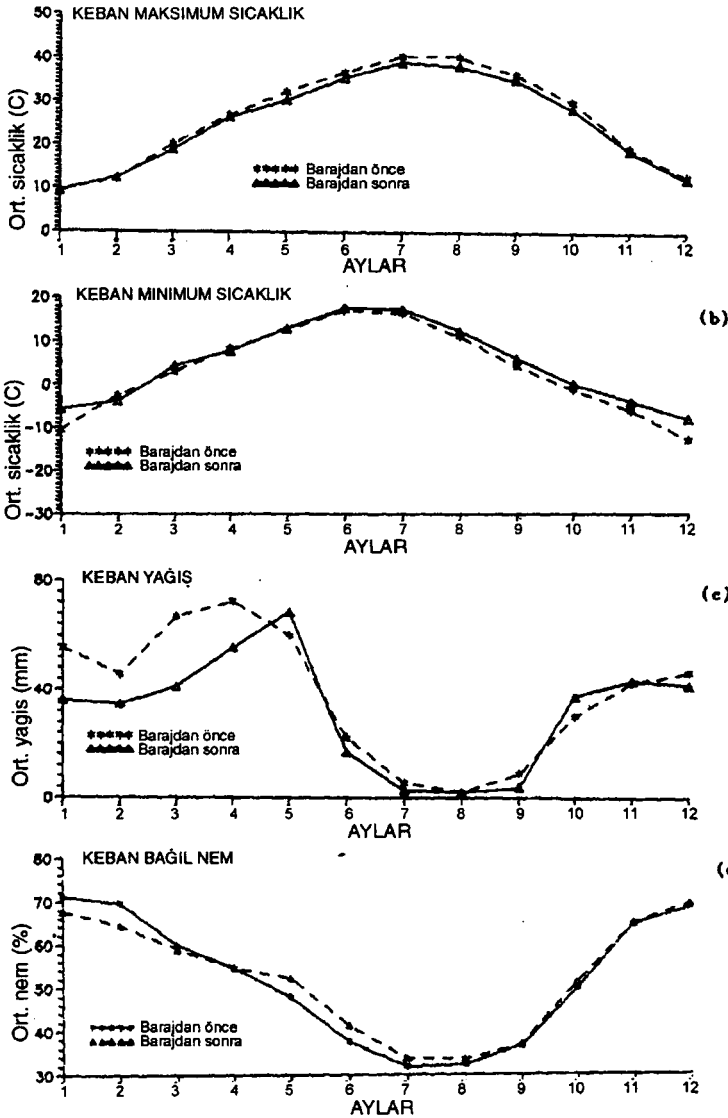
Özet olarak Keban Barajı'nın yakın çevresinde

1. Yazın gündüz sıcaklıklarında düşüş,
2. Kışın gündüz sıcaklıkları da artış,
3. Kışın gece sıcaklıklarında artış,
3. İlkbaharda ki nemde artış,
4. Kış ve ilkbaharda yağışta düşüş, olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmalara ilaveten, fraktal kavramı ile de Keban baraj gölü'nün etkileri Kadıoğlu ve Şen (1993) tarafından araştırılmıştır. Meteorolojideki dinamik sistemlerin çok kaotik bir yapıya sahip olduğu ve bu kaotik yapı içinde saklı olabilen oldukça düzenli kısımların fraktal geometrisi ile basit olarak izah edebileceği birçok yazar tarafından ileriye sürülerek uygulamalar yapılmıştır, (örneğin, Mandelbort, 1977; Şen ve ark., 1993). Bu yöntem ile iklimde görülebilecek değişimlerin irdelenmesi için, Keban barajı öncesi ve sonrası, sırası ile Ağın, Akçapınar ve Keban istasyonlarında ölçülen aylık yağış, düşük ve yüksek sıcaklık ile nem verileri fraktal analizine tabi tutulmuştur. Diğer yöntemlerle elde edilemeyecek şu sonuca varılmıştır: Ağın yağış verilerinin, uzun süreli periyotlarda, kuru ve ıslak ayların sayılarında önemli farklar görülmektedir. Genelde baraj sonrası kuru süreler azalmıştır. Bunlar, Akçapınar istasyonu için de geçerlidir. Ancak Keban istasyonu yağışları için ıslak süre baraj sonrasında artmıştır.

Bunlara ilaveten, kar ölçümleri sağlanamadığı için Keban Baraj Gölü'nün özellikle doğusunda göl etkisinden dolayı kar yağışında olan değişim hakkında da bir çalışma yapılamamıştır.

Keban Baraj Gölü'nün çevre iklimine olan etkileri üzerine yapılan bu çalışmalar, 22 baraj ve 19 hidroelektrik santralın yer aldığı GAP için bize fikir vermesi bakımından çok önemlidir. Keban baraj gölü civarında gözlenen yerel iklim değişimleri, GAP, Muzur, Ilısu gibi proje bölgelerinde de beklenmelidir. GAP Bölgesinde beklenen küresel iklim değişimlerinin olası etkileri üzerine tartışma için Bölüm 5.4'e bakınız.



Şekil 3.19. Keban Barajından önceki (1961-74) ve sonraki (1975-86), (a) Bağıl Nem, (b) Yağış, (c) Minimum ve (d) Maksimum hava sıcaklıklarındaki değişimler (Kadıoğlu ve ark.. 1994a).

3.7. Bulut tohumlama ve yapay yağış

Aslında her şey 1946'nın sıcak bir Temmuz gününde başladı. Vincent Schaefer, GE buzdolabı geliştirme laboratuarında çalışırken, soğuk ve sisli bir hava ile dolu olan buzdolabının içine kuru buz atınca su buharının buza dönüştüğünü tesadüfen gördü. Evet, insan böylece ilk kar fırtınasını yaratmıştı! Eğer bu olay buzdolabında olabiliyorsa, bulutta da olabilir ve yağmur yağdırılabilirdi.

Bu yapay hava ve iklim değişimi fikri bir yıl içinde ABD Deniz Kuvvetleri tarafından tayfunların (hurricane) gözüne uygulandı. Florida eyaletine yönelmiş olan dev tropikal fırtına (belki de kendiliğinden) ani bir dönüşle kuzeydoğuya yöneldi ve insanları hazırlıksız yakaladı. Askerler büyük eleştiri aldıkları bu deneyi bir daha 1960'ların başında ama bu sefer okyanusun ortasında denediler. Maalesef, yok etmek istedikleri fırtına bu kez de deneyden güçlenerek çıktı. Bünyesinde bin dolayında meteoroloji mühendisi çalıştıran ABD silahlı kuvvetleri, günümüzde de havaya hakim olmak ve gerektiğinde de onu silah olarak kullanabilmek için bu deneylerine hâlâ devam ediyorlar (http://www.ofcm.gov/fp-fy98/fedplan.htm).

Orta Asya'daki Türk boylarında yağmur yağdırma, bu konuda özel bir güce sahip olduğuna inanılan ve "yağmurcu" denilen Şamanların "Yada Taşı" denilen özel taşlar ile yaptığı bir işti. Günümüzün yağmurcularına göre her hangi bir anda Dünya atmosferinin 10 trilyon ton su içerdiği hesaplanmaktadır ve bu "nehirlerdeki suyu" yer yüzeyine indirmenin yolu bulutları tohumlamaktır!

Gelişmiş ülkelerde yapay iklim değişimi ve hava modifikasyonu çalışmaları çok uzun yıllar önce başlamıştır. Bazı gelişmiş ülkelerde havaalanı pistlerindeki sisi kaldırmak için II. Dünya, Kore ve Vietnam savaşlarında ortaya çıkan teknolojilerin ve bilginin geliştirilerek kullanıldığı bilinmektedir. ABD,özellikle askeri alanda havayı silah olarak kullanabilmek için de bu tür çalışmalara hızla devam etmektedir.



1947'de "Click" adlı bir dergiden alınarak ABD'de Kuraklığın Nedenleri ve Etkileri adlı kitapta yayınlanan bir karikatür. Rollo, The Rainmaker (Yağmurcu Rollo) adlı kişi çölde otomobilin camından gördüğü kişiye soruyor *"Nereden biraz su bulabilirim. Biliyor musun?"*

Uzun yıllardan beri Rusya'da da, roketler ile bulutlara aşırı miktarda gümüş iyodür enjekte etmek suretiyle, dolu önlemeye yönelik bilimsel çalışmaların hidrometeoroloji birimleri tarafından yapıldığı bilinmektedir. Örneğin, Arjantin Tarım Bakanlığı da dolu yağışını önlemek için bu teknolojiyi satın almıştır. Aşırı tohumlama ile bulutların dağıtılması sonucunda yağış ve sisi küçük alanlar üzerinde önlemek şu an mümkündür.

Havayı kontrol altına almak çok uzun yıllardır insanlığın en büyük rüyalarından biridir. Bu nedenle asırlardır yağmur yağdırdığını veya havayı kontrol edebildiğini iddia eden kişiler veya şirketler sık sık ortaya çıkmıştır. Bunlar ellerindeki teknoloji ile sel, don ve buzlanmayı önlemek ile birlikte havaalanlarındaki kötü hava şartlarını da ortadan kaldırabileceklerini, hatta yağışı arttırabileceklerini veya istenilen bölgeye yönlendirebileceklerini iddia ederler. Bu kişi veya şirketler bu işin uzmanı olan üniversite elemanları ve diğer şahıslar ile hiç bir zaman temas kurmaz, daha çok konunun uzmanı olmayan bürokratları etkilemeye çalışırlar. Bunda başarılı olanlar da bulut tohumlama vb.

işlemleri, başarıları veya başarısızlıkları yoğun bir şekilde tartışılan bir ortam içinde, çok yüksek meblağlar kazanana kadar devam ettirirler.

Böyle bir girişim geçenlerde basınımıza yansıdı: 17 Şubat 2001, Cumartesi Hürriyet Gazetesi'nin "Yağmur bombası atılacak" başlıklı haberine göre Türk Hava Kurumu (THK), uçaklarına "yağmur bombası" atma sistemi takılacak ve gümüş iyodürü (AgI) bulutlara fırlatılıp yağmur yağdırılarak Türkiye'de kuraklıkla mücadele edilecekti. Bu projenin maliyetinin de 1 milyon 100 bin dolar olarak hesaplanmakta olduğu da bildiriliyordu.

Anlaşılan ülkemizde yaşanan kuraklık ve su sıkıntısını gidermek için belirlenen projelerden biri de "Yapay Yağış" olmuştu. Ancak, başta ABD olmak üzere hiçbir ülkenin kuraklığa çare olarak bu yöntemi kullanmadığı da bilinen bir gerçektir. Hatta yapay yağış firmalarının kendileri bile bulut tohumlama ile "yağmurların arttırılarak barajların doldurulamayacağını" hep söylerler.

Bununla birlikte, haberde bahsedildiği gibi, sadece THK uçaklarına Gümüş İyodür fişeği atan jeneratörlerin yerleştirilmesi, yurtdışından satın alınan bu fişeklerin bulutların içine rasgele atılması ile olumlu her hangi bir şeyin elde edilmesi bir yana, doğru dürüst bir "bulut tohumlama deneyi" bile yapılamaz. Bu gerçek, zamanla anlaşılarak bu iş ülkemizde tamamen Amerikan firmalarına ihale edilir. Şu ana kadar haberdeki konuda her hangi bir gelişme olmadı ama aşağıda verilen yapay yağış konusundaki iddia ve görüşlerim uzun bir süre daha Türkiye'de geçerliliğini koruyacaktır.

Bulut Tohumlaması Nasıl Yapılır?

Yağmur yağdırmak için yapılan herhangi bir bulut tohumlama işleminde birinci problem tohumlamaya uygun bulutun bulunmasıdır. (Tohumlama hiç bir zaman olmayan bulutu oluşturmaz; bulut tohumlamadaki amaç mevcut yağışı artırmaktır.) Bulut tohumlama işlemindeki ikinci problem, yoğunlaşma çekirdeği olarak hizmet edecek

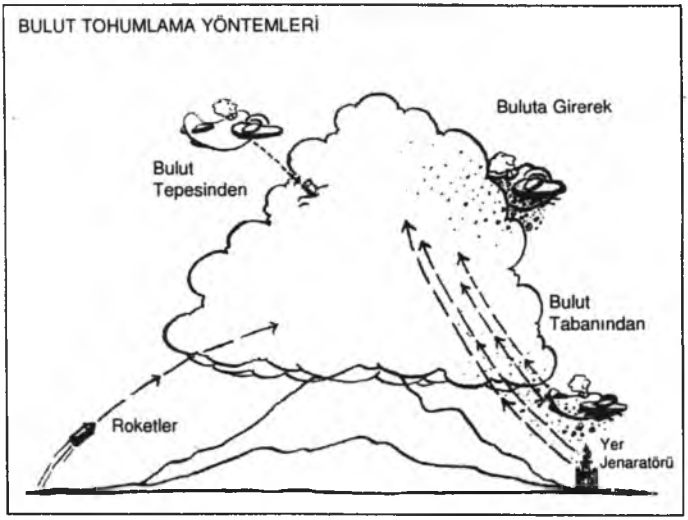
olan kimyasal maddelerin bulut içindeki en uygun yerlere zamanında ulaştırılmasıdır (Şekil 3.20). Ayrıca en iyi sonucu almak için, bulut soğuk olmalıdır. Yani bulut tohumlamasında bulut partiküllerinin büyümesine neden olan buz kristali yöntemi kullanıldığı için, en azından bulutun bir parçası süper soğumuş olmalıdır (Pruppacher ve Klett, 1978) (Şekil 3.21).

Bulut tohumlanmasındaki ilk uygulamalarda, Vincent Schaefer ve Irving Langmuir (1940'lı yılların sonuna kadar) bulutları tohumlamak için uçaktan, ezilmiş kuru buz (katı CO_2) parçacıkları attılar. Kuru buz -78°C sıcaklığa sahip olduğu için soğuma ajanı olarak hizmet eder. Bulutun içine atılan küçük tanecikler, havayı yeni sıvı damlacıkların oluşabileceği sıcaklığa soğutur. Bu yeni damlacıklar şimdi -40°C sıcaklığın altında ani olarak donabilir. Sonra yeni oluşan bu buz kristalleri (sıvı damlacıkların kaybında) birikme ile yağış olarak düşmek için yeterli büyüklüğe erişene dek büyür (Rogers, 1979) (Şekil 3.21).

1947'de Bernard Vonnegut, gümüş iyodürün bulut tohumlama ajanı olarak kullandı. Gümüş iyodür, buz kristaline benzer bir kristal yapısına sahip olduğu için -4°C ve daha düşük sıcaklıklarda etkili bir buz çekirdeği olarak hizmet eder. Gümüş iyodür, buz kristallerinin oluşmasına iki şekilde neden olur (Mason, 1971; Rogers, 1979): (1.) Gümüş iyodür kristalleri süper soğumuş su damlacıkları ile temas ettiği zaman buz kristalleri oluşur, (2.) Buz kristalleri, gümüş iyodür kristali üzerinde doğrudan birikme ile büyür.

Gümüş iyodürü kullanmak, kuru buzdan daha kolaydır. Çünkü bir uçağın kanadından çıkan veya yeryüzeyindeki kaynaklardan çıkan yanıcı maddelerden buluta taşınabilir. Diğer maddeler (örneğin kurşun iyodür ve bakır sülfür) de etkili buz çekirdeği olmasına rağmen, gümüş iyodür bulut tohumlama işlemlerinde en yaygın olarak kullanılandır.

Bulut tohumlama işlemlerinde en önemli iş, çekirdek olarak hizmet edecek küçük parçacıklarla bulutu tohumlamaktır. Günümüzde suni yağmur, diğer bir adıyla bulut tohumlama ile ilgili birçok teknik



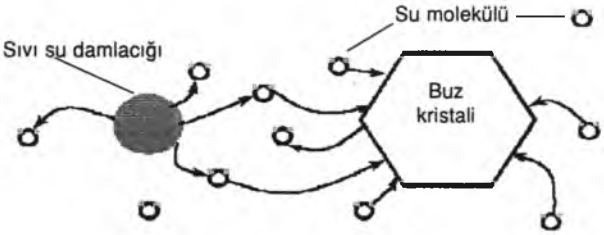
Şekil 3.20. Günümüzde kullanılan hava modifikasyonu ve bulut tohumla yöntemleri.

problemler vardır (Pruppacher ve Klett, 1978; Mason, 1971). Bu problemlerin en büyüğü gümüş iyodür (AgI) gibi suni yoğunlaşma çekirdeklerinin (SYÇ), bulut içindeki en uygun yere ulaştırılmasıdır. SYÇ'ler bulut içine temelde iki farklı yolla ulaştırılır: (I) Havadan ve (II) Yerden. Havadan tohumlamada uçaklar SYÇ'leri bulutun (1) tepesinden içine (2) içine girerek (3) tabanından yukarı akımlar ile bulutun içine bırakabilirler (Şekil 3.20).

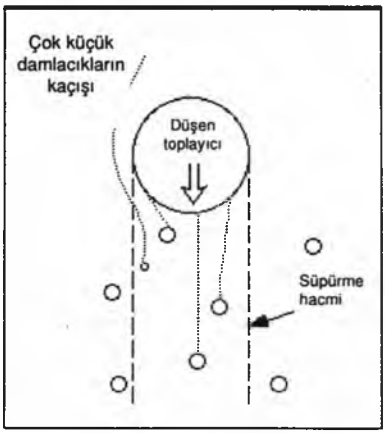
Havadan tohumlamada uçaklar ile söz konusu çekirdekler, bulutun tepesinden, bulutun içine girilerek veya tabanından bulutun içine bırakılabilir. Uçak ile tohumlamalar, nispeten ucuz fakat çoğu kez başarısızdır. Ayrıca uçakların yoğun hava trafiği yaşanan havalimanlarında kuleden izin alarak zamanında kalkıp uçuşunu gerçekleştirmesi de önemli bir problemdir. Yerden tohumlamada, Rusların yaygın olarak kullandığı havan topları ve roketler ile beraber Kızılderililerin etrafında yağmur dansı ettikleri renkli dumanlar çıkartan ateşe ben-

zer bir işlevi olan yer jeneratörleri kullanılır. Bütün bunlardan roketler, en pahalı fakat en isabetli olan tohumlama yöntemidir.

Sıcaklığı -5°C'nin üzerinde olan sıcak bulutlar ise yağmur üretmek için tohumlandığında, küçük su damlaları ve higroskopik tuz parçacıkları bulut tabanına enjekte edilir. Bu partiküller düşey hareketle bulut içine taşındığında, çarpma ve yapışma işlemi ile de büyüyen büyük bulut damlacıkları meydana gelebilir (Şekil 3.22). Fakat bu metodun kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar da güvenilir bulunmamıştır.



Şekil 3.21. Bergeron-Findeisen-Wegner (soğuk bulut) yağış oluşumu teorisinin şematik bir gösterimi. Bulut içinde aynı sıcaklığa sahip fakat buhar basıncı küçük olan buz kristalleri üzerinde, aşırı soğuk ve buhar basıncı büyük olan sıvı su damlacığından buharlaşan su moleküllerinin birikmesiyle büyüyerek yağışa dönüşür. Bazen yağış görülmeyen bulutlar, eksik olan bu buz kristallerinin görevini görmek üzere bulutlar bazı kimyasal maddeler ile yapay tohumlamaya tabi tutulur.



Şekil 3.22. Çarpışma-Birleşme yağış oluşum teorisi. Büyük bulut damlaları, küçük damlalardan daha hızlı düştüğü için, düşme yolu üzerindeki küçük bulut damları ile çarpışıp birleşerek yağmur damlasına dönüşebilir (Lutgens ve Tarbuck, 1989).

Aslında yağış oluşumu mekanizması henüz tam olarak anlaşılmış da değildir: Yağış oluşumu Bergeron-Findeisen-Wegner (Şekil 3.21) ve Çarpışma-Birleşme (3.22) olarak iki farklı yöntemle açıklanmaya çalışılmaktadır. Böylece 1947 yılından beri yapılan yapay yağmur deneylerinden alınan belli başlı ders 1982 yılında "anlamadığın şey ile uğraşma" şeklinde özetlenmiştir (Richard, 1982).

Şu an Türkiye'de "Bulut Tohumlama Deneyleri" bile başarısız olur: Çünkü söz konusu haberde belirtildiği şekilde değil "yağış arttırmak", bir "Bulut Tohumlama Deneyi" bile yapılamaz. Aşağıdaki nedenlerden dolayı, yanlış ve hatta aşırı tohumlama ile de normalde alınacak olan yağış bile azaltılabilecektir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Bulut tohumlamada ölçülü olmak çok önemlidir. Aşırı tohumlama ile bulut yok edilebilir ve yağış azaltılabilir. Yukarıdaki fotoğrafta ABD Hava Kuvvetleri tarafından aşırı tohumlama ile bulutta açılan bir delik gösterilmektedir.

Ayrıca proje sonuçlarının dayandığı hesapların da bilimsel bir esası olamayacaktır. Çünkü:

1. Bulut tohumlaması için öncelikle uygun atmosferik ve topografik şartların mevcut olması gerekir. Ülkemizde bu tür projeye başlamadan önce günün şartlarına uygun bilimsel bir fizibilite çalışması bu günler pek yapılmaz veya yaptırılmaz (Dalmaz,

1975).

2. Öncelikle her bir bulutun tohumlamaya uygun olup olmadığı da tespit edilmelidir. Bunun için de bulutun tipi, sıcaklığı, nem içeriği, hızı ve içindeki bulut damlacıkların büyüklüğünün dağılımı gibi birçok parametrenin doğru bir şekilde belirlenip değerlendirilmesi gerekir. THK veya başka bir kurumumuzun uçaklarında bulut içindeki sıvı su miktarı ve buz kristallerinin ölçebilmek için gerekli olan teçhizat ve bunları kullanabilecek uzman teknik elemanlar mevcut değildir.
3. Yapay yağış için yapılacak olan uçuşlar ile bulutların hedef bölgesine girmeden belli bir süre önce tohumlanması gerekir. Bunun için de yapay yağış deneyinin gerçekleştirilecek olduğu bölgelerde meteoroloji radarı ve radar meteorolojisi uzmanları da bulunmalıdır. Türkiye'de henüz çalıştırılamayan bir adet meteoroloji radarı Ankara'da bulunmaktadır. Bu konuda deneyim sahibi radar meteorolojisi uzmanları da ülkemizde mevcut değildir.
4. Bulut tohumlama deneylerinde hedef ve kontrol alanlarının tespit edilmesi gerekir. Deneylerinin başarısına hedef ve kontrol bölgelerindeki yağışlar karşılaştırılarak karar verilir. Türkiye'de ki yağış istasyonlarının yarısına yakının kapalı olduğu bu günlerde yeterli ölçüm ağına sahip olduğumuz söylenemez. Halbuki hedef ve kontrol bölgelerinde yeterli sayıda yazıcılı veya yazıcısız yağmur ölçerlerinin mutlaka bulunması gerekir.
5. Ayrıca, yapay yağış firmaları ve Dünya Meteoroloji Teşkilatı, yapay yağış operasyonlarının başarılı olup olmadığını değil, değerlendirmelerin inandırıcılığının bilimsel olarak bulunup bulunmadığını anlamak için yapay yağış deneylerinin en az 5 yıl devam etmesinin gerekliliğini belirtir. Yeterli uzman, teknoloji ve gözlem istasyonun bulunmaması; doğru yöntemlerin kullanılma ve bu projenin 5 yıl sürme şansının düşük olması nedeniyle bu

projenin başarısı konusunda bilimsel olmayan tamamen kişisel yorum ve değerlendirmeler işin içine girecektir (Şen, 1995; Karaca, 1995). "Eğer bulutlar tohumlanmasaydı, ne kadar yağacaktı?" sorusuna da hiçbir zaman yanıt verilemeyecektir.

6. Yapay yağış deneylerinde gümüş iyodür çözeltisi sadece soğuk bulutlarda kullanılır. Halbuki söz konusu haberde olduğu gibi yaz aylarında ve gerektiğinde sıcak bulutlarda kullanılması için organik maddelerin de satın alınması öngörülmez.
7. Ayrıca yaz aylarındaki güzel hava cumuluslerinin tohumlanması, kırk ikindi yağışlarının azalmasına da yol açabilir. (ABD'nin Missouri ve Arkansas eyaletlerinde yapılan "Whitetop Cloud Seeding Experiment" deneyinin sonucunda böyle olmuştur.)

Bulut tohumlama teknolojisi, Rusya dahil henüz hiç bir ülkede günlük hayatta yaygın ve rutin olarak kullanılmamaktadır. Özellikle meteoroloji biliminin Dünyada en ileri olduğu ABD'de yararı somut olarak kanıtlanamayan bu işlemler, artık eyaletlerinin büyük bir çoğunluğu tarafından yasaklanmış bulunmaktadır. ABD'de her yıl ekonomiye 40 milyar dolar zarar veren kuraklıktan dolayı binlerce hektar orman da yangınlarında yok olurken, ABD'nin magazin gazetelerinde bile artık hava modifikasyonu bir çözüm olarak önerilmemektedir. ABD tek tük de olsa bulut tohumlaması deney ve uygulamaları yapılan sayılı yerlerde kuraklıkla mücadele için bilimin ortaya koyduğu tüm geçerli ve işlerlikli yöntemler de öncelikle uygulanmaktadır.

Şüphesiz istenildiği ve gerekli finansman sağlandığında Türk atmosfer bilimcileri de "bulut tohumlama deneyleri" yapabilir. Fakat, şu an Türk atmosfer bilimcilerin büyük ölçüde dışlandığı bu tür projeler ile bilim de ithal edilemeyecektir. Sonunda yabancı şirket tarafından yıllar sürebilecek uygulamalar ile yeterli bilgi ve beceriye sahip Türk meteorolog veya pilotlarının da yetiştirilemediği ortaya çıkacaktır. Aynı zamanda, bu tür radikal proje nedeniyle kuraklığın etkilerini azaltmak için yapılması gereken rasoyonel çalışmalar yapılmayacak ve

bir dahaki kuraklıkta da yine bulut tohumlanması yolunu denemek zorunda kalacağız.. Bu da çok pahalı, her seferinde yabancı firmalara bağımlılık gerektiren çıkmaz bir yoldur.

Böylece bu projenin tüm harcamaları ve bu proje nedeniyle uygulanamayan gerçek çözümler, uzun yıllar katlanarak artacak olan Türkiye'nin zararı olarak kabul edilmelidir. Bu projeyi ille de uygulamak isteyenlere, "hedef" ve "kontrol" bölgeleri ile birlikte uzmanların ve başarı değerlendirme yöntemlerinin doğru seçilmesi ve yeterli yağış gözlem istasyonlarının kurulmasından sonra, bu projenin ücretlendirilmesinin sadece "arttırılan yağış miktarı üzerinden" yapılması da düşünülmelidir.

Sonuçta diğer doğal afetler gibi kuraklığın da ülkemizde getireceği riskleri minimize etmeyi bizim de başarabilmemiz için devlet, yerel yönetimler ve üniversite el ele çalışmalıyız. Gerçekten bu şekilde kuraklıkla nasıl mücadele edildiğini öğrenmek isterseniz http://enso.unl.edu/ndmc/ adresindeki web sayfasına bakınız lütfen.

Aslında 1 milyon 100 bin dolar gibi bir para, yarı kurak iklim kuşağında yer alan ülkemizde kuraklığa karşı kısa ve uzun vadeli çözümler üretebilecek, örneğin, bir "Ulusal Kuraklık Merkezi"nin oluşturulmasında daha çok işe yarar!

Küresel İklim Değişimi ve İşaretleri

1950 ortalarına kadar meteoroloji ve klimatolojideki çalışmaların çoğu, iklimin sabit olduğu düşüncesine dayanmaktaydı. Yıldan yıla iklimdeki küçük değişiklikler için havanın, zamanla değişiminin sorumlu olduğu düşünüldü. Ayrıca uzun vadede iklim normalleri de değişmemekteydi. Buna rağmen binlerce yıl önce buzul çağı ve yüzlerce yıl önceki küçük buz çağı, iklim değişiminin en önemli göstergeleridir. Şimdiyse, iklim sistemi sahip olduğu doğal değişkenlik nedeniyle 'iklim net olarak asla sabit değildir' kavramında birleşmektedir (Oliver, 1973). Doğal değişkenliğe ek olarak, insanlık tarihinde ilk kez, insan etkinliklerinin bölgesel ve küresel ölçekte iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Burada sözü edilen insan etkisi; fosil yakıtların kullanılması, ormansızlaşma, çarpık kentleşme ve endüstriyel süreçlerdir. Bu insan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazları emisyonlarının güçlendirdiği sera etkisi olayı günümüzde 'küresel ısınma' problemini de beraberinde getirmiştir.

4.1 Artan Sera Gazları ve Etkileri

Durmayaz ve Kadıoğlu'na (1999) göre 18. y.y.'ın ortalarından beri CO_2 gibi sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonu giderek artmaktadır. Bunun, atmosferdeki ısınmanın en önemli nedenlerinden birisi olduğu konusunda günümüzde bir fikir birliği mevcuttur. Atmosferin çeşitli bölümlerindeki sera gazlarının ömürleri ne yazık ki çok uzundur ve şu anda atmosfere serbest bırakılan miktarlarında

önemli bir azalma olmadıkça, konsantrasyonları da artmaya devam edecektir. Dahası, bazı geri besleme mekanizmaları, sera gazları emisyonlarının neden olduğu sıcaklık değişikliklerinin ve diğer iklim değişikliklerinin 100 yıldan daha uzun bir süre sonra, yani hayli gecikmeli olarak ortaya çıkmasına neden olabilirler. Bu nedenle, şu anda karşılaşılan değişikliklerin tersinmez (geriye dönüşü olmayan) bir nitelikte olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, halihazırda atmosfere bırakılmış bulunan sera gazları ile gelecekte oluşacak iklim değişiklikleri arasında bir ilişki bulunduğundan söz etmek de mümkündür (Legault, 1989).

Sera etkisi ile ilişkili olan başlıca gazlar iki grupta sınıflandırılmaktadır:

1. CO_2, CH_4, N_2O, CFC-11 ve CFC-12 gibi sera gazları yeryüzünden uzaya ısı geçişini engeller, uzaya transfer edilecek ısıyı geriye yani yeryüzüne gönderir ve böylece Dünya'nın ısınmasına neden olurlar. O_3 gazı da ayrıca Güneş'ten doğrudan gelen morötesi ışınımı ve yeryüzünden yayılan kırmızı-altı ışınımı yutar.
2. Azot dioksit (NO_2), karbon monoksit (CO) ve hidroksil ($^{\circ}OH$) radikalleri gibi sera gazları ile kimyasal etkileşime giren gazlar ise ilk gruptaki sera gazlarının konsantrasyonunu etkilerler.

CO_2 ve CH_4 gazı konsantrasyonları 18. yüzyıla kadar bağıl olarak fazlaca değişmemiş, daha sonra ise Tablo 4.1 ve Şekil 4.2'den de görülebileceği gibi önemli oranda artmıştır. N_2O konsantrasyonları 18. yüzyılın ortalarından beri ve özellikle de 1950 yıllarından sonra artmaktadır. CFC'ler ise 1930'ların öncesinde atmosferde mevcut bulunmamaktaydı.

Sera gazlarının emisyonlarının belirlenmesinde, doğal denge çevrimleriyle insan etkinlikleri ürünü emisyonlar arasında açık bir ayırım yapılmalıdır. Diğerine bakarak küçük olan insan etkinlikleri ürünü emisyonlar, doğal çevrimlerdeki dengeyi önemli ölçüde bozarlar. Kü-

resel ısınmadan %95'den fazla oranda sorumlu olduğu düşünülen başlıca sera gazları aşağıda kısaca irdelenecektir (Hamburg ve ark., 1997; Ballig, 1992).

Karbondioksit (CO_2): Atmosferde meydana gelen hemen her çeşit yanma CO_2 açığa çıkarır (Ahrens, 1988). Özellikle fosil yakıtlar denen kömür, petrol vb. gibi ve orman yangınlarının açığa çıkardığı CO_2 ile atmosferde CO_2 yoğunluğunun artmasına neden olur. Böylece havadaki karbondioksit oranındaki artış, 19. yüzyılın başlarında hızlı bir artış gösteren endüstriyel devrimin başlamasıyla birlikte, kömür, petrol gibi fosil yakıtlarının yakımındaki artışla bir paralellik gösterir. Bu yakıtların yakımı havaya büyük miktarda karbondioksit yüklemiştir. Bu miktarın % 45 - % 50 gibi bir oranı okyanuslar ve bitkiler tarafından etkisiz hale getirildi ise bile, geri kalan kısmı atmosferde yer almaktadır. Sonuç olarak, 19. yüzyılın başından 1980'li yıllara kadar, havanın karbondioksit miktarında % 15 ile % 20 arasında bir artış olduğu tahmin edilmektedir.

Şekil 4.1 Mauna Loa gözlem laboratuvarında yapılan 1958 yılından sonraki havadaki karbondioksit oranını göstermektedir. Ölçümler ve veriler karbondioksit konsantrasyonunun yaklaşık olarak 315 ppm'den 350 ppm'ye yükseldiğini çok açık bir şekilde göstermektedir. Şekildeki zikzaklar (mevsimsel salınımlar), karbondioksidin, bitkilerin gelişmesi sırasında fotosentez (ilkbahar) dolayısıyla havadan alınması ve çürüme sırasında (sonbahar) ise alınmaması sonucu oluşmaktadır.

Fosil yakıtların tüketiminin mevcut hızla devam ettiğini varsayarsak, yapılan tahminler, bugün yaklaşık olarak 350 ppm olan karbondioksit konsantrasyonunun 2000 yılında yaklaşık olarak 400 ppm'ye çıkacağını ve gelecek yüzyılın ortalarına doğru ise yaklaşık olarak 600 ppm olacağını gösteriyor. Karbondioksit konsantrasyonundaki benzeri bir artış, sera etkisi üzerinde geçmişe göre daha fazla bir artışa neden olacaktır. Karbondioksit oranındaki artış beklenen seviyeye ulaştığı zaman ise, en iyi olasılıkla, küresel yüzey ısınmasında 1,5 ile

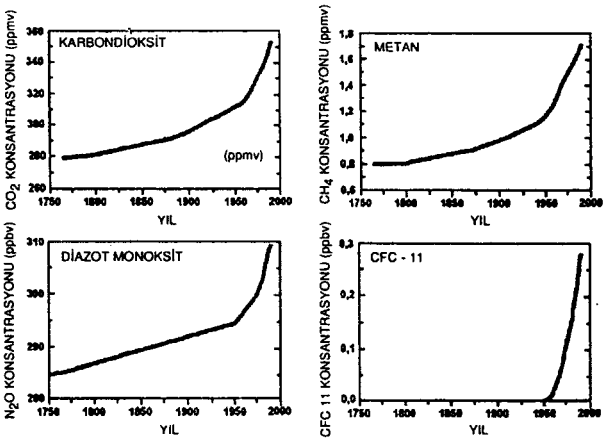


Şekil 4.1. Yapay kirletici kaynaklarından çok uzakta bulunan Hawaii, Mauna Loa Gözlem evinde gözlenen atmosferik karbondioksit miktarları. 1958 yılından beri atmosferik karbon dioksit miktarında önemli bir artış olduğu görülmektedir. Yıllık salınımlara, vejetasyondaki büyüme ve azalmalar neden olur (Ennis ve Marcus, 1993).

4,5 oranında bir artış olacaktır. Karbondioksit, küresel ısının artmasındaki tek etkili gaz değildir.

Tablo 4.1. Bazı atmosferik sera gazlarının konsantrasyonlarının değişimi (Houghton ve ark., 1990), (ppmv = hacimce milyonda bir, ppbv = hacimce milyarda bir, pptv = hacimce trilyonda bir).

Atmosferik konsantrasyon	CO_2 ppmv	CH_4 ppmv	CFC-11 pptv	CFC-12 pptv	N_2O ppbv
1750-1800 yılları	280	0,8	0	0	288
1990 yılı	353	1,72	280	484	310
1990 yılı itibarıyla yıllık değişim	1,8 (%0,5)	0,015 (%0,9)	9,5 (%4)	17 (%4)	0,8 (%0,25)
Atmosferik ömür (yıl)	50-200	10	65	130	150
Konsantrasyonun iki katına çıkması halinde küresel sıcaklık artışına katkısı (°C) (Barry ve Chorley, 1992)	3,0±1,5	0,3-0,4	0,1	0,1	0,3



Şekil 4.2. Bazı atmosferik sera gazları konsantrasyonlarının 18. yüzyılın ortalarından itibaren zamanla değişimi (Houghton ve ark., 1990).

Havadaki CO_2 konsantrasyonunun geçmişte hangi değerlere sahip olduğu, buzullarda hapsolan havanın analiziyle tayin edilmektedir. Orta enlemlerde yeryüzünden itibaren yaklaşık olarak 10-11 km yüksekliğe kadar uzanan ve soluduğumuz havanın yer aldığı, atmosferin en alt katmanı, troposferdeki yıllık ortalama CO_2 konsantrasyonu, Tablo 4.1'den de görülebileceği gibi, 1750-1800 yıllarında yaklaşık olarak 280 ppmv iken, 1990 yılında 353 ppmv değerine yükselmiştir. Mevcut matematiksel modellere göre, günümüzdeki CO_2 konsantrasyonunun iki katına çıkması halinde, bunun hava sıcaklığında yaklaşık olarak 3°C'lik küresel bir artışa neden olabileceği tahmin edilmektedir. Diğer yandan, CO_2 gazının atmosferik ömrünün Tablo 4.1'de tek bir değerle ifade edilemeyip, 50-200 yıl aralığı olarak verilmesi, okyanuslarda ve (yeryüzündeki insanlar, hayvanlar ve bitkilerden yani canlılardan oluşan) biyosferde yutulmasının basit olarak tek bir mekanizmayla olmaması nedeniyledir.

Yeryüzünde süregelen yaşam koşullarının gelişimi, Dünya-atmosfer sisteminde dinamik bir CO_2 alış verişi dengesinin tesis edilmesini

sağlamıştır. Atmosferdeki CO_2 konsantrasyonunun artışı, önem sırası-
1. na göre aşağıdaki kaynaklardan sağlanır:
   CO_2; rüzgârın hızına, hava ve deniz suyu sıcaklıklarına ve çeşit-
   li gaz transferi katsayılarına bağlı olarak deniz yüzeyinden at-
2. mosfere geçer.
   İnsan ve hayvanların solunumu sırasında oksijen tüketilip CO_2
3. üretilir. Ayrıca, bitkilerin çürümesi sırasında CO_2 üretilir.
4. Fosil yakıtların yanması esnasında CO_2 üretilir.
5. CO_2 doğrudan topraktan serbest bırakılır.

Yanardağların püskürmesi, kaplıca suları olarak adlandırılan doğal kaynaklardan sıcak su çıkması ve benzeri jeolojik aktiviteler sırasında CO_2 atmosfere serbest bırakılır.

Atmosferdeki CO_2 konsantrasyonunun azalması ise önem sıra-
1. sına göre şu işlemlerle gerçekleşir:
   CO_2 deniz yüzeyinde atmosferden deniz suyuna geçer ve deniz-
2. lerdeki bitkiler tarafından tüketilir.
   Karasal bölgelerde bitkiler tarafından fotosentez ile CO_2 tüketi-
3. lir ve oksijen üretilir.

Yeni fosil yataklarının gelişmesi sırasında da çok az bir oranda CO_2 tüketilir.

Buna göre, okyanuslar en büyük CO_2 depoları olarak karşımıza çıkarlar, okyanusları sırasıyla jeolojik formasyonlar, biyosfer ve atmosfer izler.

CO_2 gazının çevrimi çok karmaşık olup konsantrasyonunu artıran doğal kaynaklar ve konsantrasyonunu azaltıcı doğal etkenler, insan aktiviteleri ürünü olanlardan çok büyüktür (Tablo 4.2).

Tablo 4 2. Atmosferdeki küresel CO2 stoğunun yıllık değişimi (IAEA, 1989).

	10^9 ton/yıl	%
Doğal kaynaklar		
Okyanuslardan tümü	~376-390	~60
Karadan tümü	~32-440	~36
Toplam doğal kaynaklar	~619 (408-830)	~96
İnsan aktiviteleri ürünü kaynaklar		
Fosil yakıt kullanımı	~ 16-20	~3
Arazi kullanımındaki değişiklikler	~ 0-10	~1
Toplam insan aktiviteleri ürünü kaynaklar	~ 22 (16-30)	~4
Toplam kaynaklar	~642 (424-860)	100
Stoğu azaltıcı etkenler		
Okyanusların aldıklarının tümü	~389-396	~64
Karasal net birincil tüketim	~183-257	~36
Toplam azaltıcı etkenler	~612 (572-653)	100

İnsanların önemli bir müdahelesi olmaması durumunda, doğadaki karbon çevriminde statik bir dengenin oluşacağı, CO_2 konsantrasyonlarının ve alış verişinin zaman içinde değişmeyeceği düşüncesi yanlıştır. Çünkü, yanardağlardaki volkanik aktiviteler, okyanuslarda gerçekleşen işlemler, deniz yüzeyi sıcaklığının yıllık değişimi (deniz yüzeyi sıcaklığı denizdeki gazların eriyebilirliğini etkilemektedir), iklim, bitki örtüsü dağılımları ve karasal bölgelerdeki bitkilerde gerçekleşen fotosentezdeki değişim, atmosferik CO_2 konsantrasyonlarında büyük değişimlere neden olmaktadır. Ayrıca, deniz içinde meydana gelen fotosentezdeki değişim de küçük bir etkiye sahiptir. Karbon, Dünya'da yaşamın varlığı için anahtar rolü üstlenen bir element olup, atmosferde ve atmosferle ilişkili (okyanusların üst seviyeleri, biyosfer gibi) bölümlerde kalma süresi asırlar mertebesinde yani çok uzundur. Mevcut şartlarda, toplam CO_2 emisyonunun sadece % 40-%50'si

(havada doğmuş bölümü) atmosferde kalır.

Tablo 4.2 dikkatle incelendiğinde, atmosferdeki CO_2 stoğunu artıran kaynaklar ve azaltan etkenler arasında yaklaşık 30 milyar ton/yıl'lık bir fark olduğu görülür. İnsan aktiviteleri ürünü olarak atmosferde toplam CO_2 birikimi ise yaklaşık olarak 22 milyar ton/yıl'dır.

İnsan aktiviteleri ürünü CO_2 büyük oranda, taşımacılık, ısıtma, soğutma, elektrik üretimi ve diğer uygulamalar için kömür, petrol ve doğal gazın (fosil yakıtların) kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı halen atmosfere ilave edilen CO_2 gazının %80-%85'inin nedeni durumundadır. Bitkiler karbonu bünyelerinde tutarlar, yandıkları veya çürüdükleri zaman ise CO_2 üretirler. Normal olarak, kayıp olan bitkiler ile yeniden yetişen bitkiler birlikte gözönüne alındıklarında, bitki üretimi ve tüketimi esnasındaki net CO_2 üretimi küçük bir değere sahip olur veya üretim ve tüketim biribirini dengeler. Ancak, son bir kaç asırdır çeşitli nedenlerle ormanların yok edilmesi, atmosferdeki CO_2 gazının artmasına önemli derecede katkı sağlamaktadır. Arazi kullanımındaki değişiklikler, halihazırdaki CO_2 emisyonlarının %15-20'sinden sorumludur.

Metan (CH_4): Atmosferdeki küresel CH_4 gazı konsantrasyonu 1750-1800 yılları arasında 0,8 ppmv değerinde iken, 1990 yılında 1,72 ppmv değerine ulaşmıştır. CH_4 gazının 1951 ve 1983 yılları arası için hesaplanan yıllık ortalama atmosferik artış oranı %1,1±0,1 ve 1990 yılı için yıllık atmosferik artış oranı ise %0,9'dur. Uzun süreli veriler, Grönland ve Antartika'nın buz katmanlarında hapis olmuş olan hava kabarcıklarından elde edilmektedir.

CH_4 insan aktivitelerinden kaynaklanan ikinci önemli sera gazıdır. CH_4 esas itibarı ile organik karbonu, oksijensiz koşullarda (örneğin, içi su dolu toprakta veya ot yiyen hayvanların bağırsaklarında) minerale dönüştürme esnasında, mikrobiyolojik aktiviteler ile serbest kalır. Pirinç yetiştirme, sığır ve koyun çiftçiliği ve topraktaki çeşitli mal-

zemelerin çürümesi ile CH_4 üretilmektedir. CH_4 ayrıca, biyokütle yakma, kömür ocaklarından kömür üretimi, petrol sondajları gibi insan aktiviteleri sonucunda ve doğal gaz kullanımı esnasında boru hatlarından sızmalar suretiyle de açığa çıkıp atmosfere karışmaktadır. İnsan aktiviteleri, atmosferdeki CH_4 gazı konsantrasyonunu doğal olarak bulunması gerekene orandan yaklaşık olarak %145 oranında artırmıştır. CH_4 gazının insan aktiviteleriyle toplam küresel yıllık üretimi 135-395 milyon (ton/yıl) olarak tahmin edilmekte olup, bu aralık önemli bir belirsizliğe sahiptir.

CH_4 konsantrasyonunu azaltıcı başlıca etken, bu gazın troposferdeki radikalleri ile reaksiyonları olup, CH_4 bu reaksiyonlar sonucunda CO_2 ve H_2O'ya dönüşür. Diğer konsantrasyonu azaltıcı etken ise CH_4 gazının oksitlenmesini izleyen stratosfere taşınımıdır. CH_4 gazının atmosferdeki ömrü 10 yıl civarındadır.

Önemli bir husus da, CH_4 gazının molekül başına CO_2 gazına nazaran 32 defa daha fazla sera gazı etkisi göstermesidir.

Diazot monoksit (N_2O): Konsantrasyonunun zamanla değişimi, 19. yüzyılın sonlarından beri Antartika'nın buzullarında hapis olmuş olan havanın ölçümlenmesiyle belirlenmektedir. N_2O konsantrasyonu 1990 yılında 0,31 ppmv idi, değişim eğilimi ise yıllık %0,2 - %0,3 artış şeklindedir. N_2O gazının atmosferik ömrü 150 yıl mertebesinde, yani çok uzundur. Atmosferde doğal olarak başlıca oluşumu, azot çevriminin bir parçası olarak toprakta ve sudaki mikrobiyolojik hareketlerle olmaktadır; insan aktiviteleri ürünü kaynaklar, fosil yakıtların yanması ile çeşitli tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdir. N_2O konsantrasyonunu azaltıcı başlıca etkenler, atmosferin stratosfer katmanında fotoliz ve N_2O gazının oksijenle reaksiyona girmesidir.

İnsan aktiviteleri, halihazırda atmosferde mevcut olan N_2O konsantrasyonunu, doğal olarak bulunması gerekene nazaran yaklaşık olarak %15 oranında artırmıştır.

Kloroflorokarbonlar (CFC): Başlıca kloroflorokarbonlar CFC-11 ve CFC-12'dir. Bunlar için doğal kaynak yoktur, doğada kendiliğinden oluşmazlar. Soğutma ve iklimlendirme çevrimlerinde (buzdolapları ve klimalarda) kullanılan akışkanlar, diğer bazı akışkanlar ve aerosol spreyler gibi tamamen insan aktiviteleri ürünleri, başlıca kloroflorokarbon kaynaklarıdır. Troposferde CFC'lerin konsantrasyonlarını azaltıcı herhangi bir etken yoktur, stratosferde yani O_3 gazının tüketildiği yerde çözünürler.

Atmosferik ömürleri CFC-11 için 65 yıl, CFC-12 için 130 yıl civarındadır. 1990 yılındaki CFC-11 konsantrasyonu 280 pptv ve CFC-12 konsantrasyonu ise 484 pptv idi. Yıllık artışlarının yaklaşık %4 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Sera gazı etkisi açısından CO_2 ile kıyaslandığında, molekül başına CFC-11 14000 kat katkı sağlamakta, CFC-12 ise 17000 kat katkı sağlamaktadır. CFC'lerin %5-%10'luk bölümü, enerjiyle dolaylı biçimde ilişkili olarak (örneğin, ısı izolasyonu malzemelerinin üretimi esnasında) atmosfere serbest bırakılmaktadır.

Şu an sadece CFC'lerin miktarındaki artış durdu, fakat HCFC'ler artmaya devam ediyor. Montreal Protokolü'ne göre CFC ve HCFC'lerin miktarı ve ozon seyrelmesi 2050 yılına kadar azalacağı beklenmektedir.

Burada henüz söz edilmedi; ama aslında en önemli sera gazı su buharıdır. Bulutsuz ve açık bir günde atmosferik sera etkisinin %60-%70'ini tek başına su buharı sağlar. Karbondioksit ikinci, metan üçüncü, ozon dördüncü ve azot oksitler de beşinci sırada önemlidir. Bir gün bir yerde sanayi tesisinin birinden havaya tonlarca su buharı atıldığını görürseniz, bilinizki havamız ısınıyor.

4.2 Küresel İklim Değişimi ve Küresel Isınma

Daha önce de söylemiştim, "küresel iklim değişimi" ile "küresel ısınma" aynı şey değildir diye. Şimdi bunu açıklamak istiyorum. Kamu-

oyundaki tartışmanın büyük bölümü, kompleks iklim sistemimizin bir tepkisi olan ısınma üzerine olmaktadır. Halbuki Dünya'nın enerji dengesinin bozulması havanın ısınmasının yanısıra bizim için daha ciddi sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle atmosfer bilimcileri olarak bizler, "küresel ısınma" yerine "iklim değişimi" demeyi tercih ederiz.

Benzer şekilde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde "iklim değişimi" sadece atmosferin kimyasal bileşenini değiştiren insani nedenlerden dolayı iklimde görülen değişimlere atıfta bulunur. Bizim de artık bu ve bundan sonraki bölümlerde iklim değişimi ile kastedeceğimiz sadece "yapay iklim değişimi" olacaktır.

"Küresel ısınma" atmosferde artan sera gazlarının potansiyel etkilerinden sadece birini ifade eden bir terimdir. Diğer bir deyişle, şu anki yapay iklim değişiminin en belirgin semptomlarından biri "ısınmadır". Semptom ile gerçek hastalığı bir birine karıştırmamak çok önemlidir. Temel sorunumuz, insan etkinlikleri nedeniyle atmosferin, güneş enerjisini yutması ve yayması şeklini değiştirmiş olmasıdır. Bunun potansiyel tehlikeleri sadece havayı ısıtarak bizi terletmesi vb. problemler değildir. Örneğin; yükselen deniz suyu seviyesi, azalan toprak neminin çok daha sosyo-ekonomik etkileri olabilecektir. Aslında insanlar hızlı bir iklim değişimine kendini uydurabilir ve ondan korunabilir, fakat bitkiler ve hayvanlar bu değişimlere ayak uyduramadığı için insanların besin zincirini de oluşturan tüm ekolojik sistem tehlikededir.

Sonuç olarak Birleşmiş Milletlerin (BM) geçtiğimiz 2000 Nisan ayında yayımladığı bir raporda dünyadaki küresel iklim değişiminin tahribatı değerlendirilmekte ve bazı bilimsel bulgular özetle şöyle sıralanmaktadır:

1. Sulak alanların yaklaşık olarak yarısı son 100 yıl içinde yok oldu.
2. Baraj ve diğer su yapıları dünyadaki nehirlerin %60'ını bozdu ve dünyadaki tatlı su balıklarının %20'si kayboldu.
3. Ormanların yarısı tüketildi ve halen tropikal ormanlar alarm ve-

ren bir hızla yok edilmeye devam ediliyor ve ağaç türlerinin % 9'u yok olma riski altında.

4. Balıkçı filoları, denizlerin yerine koyabileceğinden çok daha fazla balık avlamakta. Bunun sonucu olarak, balık alanlarının %70'i aşırı avlanmaya maruz kalmaktadır.
5. Son 50 yılda tarım alanlarının 2/3'ü erozyon ile yoksullaştı ve ormanların 1/3'ü de tarım alanına dönüştürüldü.

Olağandışı gündelik hava olayları, iklimin değişimin işareti değildir. Atmosfer bilimcilerine göre şu anki küresel iklim değişimin bilimsel işaretlerinin bazıları şunlardır:

Küresel İklim Değişiminin İşaretleri

1. Buzulların eriyerek, kutuplara doğru çekilmesiyle birlikte yüksek dağların tepelerindeki buzulların ve kar örtüsünün azalması: Bunu Türkiye'deki Ağrı, Nemrut, Erciyes ve Süphan gibi dağların tepelerindeki buzulların ve eteklerindeki kar örtüsünün ne kadar yukarılara çekildiğine bakarak da doğrulamak mümkündür.
2. Deniz suyu seviyelerinin yükselmesi: Dünya ve Türkiye nüfusunun yaklaşık olarak üçte biri deniz kıyılarındaki 60 kilometrelik alanda yaşamaktadır. Küresel ölçekte deniz suyu seviyesi son 100 yıl içinde 10 ila 25 cm yükselmiştir. IPCC tahminlerine göre 2100 yılına kadar deniz su seviyesindeki yükselmeleri 40 ila 65 cm arasında olacaktır. Bu durumda adalarda, kıyı şeritlerinde, kıyı şehirlerinde ve nehir yataklarında yaşayanlarla birlikte; balıkçılık yapan, kıyılarda turizm tesisi işleten ve tarım yaparak geçimini sağlayanlar, yerleşim ve geçim alanlarını kısmen veya tamamen kaybedebilecektir. Tuzlu deniz suyu, nehirler ve yeraltı suları gibi, tatlı su kaynaklarımızın da bir kısmı yok olabilir.
3. Sıcak havayı ve suyu seven tropikal bitki ve balıkların kutuplara doğru yayılması: Günümüzde de kuraklık, ekolojik bozulma ve

çevre tahribatı ile birlikte küresel iklim değişiminin sonuçlarına bağlı olarak mülteci sayısındaki artış da hızla artarak devam etmektedir. Belirli bir iklimin ve bitki örtüsünün bulunduğu şartlarda yaşayabilen insan ve bir çok hayvan, ekolojik şartların değişmesi ile ya yok olmakta, ya da yaşamını sürdürebileceği şartların hüküm sürdüğü bölgelere doğru göç etmektedir. Şu an tropikal balık ve bitkilerin kuzeye doğru yayılması küresel iklim değişimine en önemli bir işaret olarak görülmektedir. TÜDAV Başkanı Prof. Dr. Bayram Öztürk'e göre şu an Hint Okyanusu'na özgü balıklar Süveyş Kanalı'nı geçerek Akdeniz'e göç etmektedir. Türkiye ve Dünya üzerinde şu an sürüp giden kıtlık, göç ve mülteci problemlerini daha da arttıracaktır.

4. Havadaki kirleticilere karşı hassas olan narin kuş türlerinin azalması: Nasıl ki eskiden madene indirdikleri kanaryanın fenalaşması, madencilere havadaki metan gazının arttığını haber veriyorduysa günümüzde de hızla yok olan narin kuş türleri de bize atmosferimizin kimyasal bileşimin iyice bozulduğunu göstermektedir. Örneğin, Santa Barbara'daki California Üniversitesi'nin kampusunda yapılan bir araştırma Michigan eyaletinin sembolü olan, Kirtland's Warbler kuşunun sıcaklık değişimine karşı çok hassas olmalarından dolayı nesillerinin son yıllarda (koruma altında oldukları halde) yok olma tehlikesiyle karşılaştıklarını ortaya çıkarttı. Sadece İngiltere'de son 25 yılda 22 milyon çift kuşun, 17 milyon çifti yok olduğu hesaplanmaktadır.
5. Ağaçlardaki yaş halkalarının daha hızlı bir büyüme göstermesi ve
6. Son 1400 yıl dünyanın en sıcak yılları olarak kabul edilen 1990'lı yılların da ardı sıra gelmesi.

Özetle; artık insan iklimi, iklim de insanı kötü bir şekilde etkiliyor.

Küresel Isınma

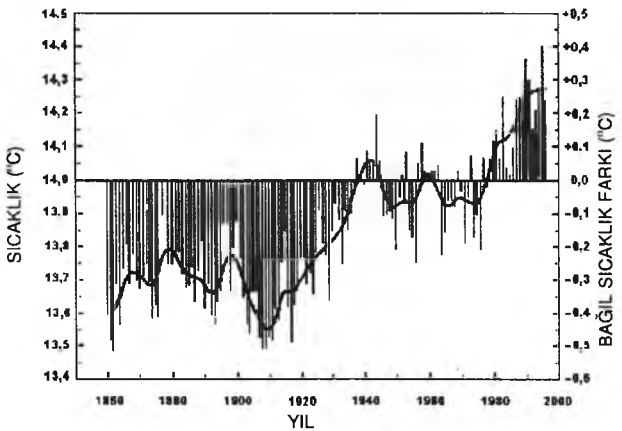
Yaklaşık olarak son 150 yıldır tüketilen fosil yakıtları ve diğer kaynaklardan atmosfere, gittikçe artan ve aşırı miktarda olmak üzere, gaz ve parçacıklar salınmaktadır. Atmosferdeki CO_2 ozon (O_3) seyrelten kloroflorokarbon (CFC) gazları ve karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ile diazot monoksit (N_2O) gibi sera gazlarının miktarlarında önemli artışlar olmuştur. Bu artışlardan dolayı atmosferde kuvvetlenen sera işlemi de günümüzdeki küresel ısınma problemini ortaya çıkartmıştır.

Bu nedenle, son zamanlarda Dünya'nın yeryüzeyine yakın seviyedeki hava sıcaklığı artan bir hızla yükselmektedir. Son yıllar, 1991 yılında Filipinler'deki Pinatubo volkanı patlamasının soğutucu etkisine rağmen, 1860'dan beri kayıtlarımızdaki en sıcak yıllardır. Bu sıcaklık artışının ne kadar büyük olduğunu, 15 000 ila 50 000 yılları öncesi buzul çağından sonra sadece 5 ° C'lik bir sıcaklık artışı olması gerçeğini göz önüne alırsak görebiliriz.

Böylece yeryüzünde 19. yüzyılın ortalarından günümüze kadar olan süre içinde küresel ortalama hava sıcaklığı 0,3 - 0,6°C artmıştır. 1860 yılından 1996 yılına kadar kaydedilen en sıcak dört yıl ise 1990 yılından sonra olup, Şekil 4.3'den görülebileceği gibi sıcaklık sırası itibariyle, 1995, 1990, 1991 ve 1994 yıllarıdır. Böylece 1990'lı yıllar en sıcak 10 yıldır ve 1998 de 1961-90 ortalamasından 0,57°C daha sıcak olmuştur. Araştırmalara göre, gelecek 40 yıl içindeki her 10 yılda 0,1°C'den daha fazla olan bir miktarda küresel ısınmanın devam edeceği tahmin edilmektedir.

Kuzey yarı kürenin orta ve yüksek enlemli karasal bölgelerinde, ısınma en fazla geceleri olmuştur. Mevsimlere göre değişim açısından ise ısınma, kuzey yarı kürede kış ve ilkbahar mevsimlerinde diğer mevsimlere nazaran daha fazla olmuştur. Özellikle kıtalar üzerinde olmak üzere, bazı bölgelerde ısınma küresel ortalamadan birkaç kat fazla olmuştur (Hamburg, 1997). Benzer şekilde (Bölüm 4.5'de göreceğimiz gibi) Türkiye'de de kış ve ilkbahar aylarında gece hava sıcak-

lıkları, 1950'lerden beri önemli bir artış göstermektedir (Kadıoğlu, 1997). Kuzey Amerika'daki Güney Mississippi Vadisi üzerinde olduğu gibi, çok az bölgede ise sıcaklıklar düşüş göstermektedir.



Şekil 4.3. 1860-1996 yılları için yeryüzünde ölçülen küresel ortalama hava sıcaklıkları ve bu sıcaklıkların 1961-1990 yılları için belirlenen sıcaklık ortalamasına nazaran değişimi (Hamburg ve diğ, 1997, Durmayaz ve Kadıoğlu 1999).

Yeryüzünde 19. yüzyıldan beri küresel ortalama hava sıcaklığının artmakta olduğunun diğer kanıtları ise, deniz seviyesinin 10-25 cm artmış olduğunun gözlenmesi, buzul dağlarında küçülme, yeraltında toprak sıcaklığının artması ve Kuzey Yarım Küre'deki kar örtüsünde 1973 yılından günümüze kadar olan sürede tespit edilen azalmadır. Bunlara ilaveten, küresel ısınmaya bağlı değişiklikler olarak iklim kuşaklarının ötelenmesi, yağmur-kar yağışı düzenlerinin değişmesi ve daha şiddetli hava koşulları da olasılık dahilinde gözükmektedir. Bu değişikliklerin pek çok ülkede yaşamı ve özellikle besin maddelerinin üretimini önemli derecede etkilemesi de beklenebilir.

Ağaç gövdelerindeki yaş halkalarından, yüzeye yakın buz kristallerinden, mercanlardan ve iklim eğilimlerinin dolaylı şekilde belirlen-

mesinde kullanılan diğer yöntemlerden elde edilen veriler, yeryüzünde son yıllardaki küresel ortalama hava sıcaklıklarının, son 600 yıl içindeki en yüksek değerinde olduğu sonucunu vermektedir (IAEA, 1989; Hamburg ve diğ, 1997).

Diğer bir deyişle, günümüzde tüm Dünya'da şehirleşme hareketleri kırsal kesimden olan göçler ile birlikte hızlanmakta, nüfus yoğunluğunun aşırı bir şekilde artması ve değişen yaşam standartları sonucu da daha çok sanayi üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Artan şehirleşme, özellikle sanayi ve yerleşim bölgelerinden çıkan sera gazları ile atmosferik çevre büyük miktarda kirlenmekte ve küresel ölçekte havanın ısınma eğilimi de giderek artmaktadır. Böylece, canlı küreden (biyosferden) yukarı atmosfere (stratosfere) kadar olan kısım başta olmak üzere, günümüzde dünya atmosferinin kirlenmesi giderek artmaktadır. Bütün bunlar, doğayı tahrip ederek kentlerin iklimini değiştirmekle birlikte su, kara ve havadaki yaşamı tümüyle tehdit eden çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir.

"Küresel Yağış Değişimi"

Atmosferin, kutuplarda daha yüksek olmak üzere ısınması yüksek ve alçak enlemler arasındaki sıcaklık farkını azaltacaktır. Böylece "atmosferik enerji motoru" yavaşlamaya zorlanacaktır. Başka bir deyişle, kinetik enerjiye dönüşebilecek potansiyel enerjide büyük bir azalma olacaktır. Şüphesiz, bu atmosferin ve hava paternlerinin genel dolaşımını etkileyerek, kış ve yaz mevsimlerinin karakterlerini de değiştirebilecektir. Böylece yağış rejimleri büyük ölçüde değişebilecek; çöller yağış almaya başlayabilecek, bazı yerleşim bölgelerinin de kuraklık yüzünden terk etmek zorunda kalabileceğiz. Bölgesel olarak nerelerde nasıl bir yağış rejiminin ortaya çıkabileceğini anlayabilmek için zaman içinde geriye dönüp atmosferin, gelcek yüzyıldaki kadar olmasa da normalinden daha çok sıcak olduğu dönemlerdeki yağış paternlerini inceleyebiliriz. Sıcak bir atmosfer ve okyanus, buharlaşmayı ve

dolayısı ile yağış miktarını arttıracaktır. Bu durumda bütün mesele artan yağışın yavaşlayan atmosferik dolaşım ile nerelerde görüleceği sorusuna bir cevap bulmakta.

Bazı, sayısal modellerin sonuçları, alt tropiklerdeki yüksek basınç kuşağının kuzeye doğru yer değiştirmesi ile birlikte Türkiye'nin güney kısmının da yer aldığı, 25. ve 35. enlemler arasında yağışın azalacağını göstermektedir. Bununla birlikte, orta enlemlerde büyük tahıl alanları ve ormanların bulunduğu bölgelerin sıcaklığı da artacak. Fakat, tropikal yağış kuşağının genişlemesi ile Sahra'nın güneyi ve Güney Amerika kıtasındaki çöller yağışa kavuşabilecektir. Hypsitermal dönem olarak da adlandırılan 4 ila 8 bin yıl önceki zaman diliminde de atmosfer normalinden yine çok daha sıcaktı. Bugünün bazı kurak alanları nemli, nemli alanları da kuraktı o dönemde. Böylece Hypsitermal dönemdeki iklim ve yağışı incelemek de, gelecek yüzyılda kendisini daha çok hissettirecek olan iklimdeki değişiklikleri ve onların olası sonuçları hakkında bizlere ip uçları verebilir.

Diğer bir deyişle hava sıcaklığı gibi yağışlardaki değişimde küresel bir davranış yoktur. Yağışlar dünyanın farklı yerlerinde farklı farklı değişim göstermektedir. Bu nedenle "küresel yağış değişimi" sözünü kullanmamaktayız...

4.3. İklim Modelleri: Türkiye İçin Senaryolar

İklim yüz milyonlarca yıldan son yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal olarak değişme eğilimi göstermiştir. İklim sistemi sahip, olduğu doğal değişkenlik nedeniyle durağan değildir. Doğal değişkenliğe ek olarak, insanlık tarihinde ilk kez, insan etkinliklerinin bölgesel ve küresel ölçekte iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Dünya nüfusunun son yüzyılda üstel bir şekilde artması sonucu tarımsal ve endüstriyel faaliyetler hızla artmaktadır. Nüfus artışlarının

belirli alanlarda yoğunlaşması iklimsel değişimin bu yörelerde daha fazla olmasına neden olmaktadır. İnsan etkinlikleri sonucunda Dünyamızdaki iklim değişimlerini tahmin edebilmek ve yeni modeller geliştirmek amacıyla küresel ve bölgesel ölçekte bir çok araştırmalar yapılmaktadır.

İklim değişimi çalışmaları daha çok hava sıcaklığı üzerinedir (Colacino, 1983). Bununla beraber son yıllarda iklime etkili faktörlerden biri olan yağış verileri üzerine de çalışmalar yoğunlaşmıştır. Dünya atmosferinde meydana gelen değişikliklerin yağış rejiminde de değişimlere sebep olduğu bilinmektedir (Namias, 1983; Eischeid ve arkadaşları, 1991).

Yapılan gözlemlerden elde edilen verilerle bu zamana kadar meydana gelen iklim değişimleri hesaplanabilmekte, gelecekte olması muhtemel değişiklikler ise küresel veya bölgesel ölçekte yapılan değişik iklim modelleme çalışmaları ile tahmin edilmektedir. Dünya oluşumunun tarihi gelişiminde paleoklimatoloji yönünden küresel olarak iklimde bir değişim olduğu bilinmesine rağmen, 1970'lere kadar günümüz ikliminin değişmediği kabul ediliyordu (Le Roy Ladurie, 1967; Lewis 1947). Konunun önem kazanması nedeniyle uzun zaman serilerinde küresel ölçekteki sera etkisini göstermek için bir çok araştırmacı bu konuyla ilgilenmişlerdir (Jones, 1988; Jones ve arkadaşları, 1986; Vinnikov ve ark., 1987). Küresel ölçekte atmosfer sıcaklığında son yüzyılda önemli bir artış olduğu gözlenmiştir. Yapılan araştırmalarda bu artış 0,3 ile 0,6°C olarak saptanmıştır (Hileman ve Washington, 1992). Sayısal iklim modelleri ve araştırmaları yeryüzü sıcaklığının artmaya devam edeceğini göstermektedir (Nas, 1983).

Şimdiki ve geleceğin iklimlerinin bilgisayar model simülasyonları bilim insanlarına hem doğal hem de yapay kaynaklı etkinliklerin Dünya'nın karmaşık iklim sistemi üzerine olası etkileri hakkında fikir verir. Çok basit bir şekilde açıklamak gerekirse Genel Sirkülasyon Modelleri, atmosfer, iklim ve kısmen okyanusu temsil eden bir takım

matematiksel denklemlerin yeryüzü ve atmosferin değişik seviyelerine eşit aralıklar ile konulan hayali noktalarda ve küçük zaman adımları ile üç boyutlu olarak çözmek için hazırlanmış (sayısal hava tahmin modellerinden esinlenrek geliştirilmiş) olan bilgisayar programlarıdır. Bu modeler için, süper bilgisayarların kullanımını gerektirecek kadar çok büyük veri ve hesaba; başta yer bilimleri olmak üzere tüm pozitif bilim dallarından uzman kişilerin bir araya gelmesini gerektiren büyük bilgi birikimine gerekisinim duyulur.

Genel Sirkülasyon Modelleri, CO_2'in iki katına çıktığı zaman küresel ölçekte olabilecek iklim değişimlerini hesaplamak için kullanılan araçlardan biridir. Bu modellerin tahminleri, negatif ve pozitif geri besleme mekanizmalarını iyi bir şekilde içermediği için, kesin değildir. Bununla beraber ancak bu modeller ile gelecekte yerel ve mevsimsel iklim değişimleri üzerine senaryolar üretebilmektedir. Bu senaryolar, atmosferdeki emisyon miktarlarının değişimi ve modellerdeki gelişmelerle değişecektir. Aynı zamanda ortalama hava sıcaklıkları ve toplam yağış miktarları iklim değişiminin tüm yönlerini ortaya koyamaz. Değişim ve değişkenlik iklimin temel karakteridir, fakat modellerin ortaya koyduğu rakamlar ortalama değerlerdir; yersel ve zamansal değişimleri göstermezler.

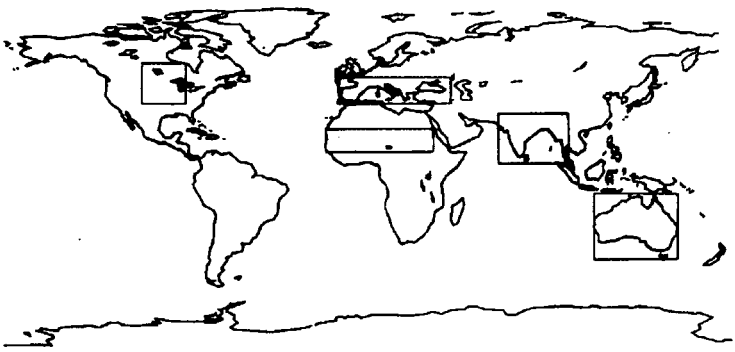
Avrupa'nın güneydoğusunda yer alan Türkiye, Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli (IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change) tarafından dünyadaki beş bölge arasından örnek bölge olarak seçildi. Böylece IPCC, Güney Avrupa ve Türkiye için (35^{o}-50 Kuzey, 10^{o}Batı-45^{o}Doğu) özel bir çalışma yapmıştır (Houghton ve ark., 1990, 1991 ve 1994) (Şekil 4.4). Kanada İklim Merkezi (CCC), Jeofizik Akışkan Dinamikleri Laboratuvarı (GFDL) ve Birleşik Kraliyet Meteoroloji Ofisi (UKMO) modelleri gibi yüksek çözünürlüğe sahip üç Genel Sirkülasyon Modeli (GSM), IPCC tarafından Türkiye'ye uygulandı. Bu modellerin sonuçları Tablo 4.3'de özetlenmiştir.

IPCC her ne kadar gerçekçi bölgesel dağılımları sağlamak için bu

modelleri kullandıysa da, mevcut GSM bölgesel iklim değişimleri simulasyonunda iyi ifade edilmiş sınır şartlarına sahiptir (Dickinson, 1989; Mitchell ve ark., 1991).

Genel Sirkülasyon Modelleri, sera gazlarının atmosferdeki oransal artışlar nedeniyle, hava sıcaklıklarının artacağını ve yağışın Dünya üzerindeki dağılımının değişeceğini belirtmektedir. İklim değişiminin hızı ve büyüklüğü hakkındaki hesaplar, çok çeşitli geri besleme mekanizmaları nedeniyle kesin değil sadece birer varsayımdır.

Biyosfer ve iklim sistemleri o kadar çok birbirine girmiştir ki, iklimde önemli bir değişim biyosferde önemli değişimlere neden olacaktır. Özellikle, sıcaklık ve hidrolojik değişimler nedeniyle bitki kuşakları yer değiştirecektir. Bitkilerin ve hayvanların kısıtlı hale gelecek olan beslenme kaynaklarına ulaşmadaki artan zorluklar nedeniyle türlerin ortadan kalkması daha da hızlanacaktır. Tarım alanlarının değişimi, balıkcılık bölgelerinin farklılaşması ve benzeri biyolojik değişimler insan yaşamını daha çok olumsuz olarak etkileyecektir.



Şekil 4.4. IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli), tarafından küresel iklim değişimi senaryoları hazırlanan beş bölge.

Sera gazları kontrol edilmediği taktirde küresel ısınma 2025 yılına kadar 1°C ve 21. yüzyılın sonunda ise 3°C kadar artacak (Houghton

ve ark., 1990).

İlk yapılan çalışmalardan birinde İngiltere Meteoroloji Dairesi'nden Wilson ve Mitchell (1987), beş tabakalı ve 330 km sayısal nokta aralıklı bir model kullanarak $4xCO_2$ miktarının endüstri devriminden önceki miktarının 4 katına çıktığı bir durum için iklim değişimini tespit etmiştir. Onların bu çalışmasına göre Akdeniz Bölgesi'nde sıcaklıklar kışın 3 ila 6°C artacak; yazın ise 4 ila 9°C derece artacak. Yağış, Türkiye dışında, Akdenizin büyük kısmında hem kışın hem de yazın azalıyor. Türkiye'de yağış kışın biraz artacak gibi görülüyor.

Tablo 4.3'deki IPCC senaryoları endüstri devriminden beri süre giden emisyon salımlarında herhangi bir kısıtlamaya gidilmeyerek devam ettiği taktirde 2030 yılına kadar olması beklenen küresel iklim değişimine yönelik değerleri veriyor. Bu senaryo aynı zamanda 2030 yılına kadar küresel hava sıcaklığının 1,8°C artacağını gözönünde bulundurmaktadır. Senaryonun ortaya koyduğu bu sıcaklık ve yağış değerleri şu anki emisyonların aynı hızla atmosfere salınmaya devam edileceği kabulune dayanıyor. Emisyonların azaltılacağı bir durum için bu değerler %30 azaltılmalı; emisyonların artacağı bir durum için ise bu değerlerin %50 artırılması gerekmektedir.

Tablo 4.3. Türkiyede beklenen iklim değişimi senaryoları. Bu senaryolara ait değerler IPCC ve İngiltere Doğu Anglia Üniversitesi'nin Dünya, Güney Avrupa ve Akdeniz geneli için yaptığı değişik çalışmalarından derlenmiştir.

Senayolar	**Hedeflenen Zaman**		
	2030	2050	2100
IPPC, Dünya			
Sıcaklık	1,8°C artacak	-	2 ila 5°C artacak
Deniz seviyesi	6 -30 cm artacak	-	30-100 cm artacak
IPCC, Güney Avrupa			
Sıcaklık	kış 2°C artacak	-	-
	yaz 2- 3°C artacak	-	-
Yağış	kış %0-%10 artacak	-	-
	yaz %5 ila %15 azalacak	-	-
Toprak nemi	yaz %15 ila %25 azalacak	-	-
Doğu Anglia Üniversitesi, Akdeniz (her 1°C küresel ısınma için)			
Yağış	kış %3 artacak	-	-
	yaz %3 azalacak	-	-
UNEP Task Teams			
Sıcaklık	-	1,5-3°C artacak	-
Deniz Seviyesi	-	24-52 cm artacak	-

IPCC Küresel İklim Modelleri ile yapılan projeksiyonlara göre 2030 yılında Türkiye'nin büyük bir kısmı oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine girecektir. Türkiye'de sıcaklıklar kışın 2 °C, yazın ise 2 ila 3 °C arasında bir değerde artacaktır. Yağışlar kışın az bir artış gösterirken yazın % 5 ila 15 azalacaktır. Ayrıca yazın toprak nemi de %15 ila %25 arasında bir değerde azalacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 4.3'de özetlenen senaryolara göre Akdeniz havzasındaki su seviyesinde 2030 yılına kadar 18 cm -12 cm'lik; 2050 yılına kadar 38 cm -14 cm'lik ve 2100 yılına kadar 65 cm -35 cm'lik bir yükselme beklenmektedir.

Şu an Türkiye'nin gece ve gündüz sıcaklıkları ile beraber yağış göz-

lemlerinin analizinde Tablo 4.3'de gösterilen senaryoları destekler veya onların tersi bir durum olup olmadığını Bölüm 5.1'de inceleyeceğiz.

4.4. İklim Konferansları

"Bugün Dünya atmosferinin kimyasal yapısındaki değişim ve bunun sonucunda ortaya çıkan küresel ısınma problemine, insanın bilinçsiz davranış ve yaşam tarzı neden olmaktadır." Bu, 1980'li yıllarda çok tartışılan ve sadece bilimsel bir iddia idi. Sermayesi "şüphe" olan bilim insanları doğal olarak "Bu ısınmaya gerçekten insan mı, yoksa buna atmosferimizdeki doğal salımınlardan biri mi neden oluyor?" sorusunu soruyordu. 1990'lı yılların başından itibaren, bu konuda yapılan bilimsel çalışmaların sayısı arttıkça, küresel ısınma ve iklim değişimi probleminin mevcut ("virtual certainty") olduğu artık bilim insanlarının büyük bir çoğunluğu tarafından kabul edilmiştir. Böylece, atmosferin sera etkisindeki artış, stratosferik ozon gazındaki seyrelme, küresel ısınma, deniz seviyelerinin yükselmesi ve küresel iklim



değişimi gibi problemler tüm dünyanın gündemine oturdu ve Rio İklim Zirvesi gibi Dünya'da bir eşi daha görülmemiş bir katılımla gerçekleşen liderler zirvesini diğerleri izledi.

Bilindiği gibi Dünya'da özellikle II. Dünya Savaşı'nı izleyen kalkınma çabaları, "önce kalkınma" anlayışı ile gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu anlayış içinde çevre ve insan geri plana itilmiştir. Böylece, Dünya'da iklim değişimi ile birlikte tarım kuşaklarının yer değiştirmesi, kutuplardaki buzulların erimesi ve deniz su seviyelerinin yükselmesi gibi, insanlık için büyük tehlikeler ortaya çıkmıştır. Artık kalkınma ile çevre arasındaki dengeyi sağlama düşüncesinde dünya fikir birliğine vardı, fakat küresel iklim değişimi probleminin çözümüne katkıda bulunmak için onu sadece ekstrem hava olaylarında hatırlayarak spekülasyonlarda bulunmak yeterli değildi. Bu nedenle, 20. yüzyılın sonlarında kalkınma çabaları ile çevreye zarar verme endişeleri "Sürdürülebilir Kalkınma" kavramını ortaya çıkartmıştır. Böylece, Haziran 1992'de Birleşmiş Milletler Kalkınma ve Uluslararası Çevre Konferansı (UNCED) adında bir Dünya Zirvesi de gerçekleştirilmiş ve "Küresel düşün, yerel hareket et" ilkesinin eyleme geçirilebilmesi için "Ozon Tabakasının Korunması ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmeleri" gibi hükümetlerarası sözleşmeler imzaya açılmıştır. Türkiye, imzaya açılan beş temel belgeden Rio Deklarasyonu'nu, Gündem 21, Biyolojik Çeşitlilik ve Orman Prensipleri'ni kabul etmiştir, ama İklim Değişimi Çerçeve Sözleşmesi'ni kabul etmemiştir. 1997'nin ortalarına kadar bu sözleşmeyi 182 ülkeden (Türkiye hariç) 166'ı imzalamış bulunuyor.

Bu sözleşmeyi imzalamamakta Türkiye hem haklı hem de kusurludur. Türkiye haklıdır çünkü bu sözleşmede Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi olarak gelişmiş ülkeler arasında gösterilmiştir. Böylece, gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye, sözleşmeden doğan ABD ve Avrupanın zengin sanayi ülkelerine denk yükümlükleri yerine getiremiyeceği kaygısıyla, bu sözleşmeyi henüz imzalamamıştır. Türkiye kusurludur çünkü işi başından itibaren takip etmemiş ve

daha işin başında Ek I ve Ek II Tarafları olarak gelişmiş ülkeler grubuna konulmayı engelleyememiştir . Böylece şu ana kadarki tüm iklim konferanslarına Türkiye bir gözlemci olarak katılarak gelişmiş ülkeler listesinden çıkmak için uğraşıp duruyor. Türkiye, sözleşmeye taraf olmadığından dolayı, sözleşmenin eklerinden çıkmak için değişiklik önergesi de veremiyor. Pakistan ve Azerbaycan gibi "dost ve kardeş" ülkeler vasıtasıyla verilen değişiklik önerileri ise, "dost fakat kardeş olmayan" ABD ve AB'nin karşı çıkması sonucu kabul edilmemektedir. 1992 Rio Zirvesi'nden sonra 1998 yılında Buenos Aires'te, 1999 yılında Bonn'da, sonra da Kyoto'daki yapılan iklim konferansları ve zirvelerde küresel iklim değişimi problemi ve Türkiye'nin durumu tekrar tekrar ele alınmıştır...

1997'den önceki yıllarda yapılan İklim Kongreleri'nde uluslararası toplumlar iklim değişiminin insanlık, daha doğrusu tüm dünya için tehlikeler içeren etkilerini önlemek için fikir birliğine varmıştı. 1997 yılında daha da ileri gidilerek Kyoto Protokolü ile endüstrileşmiş ülkeler için sera gazları emisyonlarının azaltılmasına yönelik somut hedefler belirlenerek endüstrileşmiş ülkelerden, karbondioksit ve diğer sera gazlarını 2008-2012 yılları arasında 1990'daki seviyelerinin ortalama %5,2 altına çekmesi istendi. Diğer bir deyişle, ABD %7, AB %8 ve Japonya %6 emisyonlarını azaltmayı kabul etmişti. Endüstrileşmiş ülkeler şu anki CO_2 emisyonunun %75'ini üretiyor... ABD ise tek başına sera gazlarının % 25'inden sorumlu bir ülke olarak 1. sırada gelmektedir. Bununla beraber, 80. sırada olan Türkiye ise bir OECD ülkesi olarak ABD ile aynı yükümlülük altına sokulmak istenmektedir!

Üzerinde anlaşılan bu protokol dünya için bir umut ve izlenmesi gereken bir yol vermişti. Şimdi ise üzerinde anlaşmaya varılan hedeflere ulaşma zamanıdır. Bunun içinde ülkeler kısaca COP 6 olarak adlandırılan Hollanda'nın Lahey kentinde 13-25 Kasım 2000 tarihleri arasında yapılan Altıncı Dünya İklim Konferansı'nda hedeflere nasıl ulaşacaklarını tartışmak için bir araya gelinmişti. Artık antlaşmaların

yürürlüğe konması uluslararası toplumların inandırıcılığı için ve daha da önemlisi dünya üzerindeki yaşamı tümüyle tehdit eden gelişmelerden gezegenimizin korunması için gerekmektedir.

Altıncı Dünya İklim Konferansı bu anlayış ile yapıldı ama bilindiği gibi bir anlaşma sağlanamadan sona erdi. Bu iklim konferansında, diğerlerinden farklı olarak, hiç kimsenin küresel iklim değişimin gerçek ya da doğal olup olmadığı konusunda ortaya bir şüphe atmaması da dikkat çekti. Artık dünya problem konusunda tam fikir birliği içinde ama çözüm konusunda anlaşamıyor.

Şu an tüm Dünya'daki ülkeler altı ayrı gruba ayrılmış ve her grup için CO_2 ve diğer sera gazlarının emisyonlarının 2000 yılından sonra azaltılacağı hedefler ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler önce gelişmiş ülkeler kadar atmosferi kirletmeyi, sonra emisyonlarda bir azaltmaya gitmeyi isterken, gelişmiş olan ülkeler gelişmekte olan ülkelerin de emisyonlarında önemli bir azaltmaya gitmelerini ("ortaklık") istemektedir. Böylece gelişmiş ülkeler, sera gazlarını azaltmaları için gerekli olan teknolojiyi gelişmekte olan ülkelere satarak, ekonomik kayıplarını en aza indirgemeyi istemektedir.

Zaten, 1997'den beri Kyoto anlaşmasını 182 ülkeden 84'ü imzaladı (Türkiye hariç) ama bunların parlementolarının da sadece 30'u anlaşmayı onayladı. Bu 30 ülke içinde sanayileşmiş 38 ülkeden hiç biri yok. Bu protokol ancak 1990'da Dünya'daki CO_2 emisyonlarının %55'inden sorumlu olan 55 ülkenin onayı ile yürürlüğe girebilecektir.

Kyoto Protokolü yürürlüğe girdiği zaman protokole taraf olan ülkeler genel anlamda şu koşulları kabul etmiş olacaktır:

1. Gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonları, onlar için belirlenmiş miktarların üzerine çıkmayacak.
2. İklim değişimini engellemeye yönelik politikaları geliştirip uygulayacaklar.
3. Enerji verimini ve tasarrufunu arttıcı önlemler alacaklar.
4. Çöp ve benzeri atıklarla birlikte uşalım sektöründen kaynakla-

nan emisyonlar sınırlandıracak ve/veya azaltacaklar.

5. Sera gazı yutaklarını (lavaboları, kuyularını) koruyacaklar.
6. Protokolün hedeflerine ulaşmasını engelleyecek her türlü faaliyetleri ortadan kaldıracaklar.
7. Sürdürülebilir tarım ve benzeri konularda bilimsel araştırmaları destekleyecekler. Gelişmiş ülkeler tüm bu etkinliklerini gelişmekte olan ülkelere zarar vermeyecek şekilde yapacaklar.

Bu şartlardan görüldüğü gibi iklim değişimi problemi daha çok bir devlet problemidir. Eğer devletler bu protokolü onaylar ve uygularsa, tüm ekonomik sektörlerde bazı değişimler olmak zorundadır. İşte bundan dolayı, ABD, Japonya, Kanada, Avustralya gibi endüstrileşmiş ülkeler dünya pazarlarındaki yerlerini korumak, ekonomik büyümelerini devam ettirmek ve işsizlik yaratmamak gibi ekonomik nedenleri düşünerek Kyoto Protokolü'nü yürürlüğe koymuyorlar.

Bunun yerine, ABD, Kyoto anlaşmasının "karbon lavabosu" (yutak, kuyu) kullanma hakkını verdiğini iddia ediyor. Buna dayanarak da ABD, sera gazlarını azaltmak yerine üçüncü dünya ülkelerine "ağaç dikmek", henüz CO_2 üretimi düşük olan gelişmekte olan ülkelerin "haklarını satın almak" ve hayvanların metan gazı üretmesini engelle mek için "gaz yapmayan yem" üretmek gibi "ucuz" ve bilimsel açıdan iklimi koruması mümkün olmayan "arka yolları dayatıyor" ve işi ticarete döküyor.

İngiltere son 50 yılın en kötü sellerinde 1 milyar euroluk zarara uğradı. Benzer şekilde 2000 yılının Ekim ayında İtalya'da seller 1,5 milyar euroluk zarara neden oldu. Böylece, Avrupa'daki bu görülmemiş fırtınalar henüz hafızalarda taze iken Avrupa Birliği, ABD'nin sözde çözümlerini kabul edemiyor. Sonuçta, Lahey'de iklim görüşmelerinin çıkmaza girmesine Kyoto Protokolü'nün ABD ve AB'nın farklı yorumlaması neden olmuş gibi görünmekte. Greenpeace (Yeşil Barış) örgütü ise bütün bu durumu "bir trajedi ve maskaralık" olarak nitelemektedir.

İyimserlere göre küresel ısınmaya neden olan gazların atmosfere

salınımının nasıl engelleneceği konusunda görüşmeler bir gün sonuca bağlanacak. Kötümserler ise ABD, Japonya, Kanada, Avustralya gibi endüstrileşmiş ülkelerin ekonomik nedenlerden dolayı Kyoto Protokolü'nü hiçbir zaman yürürlüğe koymayacaktır. Yükselen deniz suyu seviyeleri nedeniyle kısmen yok olma tehlikesindeki ada ülkelerinden biri olan Fiji'den bir yetkili tarafından bu günkü durum "Onlar bu olayın ekonomik tarafına bakıyor, halbuki bu insan ırkı için bir ölüm kalım meselesidir" şeklinde özetlenmektedir.

Sonuç olarak ABD, Japonya, Kanada gibi sanayileşmiş ülkelerin kolay kolay Kyoto Protokolü'nü yürürlüğe koyacağı yok, koysalar bile zaten azaltmayı lütfen kabul ettikleri sera gazı üretimi 21. yüzyılın en büyük çevre problemini önlemek için hiç bir şekilde yeterli değildir; bu sadece bir başlangıçtır. Princeton Üniversitesi Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı Müdürü Jerry Mahlman, *Washington Post* gazetesine verdiği bir demeçte; "Kyoto Protokolü ancak atmosferdeki sera gazlarının miktarındaki artış hızında çok küçük bir azalış sağlayabilir" demektedir. Başka bir demecinde ise küresel ısınmanın durdurulabilmesi için "Önümüzdeki yüzyılda 30 Kyoto Protokolü'ne ihtiyaç var" diyor.

Bu durumda bizim gibi gelişmekte olan bir üçüncü dünya ülkesinin vatandaşları için en kötü ihtimali düşünüp küresel iklim değişimi ile birlikte yaşamayı öğrenmekten başka bir yol görünmüyor. Aslında şu an atmosferimizin yer yüzeyine yakın seviyesindeki ısınmaya ister insan, isterse atmosferimizdeki doğal bir salınım neden olsun, ne fark eder? Diyelimki bu sorunun cevabını şimdi bilemiyoruz ve öğrenmek için de ömrümüz yetmeyecek. Fakat kârını bu günkü seviyede devam ettirebilsin diye şehirlerin ve sanayinin atmosferi, suyu ve toprağı kirletmesine ne kadar daha müsaade edilebilir?

Bir de sayıları çok azalmış olsa da küresel iklim değişimine hâlâ şüphe ile bakanlar var. Bunlar için diyelimki 50 yıl sonra bugün yapılan iklim değişikliği ile ilgili bütün öngörüler yanlış çıktı, şimdi kirle-

tici emisyonlarını azaltmış olsak Dünyamızın 50 yıl sonraki durumu çok daha kötü mü olur? Sürekli olarak "küresel ısınmanın henüz ispatlanmadığının" iddia edilmesi ve somut önlemlerin alınmaması, olaya siyah (var) ya da beyaz (yok) olarak bakan politikacıların kafalarını iyice karıştırmakta ve alınması gereken önlemleri geciktirmektedir. Benzer şekilde sigaranın sağlığa zararlı olduğu iddiaları da uzun yıllar "bu henüz ispatlanmış değil" şeklinde inkâr edilmişti. İnsanın gelecekteki problemlere karşı duyarsız, yaşadığı krizlere karşı çok hassas davranması onun doğasından mı kaynaklanıyor bilmiyorum. Ama politikacıların olaylara uzun vadeli bakamadığı ve ihtimallere de hiç önem vermediği ortada.

Türkiye her ne kadar İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni kabul etmemişse de kabul ettiği Gündem 21 önemli bir belgedir. Rio zirvesinde benimsenen kararların, "Küresel Düşün, Yerel Hareket Et" felsefesine uygun bir şekilde, ister küçük ister büyük olsun, bütün yerel yönetimler tarafından hayata geçirilmesi için "Yerel Gündem 21" (Local Agenda 21) adı altında programlar oluşturup uygulamaları istenmektedir. Bu başlıktaki 21, 21. Yüzyılı ifade etmektedir. Bir anlamda Dünya GÜNDEM 21 ile gelecek yüzyılda çevre ile dost olacaktır. 1992'den beri dünyanın bir çok köşesinde yerel yönetimler tarafından uygulanan bu çevre hareketinin ülkemizde de artık yaygınlaşması gerekiyor.

Artık Dünya, Yerel Gündem 21 ile gelecek yüzyıla hazırlanmalıdır. Gündem 21, Rio Deklarasyonu'nda yer alan ilkelerin bir uygulama belgesidir. 1990'lı yıllardan 2000'li yıllara kadar uzanan dönemde ve devamında çevre ve ekonomiyi etkileyen tüm alanlarda, hükümetlerin, kalkındırma örgütlerinin, Birleşmiş Milletler kuruluşlarının ve bağımsız sektörlerin yapması gereken faaliyetleri tanımlayan bir eylem planıdır bu. Gündem 21, hükümetlerden bireylere kadar herkesin hep birlikte "Sürdürülebilir Kalkınma" anlayışı içinde çalışmasını öngörmektedir. Gündem 21'in 28. Paragrafında yerel yönetimlere yükümlülük ve ödevler verilmektedir. Rio Toplantısı'ndan sonra Dünya'

nın pek çok bölgesinde kentler, Gündem 21'i yerel düzeyde gerçekleştirmek üzere harekete geçmiştir. Daha sonraları Avrupa Kentleri 1994'de imzaladıkları Aalborg Sözleşmesi ile belediyeler Yerel Gündem 21'i hazırlayacaklarını ve "sürdürülebilir kentler" yaratacaklarını tekrarlamıştır (TÜDAV, 1997). Bu Kyoto'da da tartışmasız kabul görmüştür. Böylece, "Küresel Düşün, Yerel Hareket Et" felsefesi, ister küçük ister büyük olsun, yurtdışında bir çok yerel yönetim, belde ve belediyeler tarafından hayata geçirilmiştir. Türkiye'de ise, Haziran 1992'de "Gündem 21"i kabul etmiş ve T.C. Anayasasının 90. maddesine göre bu antlaşma kanun hükmündedir. Fakat bu kanun gereği ülkemizde yaygın bir şekilde yerine getirilmemektedir. Örneğin, Türkiye'de "Yerel Gündem 21 Programı" doğru dürüst geliştirip uygulayan yerel yönetim sayısı yok denecek kadar azdır.

Politikacılarımızın bu problem ile gerçekten ilgilenmelerini ve kanunları uygulamalarını sağlayabilmemiz için politik baskı grupları oluşturmaya yönelik örgütlenmek ve mevcut sivil toplum örgütlerine de destek vermek zorundayız. Hükümetler, uluslararası anlaşmalardan doğan yükümlüklerini yerine getirse de getirmese de, bir çok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Yerel Gündem 21 adlı çevre hareketinin ülkemizde de bir an önce yaygınlaşması gerekiyor. Bunun için yerel yönetimlerimizi, Yerel Gündem 21 programı hazırlayıp uygulamaları için teşvik etmeli ve bu programlara etkin olarak katılmalıyız.

Ayrıca temiz bir çevre ve gelecek için bireysel olarak biz tek başımıza ne yapabiliriz diye de düşünüp, varsa alışkanlıklarımızdan mutlaka özveride bulunmalıyız. Örneğin; kaloriferimizi kısalım; plastik poşet ve pet şişe kullanmayalım; sıcak havalarda bunaldığımızda klima yerine vantilatör kullanmayı tercih edelim ve güneş ışığı gelen taraftaki perdeleri çekelim. Annemizi dinleyelim; kullanmadığımız ışıkları, radyo ve televizyonu kapatalım! Yakınsa (ve yollar uygunsa!) işe ve alışverişe bisikletle gidip gelelim... Bol bol yürüyelim ya da toplu

taşıma araçlarını kullanalım.

Ben son yıllarda da evdeki ampulleri daha tasaruflu ampuller ile teker teker değiştirdim (Her verimi yüksek lamba ile yılda yaklaşık olarak 25 kilogramlık emisyonu önlediğimi düşünüyorum.) Her sonbaharda cam ve kapılardan oluşacak ısı kayıplarını önlemek için yalıtım malzemesi yapıştırıyorum ve de pencereleri sırasıyla çift camlı bir hale getirtiyorum. Şimdi de çamaşırların çamaşır makinesinde daha düşük sıcaklıkta yıkanması için uğraşıyorum.

4.5. Yükselen Deniz Suları ve Kıyı Selleri

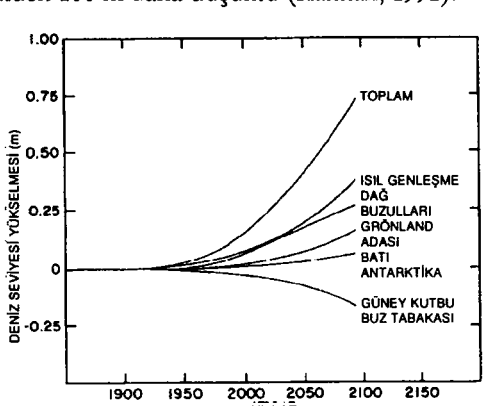
Küresel değişikliği ile beraber insanlığın ekosisteme diğer bir olumsuz etkisi ise deniz seviyesindeki yükselmedir. Isınan atmosferin deniz yükselmesi ile ne ilişkisi olabilir? Bunun en mantıklı cevabı, sıcaklığı artan havanın denizin üst tabakasının ısısını yükseltmesidir. Bu da suyun genişlemesine ve deniz seviyesinin yülselmesine neden olur. Bugünkü araştırmalar deniz seviyesinin 100 yıldır arttığını ve artış eğiliminin ise giderek ivme kazandığını göstermektedir.

Küresel ısınmanın sonucu ısınarak (termal olarak) genişleyen deniz suları ile birlikte kutup ve dağ buzullarındaki erime nedeniyle yükselen deniz suyu seviyeleri, kıyılarımızı olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Küresel ısınma ile birlikte deniz seviyelerindeki yükselme de, önümüzdeki yüzyılın sonuna kadar 65 - 100 cm'ye ulaşabilecektir (IPCC, 1995) (Şekil 4.5).

Deniz su seviyesinin yılda bir kaç mm yükselmesi, büyük bir tehlikeymiş gibi görünmezse de, çok önemli bir değerdir. "Bruun kuralına" göre deniz suyu seviyesindeki yükselme sahilde erozyona neden olur. Deniz su seviyesi yükseldiğinde yakın kıyının dip profili de değişir. Bu değişim yükselen su seviyesinin neden olduğu kıyı erozyonundan oluşan sedimentin dipte birikmesiyle oluşur. Diğer bir de-

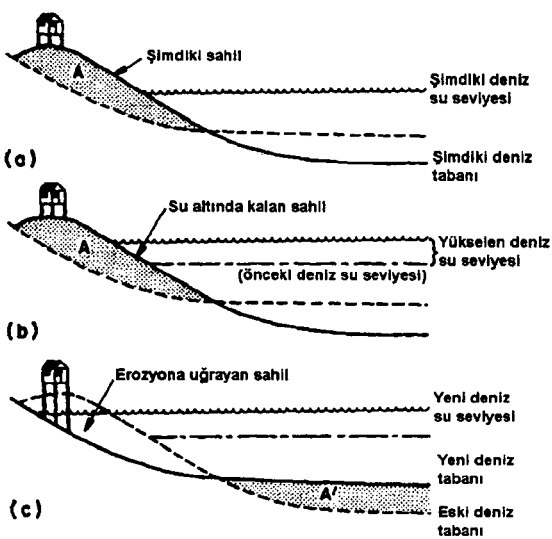
yişle deniz seviyesi ne kadar yükselirse kıyılarda taban da o kadar yükselir (Şekil 4.6). Aynı şekilde deniz seviyesi ne kadar yükselirse onun 100 katı kadar bir uzunluktaki sahil erozyona uğrar. Örneğin; ABD'nin Atlantik Okyanusu kıyılarında deniz su seviye yükselmesi yılda 4 mm'dir. Böylece 10 yılda deniz su seviyesi 4 cm yükselirken kaybedilen sahil 4 m'dir (Hannah, 1992).

Bir çok nedenden dolayı deniz su seviyesindeki küresel yükselme, tam olarak ölçülemez. Bununla birlikte Dünya'nın değişik yerlerinde ölçülen yükselme miktarı da bir birinden farklıdır (Şekil 4.7). Şöyle ki, uzun vadeli (100 yıllık) deniz suyu seviyesi yükselmesinin Dünya genelindeki ortalaması yaklaşık olarak yılda 3,5 mm iken, Stockholm'de yılda 4 mm düşmüştür. Böylece son yüzyıl boyunca deniz su seviyesi 10 cm ila 25 cm arasında bir yükselme göstermiştir. Deniz su seviyesinin küresel yükselmesi ile yapılan hesapların sonuçları 1 mm ila 3 mm arasında değişmektedir. Fakat bunlardan 1,15 mm en çok üzerinde anlaşılan değerdir. Deniz seviyesi ile iklim değişimin ekstremleri arasında belirgin bir ilişki vardır. Buna örnek olarak en son buzul döneminden 18000 yıl önce her yerde deniz suyu seviyesi bugünkünden 100 m daha düşüktü (Hannah, 1992).



Şekil 4.5. Değişik çalışmalara göre değişik kaynakların deniz su seviyesinin yükselmesine olası katkılarının zamanla değişimine yönelik taminler (Hannah, 1992).

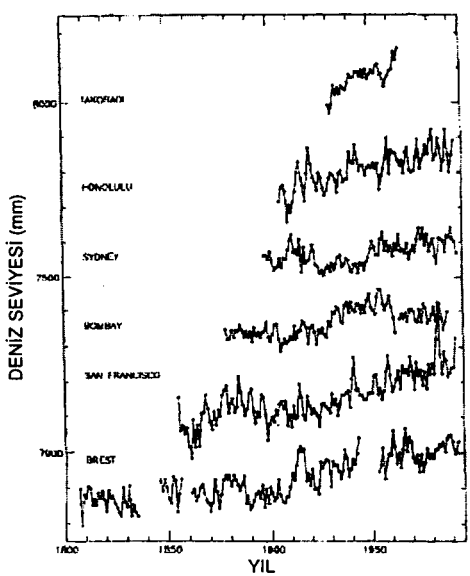
Akdeniz kıyılarında yapılan yüzlerce arkeolojik çalışmalar sonucunda Akdeniz su seviyesi son 2000 yıldır 40 cm yükselmiştir (yükselme hızı 0,2 mm/yıl'dır) (Woodworth, 1990). Diğer Akdeniz ülkeleri gibi deniz seviyesindeki yükselişler Türkiye içinde büyük sorun olabilecektir. Kıyı şeridindeki yerleşim alanları yükselen deniz suyu ile kaplanmasına kayıtsız kalınırsa veya bunu önlemek için ekonomik boyutu çok büyük olacak setler inşa edilmezse büyük zararlar oluşacaktır. Benzer şekilde, turistik plajlar ve yat limanları yükselen deniz suyu ile kullanılamaz hale gelebilecektir. Tuzlu deniz suyu, nehirler ve yer altı suları gibi, tatlı su kaynaklarını da yok edebilir. Ayrıca kıyı şeridinde ve deltalardaki tarım alanları da kullanılamaz hale gelebilir. Kıyılardaki konut ve balık üretim kayıpları da olabilecektir.



Şekil 4.6. Bruun Kralına göre deniz suyu seviyesinin yükselmesinin neden olabileceği kıyı erozyonu ve deniz taban yükselmesinin şematik gösterimi. (a) Şu anki sahil, deniz su ve taban seviyeleri (b)'de gösterilen deniz su seviye yükselmesi nedeniyle su basan sahil kesimi (c)'de gösterildiği gibi erozyona uğrayarak deniz tabanını yükseltmektedir (Titus, 1986).

Dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu deniz kıyılarında veya deniz kıyılarına yakın yerlerde yaşamaktadır. Kıyılarda biriken bu büyük nüfus, özellikle deniz suyu seviyesi yükseldiğinde kıyı ve nehirlerin ağzındaki koylardaki ekolojik sistemi tehdit eder. Denizlere yakın alçak arazilerde su yükseldiğinde, sular altında kalır. Bu tehlike özellikle Bangladeş, Mısır, Hollanda ve bazı ada ülkeleri olmak üzere Dünya'nın bir çok yerini tehdit etmektedir (IPCC, 1995).

Okyanus, deniz ve kıyı sularının ısınması bir çok doğa sistemini de etkileyecektir. Su sıcaklığı arttıkça bir çok canlı türü ya artan sıcaklılara uyum gösterecek veya daha soğuk sulara göç edecektir. Fakat duyarlı organizmalar hızlı ısınmanın olduğu yerlerde kitleler halinde ölecektir. Benzer bir ısınmadan dolayı bazı mercan kayalarında ölümler sık sık El Nino'lardan dolayı görülmekte ve çift kabuklu midye ve istiridye gibi



Şekil 4.7. Dünyanın değişik bölgelerinden seçilen en uzun veriye sahip altı kıyı şehrinde ölçülen deniz su seviye yüksekliklerindeki eğilimler. Takoradi (Afrika), Hanolulu (Pasifik Okyanusu, ABD), Sydney (Avustralya), Bombay (Asya), San Fransisco (Kuzey ABD) ve Best (Avrupa), (IPCC, 1995).

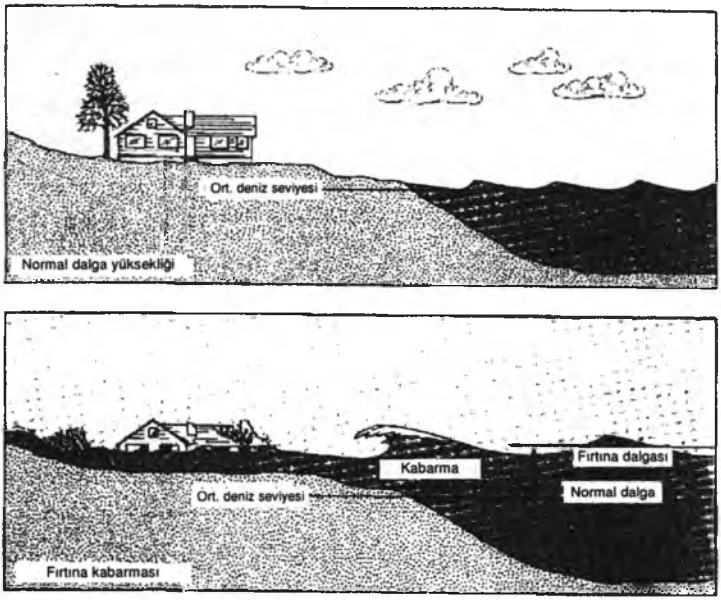
yumuşakçaların bazıları yok olmaktadır. Değişen sıcaklıklar deniz hayatını ve dolayısıyla ile balıkçılığı da etkileyecektir (Bigford, 1991).

Literatürde deniz su seviye yükselmesinin kıyısal çevre üzerindeki etkisi ile ilgili bir çok yayın vardır. Bu yayınlara göre deniz suyu seviyesi yükselmesinin fiziksel etkisi beş ayrı kategoride özetlenebilir:

1. Alçak arazilerin su altında kalması,
2. Plajlar ve dik sahillerde erozyon,
3. Yeraltı ve yüzey sularının tuzlanması,
4. Taban suyunun yükselmesi,
5. Fırtına ve sel tahribatının artması.

Deniz su seviyesi yükselmelerinin Dünya'daki ve Türkiye'deki olası etkileri. Dünya İklim Haberleri dergisinin Ocak 1998 sayısına göre Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklim değişiminin deniz kıyılarındaki yerel etkileri üzerine özel bir rapor yayınladı. Bu raporun ana hatları özetle şöyledir:

- Küresel iklim değişimi, deniz seviyelerinde yükselmelere neden olarak, tayfunlar, siklonlar ve fırtına kabarması sonucu deniz kıyılarını olumsuz bir şekilde etkileyecektir (Şekil 4.8). Bunların beklenen sonuçları arasında; kıyı erozyonu, delta ve yeraltı sularının tuzlanması, gel-git (med-cezirin) körfez ve nehirlerdeki yükseltilerinin değişimi, sediment ve besin naklindeki değişimler, kıyı sularının kimyasal ve mikrobiyolojik durumlarındaki değişimler ve kıyı sellerindeki artışlar sayılabilir.
- Kirletici emisyonlarının bugünkü düzeyde atmosfere salımı sürerse, 2100 yılında deniz seviyeleri yaklaşık olarak 1 m yükselmiş olacaktır. Bu yükselme, örneğin; Japonya, kıyılarını büyük ölçüde tehdit etmektedir. Bu durumda Japonya endüstrisinin %50'sini ve plajlarının %80'ni kaybetme tehlikesi altındadır.
- Avrupa'da en riskli yerler Kuzey Almanya, Hollanda ve Ukrayna kıyıları olduğu söyleniyor. Bununla birlikte Türkiye'deki Seyhan, Ceyhan, Göksü, Patara, Eşen çayı, Fethiye, Büyük Mende-



Şekil 4.8. Normal bir yüksek dalgaya bir de fırtına kabarması eklenirse, dalgaların kıyılardaki etkisi çok yıkıcı olur. Deniz su seviyeleri arttıkça fırtına kabarmalarının etkisi de artacaktır (Lutgens ve Tarbuck, 1989).

res, Küçük Menderes, Bakırçay ve Gediz gibi bazı Akdeniz deltaları sayılabilir.

- Kuzey Afrika'da Nil deltasının önemli bir kısmı da sel ve erozyon nedeniyle kaybedilebilir.
- Pasifik Okyanusu'ndaki ada ülkeleri ve kıyılarda yerleşen toplumlar kıyı erozyonu ve kıyı selleri tehlikesine açıktır.
- Marşal Adaları, toplam kara alanının %80'nini kaybedebilir.
- Kıyı sel ve erozyonları Batı ve Orta Afrika'nın alçak seviyeli (Angola, Kamerun, Gabon, Gambiya, Nijerya, Senegal ve Sierra Leone gibi) ülkelerini de ciddi bir şekilde etkileyecektir. Bu ülkelerde yerleşim ve sanayi hızla deniz kıyısına kaymakta ve gelişmektedir.

Böylece diğer Akdeniz ülkeleri gibi Türkiye için de en büyük problem, deniz seviyesindeki yükselmeler olacaktır.

Deniz tuzları, toprağın tuzu haline dönüştüğünde büyük problemlere neden olurlar. Tarım alanları tuzlu su girişimiyle, önceleri büyük verim kayıplarına uğrarken sonraları da tamamen kullanılmaz hale gelirler. Ayrıca tuzlu su girişimi probleminin, çoğu zaman kısa bir süre içinde çözülememesi de problemin önemini daha da arttırmaktadır. Tuzlu su ile mücadelede temel amaç, bitki köklerini sularken tuzlu suyun köklerinedek ulaşmasını önlemektir. Artan yağışlar kıyı alanlarındaki tuzları eriterek de biyolojik sistemlere zarar verebilir. Düşük yerel yağış miktarları ise, tuzlu deniz suyunun kara içlerine doğru girişini arttırır. Aynı zamanda fırtınaların artan frekans ve şiddeti kıyı şehirlerini, deltaları ve ovaları ciddi bir şekilde etkiler.

Yükselen okyanus sularının ülkelerini yok edeceğini öngören Küçük Ada Ülkeleri Birliği'nin başkanı küresel iklim değişimi tartışmalarını gereksiz ve tehlikeli olduğunu düşünerek "korkarım hayatımızı kaybetmemiz küresel ısınmanın en iyi delili olacaktır" demiştir. Fakat gelişmiş ülkelerde tartışılan soru şudur: Kıyı şeridindeki yerleşim alanlarımız yükselen deniz suyu ile kaplanırsa mı daha fazla ekonomik kaybımız olur, yoksa kıyılarımızda su baskınlarını önlemek için devasa setler inşa etmek zorunda kalırsak mı? İngiltere'de son yıllarda yapılan bir çalışma ise kıyılardan geri çekilmenin daha ekonomik ve doğru olacağı söylüyor.

Böylece, küresel ölçekteki bu ısınmanın ülkelere nasıl yansıyacağı, ısınma sonucu kutup ve dağ buzullarındaki erime dolayısıyla yükselen deniz suyu seviyelerinin ada ve kıyı ülkelerini nasıl etkileyeceği konusundaki bilimsel araştırmalar tüm Dünya'da yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Türkiye kıyıları için deniz suyu seviye ölçümlerinin mevcut olup olmadığı, mevcut ise analiz edilip edilmediklerini bilemiyoruz. Fakat, Karadeniz Otoyolu gibi yatırımları denizin tam içinde yapmayı ise iyi biliyoruz!

4.6. Geri Besleme: Su buharı, Bulutlar ve Buzul Çağı

Atmosferin, karşılıklı etkileşen kompleks bir sistem olması dolayısıyla ile, bilim insanlarının sistemin herhangi bir elemanındaki değişikliğin diğer elemanlarda neden olacağı olası değişiklikleri de incelemesi gerekir. Bu olası değişiklikler iklimsel *geri besleme mekanizması*dır.

Her şeye rağmen, atmosferin kimyasal bileşimini değiştiren insan etkilerinin neden olduğu küresel ısınma problemi halen iklim değişiminde, üzerinde çalışılan en önemli konu olmak özelliğini korumakta, bununla beraber, atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazlarındaki artış, maalesef bizleri daha sıcak ve değişik bir iklime doğru götürmektedir. Örneğin, günümüzün atmosferik modelleri, iklim sisteminde yüksek albedoların negatif etkilerinin daha baskın olduğunu göstermiştir. Bu nedenle bulutsuzluktaki artışla birlikte, yeryüzünden ısı kaybı fazla olacağı için hava sıcaklığında azalmaya neden olacaktır. Negatif geri beslemenin büyüklüğüne, pozitif geri beslemedeki nem artışı neden olduğu için, pek fazla inanılmamaktadır. Şimdi bunları daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki örnekleri inceleyeceğiz.

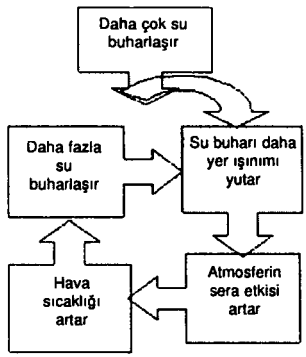
Bölüm 1.2'de albedo konusunu incelerken fark ettiyseniz artık, Dünya yüzeyinin rengi ile birlikte Dünya'nın albedosunu değiştirerek iklimini de değiştirebiliriz. Zaten bunu belki de farkında olmadan örneğin, geçmiş 100 yılda atmosferi sanayileşme nedeniyle daha fazla toz partikülü vb. aerosoller ile doldurarak başarıyoruz. Bu aerosoller Dünya'nın albedosunu artırarak soğuma etkisi yaratıyor. Bu yüzden; bazı meteorologlar 1940'den beri yer yer gözlenen bazı soğumalardan albedonun soğutma etkisini sorumlu tutmaktadır. (Bölüm 5'de Türkiye'de de yer yer görülen soğumaları açıklarken bu konuya döneceğiz.)

Bölüm 3'de gördüğümüz gibi büyük volkan patlamalarında da stratosferde binlerce ton toz birikebilir ve bu tozlar stratosferde aylarca veya yıllarca kalabilir. Volkanik tozlar da dünyanın albedosunu ar-

tırır. Aslında bunun yaşanmış örnekleri de vardır. Örneğin, 1883'de Krakatoa ve 1815'de Tambora volkan patlamalarından sonra bu nedenle daha soğuk kışlar yaşanmıştı.

Günümüz dünyasında eski zamanlardaki kadar volkanlar etkin değil; insanlar etkin! Böylece, şu an bizler daha sıcak bir iklim olasılığı üzerine yoğunlaşmış durumdayız. Bu nedenle önce küresel ısınma durumunu ele alalım. Yıllar boyunca hava sıcaklıkları yavaşça yükseliyor ve okyanuslardan su, sıcak havaya daha fazla buharlaşarak taşınıyor. Havada miktarı artan subuharı da dünyadan gelen kırmızıaltı ışınımı daha fazla yutarak atmosferin sera etkisini kuvvetlendiriyor. Atmosferin sera etkisi kuvvetlenince hava sıcaklığı daha da artıyor, artan hava sıcaklığı sonuçta daha fazla suyun buharlaşarak atmosfere karışmasına neden oluyor. Böylece atmosferin sera etkisi kuvvetlenip hava sıcaklıkları daha da yükseliyor (Şekil 4.9). Bu durum *su buharı-artan sıcaklık geri beslemesi* olarak bilinir. Bu olay, başlangıç sıcaklığındaki artış diğer olaylar tarafından da desteklendiği için, *pozitif geri besleme mekanizması* olarak adlandırılır.

Ahrens'e (1988) göre tüm geri besleme mekanizmaları aynı anda ve iki yönde çalışır. Örneğin, küresel ısınma yüksek enlemlerdeki kar ve buzulların erimesine neden olabilir. Bu erime sonucu; yüzeyin albedosu azalarak daha fazla güneş enerjisi yere ulaşacak ve hava sıcaklığı daha da artacaktır. Eğer *su buharı-artan sıcaklık geri besleme mekanizması* kontrol altına alınmazsa, Dünya'nın hava sıcaklığı, okyanusların suyu tümüyle buharlaşana kadar devam edecektir. Bu tür bir zincirleme reaksiyon *atmosferin kaçak sera etkisi* olarak adlandırılır. Bu tür bir sera etkisine Dünya-atmosfer sistemindeki kontrol ve dengeler izin vermez. Örneğin, yeryüzü hava sıcaklığındaki küçük bir artış, yerden yayılan kızıl-altı ışınım da büyük artışa neden olur (yeryüzü sıcaklığı iki kat artarsa, yerden yayılan enerji miktarı 16 kat artar!). Böylece, yeryüzünden uzaya kaçan enerji yerdeki sıcaklık artışını yavaşlatarak iklimin dengede kalmasına yardımcı olur.



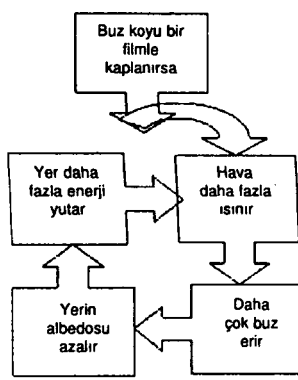
Şekil 4.9. Su buharı-artan sıcaklık (pozitif) geri besleme mekanizması. Küresel ısınmaya neden olur.

Gedzelman'a göre sadece bir beyin jimnastiği olsun diye düşünelim: Eğer milyonlarca kilometre kare buz, koyu renkli ince bir film ile kaplansa ne olur? Bölüm 1.2'de anlatıldığı gibi böyle bir durumda albedo azalacak ve yeryüzü daha fazla ısınacaktır. Yeryüzüne temas eden hava ısınacak, ısınan hava daha fazla buzun erimesine neden olacak o da yeryüzünün albedosunu azaltacak ve dolayısıyla hava sıcaklığının daha fazla artmasına neden olacaktır (Şekil 4.10).

Böylece tüm buzlar eriyene kadar atmosferdeki ısınma devam edecektir. Artık bu şekilde buzul çağlarını durduracak bir teknolojiyede sahip olduğumuzu fark etmişsinizdir herhalde! Fakat eriyen buzullardan ortaya çıkan milyonlarca küp erimiş buz okyanuslara akarak deniz su seviyelerinin yükselmesine neden olacaktır. Türkiye'nin üç kenarını çeviren kıyıları ile birlikte İstanbul, New York ve Tokyo gibi dünyanın bir çok büyük şehri sular altında kalacaktır.

Dünya'nın oto kontrol mekanizmaları şu an hızla devam eden küresel ısınmaya, tüm buzulların erimesine kadar veya sonsuza dek izin vermeyecektir şüphesiz. Buna da biz *negatif geri besleme mekaniz-*

ması (negative feedback mechanisms) diyoruz. Geri besleme mekanizmasının en belirgin özelliği, yüksek yüzey sıcaklığının fazla buharlaşmaya neden olması dolayısıyla karbondioksit oranındaki artıştır. Bu geri besleme atmosferdeki su buharını artırır. Hatırlatmak gerekirse su buharı, karbondioksitten daha kuvvetli ışınım yutucudur. Böylelikle havadaki subuharı, karbondioksitin hava sıcaklığını artırmasına yardımcı olmuştur. Şu ana kadar iklimsel geri besleme mekanizmasının karbondioksit oranındaki artışla, hava sıcaklığındaki artışa olan etkisinden söz edildi. Çünkü bu etken ilk değişimi kuvvetlendirdi ve ***pozitif geri besleme mekanizması*** olarak ifade edildi. Bunun dışında kalanlar ise, ilk değişmelere karşı tepki vererek, onları telafi etmeye çalıştıkları için ***negatif geri besleme mekanizması*** olarak adlandırılır.

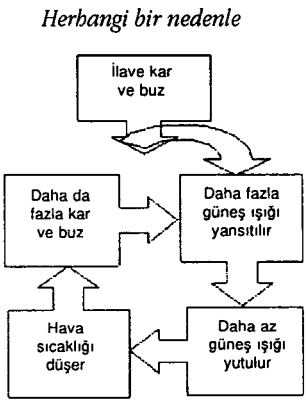


Şekil 4.10. Yapay bir pozitif geri besleme mekanizması ile küresel ısınmanın artırılması.

Jeolojik zamanlardaki volkan patlamalarının bize gösterdiğine göre her zaman buzul çağının kendiliğinden başlama ihtimali de vardır. Örneğin, havanın doğal değişkenliği nedeniyle bir kış görülmemiş bir şekilde soğuk olabilir. Toprağa göre kar daha büyük albedoya sahip olduğundan, dünyaya gelen güneş ışınları normalden daha fazla miktarda geri yansıyacaktır. Böylece normalden daha az güneş ışığı yeryüzü tarafından yutulacak ve hava sıcaklığı düşecektir.

Bu örnekten de anlaşılacağı üzere bu tür bir olay zincirleme bir tepkimeyi başlatabilmektedir. Dünya'da herhangi bir nedenle hava sıcaklığı düşünce sadece (yağmur yerine) daha kolay bir şekilde kar yağmayacak, aynı zamanda okyanus ve deniz suları da daha kolay donacaktır. Buz diğer yeryüzü cisimlerinden daha büyük albedoya sahip olduğu için dünya yüzeyinden daha fazla güneş ışığı geri yansıtarak daha fazla soğumaya neden olacak ve bu böylece devam edecektir. Bu zincirleme tepkime pozitif geri besleme mekanizması olarak adlandırılır (Şekil 4.11). Atmosferde daha bir çok hava şartlarını ve iklimi etkileyen (hem negatif hem de pozitif olmak üzere) geri besleme mekanizmaları vardır.

Buz-albedo geri besleme mekanizması bir çok buzul çağı teorisinin temelini oluşturur. Örneğin, Gedzelman'ın (1980) yaptığı hesaplara göre tüm dünya buz ile kaplı olsaydı, ekvatorda bile buzlar eriyemeyecek kadar Dünya'nın hava sıcaklığı düşük olurdu. Bir başka teoriye göre eğer buz örtüsü 40° enleminin ekvator tarafına geçerse zincirleme reaksiyonlar başlar ve buzullar ekvatora kadar ulaşır.

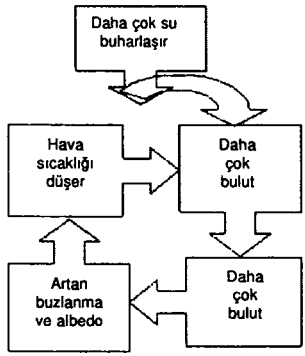


Şekil 4.11. Kar-albedo (negatif) geri besleme mekanizması. Küresel soğumaya neden olur.

Hava sıcaklığı arttıkça atmosferdeki nem miktarının; küresel bulutlanmanın arttığını kabul edelim. Artan bulut örtüsü Güneş'ten gelen ışınları büyük ölçüde geri yansıtacağı için yeryüzü daha az güneş enerjisi ile ısıtılacak ve ısınma yavaşlayacaktır. Bu pozitif geri besleme mekanizması *kar-albedo geri besleme mekanizması* olarak adlandırılır (Şekil 4.11).

Gördüğünüz gibi kar-albedo pozitif geri besleme mekanizması küresel ısınmaya neden olur, fakat aynı zamanda buzul çağına da neden olabilir. Örneğin, Dünya uzun yıllardan beri yavaşça ısınma eğilimine girmiş olsun. Düşen hava sıcaklıkları orta ve yüksek enlemlerde daha fazla kar örtüsüne ve bu artan kar örtüsü de yeryüzünün albedosunu artırarak güneş ışınlarının uzaya doğru yansıtılmasına neden olur. Eğer bu olay kontrol edilmezse kar-albedo geri beslemesi *kaçak buzul çağına* neden olur. Şüphesiz dünya atmosferinde bu da hiç mümkün değildir; diğer geri besleme mekanizmaları bu soğumayı engellemek için çalışır.

Şekil 4.9'da su buharı-artan sıcaklık (pozitif) geri besleme mekanizmasını görmüştük. Küresel ısınmaya neden olan bu geri besleme mekanizması da "geri besleme mekanizmaları aynı anda ve iki yönde çalışır" ilkesine göre aynı zamanda buzul çağına da neden olabilir (Şekil 4.12). Örneğin, atmosferdeki su buharınını artması atmosferin sera etkisini artıracaktır. Hava ısındıkca, açık suyu yüzeylerinden daha fazla su buharlaşacaktır. Bu da atmosferdeki sera etkisini kuvvetlendirerek, havanın daha artmasına neden olacaktır. Birçok bulut aynı zamanda hem çok iyi ısı yutucudur hem de iyi bir ısı yansıticısıdır. Bundan dolayı bulutların iki etkisi vardır. Birincisi, bulutların gelen güneş radyasyonunu yansıtması ile albedonun artması, yani negatif geri besleme mekanizması; ikincisi ise, troposferden dışarı kaçmakta olan ışınımın tutularak pozitif geri besleme mekanizması oluşturmasıdır. Peki hangisinin etkisi daha kuvvetlidir? Biz burada bulutun negatif geri besleme mekanizmasının daha kuvvetli olması durumuna bakacağız.



Şekil 4.12. Bulutluluk-düşen sıcaklık (pozitif) geri besleme mekanizması. Küresel soğumaya ve dünyanın buzul çağına geri dönüşü.

Dünyanın küresel ısınmaya tepkisi ile bu ısınma sürecini şöyle durdurması bekleniyor: Şu anki küresel ısınma okyanuslar gibi açık su yüzeylerinden büyük ölçüde suyun buharlaşmasına da neden olmaktadır. Atmosferde su buharının artışı ile birlikte bulutlanma artmakta ve artan bulutlanma güneş ışınlarının yer yüzeyine ulaşmasını azaltmaktadır. Bu şekilde artan bulutlanma çok yoğun bir hal aldığında yer yüzeyine ulaşabilen güneş ışını, diğer bir deyişle güneş enerjisi, önemli ölçüde azalacaktır. Düşen hava sıcaklıkları nedeniyle yağışlar daha çok kar şeklinde olabilecek ve yer yüzeyi güneş ışınlarını daha fazla yansıtarak hava sıcaklıklarının daha da düşmesine neden olacaktır. Bu da "pozitif geri besleme mekanizması"dır (positive feedback mechanisms). Bunun sonucu olarak da dünya bir soğuma ve buzul çağı sürecine girebilir (Şekil 4.12).

Küresel soğumaya ve dünyanın buzul çağına geri dönüşü süreci kaç yüzyıl veya binyıl sonra başlar sorusu şu an üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bilimsel konulardan biridir. Geri besleme mekanizması küresel ısınmayı durdurana kadar, yeryüzeyinde bizim bildiğimiz şekilde bir yaşam sürüp sürmeyeceği de şüphelidir...

BEŞİNCİ BÖLÜM

Türkiye'de İklim Değişimi ve Olası Etkileri

Bildiğiniz gibi atmosfer bilimcileri, ağaç halkaları, polen sporları, buzul örnekleri, eskiden kalma su yapıları, arkeolojik kalıntılar, tarihsel kayıtlar, tortul kayalar, deniz canlılarının kabukları vb. gibi bir çok şeyi kullanarak geçmişteki iklim değişimlerini belirlemek için sürekli olarak çalışmaktadırlar. Ayrıca, sayısal iklim modelleri ile atmosferin genel dolaşımını modelleyerek geleceğin iklim şartlarını da tahmin etmeye uğraşmaktadırlar.

Peki şimdi iklimimize neler oluyor? Şu anki durumumuz nedir? Gerçekten 2030 yılı için yapılan senaryolar, şu içinde bulunduğumuz günlerde ülkemizde gerçekleşiyor mu? Bu nedenle, bu bölümde öncelikle Türkiye'deki hava sıcaklıkları ve yağış durumuna bir göz atacak, daha sonra ise iklimin Türkiye'nin enerji ve tarım sektörleri ile birlikte su kaynaklarına yapacağı olası etkilerle ilgili literatürden bazı özet bilgiler aktaracağım. Son olarak da iklim değişikliğinin Türkiye'de olası diğer etkileri üzerindeki senaryoları inceleyeceğiz.

Şu anki meteorolojik gözlemlerden elde ettiğimiz sonuçları iklim modellerinin tahminleri ile de karşılaştırmak istiyorum. Bu nedenle, Genel Sirkülasyon Modelleri (Bölüm 4.3'te bahsedilip Tablo 4.3'te özetlenen) ile IPCC'nin 2030 yılını hedefleyerek ürettiği senaryolar ile hava sıcaklığı ve yağış üzerine yaptığı aşağıda verilen tahminleri bu bölümü okurken aklımızda tutmalıyız:

Güney Avrupa ile birlikte Türkiye için yapılan tahminlere göre
Sıcaklık kışın 2°C artacak, yazın 2 ila 3°C artacak,
Yağış kışın %0,1 ila %10 artacak ve yazın %5 ila %15 azalacak.

Türkiye'ye geçmeden önce meteorolojik kayıtlara göre Dünya genelinde geçen yüzyıl boyunca yıllık ortalama hava sıcaklıklarının 0,45

ila 0,6°C artmış; yağışların karalar üzerinde %1 arttığı ve deniz su seviyelerinin de 15 ila 20 cm yükselmiş olduğunu hatırlayalım. Sıcaklık artışı geceleyin yaklaşık olarak gündüzdeki ısınmadan iki kat daha fazladır. Diğer bir deyişle şehirler, kırsal alanlara göre daha hızlı ısınmıştır. Bunun yanısıra, küresel hava sıcaklıkları 1940'lardan 1970'lere hafifçe düşmüş, fakat son 25 yıl içinde de artış trendine girmiştir.

5.1. Türkiye'de Hava Sıcaklıkları ve Yağıştaki Eğilimler

Atmosferin küresel ölçekte giderek ısınması sonucu iklimimizin nasıl değişeceği ve bunun çevre ile toplumu nasıl etkileyeceği üzerine günümüzde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Ülkemizde yapılan bu tür çalışmaların bir kısmında iklim verilerimizde önemli değişimler tespit edilmiştir. Dünyanın çeşitli yerlerinde iklim değişimlerini tespit etmek için yapılan eğilim analizi çalışmalarında değişik yöntemler kullanılmaktadır. Konuyu dağıtmamak ve teknik olmamak için bu yöntemler ve veri ile ilgili işlemler burada anlatılmayacaktır.

Fakat burada özellikle iki konuya değinmek yararlı olacaktır: Birincisi, iklim değişimi çalışmalarında doğru ve uzun zaman serilerine gereksinim vardır. Atmosferik süreçler dışındaki etkiler (yine insanların yaşam biçimi sonucu!) ile bozulmuş olan meteorolojik verileri düzeltmeden kullanmak büyük hatalara yol açar. Bu nedenle, sonuçlarından burada bahsedilen veriler, çeşitli testlere tabi tutulup güvenilirlikleri uygun bulunduktan sonra kullanılmıştır. İkincisi ise, veriye uygun analiz yönteminin bulunmasıdır, çünkü daha çok sekreterlerin işlerini görmek için üretilmiş olan MS Excel ve benzeri bilgisayar programları ile bazı konulara dikkat edilmeden yapılan trend veya regresyon analizleri çok yanlış sonuçlar vermektedir. Özellikle, Türkiye'de mevcut verilerinin özelliklerine bakmadan regresyon yöntemi-

ni yanlış bir şekilde kullananın sayısı azımsanmayacak kadar çoktur... Bu bölümdeki sonuçların, verilerin normal dağılıma uyma şartını istemeyen, verideki eksikliklerden ve hatalardan fazla etkilenmeyen Mann-Kendal Rank İstatistiği yöntemi kullanılarak elde edilmiş olduğunu söylemek isterim. Bu yöntemlerle verilerdeki değişimin başladığı zaman da kolayca belirlenebilmektedir.

Türkiye'de iklim sisteminin doğal değişiminin göstergesini ve büyüklüğünü tahmin etmek için, yeterli veri olmaması ya da mevcut veriye kolayca ulaşılamamasından dolayı iklim trendlerini saptamakla ilgili çalışmalar çok yeni ve sınırlı sayıdadır. Yurtdışında yapılan bu tür çalışmaları takip ettiğimiz kadarıyla, Türkiye'ye özgü 'iklim değişimi' çalışmalarımız henüz istenen düzeye ulaşamamıştır. DMİ'nin verileri, Türk bilim insanına da ücret karşılığı vermesi bu çalışmaları önemli ölçüde azaltmıştır.

Ülkemizde yıllık ortalama hava sıcaklıklarıyla ilgili ilk çalışma, Erinç (1969) tarafından yapılan, İstanbul'da 1860'dan başlayıp 90 yılı kapsayan bir çalışmadır. Erinç (1969), yıllık ortalama sıcaklıkların 2°C yükselerek düzensiz bir şekilde değiştiğini belirlemiştir. Türkiye'de coğrafya bilimine büyük katkıları olan Sırrı Erinç Hoca'nın bu konuya da öncülük etmiş olması hiç de tesadüf değildir.

Yakın bir zamanda yapılan diğer çalışmalarda Türkeş ve diğ. (1992), 1930 ve 1980 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklıkların yaklaşık 0,5°C yükseldiği sonucuna varılmıştır. En önemli bulgu 1961-1980 yılları boyunca yıllık ortalama sıcaklıklarda zayıf bir soğuma trendinin olmasına karşılık, ısınma trendinin düzenli olmasıdır. Bunun dışında Türkeş ve ark., (1995), iklim değişikliği açısından 85 istasyon üzerinde grafiksel ve istatistiksel zaman serisi metodlarını kullanarak Türkiye'de yıllık ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen değişimleri ve trendleri belirlemek amacıyla çalışmalar yapmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde İklim Değişikliği Araştırma Birimi sorumlusu olarak Dr. Murat Türkeş ve çalışma arkadaşları 1993'den beri Türkiye'nin sı-

caklık ve yağışları üzerine önemli çalışmalar yapmışlardır.

Bildiğimiz kadarı ile Türkiye'de iklim değişimini konu alan ilk tez Toros (1993) tarafından yapılan çalışmadır. Toros, klimatolojik zaman serilerini kullanarak Türkiye ikliminde meydana gelen trendleri belirlemiştir. Türkeş, Toros ve Kadıoğlu tarafından yapılan trend analizlerinde Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Kadıoğlu (1993, 1997) yapmış olduğu çalışmalarda Türkiye'de ortalama sıcaklıkların 1939'dan 1989'a kadar bir artış (ısınma) trendine sahip olduğunu ve minimum (gece) hava sıcaklıklarında özellikle ilkbahar mevsimi boyunca önemli bir artış görüldüğü belirtilmiştir.

Şimdi kısaca 60 yıllık zaman dilimi içinde Türkiye'de gözlenen gece ile gündüz sıcaklıklarıyla yağış miktarlarında tespit edilen değişimlerin ayrıntılarından bahsedilecektir. Çalışmamızda genellikle verilerinin gözlem başlangıç tarihleri 1930 ile bitiş tarihleri 1990 yılı arasında olan DMİ istasyonları aylık yağış toplamları dikkate alınmıştır. Meteorolojik mevsim tanımına uygun olarak bu aylık değerler, kış (bir önceki yılın aralık ayı ve bir sonraki yılın ocak ve şubat ayları); ilkbahar (mart, nisan ve mayıs); yaz (haziran, temmuz ve ağustos); sonbahar (eylül, ekim ve kasım ayları) olarak sınıflandırılıp ayrı ayrı incelenmiştir.

Gündüz Sıcaklıkları:

Türkiye'nin, kış ve ilkbahar mevsimi gibi ısınma ihtiyacının yüksek olduğu yılın soğuk yarısında, gündüz sıcaklıklarında önemli olmayan küçük artış eğilimleri vardır (Tablo 5.1). Tablo 5.1'de Türkiye genelinde, 1939-1989 dönemi boyunca 51 yılda ortaya çıkan ortalama mevsimsel, gece, gündüz ve ortalama günlük hava sıcaklıklarındaki toplam değişimler (°C) verilmiştir (Kadıoğlu, 1997). Gündüz sıcaklıklarındaki bu eğilimler şu an istatistiksel olarak önemli değildir. Bu küçük miktarlardaki ısınmanın içinde, atmosferin küresel ölçekteki ısınması ile birlikte şehirleşmenin neden olduğu "ısı adaları" gibi etkenlerin de rol oynadığı sanılmaktadır.

Tablo 5.1. Türkiye genelinde ve 1939-1989 dönemi boyunca ortalama mevsimsel sıcaklıklardaki toplam değişimler (°C/51 yıl). *, sonucun %5; **, ise %1 seviyesinde önemli olduğunu gösterir (Kadıoğlu, 1997).

	Hava Sıcaklıkları (°C)		
	Minimum (gece)	**Maksimum**(gündüz)	**Ortalama**
Kış	+1,071	+0,357	+0,714
İlkbahar	+1,326**	+0,663	+0,969*
Yaz	+0,357	-0,204	+0,102
Sonbahar	-0,255	-0,714	-0,459
Yıllık	+0,632*	+0,015	+0,321

Yine Tablo 5.1'den görüldüğü gibi yılın sıcak yarısındaki (yaz ve sonbahar aylarındaki) gündüz sıcaklıklarında da, son 20-30 yılda önemli olmayan küçük bir soğuma eğilimi vardır. Bu da kükürt ve diğer gaz atıklarının bulutların parlaklığını (albedosunu) arttırıp bulutların güneş ışınlarını daha fazla yansıtmasına ve böylece güneş ışınlarının gündüz yere ulaşamamasına bağlanmaktadır. Böylece kükürt kirliliği küresel ısınmayı yer yer yavaşlatmaktadır. (Volkanların soğutma etkisine bezer bir durum, daha fazla bilgi için Bölüm 3.1'e bakınız.) Genellikle bu soğumada, Avrupa'dan sınırlarımızı aşarak ülkemize taşınan aerosollar da büyük rol oynamaktadır. Ayrıca Muğla'dakine benzer şekilde büyük miktarda kömür tüketen termik santralları ile birlikte büyük şehirlerin rüzgâr altına gelen yerlerde bu soğuma daha belirgin olmaktadır.

Sonuç olarak istatistiksel anlamda, Türkiye genelinde gündüz sıcaklıklarında şu an için önemli bir değişim görülmemiştir.

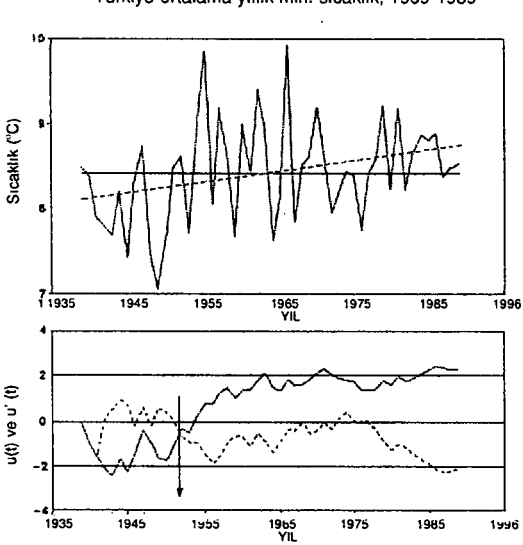
Gece Sıcaklıkları

Gece sıcaklıklarında (minimum hava sıcaklıklarında) ise yılın soğuk yarısındaki (kış ve ilkbahar aylarındaki) trendler genelde pozitif, sa-

dece sonbahar aylarında negatiftir (Tablo 5.1). Bunlar da yine büyük ölçüde nüfus artışı, yoğun ve çarpık şehirleşmeden dolayı ortaya çıkan yerel ısınmaları (şehir ısı adalarını) yansıtmaktadır. Ayrıca yılın soğuk kısmında ısınma ihtiyacımızı karşılarken kükürt gibi atmosfere saldığımız fosil yakıt atıkları, geceleyin yeryüzeyinin soğumasını önleyen ilave bir sera gazı gibi görev görmektedir. Böylece kükürt ve benzeri aerosollar gündüz ısınmayı yavaşlatırken, geceleyin de hava sıcaklığını arttırmaktadır. Bunun da bir sonucu olarak özellikle büyük şehirlerimizde ve daha çok yaz aylarında olmak üzere gece-gündüz sıcaklık farkları azalmıştır.

Gece sıcaklıklardaki değişimin gündüz sıcaklıklarından farkı, istatistiksel anlamda, gece sıcaklıklarındaki trendlerin daha önemli olmasıdır. Özellikle ilkbaharda daha yaygın ve kuvvetli olmak üzere, Türkiye genelinde gece sıcaklıklarında önemli artışlar belirlenmiştir.

Sonuç olarak, gece sıcaklıklarımız 1939'dan 1949'a kadar azalmıştır; sonra da hızla artarak 1950 ile 1970 arasında çok yüksek değerlere ulaştıktan sonra 1990'lara kadar azalmıştır. Burada incelenen tüm veri periyotuna bakılınca, Şekil 5.1'in alt kısmından görüldüğü gibi, Türkiye'de gece sıcaklıklarındaki artış 1955 yılından sonra başlamıştır. Sonuç olarak 51 yılda artan ortalama hava sıcaklıkları kışın +0,7°C ve yazın +0,1°C'lik bir değere ulaşmıştır. Halbuki, IPCC'nin 1860-2030 dönemi için sıcaklık tahminlerine göre ortalama hava sıcaklığı kışın 2°C ve yazın ise 2 ila 3°C artacaktı. Tablo 5.1'e göre bu değerlere en yakın değişim göstermiş olan mevsim, kış olmaktadır. Yaz aylarında ortalama sıcaklıklardaki artış çok düşük kalmıştır. Bununla beraber her ne kadar tümüyle küresel ısınmanın bir sonucu olmasa dahi yine de sonuç olarak IPCC ve diğer iklim modellerin öngördüğü gibi kış ve yaz aylarında Türkiye'de ortalama hava sıcaklıkları artmaktadır.



Şekil 5.1. Şeklin üst kısımda Türkiyenin yıllık ortalama gece (minimum) hava sıcaklıklarının yıllara göre değişimi, doğrusal eğilim hattı (kesikli düz çizi) ve ortalaması. Alt kısımda ise düz ve kesikli cizgilerinin birleştiği yer, Mann-Kendall eğilim testine göre, önemli trendin başlangıç yılıdır (Kadıoğlu, 1997).

Türkiye'de Yerel Yağış Değişimleri

Meteorolojik kayıtlara göre dünya genelinde geçen yüzyıl boyunca karalar üzerinde yaklaşık olarak %1 olan yağış artışı, daha çok yukarı enlemler diye adlandırılan kutuplara yakın bölgelerde olmuştur; ekvator civarındaki tropikal bölgede ise yağışlar azalmıştır (Diaz ve ark. 1989). Kutuplar ile tropiklerin ortasında bir yerde bulunan ülkemiz için durum bunların ortalaması mıdır?

Tablo 5.2'de Türkiye genelinde ve 1932-1990 dönemi boyunca 59 yılda ortaya çıkan ortalama toplam mevsimsel yağışlardaki değişimler (kg) verilmiştir (Kadıoğlu, 1997b). Mevsimsel olarak yağış toplamlarında, önemli olmasa da, özellikle kış aylarında bir azalış ilkbaharda ise artış eğilimi vardır. Genelinde Akdeniz ikliminin etkisini daha fazla hisseden Türkiye, yağışının büyük kısmını kış aylarında ülkemize

gelen cephe sistemlerinden almaktadır. Bunun için Tablo 5.2'de görüldüğü gibi kış aylarındaki yağışta ortaya çıkan azalma bizim için çok önemlidir. Kırkikindi gibi konvektif yağışların etkili olduğu ilkbahar aylarında ise yağışların artıyor olması ilginç ve biraz da tehlikelidir. Bilindiği gibi daha çok bahar aylarında Türkiye'de gökgürültülü sağanak yağışlar görülür ve bu yağışlar yer yer sellere de neden olabilmektedir. Aynı zamanda ilkbaharda görülen yağmurlar kıştan kalan kar örtüsünün de hızla erimesine neden olur.

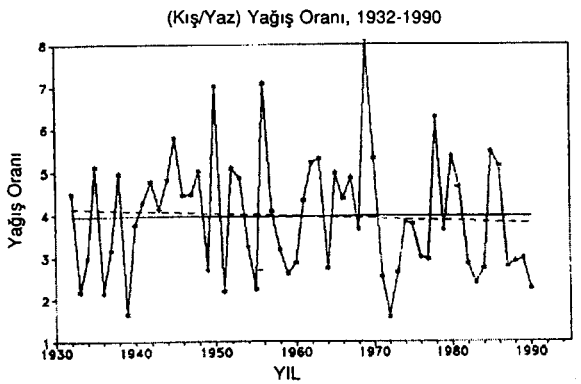
Tablo 5.2. Türkiye genelinde ve 1932-1990 dönemi boyunca toplam mevsimsel yağışlarındaki değişimler (kg/59 yıl) (Kadıoğlu, 1997b).

Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıllık
-18,23	+10,97	-2,54	+0,41	-8,39

Türkiye geneline ait aylık toplam yağış verilerine göre Türkiye'de gözlenen yağış miktarlarında yaklaşık olarak 60 yıllık zaman dilimi içinde tespit edilen değişimler kısaca şöyledir: Bir kaç ilimiz hariç, 1930-1990 döneminde Türkiye genelindeki yağış miktarlarında istatiksel anlamda önemli bir değişim görülmemektedir. Ancak 1990'a kadar (istatiksel anlamda o zamanlar önemsiz olan) bu trendlerin büyük çoğunlukla negatif olması, Türkiye'nin aldığı yağışların 1970'in başından beri azalma eğilimine girmiş olduğuna ve günümüzdeki kuraklığa dair 1990'da ortaya çıkan önemli bir işarettir. Artan nüfus, sanayi, sulu tarım ve hava sıcaklıkları ile orantılı artan su ihtiyacı yanında, yağışlardaki bu azalış eğilimi ve dolayısıyla günümüzde yaşadığımız kuraklık, özellikle yakın gelecekte ortaya çıkabilecek daha büyük su sorunları için uzun zamandır alarm zilleri çalmaktadır.

Ne yazık ki Diaz ve arkadaşlarının veya benzeri diğer çalışmaların belirlediği %1'lik küresel yağış artışından Türkiye nasibini alamamıştır. Tropikal enlemlere benzer şekilde Türkiye'de de yağışlar azalmıştır. Peki, IPCC'nin 2030 yılı için Türkiye'de yağışların kışın artacağını

fakat yazın azalacağını gösteren yağış tahminlerine ne demeli? Diğer bir deyişle (kış/yaz) yağış oranının artacağı tahmin edilmektedir. Ben de bunun için bu oranın Türkiye geneli için yıllara göre değişimini, ortalama ve eğimini belirleyip Şekil 5.2'de gösterdim. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi IPCC'nin kullandığı genel sirkülasyon modelleri tahminlerinin tam tersine bir yağış durumu var Türkiye'de; kış aylarında yağışlarımız artmıyor ve yazın da yağışlarımız azalmıyor hatta bunun tam tersi bir durum ile karşı karşıyayız. Dünyanın değişik yerlerinde yapılan benzer çalışmalarda da iklim modellerinin yaptığı tahminlerin henüz yağış gözlemlerinde belirmediği görülmüştür (Karl, 1988).



Şekil 5.2. Türkiye'nin 1932-1990 dönemi için ortalama toplam kış/yaz yağışlarını oranının yıllara göre değişimi, doğrusal eğilim hattı (kesikli düz çizi) ve ortalaması (Kadıoğlu, 1997b).

Özet olarak Türkiye genelinden seçilen bir kaç ilin sıcaklık ve yağış verilerinden elde ettiğimiz sonuçlara göre, Türkiye'de gece sıcaklıklarında önemli artışlar gözlenmektedir; gündüz sıcaklıklarında ve yağışta ise henüz önemli bir değişiklik olmamıştır. Bu bulgularımız ABD, Çin ve eski Sovyetler Birliği'nde incelenen toplam 747 meteoroloji istasyonun hava sıcaklığı ve yağış sonuçlarına bütünüyle benzerdir.

5.2. Enerji: Isıtma ve Soğutma İhtiyacındaki Değişim

Enerji, modern toplumların en temel gereksinimlerinden biridir; gelişmiş ülkeler ve endüstri toplumları için hayat damarıdır. Öyle ki 1950 yılında 2,5 milyar olan Dünya nüfusu, 1987 yılında 5 milyar sınırını aşarak 1993'de 5,4 milyara ulaşmış, fakat bu süre içerisinde enerji kullanımı yaklaşık 4 kat artış göstermiştir. Artık enerjinin bir an dahi kesilmesi halinde sosyo-ekonomik hayat felç olmakta, bir çok etkinlik durma noktasına gelmektedir. Kısacası enerji, teknolojik toplumun her şeyidir. Ne yazık ki enerji tüketimini etkileyen en önemli etkenlerin başında hava şartları ve iklim geldiği gibi, iklimi etkileyen önemli etkenlerden biri de enerji olmuştur. İklim değişiminin enerji talepleri üzerindeki potansiyel etkisi, özellikle gelişmekte olan ve petrol üreticisi olmayan ülkeler için çok önemlidir.



Enerji üreticileri, karbon dioksit gibi sera gazlarının atmosferdeki miktarlarında artışa neden oldukları için iklim değişiminden sorumludurlar. Bir yerde nüfusun artması ısıtma yakıt ihtiyacının da artmasına ve dolayısıyla CO_2 emisyon miktarının atmosferde yükselmesine yol açar. Bu yüzden, iklim değişimi problemi yalnızca dünyanın ekosistemlerindeki değişim etkilerine değil, aynı zamanda enerji tüketimi ve sera gazları emisyonlarına, dolayısıyla nüfus yoğunluğuna da bağlıdır. İklim değişiminin, Türkiye'deki yapıların ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimlerini ne ölçüde etkilediği kesin olarak belirlenmiş değildir. Diğer taraftan, iklimdeki değişimin miktarlarını saptamak, herhangi bir ülkedeki enerji tüketimi açısından önemlidir.

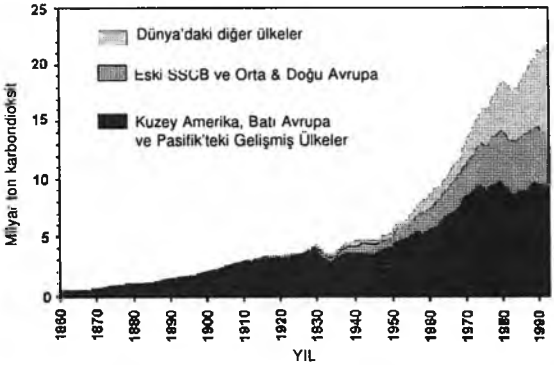
Enerji Üretimi

Burada önce enerji üretiminin atmosferde artan sera gazı emisyon kaynaklarındaki payına bir bakalım. Durmayaz ve Kadıoğlu'na (1999) göre enerji üretiminin sera gazlarının emisyonlarına katkısı için yapılan tahminler geniş bir aralıkta yer almaktadır. Küresel ısınma kaynaklarının yaklaşık olarak %50'lik bir bölümünün (CO_2 %41, CH_4 %6, N_2O %3) enerji üretimi ile ilişkili olduğu, diğer yaklaşık %50'lik bölümünün (CO_2 %9, CH_4 %13, O_3 %8, CFC'ler %17, diğerleri %3) ise enerji üretimiyle ilişkisinin bulunmadığı tahmin edilmektedir.

O_3 ve CFC'lerin küresel ısınmaya katkıları olmakla birlikte, bu gazların emisyonlarının enerji üretimiyle bir ilişkisi yoktur (IAEA, 1989).

1950 yılından itibaren CO_2 gazı emisyonlarında sürekli bir artış gözlenmekte olup, yaşanan petrol krizi nedeniyle 1975 ve 1979 yılları arasında CO_2 emisyonları en yüksek değerden geçmiştir. 1979 yılındaki petrol krizi, petrol tüketiminde bir durgunluğa neden olurken, doğalgaz tüketimi artışını sürdürmüştür. Kömür tüketimi ise tarihi trendlerinin üzerinde bir artış göstermiştir. Dolayısıyla bunun, CO_2 emisyonlarının artışında en önemli faktör olduğu söylenebilir. Kömür tüketimindeki artış son yıllarda CO_2 emisyonlarının rekor sayılabilecek bir değere ulaşmasıyla sonuçlanmıştır. Halihazırda süregelen kömür tüketimindeki artış trendi ise mevcut durumu daha da kötüye götürecek niteliktedir.

Şekil 5.3'te üç farklı ülke grubu için 1860-1992 yılları arasında kömür, petrol ve doğal gazın yanmasından oluşan CO_2 gazı emisyonlarının zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 5.3'ten Dünya'da fosil yakıtların yanmasından oluşan CO_2 gazı emisyonlarında, 1950 yılından itibaren kayda değer bir artışın sözkonusu olduğu görülmektedir. Bu artış, gelişmekte olan ülkelerde hızlı bir şekilde devam etmektedir. Buna karşılık, endüstrileşmiş ülkelerin CO_2 gazı emisyonlarına katkılarında ise son yıllarda bağıl olarak bir azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Üç ülke grubu için 1860-1992 yıllarında kömür, petrol ve doğal gazın yanmasından oluşan CO_2 emisyonları (Hamburg ve ark., 1997).

CO_2 emisyonları açısından diğer önemli bir konu da bu emisyonların ekonomi sektörlerine dağılımıdır. Elektrik üretimi CO_2 emisyonunda önemli bir rol oynar. Dünya'da kabaca CO_2 emisyonlarının üçte biri elektrik üretimi nedeniyle, dörtte biri endüstri, beşte birinden azı taşımacılık ve diğer aktiviteler ile onda birinden azı ise dönüştürme kayıpları ve proses endüstrilerinin kullanımı nedeniyle olmaktadır.

Fosil yakıtların kullanımıyla yılda yaklaşık olarak 20 milyar ton CO_2 atmosfere bırakılmakta olup bu şekilde gerçekleşen enerji üretimi, atmosferik sera gazlarının konsantrasyonlarının artmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu da sera gazları üretiminin azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının rolünün gözönüne alınmasını sık sık gündeme getirmektedir.

1990 yılı itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının Dünya enerji üretimindeki payı %0,7 civarında gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yakın gelecekte dünya enerji talebinin karşılanmasında önemli bir paya sahip olma olasılığı maalesef çok azdır, bunun tek istisnası ise hidrolik enerjidir (Balling, 1992).

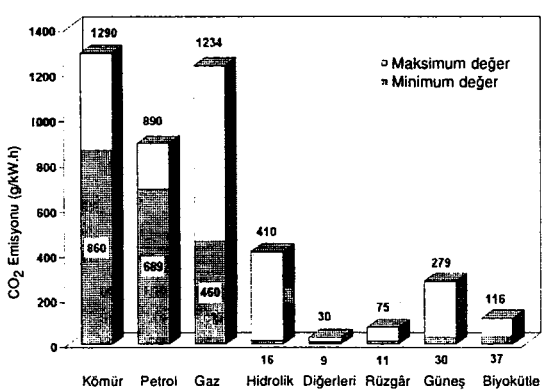
Örneğin, 1000 MW (megawatt) elektrik gücüne sahip kömür yakıtlı bir elektrik enerjisi üretimi tesisi, yılda yaklaşık olarak 6 milyon

ton CO_2 gazını atmosfere bırakmaktadır.

Önemi giderek artan bu büyük çevre problemi dikkate alınarak, elektrik üretiminde kullanılan fosil, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji zincirleri için teknik, ekonomik ve çevresel verilerin biraraya getirilmesi ve farklı teknolojilerin karşılaştırılmalı incelenmesi amacıyla, uluslararası dokuz organizasyon, kısaca DECADES adı ile anılan "Elektrik Üretiminde Farklı Enerji Kaynaklarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi İçin Veritabanları ve Yöntemler" başlıklı ajanslar arası bir projeyi 1992 yılında başlatmıştır.

Çok sayıda ülkenin katkı sağladığı DECADES projesi kapsamında yapılan çalışmalarla elde edilen, elektrik enerjisi üretimi amacıyla farklı kaynakların kullanılması durumunda, tüm enerji zinciri için CO_2 eşdeğer emisyonları Şekil 5.4'te verilmiştir.

Şekil 5.4'teki grafikten kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtları kullanan tesislerin elektrik enerjisi üretiminde, CO_2 eşdeğer emisyonları açısından çevresel etkileri en fazla olan tesisler oldukları açıkça görülmektedir. Buna karşılık (rüzgâr, Güneş ve biyo kütle gibi) yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminde tesisin işletilmesi sırasında sera gazı üretimi sözkonusu olmamaktadır.



Şekil 5.4. Tüm enerji zinciri için CO_2 eşdeğer emisyonları (IAEA, 1998).

Tüm bu değerlendirmeler, atmosferik sera gazları konsantrasyonları artışının önemini vurgulamak, ayrıca, bunun insanlık için yaşamsal bir tehlike arz ettiği ve bir an önce denetim altına alınmasının gerekli olduğu hususunda bilinçlenmeye katkı sağlamak amacını taşımaktadır.

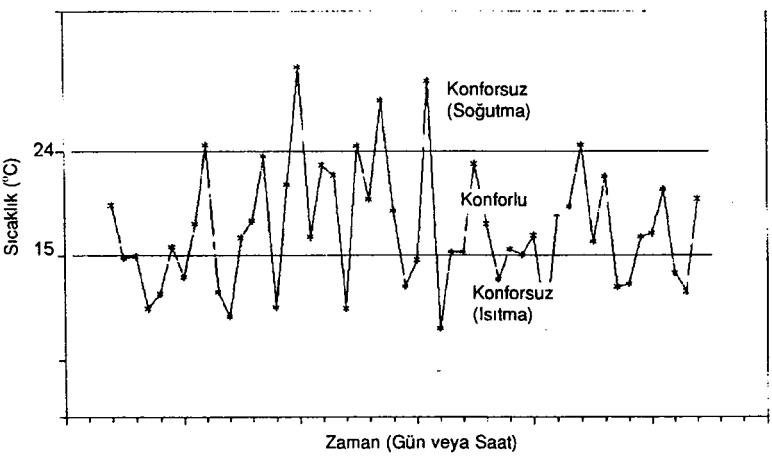
Bir yerdeki mesken ve işyerlerinin ısıtma ve soğutmaya yönelik enerji talebi, hava koşullarına ve nüfus yoğunluğuna bağlıdır. Konutların ve endüstriyel tesislerin soğuk havalarda ısıtılması ve sıcak havalarda soğutulması için gereksinim duyulan enerji ve yakıt miktarı hava sıcaklığı ile orantılıdır. Bu nedenle, hava sıcaklıkları ve dolayısıyla ısıtma derece-gün (IDG) değerleri dikkate alınarak, kentlerin yıllık ısıtma amaçlı enerji talepleri ve iklim değişimi ile birlikte ısıtma enerjisi taleplerinin nasıl değişeceği belirlenebilir. Bu nedenle aşağıda derece-gün kavramı ile önce İstanbul sonra Türkiye geneli için konutların ısıtılmasında gerekli olan enerjideki gereksinimleri ve bu gereksinimlerdeki yaklaşık olarak son 60 yılda ortaya çıkan değişimleri inceleyeceğiz.

Küresel Isınma ve İstanbul'daki Konut Isıtma Enerjisindeki Değişim

Derece-Gün (DG) değerleri dış hava sıcaklığının belirli bir sıcaklık düzeyinin altına inmesi veya üzerine çıkması durumunda hesaplanır. Isıtma hesapları için taban sıcaklığı kısaca ısıtma prosesinin başlatılacağı sıcaklık olarak tanımlanabilir. Buna göre, bulunulan bölgedeki yılın soğuk periyotlarında dış hava sıcaklığı, taban sıcaklığının altına düştüğünde binalardaki konfor şartları bozulur ve ısıtma ihtiyacı ortaya çıkar. Ankara ve İstanbul gibi büyük metropollerde dış ortam sıcaklığının 15°C ve altına düştüğü günlerde ısıtma gereksinimi duyulduğu kabul edilmiştir (Kadıoğlu, 1994) (Şekil 5.5). Şüphesiz bu taban sıcaklığı amaca, kişiye, yöreye, enlemlere ve topoğrafik özelliklere göre değişebilir.

Aslında insanlar için minimum konfor seviyesi genel olarak 18.3°C olup, iç ortam sıcaklığı bu seviyenin altına düştüğünde ısıtma ihtiyacı

ortaya çıkar (Ahrens, 1982; Lutgens ve Tarbuck, 1979; ASHRAE, 1989). Fakat, bina içine giren güneş radyasyonu ve mutfak araçları tarafından dolaylı olarak yaklaşık 3°C'lik sıcaklık artışı sağlandığından ısıtma Derece-Gün (IDG) hesabı için taban sıcaklığını 15°C almak doğru olur.

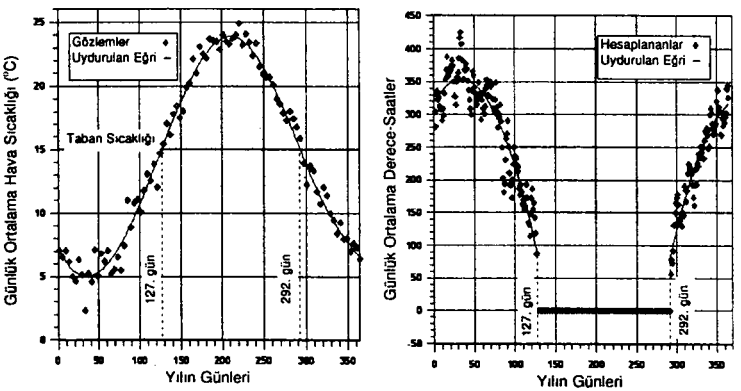


Şekil 5.5. Taban sıcaklığı kavramının şematik gösterimi. Günlük ortalama hava sıcaklığı 15°C çizgisinin altına düştüğünde ısıtma ihtiyacı ortaya çıkar. Benzer şekilde 24° C hattının üstünde kalan hava sıcaklıkları konutların soğutma ihtiyacını doğurur. 15°C ila 24°C arasındaki hava sıcaklıkları insanlar için konforludur. Örneğin 5°C'lik bir hat çizilip üzerinde kalan hava sıcaklıkları dikkate alındığında da bitkilerin büyümesine yönelik genel bilgiler elde edilir.

Dış hava sıcaklığı, taban sıcaklığının altına düştüğünde ısıtma ihtiyacı duyulur. Hava sıcaklığının, taban sıcaklığı üzerinde olduğu durumlarda ısıtma ihtiyacının olmadığı kabul edilir (Şekil 5.5). Bir yörenin bir günlük DG değeri, dış hava sıcaklığının, taban sıcaklığının altına inmesi durumunda, iç ortam hava sıcaklığı ile günlük ortalama dış hava sıcaklığı arasındaki farktır; belirli bir periyot için DG değeri ise, iç ortam hava sıcaklığı ile günlük ortalama dış hava sıcaklıkları arasındaki farkların eklenik toplamıdır.

Örneğin, bir yıl içinde ortalama hava sıcaklıklarının 15°C'nin altı-

na düştüğü günler gözönüne alındığında, İstanbul genelinde ısıtma mevsiminin süresi ortalama 192 gün olup, ısıtma mevsiminin 25 Ekim'de başladığı ve 11 Mayıs'ta sona erdiği görülür (Şekil 5.6). Küresel ısınma sonucu hava sıcaklıklarının, örneğin kışın İstanbul'da 2°C artması beklendiğinden İstanbul'da 209 gün olan ısıtma günün azalacağı düşünülmektedir (Şekil 5.7).

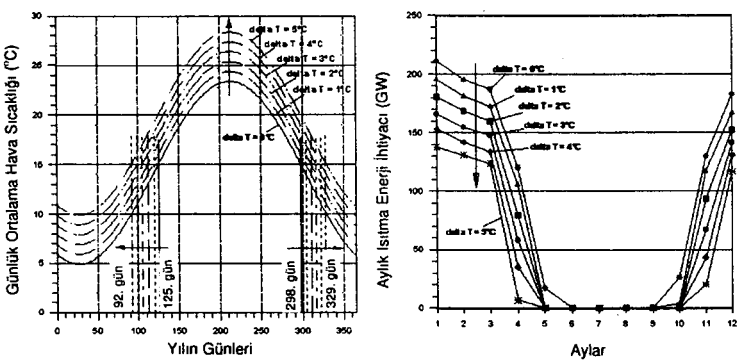


Şekil 5.6. Şeklin solunda İstanbul (Göztepe'de), taban sıcaklığı, günlük ortlama hava sıcaklıklarının yıl içindeki gidişatı verilmiştir. Bu şekilde aynı zamanda İstanbul'daki ısıtma mevsiminin başlangıç ve bitiş tarihleri ile birlikte gösterilmektedir. Şeklin sağ tarafında ise ortalama günlük hava sıcaklılarına göre ısıtma mevsinde değişen ortalama derece-saat değerleri gösterilmektedir (Durmayaz ve ark., 2000).

Şekil 5.6'nın sağında bulunan şekil ısıtma mevsiminde hava sıcaklıklarına bağlı olarak değişen günlük ısıtma derece-saatler gösterilmektedir. Derece-saatlerin yüksek olduğu günlerde ısıtma ihtiyacı da yüksektir. Küresel ısınma ile birlikte Şekil 5.6'nın sol kısmında gösterilen sıcaklık değişim eğerisi değişerek daha yüksek sıcaklıklara doğru yer değiştirecektir (Şekil 5.7). Böylece, Şekil 5.7'de gösterildiği gibi, İstanbul'da küresel ısınma ile birlikte hava sıcaklıkları artarsa ısıtma mevsimin başlangıç, bitiş tarihleri ve uzunlukları da değişecektir (Tablo 5.3).

Şekil 5.7'nin sağ kısmında aylık ısıtma enerjisi taleplerinin sıcaklık artışlarıyla birlikte olaylara göre değişimi gösterilmektedir; sonuç olarak İstanbul'da 1°C'lik sıcaklık artışının konutlardaki yıllık yakıt tüketiminde %10'luk bir azalmaya neden olacağı hesaplanmakadır.

Yakıt talebindeki azalış aynı zamanda konutlarda ısıtma amacıyla tüketilen fosil yakıtlarla birlikte atmosfere salınan CO_2 ve benzeri sera gazlarında da azalmaya neden olacaktır. Şekil 5.7'nin sağ kısmında görülen aylık ısıtma enerjisi taleplerindeki, ısınmaya bağlı düşüşler bahar aylarında daha fazladır. Örneğin, mayıs ve ekimde 1°C'lik bir artış enerji talebinde %10'luk düşüşlere neden olabilecektir. Diğer bir deyişle, sıcak olan aylardaki ısıtma enerjisi talebi ısınmaya karşı daha hassastır.



Şekil 5.7. Şeklin sol tarafında değişen hava sıcaklığı ile değişen ısıtma mevsimi başlangıç, bitiş tarihleri ve uzunluklarındaki değişimler gösterilmektedir. Şeklin sağ tarafında da artan hava sıcaklıkları ile birlikte düşen aylık ısıtma enerjisi miktarlarının nasıl değişecebileceği gösterilmektedir (Kadıoğlu ve Durmayaz, 2001).

Tablo 5.3'den görüldüğü gibi İstanbul'da ısıtma mevsimi 5 Mayısta başlamakta, 25 Ekimde sona ermektedir. Eğer yıllık ortalama hava sıcaklıkları İstanbul'da 5°C artarsa İstanbul'da ısıtma mevsimi 25 Kasımda başlayıp 2 Nisanda sona erer, yani 48 gün daha kısa olur. Isıtma derece-saatler ve dolayısıyla İstanbul'da ısıtma için konutlarda

kullanılacak olan yakıt miktarı yaklaşık olarak %55 azalmaktadır.

Tablo 5.3. Isıtma mevsimleri ve yıllık toplam ısıtma derece saatlerin küresel ısınma ile birlikte değişimi (Kadıoğlu ve Durmayaz, 2001).

Δt (°C)	Isıtma Mevsimi (Julian günler)	Isıtma Derece-Saatler (°C)
0	1-125 — 298-365	51602
1	1-118 — 304-365	44948
2	1-112 — 310-365	38995
3	1-107 — 316-365	33502
4	1-100 — 322-365	28245
5	1- 92 — 329-365	23347

Okuyucu burada "Isınma, kışın ısıtma ihtiyacını düşürecek; fakat yazın da soğutma gereksinimini arttıracaktır" diye düşünebilir. Evet, gerçekten küresel ısınma ile bir enerji kazancı olacaksa bunun soğutma ihtiyacındaki olası artışın düşürülmesinden sonraki miktar kadar olacağı akıldan çıkartılmamalıdır.

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de derece-gün bilgileri, ısıtma-soğutma araçlarının üretimi, binaların ısıtma-soğutma düzeneklerinin kurulması, uzun sürekli hava tahminleri ile ısıtma-soğutma amaçlı yakıt pazarlanması, üretimi ve dağıtımı, ileriye yönelik enerji üretimi ve planlaması gibi çeşitli amaçlar için daha yaygın bir şekilde kullanılmalıdır.

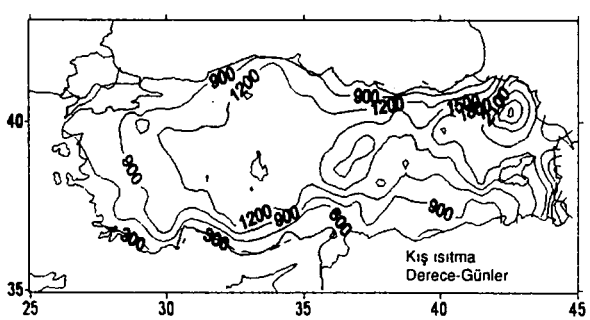
Küresel Isınma ve Türkiye'de Konut Isıtma Enerjisindeki Değişimler

İklim değişiminin enerji talepleri üzerindeki potansiyel etkisi ortaya koymak için Mann-Kendall rank istatistiğinin ardışık versiyonu mevsimlik IDG ve Soğutma Derece-Günler (SDG) toplamlarına Türkiye geneli için uygulandı. Bu çalışma, aktüel günlük sıcaklık ölçümlerine göre oluşan mevsimlik ve yıllık hava şartlarına bağlı olarak, böl-

gesel ve ulusal ısıtma ve soğutma taleplerini ortaya koyar. IDG ve SDG eğilimlerindeki alansal değişimler, günlük ortalama sıcaklık kayıtları ile Mann-Kendall trend testi istatistiğinin ardışık bir versiyonu karşılaştırılarak analiz edildi.

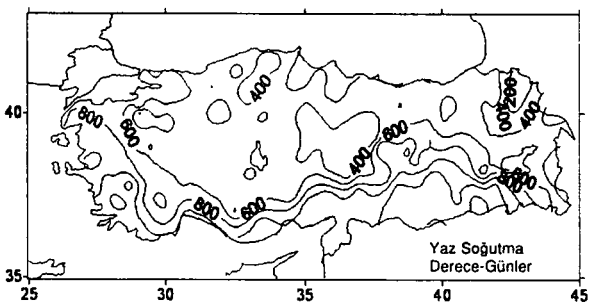
Burada 15°C ve 24°C taban sıcaklık seviyelerindeki IDG ve SDG'lerin bölgesel dağılımları ortaya konup, son yıllardaki değişimi belirlenmiştir. Bu bağlamda hazırlanan IDG ve SDG haritaları yüzey özellikleri, mikro ve makro iklim değişimiyle bağlantılı pek çok dağılımı yansıtmaktadır. Türkiye'nin iç kesimlerindeki karasal iklim bölgelerinde IDG ve SDG arasında farklı artışlar gözlenir (Kadıoğlu ve ark., 2001).

Böylece Isıtma Derece Günlerin değerleri kullanılarak hazırlanan haritalarda (Şekil 5.8) Doğu Anadolu Bölgesi, Kastamonu ve Uludağ çevreleri ile İç Anadolu Bölgesi'nin ısıtma ihtiyacının en çok hissedildiği bölgeler olduğu göze çarpmaktadır. Bununla birlikte topografik yapıya bağlı olarak, özellikle Doğu Anadolu bölgesi, haziran ve temmuz ayları dışında yılın hemen hemen 10 ayında karla kaplıdır. Bu bölge, özellikle "bıyık donduran şehir" olarak anılan Erzurum'da merkezlenen maksimum IDG değerine sahiptir. Güneye, Van Gölü'ne, doğru açık su yüzeyinden dolayı IDG değerlerinin nispeten bir yumuşama (düşüş) sergilediği görülür.



Şekil 5.8. Türkiye genelindeki 253 meteoroloji istasyonunun günlük hava sıcaklıkları ile hesaplanan kış mevsiminin ortalama Isıtma Derece-Gün değerleri.

Soğutma Derece-Günlerin (SDG) alansal dağılımlarında ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek soğutma ihtiyacı olan bölge olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.9). Bunu Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgeleri takip eder. Doğu Anadolu, Karadeniz ve İç Anadolu ise düşük SDG değerlerine sahip bölgelerdir.



Şekil 5.9. Türkiye genelindeki 253 meteoroloji istasyonunun günlük hava sıcaklıkları ile hesaplanan yaz mevsiminin ortalama Soğutma Derece-Gün değerleri.

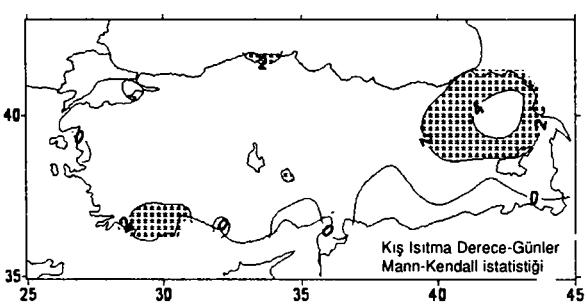
Genel Sirkülasyon Modeli (GSM) ile IPCC tarafından Türkiye için hazırlanan senaryolara göre, sıcaklıkların kışın 2°C ve yazın da 2-3°C artacağı tahmin edilmektedir. Diğer bir değişle, GSM sonuçları Türkiye'de IDG'lerin düşeceği ve SDG'lerin artacağını gösterir. Böylece bir ülkedeki IDG ve SDG eğilim analizleri, iklim değişimlerinin tayininde yardımcı bir parametre olarak kullanılabilir.

Yukarıda da anlatıldığı gibi, sıcaklık kayıtları, Türkiye'nin mevsimlik ve yıllık maksimum-minimum sıcaklık ortalamalarının muhtemel eğilimlerini araştırmak için analiz edildi. Bu çalışmaya göre, son zamanlarda Türkiye'nin kuzeydoğu kesimlerinde ve Akdeniz'in güneybatı sahilleri boyunca kışın ısıtma ihtiyacında istatistiksel olarak belirgin düşüşler gözlenmektedir.

Mevsimlik ve yıllık IDG ve SDG haritaları oluşturularak ülkenin yerel ve bölgesel iklim şartlarıyla bağlantıları kuruldu. 74 istasyonun en az 50 yıllık sıcaklık kayıtları analiz edilerek, Mann-Kendall dizi istatistiklerinin ardışık bir versiyonu yardımıyla mevsimlik ve yıllık Isıtma Gün Sayıları (IGS), Soğutma Gün Sayıları (SGS), IDG ve SDG'lerin belirgin eğilimleri istatistiksel olarak ortaya konuldu. Bu nedenle DG yaklaşımı konutsal enerji tüketiminin iklim hassasiyeti nedenlerine odaklandı.

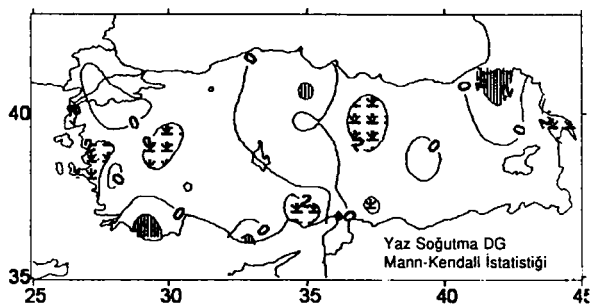
Anadolu'nun doğu ve güneybatı kesimlerinde, önem seviyesine göre IDG eğilimlerinde % 5 istatistiksel bir artış gözlenir (Şekil 5.8). Anadolu'nun güneybatısındaki eğilimler, aynı yerdeki IGS ile paralellik göstermektedir. Türkiye'nin diğer bölgelerinde kış IDG'leri yıllık IDG'lerden önemli bir farklılık göstermemektedir.

Bununla birlikte, Akdeniz bölgesinin güney batısında % 5 önem seviyesinde eğilim artışı gözlenmektedir. Doğu Anadolu'da IDG değerleri yüksek olduğundan, bu bölgedeki IDG eğilim artışı önemli sayılmaktadır. Diğer bir değişle, bu bölgedeki IDG eğilim artışına bağlı olarak, Türkiye'deki toplam enerji tüketimi belirgin olarak artar.



Şekil 5.10. Uzun süreli verisi bulunan 74 meteoroloji istasyonun günlük sıcaklık kayıtları analiz edilerek, Mann-Kendall dizi istatistiklerinin ardışık bir versiyonu ile, kış mevsiminin Isıtma Derece-Günlerinde 50 yıllık bir dönemde görülen önemli değişimlerin olduğu yerler. Harita üzerinde 2, değişimin %5 seviyesinde; 4 ise %1 seviyesinde, istatiksel anlamda önemli olduğunu göstermektedir.

SDG eğilimlerindeki düşüş Türkiye'nin kuzeydoğusunda, yaz ve ilkbahar mevsimlerinde oluşur (Şekil 5.9). Diğer taraftan, sonbaharda Türkiye'nin özellikle güney kesimlerinde binaların soğutucu enerji ihtiyaçlarında belirgin eğilim artışları gözlenirken, sadece güneybatısındaki küçük bir alanda eğilim düşüşüne rastlanmaktadır. Bununla birlikte, yaz mevsiminden sonra Akdeniz Bölgesi'nde görülen soğutma eğilimi, kuzeydoğu Anadolu'da gözlenmemektedir.



Şekil 5.11. Uzun süreli verisi bulunan 74 meteoroloji istasyonun günlük sıcaklık kayıtları analiz edilerek, Mann-Kendall dizi istatistiklerinin ardışık bir versiyonu ile, yaz mevsiminin Soğutma Derece-Günlerinde 50 yıllık bir dönemde görülen önemli değişim olduğu yerler. Harita üzerinde 2, değişimin %5 seviyesinde; 4 ise %1 seviyesinde istatiksel anlamda önemli olduğunu göstermektedir.

Ülkenin doğu kesimlerinde bütün mevsimlerde belirgin düşüşler gözlenirken, yer yer bazı artışlar da görülmektedir. Yılın sıcak zamanlarında SDG'lerdeki düşüş, bu bölgedeki binaların iklimlendirme amaçlı enerji taleplerine pozitif katkı sağlar. Yani enerji taleplerini düşürür. Örneğin, her 1°C'lik sıcaklık artışı Adana'da binaların soğutma ihtiyacını %32 arttıracağı hesaplanmıştır (Durmayaz ve Kadıoğlu, 2001).

Soğutma enerjisindeki artışın güneybatı sahilinde ortaya çıkması çok önemli bir sonuçtur. Çünkü soğutma amaçlı enerji talebi bu böl-

gelerde çok yüksektir. İleriki yıllarda görülebilecek muhtemel sıcaklık düşüşleri elektrik tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Çünkü evlerin ve turistik yapıların soğutma ihtiyacından kaynaklanan enerji talepleri bu bölgelerde çok yüksektir. Ayrıca, sonbahar mevsimi için hesaplanan IDG değerlerinde bütün Karadeniz sahilinde belirgin artış gözlenir. Sonbahardaki bu IDG artışı, sıcak hava kütlelerinin Karadeniz Bölgesi'nde etkinliğini arttırdığı anlamına gelir.

Özet olarak, hemen hemen her mevsimde Türkiye'nin güneybatı sahil kesimilerinde SDG ve kuzeydoğu bölgelerinde IDG eğilim artışları oluştuğu görülür. Başka bir değişle, binaları soğutmak için ihtiyaç duyulan enerji güneybatı sahillerinde yıl boyunca düşerken, Türkiye'nin kuzeydoğu bölgesinde binaların ısıtma enerji taleplerinde hissedilir derecede artış olmaktadır.

Sonuç olarak, 24°C üzerindeki (15°C altındaki) SDG (IDG) toplamlarındaki eksilme (artış) yüksek çözünürlüğe sahip üç Genel Sirkülasyon Modelinin $2xCO_2$ simülasyonlarıyla ortaya koydukları "Türkiye'de hava sıcaklığı artıyor" (Houghton ve ark., 1991) tezi ile çelişmektedir. Diğer bir değişle, geçmiş iklim kayıtlarından sağlanan Derece-Gün (veya saat) analizleri, model simülasyonlarının sonuçlar için ampirik bir destek sağlamamaktadır.

5.3. Tarım: Donlu Günler ve Büyüme Mevsimindeki Değişimler

1992 Birleşmiş Milletler Kalkınma ve Uluslararası Çevre Konferansı gündemindeki en önemli maddelerden biri "iklim değişiklikleri ve biyolojik çeşitlilik" olmuştu. İklim değişikliğinin çevre, tarım, ormancılık ve su kaynakları üzerindeki etkilerinin araştırılması hâlâ en çok ilgi çeken konulardan birisidir. Küresel iklim değişiminin etkileri içerisinde tarım için en önemli olanı küresel ısınmadır.

Özellikle tarım ve meteoroloji bilimi arasında, son derece hassas bir ilişki bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetler hava olaylarına son derece bağımlıdır. Bu sebeple, tarımsal meteoroloji alanında dünyada yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Zira geniş alanlarda yapılan tarımda, yetiştirilen bitki türünden, elde edilen verime ve bitkilerin yetişme süresine kadar tüm olaylar, bitkinin geliştiği ortamdaki atmosferik şartlarla yakından ilgilidir. Bu nedenle meteoroloji biliminin ülkemiz için en önemli dallarından biri "tarımsal meteorolojidir."

Türkiye'de bildiğim tek Tarımsal Meteoroloji Uzmanı olan İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi, Doç. Dr. Levent Şaylan'a göre küresel sıcaklıktaki artışın bitkilere ne gibi etkilerde bulunacağı konusunda dünyada çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Fakat, bitki ile iklim arasında oldukça karmaşık bir ilişki vardır. Tarımda kontrolü en zor olan da meteorolojik göstergelerdeki değişikliklerdir. Çoğu zaman bu değişiklikler o yıl elde edilecek ürün miktarını doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. Yağışdaki artış ve azalış hava sıcaklığı, nemi vb. olaylarının miktar ve dağılımındaki değişikliklerin bitkileri nasıl etkileyeceği bilinmek istenir. Ancak bitki ve iklim arasındaki ilişkiyi değerlendirirken belki de en çok göz ardı edilen hava kirliliği ve bunun bir sonucu olan küresel ısınmaya karşı bitkilerin göstereceği reaksiyonlardır. Bitki ve atmosfer arasındaki ilişkinin zamanında tespit edilmesi, bu problemlere çözüm bulunabilmesi ve bitki gelişimi ile bitkinin reaksiyonlarının daha iyi analiz edilebilmesi amacıyla tarımsal meteoroloji alanında modeller geliştirilmiştir (Şaylan, 1993; 1994a,b,c; 1995).

Karbondioksitin Bitkiler Açısından Önemi

Bu modeller ile örneğin, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu iki katına çıkarsa bitkilerin büyümesine ve tarım rekoltemize neler olur? gibi sorulara da yanıt aranabilmektedir. Kuşkusuz yağıştaki yerel değişikliklerin dünya üzerindeki su kaynaklarının dağılımı

üzerinde derin bir etkisi olacak ve bazı yerlerdeki sulama suyuna dayanan üretim de düşüşler meydana gelecektir. Su için yağışa ihtiyacı olan bitkiler üzerindeki atmosferik karbondioksit oranının artma etkisinin belirlenmesi çok karışık ve tahmini zordur. Bazı yerlerde düşen yağış miktarındaki azalış veya buharlaşmadaki artış üretimi etkilemez. Örneğin yüksek enlemlerin hava sıcaklığındaki artış bitkinin büyüme mevsimini uzatır. Bu faktör, şu ana kadar hiçbir mahsül üretilmemiş olan alanlarda, tarımın geliştirilmesiyle beraber üretimin artmasını sağlayabilir (Parry, 2000).

Karbondioksit sayesinde fazla kazanç bile sağlanabilir, çünkü karbondioksit fotosentez için gerekli hidrokarbon yapımında bitki için temel besin maddesidir (Şaylan, 1995). Bu konudaki deneyler, yüksek miktardaki karbondioksit konsantrasyonunun, fotosentez olayını ilerlettiğini ve bitkinin büyümesini hızlandırdığını göstermiştir (Dahlman, 1993).

Optimum düzeyde artan atmosferik CO_2 bitkilerin büyümesi ve dolayısıyla tarım ve ormanlar için yeterli su bulunursa yararlı da olacaktır. Seralarda yapılan deneyler ve nümerik modellerin sonuçlarına göre, anormal CO_2 miktarı bitkilerdeki fotosentez işlemini hızlandırmakta ve normalinden fazla su tükettirmektedir. Bitki yapraklarının, suyu en idareli kullanabilecekleri bir şekilde değişime uğrayabileceği de tahmin edilmektedir. Yine de, iklimdeki değişimle birlikte yüksek ve orta enlemlerde yağışın azalabileceği göz önüne alınırsa, suyun varlığı bu enlemlerde çok daha önem kazanmaktadır. Bu faktörlerin, orta enlemlerde yer alan ülkemizin tarım sektörü ve hatta hidrolojik kaynaklı enerji üretiminin kötü bir şekilde etkileyebileceği de ortadadır. Örneğin, ülkemizdekine benzer tahıl ürünleri ekiminin yapıldığı Orta ve Güney Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mısır, soya fasulyesi ve diğer tahıl ürünlerinin üretiminin %80 oranında azalacağı hesaplanmaktadır. Benzer şekilde iklim değişimi senaryolarına göre Yunanistan'da da 2050 yılına kadar büyüme mevsiminin küçülmesinden

dolayı mısır rekoltesinde %15'lik azalma beklenmektedir (Amthor, 1998; Dahlman, 1993).

Başka bir çalışmaya göre de atmosferik CO_2'in artması bitki büyümesini arttırabilir. Örneğin, bitkilere "CO gübresi" verilmesi gibi deneyleri yapıldı. Bu deneyler sonucunda atmosferik karbondioksitin yoğunluğunun artması ile küresel bitki gelişiminin artması arasında soru işaretleri ortaya çıkmıştır. Çünkü bitki büyümesi, sağlanan ışık, azot ve fosfatın sağlanması gibi bir çok faktör tarafından azaltılabilir. Bunlarda önemli bir artış olmadan sadece CO_2'in artmasının çok küçük etkileri olacak (Ennis ve Marcus, 1993).

Bitkilere CO_2 desteği pozitif ve/veya negatif geri beslemelere neden olabileceğinden iklim sistemi için önemlidir. Örneğin, CO_2'in artan atmosferik yoğunluğu bitki büyümesine ve dolayısıyla fotosentezi (ve böylece bitkiler tarafından CO_2'in tüketimi artar), bu da atmosferik CO_2 yoğunluğunu azaltabilir (negatif geri besleme). Diğer taraftan atmosferik CO_2'nin artması küresel ısınmayı arttırarak organik maddelerin çürüme hızını ve dolayısı ile CO_2'in atmosfere dönüşünü ve küresel ısınmaya katkıda bulunur (pozitif geri besleme). İmkânsız değilse bile karbon ve iklim sistemleri, artan atmosferik karbondioksite sonuçta nasıl bir tepki olacağını tahmin etmek çok zordur.

Küresel ısınma problemi büyüdükçe karbon döngüsüne müdahale ederek atmosferik CO_2'in kontrol altına alınmasına yönelik çözümler teklif edilmektedir. Deniz planktonlarının arttırılmasıyla atmosferik CO_2'in miktarının da azalabileceği kısmen de olsa yüksedilmesi üzerine de bir çok hipotez geliştirilmiş ve deneyler yapılmıştır. Dünya okyanuslarının çoğunda, plankton üretimi nitrat ve fosfat gibi besin maddelerinin miktarı tarafından sınırlandırılır. Bununla birlikte bazı bölgeler (örneğin, Kuzey Pasifik, Ekvatoral Pasifik ve Güney yarım Küre Okyanusları) besin maddeleri bakımından zengin olmasına rağmen biyomas düşüktür. Buralarda, demir miktarının düşük oldu-

ğu ölçülmüştür. Demir az miktarda olmasına rağmen fotosentez işlemi için çok önemlidir. Bu nedenle bir çok araştırmacı okyanusların bu kısmında biyomasın düşük olmasını demir oranındaki azlığın neden olduğunu öne sürmektedir. Bu kuram okyanusların belirli yerlerini demirle gübreleyerek planktonların sayısını arttırarak atmosferik karbondoksit miktarını düşürmek gibi çok tartışmalı bir fikir ortaya atılmasına neden olmuştur. Bu teori, Ekvatoral Pasifik Okyanus'da 64 km^2'lik bir alan, yapay demir ile tohumlanarak denenmiştir ve bitki biyomasın önemli ölçüde arttığı görülmüştür (Martin ve ark., 1994).

Sıcaklığın Bitkiler Açısından Önemi

Şaylan (1995)'de ayrıntılı bir şekilde anlatıldığına göre, her bitki gelişimi sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklık fotosentez gibi bitki gelişimini etkileyen en önemli meteorolojik parametrelerdendir. Sıcaklığın bitki fotosentezi üzerindeki etkileri de uzun süreler araştırılmış ve sıcaklığın hem ışık absorbsiyonunu, hem de yaprağın maksimum fotosentezini etkilediği tespit edilmiştir. Her bitkinin maksimum fotosentez yapacağı bir optimum sıcaklık ve üst sınır vardır. Mesela Hofstra ve Hesketh soya bitkisinin maksimum gelişiminin 30 °C ve 35 °C arasında gerçekleştiğini bulmuşlardır. McCree'ye göre (Franzini, 1993) 10° C'lik bir sıcaklık artışı solunumu iki katına çıkaracaktır. Sıcaklık aynı zamanda bitkilerin fenolojik gelişimleri ile de yakından ilgilidir. Bitkiler sıcaklık değişimlerinden vejetasyon periyodunun her döneminde aynı şekilde etkilenmezler. Hesketh, Thomas ve Raper (Franzini, 1993) vejetativ gelişme sırasında sıcaklık değişikliklerinin bitkileri generativ gelişme dönemine göre daha fazla etkilediğini belirlemişlerdir. Özellikle vejetativ gelişme döneminde sıcaklık ve bitki gelişimi arasında doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Halevy, (Franzini, 1993) soya bitkisinin vejetativ döneminde sıcaklığın 10 ve 20 °C arttırılmasının bitki gelişimini % 40 çabuklaştırdığı saptamıştır. Sıcaklık, bitkinin gelişim aşamasının, bitkinin stres faktörünün, asimilasyonun ve en

önemlisi de evapotranspirasyonunun hesaplanmasında en önemli role sahiptir. Sıcaklığın artması sonucunda buharlaşma ve asimilasyon artacak bunun bir sonucu olarakta bitkinin kuru madde miktarı yükselecektir. Ancak modellerle her bitki türünün gelişmesini sürdürebilmesi için önceden yapılan araştırmalardan elde edilen bazı sıcaklık değerleri vardır ki bu değerlerin üzerinde bir sıcaklık, bitki gelişimine olumsuz etkilerde bulunmaktadır.

Özellikle meteoroloji bilimi ile uğraşanlar küresel ısınmanın Dünya'da hangi enlemlerde ne kadar değişeceğini modeller kullanmak suretiyle tahmin etmeye, diğer yandan tarımsal meteoroloji alanında çalışan bilim insanları da iklimdeki bu değişikliklerin tarıma olası etkilerini bitki gelişimi simulasyon modelleri kullanarak belirlemeye çalışmaktadır (Penning De Vries ve ark., 1989; Şaylan, 1993; 1994a,b,c). Tarımsal meteorolojik açıdan önemli olan, bu küresel ısınmanın tarımsal üretim açısından hangi sonuçları doğuracağıdır. Tahmin edilen sonuçlar hava sıcaklığında, yağışın miktarında ve toprak rutubetinde değişmelerin olacağını göstermektedir. Bunun neticesinde, diğer iklim elemanlarındaki değişimler de kaçınılmazdır.

İklim Değişikliklerinin Dünya Tarımına Etkileri

Ülkemiz için en önemli sorunlardan biri, sıcaklık artışı sonucunda artan buharlaşmanın yarı kurak olan ülkemizin tarımına yapacağı etkilerdir. Bir diğeri de, ülkemiz agro-ekolojik zonlarının nasıl değişeceğidir. Araştırılması gereken, ülkemizin bulunduğu enlemlerde olacağı öngörülen sıcaklık artışı, yağıştaki ve toprak nemindeki azalış sonucunda meydana gelebilecek kuraklık tehlikesinin sonuçlarının neler olacağıdır.

Şaylan'a göre dünyadaki bir çok ülke, gelecekte meydana gelebilecek küresel iklim değişikliklerinin ekonomik ve sosyal etkilerinin neler olacağı konusunda senaryolar üretmekte, ulusal ve uluslararası tarım politikalarına yön vermektedirler. İklim değişikliklerinin dünya

tarımına ekonomik olarak olası etkileri analiz edilmektedir. Zira tarım, iklime karşı en hassas olan sektördür (Kane ve ark., 1992). Bölgesel iklim ve tarımsal üretim değişiklikleri sadece meydana geldiği ülkeyi değil, dolaylı olarak uluslararası piyasaları ve dünya tarım ürünleri fiyatlarını da etkiler. Bu amaçla yapılan çalışmalar aracılığıyla, ülkelerin bitkisel üretim durumları ve dünya tarım pazarları arasındaki ilişki araştırılmaktadır. İklimdeki değişiklikleri araştırmacılar genel sirkulasyon modelleri (GCM) kullanarak analiz etmektedirler. GCM modelleri kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda, karbondioksit seviyesindeki artış ile birlikte orta enlemlerde verimde azalma ve kuzey enlemlerde ise bunun aksine verimde artış olacağı saptanmıştır. Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde, bitki ve iklim modelleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, öngörülen iklim değişikliklerinin, mısır verimini % 23,7 ile % 54,7 arasında, soya verimini % 34,6 ile % 59,7 arasında ve kışlık buğdayın verimini de % 16 ile % 31 arasında azaltacağı belirlenmiştir (Peart ve ark., 1990; Ritche ve ark., 1990; Rosenzweig, 1990). Dünyada iklim değişiklikleri ve bunların bitki verimine etkileri konusunda değişik ülkeler için modeller kullanılarak tahminler yapılmaktadır.

Şaylan'ın belirttiğine göre yapılan çalışmalar sonucunda iklim değişikliklerinin tarıma, Avrupa'nın kuzeyinde pozitif ve Avrupa'nın güneyinde ise negatif etkilerde bulunacağı tespit edilmiştir (Santer, 1985). Parry ve ark.(1988) yaptıkları çalışmada; Ekvator, Brezilya, Kenya, Hindistan, Avusturalya ve ABD'deki yarı kurak bölgelerde ve Finlandiya, Japonya ile İzlanda'nın kuzeyindeki enlemlerde tahmin edilen iklim değişikliklerinin, tarımsal üretimi olumlu etkileyeceğini saptamışlardır. Tegart ve ark., (1990)'na göre Van Diepen ve ark., (1987) bir iklim değişiminde buğday rekoltesinde % 40'a varan bir azalma olabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde Güney Kıbrıs'ta, örneğin 1°C'lik bir sıcaklık artışı arpa üretiminde % 5'lik bir azalmaya ve yağışta yaklaşık olarak % 5 civarında görülecek bir azalış ise ek bir su-

lama yapılmadığında arpa üretimindeki düşüş % 20'nin üzerine çıkabilecektir, (Pashiardis ve Michaelides, 1989).

Dünyada gelecek yıllarda değişeceği öngörülen iklimin çeşitli bitkilerin ürün miktarına ne gibi etkilerde bulunacağı bugünden saptanmaktadır. Örneğin ABD'de öngörülen iklim değişikliğinin gerçekleşmesi durumunda buğday veriminde % 10 ile % 20 arasında azalış meydana geleceği belirtilmektedir (Parry, 1990). Aynı şekilde Kanada'da mısır veriminin ortalama iklim değişikliği durumunda % 5 artacağı, buna karşın maksimum olumsuz etkilerin meydana gelmesi durumunda ise % 5 azalacağı belirlenmiştir. Mesela Çin'de diğer bitkilerin veriminin (yer fıstığı, pamuk, şeker pancarı ve tütün vb.) iklim değişikliklerinin beklenen ortalama etkisi sonucunda % 10 artacağı, ancak maksimum etkileri durumunda ise % 15 azalacağı tahmin edilmektedir. Bugün dünyada mısır ve soyanın yaklaşık % 43 ile % 56'sı ABD tarafından üretilmektedir (USDA, 1989). Pirinç üretiminde de Çin, % 36,6'lık üretimi ile dünyanın en fazla pirinç üreten ülkesi konumundadır. Aynı şekilde dünyada buğday üretiminin % 17,2'sini Birleşik Devletler Topluluğu, % 16,2'sini Çin ve % 10,6'sını da Amerika Birleşik Devletleri elinde tutmaktadır. İklim değişimlerinin meydana gelmesi durumunda ortaya çıkabilecek ürün miktarındaki değişikliklere dikkat edildiğinde, buradan gelecek yıllarda ürün miktarındaki bu azalmaların dünyada tarım ürünleri fiyatlarını arttıracağı sonucu çıkarılabilir.

Dr. Şaylan, çalışmalarında bitkinin gelişmesi sırasında meydana gelen olayları matematiksel bir dille ve gerçek bitki hareketine benzer bir gelişimi veren, bir CRPSM bitki ürün modeli (CRoP yield Simulation Model) kullanmaktadır. Şaylan, özellikle Avusturya için, soya bitkisinin küresel ısınma sonucu artan hava sıcaklığı karşısında, verim ve fenolojik zaman olarak nasıl bir değişiklik gösterdiğini belirlemek amacıyla bir çok çalışmalar yapmıştır. Bunlar, ülkelerin tarım politikasına da yön verebilecek önemli çalışmalardır ve devletimizce de desteklenmelidirler.

Şimdiye kadar CRPSM ve benzeri bitki ürün modellerini kullanarak tahmin edilen küresel ısınma değerlerine göre Türkiye'de tarımsal ürün rekoltesinin nasıl etkileneceğini belirleyemediysek de elimizdeki kısıtlı veriler ile Tütkiye'deki bitki büyümesine ilişkin bize önemli ip uçları veren Bitki Büyüme Derece-Günleri ve Bitki Büyüme Mevsimleri üzerine bazı çalışmalar yaptık. Bu çalışmalara geçmeden önce (Bölüm 4.3'de anlatıldığı gibi) Türkiye ile ilgili olarak yapılan senaryoların tahminlerini tekrar gözümüzün önüne getirelim: Özellikle güney Avrupa'da ve aynı enlemlere giren Türkiye'de kışın sıcaklık artışının 2°C, ve yazın ise 2 ila 3°C arasında değişeceği tahmin edilirken, bu sıcaklık artışına karşılık, kışın yağışların artacağı ve yazın ise yağışların % 5 ile 15 ve toprak su içeriğininde % 15 ila % 25 arasında azalacağı öngörülmektedir. Ayrıca sıcaklığın artması buharlaşmanın da artmasına yolaçacak ve bunun sonucunda hidrolojik çevrim (suyun yer ile atmosfer arasındaki döngüsü) daha aktif hale gelecektir. Bu durumda yapılan tahminler 40° enleminin yukarısında yağışın artacağı ve 30°-40° enlemleri arasında yağışın azalacağı şeklindedir (Seinfield, 1975).

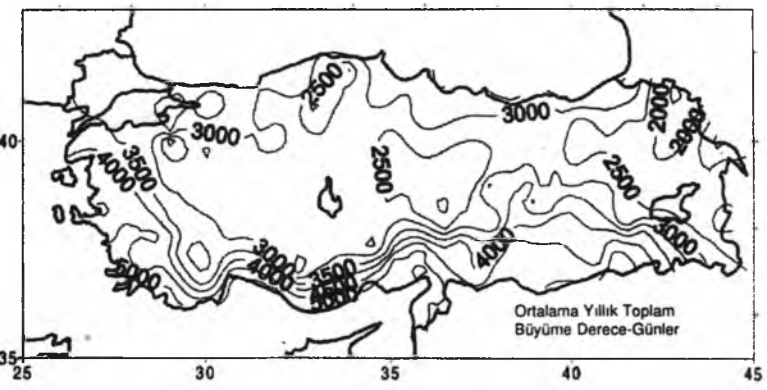
Türkiye'de Bitki Büyüme-Derece Günleri

Bitki gelişiminin izlenmesi ve bitki hasat tarihlerinin tahmini gibi konular tarım sektörü çalışanları için oldukça önemlidir. Bitki büyümesi ve gelişimi büyük oranda sıcaklığa bağlıdır. Her bir bitki gelişimini tamamlayıp hasada hazır hale gelmesi için belli miktarda bir ısı enerjisine ihtiyaç duyar ki bu, büyüme derece-gün (BDG) şeklinde ifade edilir. Her bitkinin hasada hazır hale gelmesi için ihtiyaç duyduğu BDG değeri farklıdır (Ahrens, 1982; Yener ve Gürdil, 1987). Tarla bitkilerinin iklim istekleri ve özellikle de sıcaklık istekleri birbirinden çok farklıdır. Bazı bitkilerin çok geniş alanlara yayılmasındaki tek neden, onların sıcaklık isteklerindeki esneklik veya çeşitliliktir. Sıcaklık isteklerine göre tahıllar; serin iklim tahılları ve sıcak iklim tahılları olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bitki taban sıcaklığı ve bitkinin olgunlaşması için ge-

rekli olan toplam BDG değerleri bilinmesi halinde, hasad tarihlerinin, zararlılar ile mücadele zamanlarının tahmini mümkün olabilmektedir.

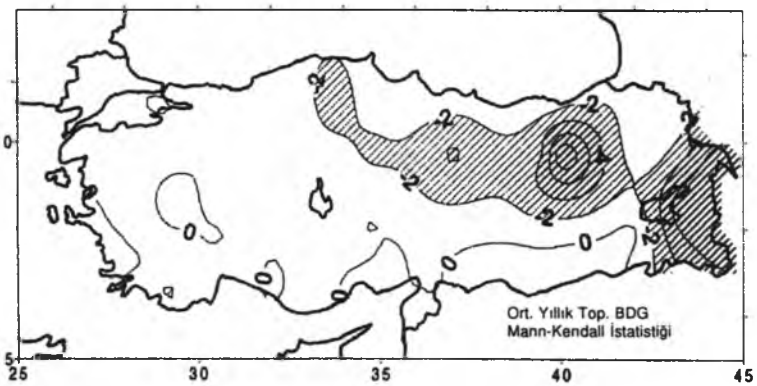
BDG değerleri için taban sıcaklığı bitki türüne ve yetişme bölgesine bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin, ABD'de büyüme amaçlı taban sıcaklıkları mısır için 10°C iken, bezelye için 4,4°C ve pamuk için 15,6°C'dir (Mather, 1974). Bitki taban sıcaklığı her bitki için farklı olduğu gibi, aynı bitkinin farklı türleri için de farklılıklar gösterebilir. Örneğin pamuk taban sıcaklığı ABD'de 15,6°C iken Fransa'da 12°C'dir. Doç. Dr. Levent Şaylan'a göre Türkiye'de bitkilerin taban sıcaklıkları konusunda da detaylı araştırmalara gereksinim var.

Bu nedenle Sayın Şaylan'la birlikte yaptığımız ortak bir çalışmada pek çok bitki gelişimi için genel taban sıcaklığı olarak kabul edilen 5°C sıcaklık seviyesi kullanılarak önce bitki büyüme günlerinin Türkiye genelindeki dağılımı (Şekil 5.12) ve sonra da Türkiye genelindeki bitki büyüme derece günlerdeki değişimleri (Şekil 5.13) ayrı ayrı tespit ettik (Kadıoğlu ve Şaylan, 2001). Şekil 5.12'den görüldüğü gibi, 5°C taban sıcaklığına göre yıllık ortalama BDG değerleri Güneydoğu Anadolu'da 5000°C gün, Akdeniz'de 4600°C gün, Ege'de 4200°C gün,



Şekil 5.12. 5°C sıcaklık seviyesi kullanılarak hesaplanan Bitki Büyüme Derece-Günlerinin (BDG) yıllık toplamlarının Türkiye genelindeki dağılımı.

Kara Deniz ve Marmara'da ise 3400°C gün'e ulaşırken; diğer bölgelerde çok az olmaktadır. Bu durumda Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin 5°C taban sıcaklığına sahip bitkiler için en uygun yetişme alanları olduğu söylenebilir.



Şekil 5.13. 5°C sıcaklık seviyesi kullanılarak hesablanan Bitki Büyüme Derece-Günlerinin (BDG) yıllık toplamları için Türkiye genelindeki Mann-Kendall trend istatistiği. (1,96'lık kontur değerleri %5 istatistiksel önem seviyesini göstermektedir.)

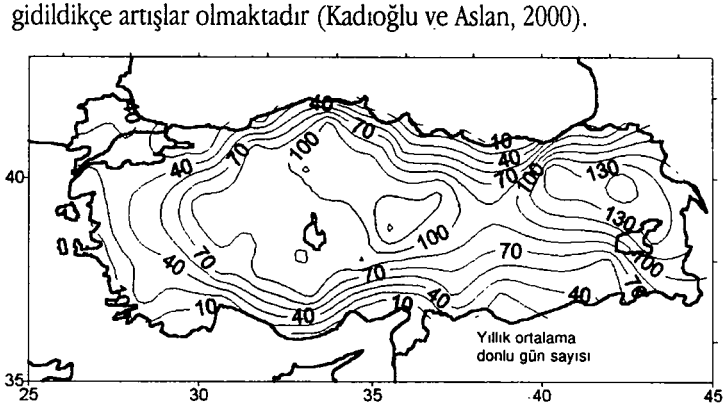
Türkiye'de Bitki Büyüme Mevsimleri

Tarımsal çalışmalarda don olayı, pek çok bitki türüne büyük zararlar verdiği için büyük önem taşır. Özellikle seracılıkta don olayının zararlı etkilerine karşı birtakım tedbirlerin alınması gerekir. Bu tedbirlerin başında da ısıtma yoluyla sera ortamının sıcaklığını don seviyesinin üzerinde tutmak gelmektedir (Ahrens, 1982; White, 1979). Don olayını önlemek amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Örneğin donma ihtimaline karşı, tarlalarda duman oluşturarak havanın ısıyı tutma kapasitesi arttırılmak suretiyle don olayının etkisi azaltılabilir. Çünkü dumanla ortama verilen CO_2 gibi bir takım emisyonlar bulunduğu bölgede sera etkisi meydana getirir. Böylece söz konusu alanda sıcaklık fazla düşmez ve don olayının zararlı etkileri büyük oranda önlenmiş olur. Bir bölgenin Donma Derece-Gün'leri (DDG) o bölgede donma olayını

engellemek için gerekli olan yakıt ve enerji miktarının tahmininde yardımcı olur. DDG'ler arttıkça donmayı önlemek için kullanılacak yakıt miktarı ve dolayısıyla donla mücadele maliyeti artar. Daha uygun ve ekonomik olması açısından seracılığın düşük DDG'lere sahip alanlarda yapılması tavsiye edilir (Kadıoğlu ve Öztürk, 1996).

Görüldüğü gibi don bitkilere zarar vermekte ve ondan korunmak için de bir şeyler yakıp duman oluşturarak yapay bir şekilde "atmosferik sera etkisini" oluşturmaktayız. Donlar aynı zamanda bitkilerin büyüme mevsiminin uzunluğunu da belirler. Bitkileri öldürebilecek veya büyümesini önleyecek kadar şiddetli olan don olaylarının ilkbaharda görülen en sonuncusundan sonra bitki büyüme mevsimi başlar. İlk şiddetli donların sonbaharda görülmesi ile büyüme mevsimi sona erer.

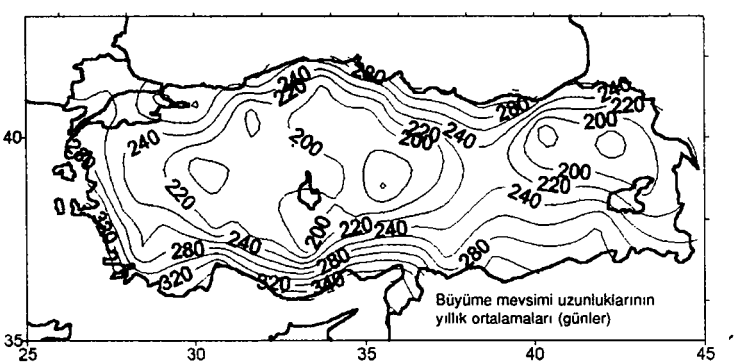
Beykent Üniversitesi'nden sayın hocam Prof. Dr. Zafer Aslan'la yaptığımız bir çalışmada; Türkiye'deki donlu günleri ve donlu günlerin bitki büyüme mevsimi uzunluklarını nasıl etkilediği ile birlikte küresel ısınma ile bitki büyüme mevsimi uzunluklarının nasıl değiştiğini incelemiştik. Şekil 5.14'de görüldüğü gibi Türkiye'deki donlu günlerin sayısında batıdan doğuya ve kuzey veya güney kıyılarında İç Anadoluya gidildikçe artışlar olmaktadır (Kadıoğlu ve Aslan, 2000).



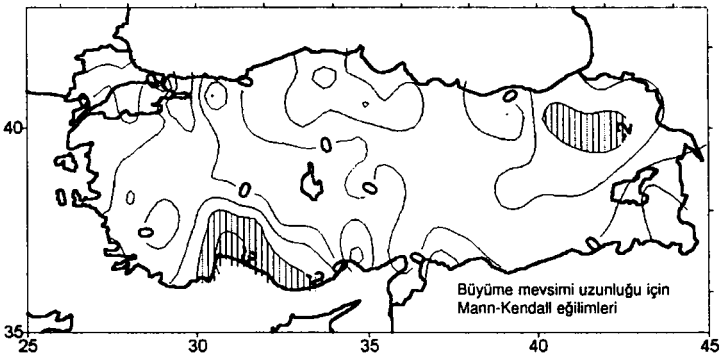
Şekil 5.14. 1961-1990 dönemi 75 meteoroloji istasyonun en düşük hava sıcaklıkları verisine göre Türkiye üzerindeki donlu günler sayısının yıllık ortalamaları (Kadıoğlu ve Aslan, 2000).

Türkiye'deki donlu günler sayısının küresel ısınma ile birlikte genel bir düşüş göstermesi beklenir. Yaptığımız çalışmada ise ilkbahardaki son donlu günlerin görüldüğü tarihlerin sadece Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde giddikçe daha erken sona erdiği fakat diğer kesimlerde pek değişmediği görülmüştür. İlk öldürücü sonbahar donunun görüldüğü tarihlere bakınca, bunların da daha çok Doğu Anadolu'da daha erken tarihlerde ortaya çıktığı saptanmıştır. Türkiyenin hiçbir yerinde bitkiler için ilk öldürücü sonbahar donunun görüldüğü tarihlerde henüz kış ayına doğru bir çekilme görülmemiştir. Sonuç olarak Şekil 5.15'de gösterildiği gibi bitki büyüme mevsimi (gün sayısı olarak) uzunluklarının yıllık ortalamaları Türkiye üzerinde değişmektedir. Beklediği gibi en uzun bitki büyüme mevsimleri Türkiye'nin batısı ve kıyılarında bulunmaktadır.

Şekil 5.15'de (yıllık ortalama günler olarak) verilen yıllık bitki büyüme mevsimi uzunluklarının veri dönemi boyunca nasıl değiştiği Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Kürsel ısınmanın aksine Antalya civarındaki güney kısımlarımız ve Kuzey Anadolu kısmen büyüme mevsiminde önemli azalışlar göstermektedir.



Şekil 5.15. 1961-1990 dönemi 75 meteoroloji istasyonunun en düşük hava sıcaklıkları verisine göre Türkiye üzerindeki bitki büyüme mevsimi (gün sayısı olarak) uzunluklarının yıllık ortalamaları (Kadıoğlu ve Aslan, 2000).



Şekil 5.16. Yıllık ortalama günler olarak verilen yıllık bitki büyüme mevsimi uzunluklarının veri dönemi boyunca nasıl değiştiğine dair Mann-Kendall eğilim istatistiği. (1,96'lık kontur değerleri eğilimlerin %5 seviyesinde önemli olduğunu göstermektedir.)

Sonuç olarak, sadece kıyılardaki şehirlerimiz tuzlu deniz suyunun altında kalmayacak aynı, zamanda yıllardır mısır esktiğimiz tarlada pamuk yetiştirmeye veya muz ürettiğimiz yerlerden de armut toplamaya zorlanabileceğiz. Belirli bir iklim ve bitki örtüsünün bulunduğu şartlarda yaşayabilen bir çok hayvan, ekolojik şartların değişmesi ile ya yok olacak ya da yaşamını sürdürebileceği şartların sürdüğü bölgelere (eğer varsa!) doğru göç etmek zorunda kalacaktır.

5.4. GAP Bölgesinde Beklenen İklim Değişiklikleri

"Meteorolojik açıdan Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), suları düzenleyerek depolaması sayesinde gelecekte bölgenin iklimi daha nemli hale gelecek ve dolayısıyla da yağışların artmasına sebep olacaktır" ifadesiyle kendimizi kandırmakla kalmıyor, aynı zamanda ne sularımızın yönetiminde, ne de GAP gibi en önemli girdisi yağış olan bir projede meteoroloji bilimi ve uzmanlarından gerektiği kadar ya-

rarlanıyoruz ne yazık ki... Bu nedenle, günümüzde atmosferin küresel ısınması sonucu, yerel iklimler ile birlikte hidrometeorolojik elemanlarda görülen değişimlerin, Türkiye'deki su kaynaklarının plan, proje ve işletilmesinde de göz önünde bulundurulması gerekliliğini yeniden vurgulayıp GAP bölgesindeki yağışlar üzerinde burada kısaca durmak istiyorum.

Önce şunu unutmamız gerekiyor: Genel Sirkülasyon Modellerinin varsayımlarına göre, küresel iklim değişimi ve küresel ısınma ile birlikte alt tropiklerdeki yüksek basınç kuşağının kuzeye doğru, Türkiye üzerine kayması ile Türkiye'nin güney kısmının giderek ısınarak oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine girmesi beklenmektedir.

Bu değişim, küresel atmosfer ile beraber yerel hava sirkülasyonunu ve hava paternlerinin normal yörüngelerini etkileyerek bölgemizde değişik yağış rejimlerine sebep olacaktır ya da olmaktadır. Bölgesel ölçekte nasıl yeni bir yağış rejimi ortaya çıkabileceğini belirleyebilmek için Genel Sirkülasyon Modelleri ile yapılan deneyler, atmosferin ısınmasıyla birlikte alt tropiklerdeki yüksek basınç kuşağının kuzeye doğru yer değiştireceği, bunun neticesi olarak da GAP projesiyle birlikte tüm Güney Anadolu'nun yer aldığı 25-35 derece enlemleri arasında yağışların azalmasına neden olabileceğini göstermektedir. Büyük şehirlerimizde kritik seviyeye düşmüş içme suyu ve GAP gibi büyük su kaynaklarının planlanması ve işletilmesinde, iklim ve onun sonucu olan yüzey hidrolojisinde anlamlı bir değişim olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda nümerik modellerin ülkemizle ilgili öngörülerinide şimdiden irdeleyebilmek için uzun yıllardan beri devam eden küresel ısınmanın, Güney Anadolu ile birlikte Türkiye genelindeki yağış rejimini şu ana kadar nasıl etkilediğini incelemekte yararlar vardır.

Ülkemizde genellikle kültür bitkilerinin yetişme devrelerinde düşen yağışların düzensiz olması nedeniyle yılın belirli periyotlarında sulama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Güneydoğu Anadolu gibi kurak ve

yarı kurak bölgelerde baraj gölleri ve sulama şebekeleri gibi büyük su yapılarının, çevre iklimi ve hidrolojisinde değişikliklere neden olduğunu daha önceki bölümlerde irdelemiştik. Bu bölümde ise atmosferin küresel ölçekte ısınmasının özellikle GAP bölgesindeki yağışları nasıl etkileyeceği üzerinde kısaca duracağız.

İklimde küresel ve yerel ölçeklerde ortaya çıkan farklılıklar, sıcaklık ve yağışın etkisiyle çevreyi, tarımsal üretimi ve sosyo-ekonomik etkinlikleri olumsuz bir şekilde etkileyebilir. Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli (IPCC)'nin 1990 yılında yayınladığı İklim Değişimi Etki Raporu'na göre GAP gibi kurak ve yarı-kurak bölgelerin iklimlerindeki küçük değişimler, yağış rejimini değiştirerek büyük su kaynaklarının kullanımı ve işletilmesinde önemli problemlere neden olabilecektir. Örneğin, Türkiye genelinde yağışlar azalınca GAP alanı başta olmak üzere tüm nehirlerin taşıdığı su miktarı düşer. Nehirlerle daha az beslenen baraj göllerinin su seviyesi de önemli ölçüde azalarak hidroelektrik enerji üretimi aksar. Van Gölü gibi göllerde su taşımacılığı zorlaşır.

Atmosferin küresel ısınması sonucu, yerel iklimler ile birlikte, yağış, akışı, buharlaşma gibi hidrometeorolojik elemanlarda gelecekte görülebilecek değişimlerin GAP'ta da su kaynaklarının tasarımı, planı, projesi ve işletilmesinde göz önünde bulundurulması bir zorunluluktur.

İklim değişiminin yerel su kaynaklarına olası etkisi de, GAP'ın, her türlü teknik hizmeti ve sosyal programının tasarımında mutlaka göz önünde tutulması gerekir. GAP bölgesinde enerji üretimine yönelik hidroelektrik santralların kullanım süreleri, gelecekte rezervuarların sulama kanallarına yeterli su bırakabilmesi gibi bir çok teknik hizmet, değişen dünya ve bölge iklimi sonucu yerel hidrometeorolojik şartlarda ortaya çıkabilecek değişimin önceden sağlıklı bir şekilde tespiti ve projelendirilmesi ile mümkündür.

Bu nedenle bu çalışmada, GAP bölgesinde inşa edilen baraj ve kurulan sulama tesisleri gibi büyük su yapılarının çevre iklimine olası etkisi hakkında şimdiden bir görüş sahibi olunabilmesi için, Keban Ba-

raj Gölü'nün çevre iklimine olan etkisi üzerine yapılan çalışmalar ve literatüre dayanılarak bazı kestirimler yapılmaya çalışılmıştır. Bunlara göre, yapay büyük su kütleleri nedeniyle GAP bölgesindeki kar yağışlarında ve kar çığlarında artışlar görülebilir. GAP bölgesindeki yapay göllerin kıyıları daha nemli, kışları daha ılık, yazları da daha serin bir iklime sahip olacaktır. Artan nem miktarı bölgedeki don ve sis olaylarıyla birlikte göl civarındaki rüzgârların şiddetlerinde de artışlara neden olabilecektir.

Küresel ısınma ile beraber GAP gibi küçük bir bölgede ortaya çıkabilecek iklim değişimi ise genel olarak iki şekilde araştırılmaktadır;

1. Genel Sirkülasyon Modelleri (GSM) ile oluşturulan senaryoları incelemek,
2. Geçmişteki yerel iklimin aletsel kayıtlarından istatistiki yöntemler ile gelecek için tahminler yapmak.

GSM'ler ile kurulan iklim senaryolarına göre, genel olarak Güney Avrupa ile Akdeniz bölgesi ve kabaca GAP bölgesi için 21. yüzyılın başlarında görülecek iklim değişikliği Bölüm 4.3'de özetlenmişti. Hava sıcaklıklarının artması, yağışları ve toprak neminin yaz aylarında azalması sonucu olarak da, Akdeniz bölgesinde tarımsal üretimde büyük kayıplar ortaya çıkacağı ve tarım kuşağının kuzeye kayacağı hesaplanmaktadır. Bunlar, GSM'lerin kullandığı çok kaba topografya ve gridler nedeniyle GAP gibi küçük bölgeler için sağlıklı sonuçlar olmayabilir. Bu modellerin büyük gridlerine ait olan değerlerinin, orta ölçekli (Mezo) nümerik modeller ile GAP bölgesindeki küçük gridlere taşınması gerekir. Bunun için yöresel iklim modelleri ile GAP Bölgesinde iklimin nasıl değişeceği konusunda İTÜ'de Doç. Dr. Yurdanur S. Ünal ve Prof. Dr. Nüzhet Dalfes çalışmalar yapmaktadır. Bu hocalarımızın yönetiminde İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümün'de master tezini hazırlayan Met. Yük. Mühendisi Barış Önal hâlâ sonuçlarını analiz etmekle meşguldür.

Bununla birlikte GAP bölgesindeki bir çok meteoroloji istasyo-

nunda uzun yıllar gerçekleştirilmiş olan klimatolojik kayıtlar, geçmişteki sıcaklıkların gelecekte beklendiği gibi normallerin çok üstünde seyrettiği periyotlarda yağış ve benzeri parametrelerin nasıl değiştiğini gösterebileceği gibi; bu kayıtların analizi GSM'lerden GAP bölgesi için çıkartılan kaba varsayımları da test edebilecektir.

Küresel ölçekte atmosferin giderek ısınması ile alt tropiklerdeki yüksek basınç kuşağının kuzeye doğru kayarak GAP ile birlikte tüm Güney Anadolu'yu çok kuru ve sıcak bir iklimin etkilemesi muhtemeldir (Brown, 1989). Bu tür bir iklim değişiminde GAP, planlanan bir çok teknik ve sosyal işlevini yerine getiremeyeceği gibi, GAP'tan sınır dışına verilmesi uluslararası anlaşmalar ile tespit edilebilecek olan sabit su miktarının da sağlanamaması tehlikesi de ortaya çıkabilecektir.

Bu nedenlerden dolayı küresel ısınma ve GAP bölgesinde oluşan büyük yapay göllerin neden olabileceği yerel iklimdeki muhtemel değişim, uzman kişilerce araştırılıp ortaya konmalı ve GAP ile ilgili her türlü teknik hizmetler birlikte sosyo-ekonomik program ve planlamada gözönüne alınmalıdır.

Bu bölümde GAP bölgesindeki muhtemel küresel iklim değişimi üzerinde durulduktan sonra da GAP bölgesinde sıcaklıkların artması durumunda yağış miktarlarının nasıl değişeceği sorusuna açıklık getirilmeye çalışılacaktır.

GSM'ler ile gerçekleştirilen iklim senaryolarına göre atmosferdeki sera gazlarının artışı, yukarı enlemlerdeki yağışları arttırırken orta enlemlerde kuraklıklara neden olabilecektir. 1°C-2°C arasındaki bir sıcaklık artışı ile yağışın % 10 ve yüzeysel akışın % 40-70 azalmasıyla beraber görülebilecektir (Tegart ve ark., 1990). IPCC'ye (1990) göre Güney Avrupa ve Türkiye'nin tümüyle içinde yer aldığı 35°-50°N enlemleri ve 10°W-45°E boylamları ile sınırlanmış alan için 2030 yılına kadar kış mevsiminde yaklaşık 2°C ve yaz aylarında 2°C ila 3°C'lik bir ısınma beklenmektedir. Güney Avrupa ile birlikte Türkiye'de yağış kış aylarında artabilecek, fakat yaz aylarında % 5 ila % 15'lik bir azalma olabilecektir.

Konumundan da anlaşılacağı gibi GAP bölgesindeki barajların göllerinden buharlaşma miktarı çok yüksektir. Bu küresel ısınma ile etkiyi daha da artırarak göllerin verimliliğini azaltacaktır. Çünkü artan buharlaşmayla birlikte göllerde tortu birikim hızı daha da yükselecektir ve bu yalnızca gölün su tutma kapasitesini azaltmakla kalmayıp besleyici minerallerin barajın aşağısındaki tarım alanlarına ulaşmasını önleyecektir.

Türk tarımını geliştirmeyi amaçlayan önemli bir proje olan GAP'ın, küresel ısınma sonucu Türkiye'de tarımın gelişimini nasıl etkileyeceğini de incelenmelidir. Santer'in (1985) yaptığı bir çalışmaya göre atmosferde CO_2'nin 2 katına ($2xCO_2$) çıktığı bir iklimde, Akdeniz bölgesinde 4°C'lik bir ısınma ile birlikte yıllık yağış miktarında % 10'dan daha büyük bir miktarda azalış görülebileceği ileri sürülmektedir. Böylece biyolojik kütle (biomass) potansiyelinde, örneğin, İtalya'da % 5 ve Yunanistan'da % 36 oranında, önemli düşüşler sonucu orta enlemlerdeki tarım kuşağının Kuzey Avrupa'ya doğru yer değiştireceği beklenmektedir (Santer, 1985). Her ne kadar Türkiye'nin kıyı bölgeleri için Akdeniz bölgesine yönelik tahminler temel olarak alınabilirse de, daha kurak ve sert bir karasal iklimin hakim olduğu GAP bölgesi için benzeri başka bölgelere yönelik yapılan çalışmalar da göz önüne alınmalıdır.

Türkiye'de olduğu gibi GAP bölgesine yakın komşu ülkelerde de, iklim etki değerlendirmeleri konusunda yeterli çalışma henüz yapılmamıştır. Tegart ve ark.'a, (1990) göre Orta Doğu için yapılan bir kaç çalışmada elde edilenler, küresel iklim değişimi ile bu bölgede oluşacak 3,5°C'lik sıcaklık artışının yağışlarda azalmaya neden olacağını göstermektedir.

Bu nedenlerden dolayı GAP gibi büyük su kaynaklarımızın planlanması ve işletilmesinde, iklim ve onun sonucu olan yüzey hidrolojisinde anlamlı bir değişim olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda nümerik modellerin ülkemizle ilgili tahminlerini

de şimdiden irdeleyebilmek için uzun yıllardan beri devam eden küresel ısınmanın, Güney Anadolu ile birlikte Türkiye genelindeki yağış rejimini şu ana kadar nasıl etkilediğini incelemekte yarar vardır.

Küresel iklim değişimin Türkiye'de yağış gibi hidrolojik çevrim elemanlarında bir değişime neden olup olmadığını belirleyebilmek için Türkiye genelinde 18 ilimize ait yaklaşık yarım yüzyıldan daha uzun süreli aylık yağış toplamlarından oluşan yağış serileri, Toros (1993); Kadıoğlu ve Toros (1993); Kadıoğlu ve ark., (1994) tarafından Mann-Kendall trend testine tabi tutularak incelenmiştir. Türkiye genelinde, mevsimsel yağış toplamlarında önemli olmasa da özellikle kış aylarında bir azalma; ilkbaharda ise artma eğilimi tespit edilmiştir (Elazığ, Diyarbakır ve Şanlıurfa için Tablo 5.4'e bakınız).

Tablo 5.4. Yüksek (max) ve düşük sıcaklıklar (min) ile yağış için Mann Kendall trend test istatistiği. Altı tek çizgi ile çizili olanlar trendin %90, koyu ve altı çizilmiş olanlar ise %95 anlam seviyesinde istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir (Kadıoğlu ve ark., 1994).

	Kış			**İlkbahar**		
	Min	Max	Yağış	Min	Max	Yağış
Elazığ	1,84	0,34	-0,78	**2,15**	1,40	0,04
Diyarbakır	1,01	-0,57	-0,83	**3,87**	-1,36	0,41
Şanlıurfa	1,36	-0,27	-0,42	**4,16**	0,24	0,73

Benzer şekilde yapılan bir çalışmada GAP bölgesinden bir kaç istasyona ait sıcaklık ve yağış zaman serilerinin analizinden, son altmış yıldır bu istasyonlarda, özellikle ilkbahar aylarında gece sıcaklıklarının arttığı gözlenmiş, fakat gündüz sıcaklıklarında önemli bir değişim tespit edilmemiştir. Yağışlarda ise, önemsiz de olsa ve özellikle kış aylarında bir azalış eğiliminin bulunduğu görülmüştür.

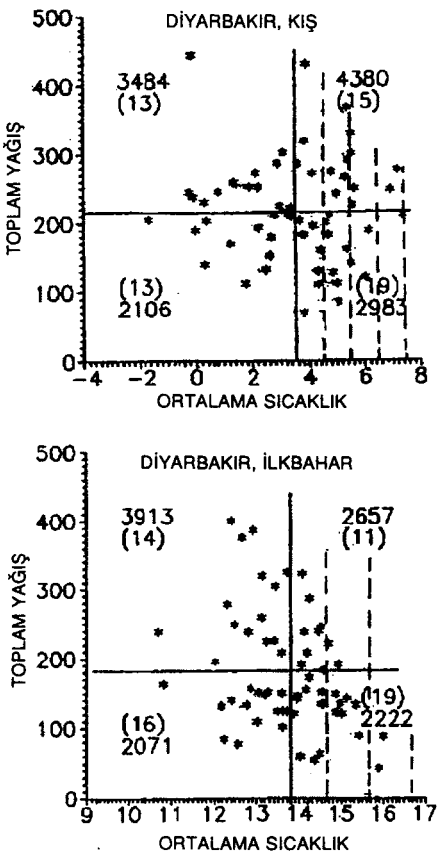
Tegart ve ark. (1990)'a, göre aletsel kayıtlarla geçmişte sıcaklığın normal ve uzun yıllar ortalamasının üzerinde olduğu periyotlarda, yağışın ne şekilde değiştiği konusunda yararlı çalışmalar yapılmıştır. Bu

tür çalışmalar bir çok ülke ile birlikte Japonya'da hâlâ sürdürülmektedir. Benzer şekilde bu çalışmada da aletsel kayıtlardan GAP bölgesi ve civarından seçilen üç istasyonda sıcaklık-yağış ilişkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Sıcaklık artışı GAP bölgesinde yağışı nasıl etkiler? Bu soruyu yanıtlamak için sıcaklıkla yağış arasındaki ilişkiye değişik bir açıdan bakarak Şekil 5.17'de verilen saçılma diyagramlarından inceleyelim. Böylece aynı yıllarda ölçülen yağış ve sıcaklık değerleri işaretlenerek toplam yağış miktarının, sıcaklığın uzun yıllar ortalamasına göre nasıl dağıldığı görülebilir. Mevsimsel toplam yağış ve ortalama sıcaklıkların uzun yıllar ortalamaları da Şekil 5.17'de yatay ve düşey çizgiler ile işaretlenmiştir. Böylece uzun yıllar ortalamasının üzerindeki sıcaklıklarda, diğer bir deyişle yüksek sıcaklıklarda toplam yağışın uzun yıllar ortalamasının üzerinde mi (yüksek yağış) yoksa altında mı (düşük yağış) olduğu açık bir şekilde gösterilmektedir. Küresel ısınma sonucu, ortalama hava sıcaklıklarının uzun yıllar ortalamasının 2°C veya 3,5°C üzerine çıktığında ne tür bir yağış gözlenebileceğini gösterebilmek için de sıcaklık ekseninden birer derece aralıklarla kesik çizgiler ve doğrular çizilmiştir. Şekil 5.17'deki saçılma diyagramlarının içerdiği bilgiler, Diyarbakır'la birlikte Elazığ ve Şanlıurfa için özetlenmiştir. Bu şekillerin hazırlanmasındaki temel mantık, benzerlikten hareket ederek, geçmişteki ilişkinin gelecekte de tekrarlanacağı kabulüne dayanmaktadır.

Şekil 5.17 incelendiğinde, örneğin Diyarbakır'da kışın, sıcaklığın uzun yıllar ortalamalarına göre dağılımı yağış sayısı olarak, yüksek sıcaklıklara düşük yağışların karşılık geldiği görülür. Bununla beraber, uzun yıllar ortalaması üzerindeki yüksek sıcaklıklara karşılık yağışın uzun yıllar ortalaması üzerindeki yağış miktarlarında en büyük toplam yağış miktarları ölçülmüştür. Benzer bir durum, Elazığ ve Şanlıurfa için de geçerlidir. Böylece bu üç ilimiz ve dolayısıyla kısmen GAP bölgesinde küresel ve yerel iklim değişimi ile artması beklenen hava sıcaklıklarıyla birlikte yağış miktarı da kışın artabilecektir. Geçmişte göz-

lenen yağış-sıcaklık ilişkisine göre ilkbaharda, örneğin Diyarbakır'da Şekil 5.17'de gösterildiği gibi, sıcaklıklar yükseldikçe daha düşük yağışlar görülecektir. Uzun yıllar sıcaklık ortalamasının 1°C'den fazla artması (kesik düşey çizgiler) daha çok yağışın uzun yıllar ortalamasının altına karşılık gelmektedir.



Şekil 5.17. Sıcaklık-yağış arasındaki ilişkileri veren saçılma diyagramları. x- ve y-eksenlerine paralel olarak çizilen düz çizgiler sıcaklıkların ve yağışın mevsimsel ortalamalarını; kesik düşey çizgiler ortalamanın üzerinde 1°C'lik sıcaklık artımlarını; dört bölgede verilen sayılar o bölgede gözlenen toplam yağış miktarını (mm) ve parantez içinde verilen rakamlar ise yağış frekansını gösterir (Kadıoğlu, 1993a).

IPCC (1990) raporunda belirtildiği gibi kış aylarındaki ısınma yağışta artışa, başka bir deyişle yüksek sıcaklıklar yüksek yağış miktarlarına karşılık gelerek, gelecekte 2°C'lik GAP bölgesindeki hava sıcaklığı artışı yağışta da artışa neden olacaktır. Akdeniz bölgesinde özellikle yaz aylarındaki yağış miktarlarında olası sıcaklık artışlarıyla yağışta azalma olacağı belirtilmiştir. Şekil 5.17'den görülebileceği gibi bu üç ilimizde ve dolayısıyla kısmen GAP bölgesinde kış aylarında yüksek sıcaklıklar yağış miktarında artışa ve yağış frekansında da azalmaya neden olmaktadır. Bu şekilde gözlenen sıcaklık-yağış ilişkisi, IPCC'nin bu tahminini doğrular şekildedir.

Aletsel kayıtların gelecekteki iklim elemanlarının birbirleriyle olan ilişkilerini tespit etmek için yapılan analizleri, iklimin gelecekte, geçmişte olduğu gibi (veya benzer bir şekilde) davranacağı varsayımına dayanır. Her ne kadar bu çok sağlıklı bir kabul değilse de GAP ve diğer bölgelere ait aletsel kayıtların ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesinin bir çok yararı vardır. Bu nedenle GAP bölgesindeki daha fazla meteoroloji istasyonuna ait aletsel kayıtlar yakın bir gelecekte analiz edilecektir.

Bu saçılma diyagramlarına göre, GAP bölgesinde (en azından Elazığ, Diyarbakır ve Şanlıurfa'da) kış aylarında ölçülen yüksek sıcaklıklar ile yüksek miktarda yağışlar beraber görülmektedir; fakat diğer mevsimlerde yüksek sıcaklıklar ile düşük yağışlar beraber kayıt edilmiştir. Böylece GSM'lerin artan kış sıcaklıkları ile birlikte GAP bölgesinde yağışların artabileceği, yaz aylarında ise azalacağı tezi doğrulanır gibidir. Diğer bir deyişle, kış ve ilkbahar aylarında GAP bölgesinde sıcaklıklar arttıkca yağış miktarının da arttacağını göstermektedir. Böylece, küresel ısınma devam ettiği sürece GAP bölgesinde kış aylarında yağışın artacağı beklenmektedir.

Tüm bu sonuçlar, Türkiye genelinde ve GAP bölgesinden seçilen istasyon sayısının sınırlı tutulması ile birlikte Türkiye'deki aletsel kayıtların iklim değişimini tam anlamıyla tespit edebilecek kadar uzun olmaması nedeniyle, yerel iklim ve yağış değişimi hakkındaki ilk bul-

gular olarak görülerek daha kapsamlı çalışmalara bizi yöneltmelidir. Çünkü Türkiye'deki yağışlarda henüz her ne kadar önemli değişimler gözlenmemişse de dünyadaki küresel iklim değişimi olgusundan Türkiye'yi soyutlamak mümkün değildir.

Değişen iklimle akış durumuna geçen su miktarındaki azalma sonucu, kaynağı Türkiye'de olan ve komşu ülkelere su taşıyan nehirlerin debilerinde de önemli azalmalar ortaya çıkabilecektir. Akarsularımızın bir miktarının güneydeki komşu ülkelerin hak ve ihtiyaçlarını karşılamak üzere bırakılmalarında belirlenecek ölçünün, değişmekte olan ve/veya değişecek olan iklim şartlarımızı esas alarak ayarlanabilir olması gerekir.

Ülkemizde iklim değişimi ve etkilerini tespit için yapılması gereken araştırmalarda, meteorolojide ileri olan ülkelerde olduğu gibi, atmosferin non-lineer ve dolayısıyla kaotik yapısından dolayı nümerik modellere yönelmeliyiz. Problemin karmaşık doğası ve bu tür çalışmalar için kısıtlı olan kaynaklarımızı ve yetişmiş insan gücümüzü en verimli şekilde kullanabilmemiz için DMİ ve DSİ gibi uygulayıcı kurumların üniversitelerle yoğun işbirliğine gitmesinde büyük yarar vardır. Türkiye'de de, büyük ve çok önemli su kaynaklarının kullanımı, geliştirilmesi ve uluslararası platformlarda "su görüşlerimizi" etkili bir şekilde savunabilmemiz için çalışmalar yaparak politikalar geliştiren, bir "Hidrometeoroloji Enstitüsü" kurulması gerekir.

5.5. İklim Değişiminin Etkileri Üzerine Senaryolar

İnsanları korkutan şey iklim değişimi teorisinin kendisi değildir. Bu teori küresel ilklim değişiminin pozitif ve negatif etkileri olacaktır. Pozitif etkiler arasında kuzey enemlerinde tahıl veriminin artması gibi şeyler var: fakat insanları doğal olarak olası negatif etki potansiyeli korkutmaktadır.

Bu korkular bütünüyle yersiz de değildir, çünkü sıcak iklimler şu negatif etkileri içerebilir:

1. Daha şiddetli ve aşırı hava olayları riski
2. Bazı bölgelerde kötü kuraklık riski
3. Bazı bölgelerde sel riski
4. Tarım, agro-kültür, hayvancılık, tatlı su depolama gibi insanın ekonomik etkinliklerini kötü bir şekilde etkileme riski
5. Sıtma ve malarya gibi hastalıkları taşıyan böceklerin normalde bulundukları bölgeden çıkarak insan sağlığını tehlikeye sokma riski.

Böylece su, kara ve havadaki yaşamı tümüyle tehdit eden çevre problemlerinde büyük artışlar olabilecek ve tarım ile beraber ekonomimiz, insan sağlığı ve yaban hayatı da kötü bir şekilde etkilenebilecektir.

İklim Göçleri

Eskiden iklim insanı olumsuz etkilediği zaman insanlar ya iklime uyum sağlar, ya da iklimi uygun başka yerlere göçerlerdi. Şimdi insan iklimi etkiliyor ve artık göçebe zihniyeti ile "kirlet göç et" anlayışı ile de hareket etmesi düşünülemez.

Son yıllarda giderek artan şiddette ve sıklıkta, sel, kuraklık ve fırtınalar gibi meteorolojik afetlerin daha da fazlalaşması beklenmektedir. Dolayısıyla ister kıyılarda, ister kıyılardan uzakta olsun yakın bir gelecekte milyonlarca insanın evlerini ve/veya ülkelerini terk edip göçmekten başka bir çaresi kalmaması yüksek ihtimal dahilindedir. Küresel iklim değişimi, böylece, Türkiye ve dünya üzerinde şu an sürüp giden kıtlık, göç ve mülteci problemlerini daha da arttıracaktır.

Bu günlerde Türkiye üzerinden Avrupa'ya kaçmaya çalışan göçmenlerin büyük bir bölümü genellikle Afrika ve Asya'da iç savaş ve/veya kuraklık, salgın hastalıklar ve kıtlığın pençesindeki ülkelerin vatandaşlarıdır. İklim değişikliği senaryoları da, küresel iklim değişiminin

Dünya üzerinde şu an sürüp giden göç ve mülteci problemlerini daha da arttıracağını ortaya koymaktadır. Geçmişe bakarsak, Türklerin ana yurdu Orta Asya'dan M.Ö. 375 yılında göç etmelerinin belli başlı nedenleri arasında iklim değişikliğine bağlı olarak bölgede ortaya çıkan kuraklık, salgın hastalıklar ve kıtlığın da bulunduğu görülür.

BM Mülteciler Yüksek Komiserliği'ne göre şu an dünyada 100 milyon insan ana vatanından ayrı yaşamaktadır. 1978'den önce 5 milyon olan mülteci sayısı, 1986 yılında 26,4 milyona ulaşmıştı. Günümüzde de ekolojik bozulma ve çevre tahribatı ile birlikte küresel iklim değişiminin sonuçlarına bağlı olarak mülteci sayısındaki artış hızlanarak devam etmektedir.

Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli'nin (IPCC) 2030 yılı için yaptığı iklim değişikliği senaryoları da, küresel iklim değişiminin dünya üzerinde şu an sürüp giden göç ve mülteci sorunlarının daha da artıracağını ortaya koymaktadır. Çünkü, zaten fakir olan güney ülkelerinde, sel, kuraklık ve fırtınalar sayı ve şiddet bakımından da artacaktır. Dolayısıyla ister kıyılarda, ister kıyılardan uzakta olsun yakın bir gelecekte milyonlarca insanın evlerini ve ülkelerini terk etmekten başka bir çaresi kalmaması yüksek bir olasılık olarak öngörülebilir.

Mısır ve Bangladeş bu konuda zaten çoktan alarm vermiş durumda. Örneğin, çok yakın bir zamanda Bangladeş'te yaklaşık 20 milyon kişi "ekolojik göçmen" haline gelebilecektir. Bangladeş Çevre Bakanı, Kyoto Protokolü'nü henüz yürürlüğe koymayan Amerika, Avrupa ve diğer büyük ülkeleri bu göçmenleri alması için gerekli hazırlıklarını şimdiden yapmaya çağırıyor (24 Ocak 2000, BBC).

IPCC tarafından 2030 yılı için yapılan senaryolara göre:

a. Çevresel tahribat nedeniyle milyonlarca insan büyük olasılıkla göç etmeye zorlanacak.
b. Bazı ada ülkeleri toplum ve kültür olarak tümüyle yok olabilecek.
c. c. Bazı yerlerde yağış şiddetindeki artış göçü tetikleyecek.

d. İklim değişimi köyden şehire göçü hızlandıracak.
e. Aynı zamanda iklim değişimi kentlerdeki alt yapının çökmesine ve dolayısıyla kentten köye göçe neden olacak.
f. Kötüleşen iklim şartlarıyla birlikte savaşlar bir arada yaşandığı yerlerde çok büyük sığınmacı ve göçmen problemleri yaşanacak.

İnsan Sağlığı

Hipokrat'ın yazdığına göre "Kim bir ilaç geliştirmek isterse ilk yapması gereken, mevsimleri ve her birinin yarattığı etkileri göz önüne almak olmalıdır". O, bu fikri daha da ileri götürerek, hemen hemen tüm hastalıkların temelinde iklimin etkisi olduğuna inanmıştır.

Yaz aylarında yüksek hava sıcaklığı ile birlikte yüksek nem bizi ne kadar sıcaktan bunaltıyorsa, kış günlerinde de düşük hava sıcaklığı ile birlikte kuvvetli rüzgârlar da bizi o kadar üşütür. Yazın etkili olan yüksek nemden dolayı insanların hissettiği hava sıcaklıkları, termometre ile ölçülen hava sıcaklıklarından daha yüksektir. Kışın ise zaman zaman etkili olan kuvvetli rüzgârların soğutucu etkisinden dolayı insanların hissedeceği hava sıcaklıkları termometreler ile ölçülebilecek hava sıcaklıklarından daha düşüktür. Vücudumuz hava sıcaklığını termometre gibi hassas bir şekilde ölçemez fakat ne kadar hızlı soğuduğuna veya ısındığına karşı çok hassastır (Tablo 5.5).

Bazen meteoroloji raporlarında, "Bu hafta sonu hava sıcaklıkları mevsim normallerinin şu kadar derece üstünde veya altında seyredecektir" şeklinde bir ifade kullanılır. Meteoroloji raporlarında "normalin üzerinde" veya "normalin altında" gibi ifadeler iklim değişikliğini belirtmek için değil de, yalnızca karşılaştırma yapmak amacı ile kullanılır. Hava sıcaklıkları genellikle mevsim normali adı verilen değerden büyük ya da küçüktür. Diğer bir deyişle, hava sıcaklıkları normal denen ortalama değerde nadiren gözlenir. Hava sıcaklıkları normal değerinden 6°C ve daha yüksek olduğunda "ekstrem" veya "aşırı yüksek hava sıcaklığı" olarak adlandırılabilir.

Yüksek hava sıcaklıklarını insanlar, nemin etkisi ile meteorolojinin gölgede ölçtüğünden çok daha fazla hissederler. Hava sıcaklıkları 40,6°C ve daha yüksek olduğu günlerdeki hava şartları "Sıcak Hava Dalgası" olarak adlandırılır. Sıcak hava dalgasının en az iki gün süreceği belirlendiğinde de insanlar için "Sıcak Hava Dalgası" ihbarı yapılır. Örneğin, ABD'de 1936-1975 yılları arasında 20 000 kişi hayatını sıcak hava dalgalarından dolayı kaybetmiştir. ABD'de klimanın yaygın bir şekilde kullanıldığı son yıllarda ise yılda ortalama 175 kişi hayatını kaybetmektedir. Ülkemizde de, özellikle kıyılarımıza yaz aylarında hakim olan nemli ve sıcak hava da bunaltıcıdır ve psikolojik rahatsızlıklar, astım, beyin kanamaları ve kalp krizleri başta olmak üzere, özellikle çocuk, yaşlı, hasta ve kilolu, insanlarımızda bir çok sağlık sorunlarına neden olabilir. Örneğin, Türkiye'nin Akdeniz kıyıları başta olmak üzere Ege ve Marmara Adası'nda katlanılmazlık sınırlarının üzerine çıkılmıştır. Sıcaklığın aldığı boyut, özellikle, ağustos ayında en tehlikeli noktadadır.

İklimdeki herhangi bir değişiklik toplumda sıkıntıların artmasına neden olabilmektedir (WMO, 1987). Kimi bölgelerde sıcak günlerin normalinden fazla bir şekilde artması insanları sıkıntıya sokar. Atmosferin çeşitli katmanlarındaki ve iklimdeki değişikliklerin diğer sağlık etkileri morötesi radyasyondaki değişikliklerle ilgilidir. Örneğin, gelen UV-B radyasyonundaki artış cilt kanserine, göz zedelenmelerindeki artışa neden olur.

Kalp hastalıklarının, insanda daha çok şiddetli mevsim baskısı; aşırı sıcaklardan ya da soğuklardan olduğu bilinmektedir. Sıcak bazı bölgelerde aşırı sıcağa ve nemli iklime dayanan hastalıklar vardır. Diğer alanlarda, solunum hastalıkları soğuk ve nemli hava ya da kirlilikten oluşmaktadır. Bundan başka güncel hastalık ve rahatsızlıkların büyük bölümü iklimle ilgilidir.

Bazı hastalıklar doğrudan iklimle bağlantılı değildir (WMO, 1987). Ancak böceklerden kaynaklanan enfeksiyonlar, sıtma, sarıhumma, ti-

füs gibi felaketler böceğin çok olmasına neden olan iklimlere sahip bölgelerde yaygındırlar. Kuraklık, orman kaybı gibi çevresel şartlardaki değişiklikler, insanlara hastalık saçan böcekler gibi organizmaların dağılımını ve sayısını değiştirebilir. Ayrıca hava ve iklimin astım ve diğer solunum bozukluklarında dolaylı da olsa bir etkisi vardır.

Tablo 5.5. Bazı sıcaklıklarda görülen hastalıklar (WMO, 1987).

<< 17 °C	<17 °C	>31 °C	>>31 °C
Ani kalp ölümü	Hipertansiyon	Hipertansiyon	Ani kalp ölümü
Kalp yetmezliği	Hypothermia	Hypothermia	Kalp yetmezliği
Felç	Astım	Hyponydrosis	Kalp felci
	Solunum	Kalp yetmezliği	
	enfeksiyonları	Hydromeiosis	
	Tembellik	Yorgunluk	
	Rahatsızlık	Tembellik	
	Uykusuzluk	Uyuşukluk	
	Zihinsel yavaşlama	Öğrenme kapasitesinde azalma	
	Depresyon	Hafıza bozukluğu	
		Depresyon	

Tıbbi klimatoloji alanı geniş ve karmaşıktır. Bundan dolayı da bu konudaki çalışmalar daha azdır. Toplulukların çoğunda olduğu gibi romatizmal hastalıklarda iklim ve hastalık arasındaki ilişkinin, çok eski zamanlardan beri var olduğu düşünülmüştür (Lawrange, 1967). Hastalık ve atmosfer arasındaki en akla yatkın korelasyonlardan solunumla ilgili hastalıklar için kabul edilmiştir (Hope ve Simpson, 1967). Özellikle hava ve iklimin, astım ve diğer solunum bozukluklarında dolaylı da olsa hatırı sayılır bir etkisi vardır.

Ölüm oranını, birçok şehirde yapılan istatistikler, sosyo-ekonomik faktörler ve diğer değişiklikler kadar iklimsel etkenlere bağlı değişiklikler göstermektedir. Ek olarak ilginç olan, sıcak enlemdeki bölgelerde alçak basınç sırasında ölüm oranı, yüksek basınçtan daha faz-

ladır. İklimdeki bir değişiklik, yaşlı özellikle kalp hastalığı, astım veya bronşiti olanlarda yararlı olabilir, zararlı da (WMO, 1987).

Su Kaynakları

Önce bir bardağı içme suyu ile doldurup düşünün bakalım; bardağınızdaki su şimdiye kadar kaç kişinin midesinden geçmiştir? Almanya'da yemek masasında duran bir bardak suyun dokuz kişinin midesinden geçtiği, diğer bir deyişle dokuz kez dönüşümlü olarak kullanıldığına inanılır. Suyun dönüşümü, su tasarrufunun temel ilkesidir.

Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneline (IPCC) göre 1990 iklim şartlarına göre Türkiye'de bir yılda kişi başına düşen su miktarı 3070 metreküptür. Fakat bu suyun büyük bir kısmı suya ihtiyaç olan yerlerde bulunmamaktadır. İklim şartlarının değişmeyeceğini kabul etsek bile, sadece nüfus artışı nedeniyle 2050 yılında Türkiye'de bir yılda kişi başına düşen su miktarı 1240 metreküp olacaktır. Artan nüfusumuzla birlikte bir de küresel iklim değişimi sonucu daha kurak bir iklime sahip olacağımız göz önüne alındığında 2050 yılında Türkiye'de bir yılda kişi başına düşen su miktarı 700 ila 1910 metreküp arasında olacaktır. Bu da şu an Kıbrıs adasında kişi başına düşen su miktarı kadardır. Diğer bir deyişle, değişen iklimi ve artan nüfusu ile Türkiye 2050 yılında iyice su yoksulu bir ülke olabilecektir. Bu nedenle küresel iklim değişiminin su kaynaklarımız üzerine olası etkileri araştırılmalı, su kaynaklarımız meteorolojik şartları göz önüne alarak yönetilmeli ve sınırı aşan suların komşu ülkelerle paylaşımında iklim etkeni de göz önünde bulundurulmalıdır.

Örneğin, ABD ile Meksika'nın sularını paylaştığı Colorado nehrini ele alalım. ABD'den doğup Meksika'dan denize dökülen bu nehrin sularının paylaşımı üzerine yapılan antlaşmada ABD, Meksika'ya vereceği suyun miktarını iklim şartlarına bağlamıştır. Kuraklığın şiddetine göre Colorado nehriyle Meksika'ya verilecek su miktarı azaltılacaktır. Yoksa şiddetli bir kuraklık durumunda saniyede 500 metreküp gibi

baraj ve nehirde olmayan veya barajların işletilmesini tehlikeye sokabilecek sabit miktarda bir suyu bulup vermek gibi bir sorunla karşı karşıya kalabiliriz. Örneğin, kurak gecen 2000 yılında Suriye ye söz verilen saniyede 500 metre küp su yerine bazı aylarda saniyede sadece 160 metre küp su verilebilmiştir. Gelecek yıllarda kuraklık artarsa bu miktar daha da azalabilecektir.

Bilindiği gibi, Türkiye'nin Irak ve Suriye ile iki nehrimizin sularının kullanımı konusunda bir antlaşmaya varamamasının nedeni, Irak ve Suriye'nin kayalık alanları bile sulu tarım alanları olarak gösterip ihtiyaçlarından çok daha fazla su talep etmeleridir. Komşularımız ikide bir "Ankara'nın suların eşit dağılımını garanti edecek ... ciddi bir siyasi karar vermesi gerekmektedir" (Cumhuriyet, 5/8/2000) şeklinde görüşler ileri sürmektedir. Oysaki Suriye, Türkiye'den daha fazla su zengini bir ülkedir... Ayrıca su dağılımı "siyasi" değil "teknik" bir konu olarak ele alınmalıdır... GAP projesi dahilinde barajlar yapılmamış olsaydı DSİ eski genel müdürü Prof.Dr. Doğan Altınbilek'in söylediğine göre 2000 yılının kurak aylarında "Suriye sadece 50 metre küp alabilecekti." Bu konu teknik olarak ele alındığında GAP güney komşularımız için bir çok faydalar sağladığı da görülebilir.

Şu an Akdeniz havzasında dağlar mevsimsel olarak karla kaplanır. Dağlarda biriken karlar, kurak gecen yaz aylarında nehirlere ve göllere su sağlayan doğal bir baraj gölünün suları gibi görev görür. Küresel ısınmadan dolayı, kışın akışta önemli bir artış olurken, yazın akış değerlerinde önemli düşüşler olur. Genellikle, düşüşler artışlardan daha fazladır. Sıcak ve kuru havalarda karın erimesiyle akışa gecemeden direkt olarak buharlaşarak (süblimasyon) havaya karışması daha fazladır. Karın buharlaşması Doğu Anadolu gibi yarı kurak bölgelerimizde son yıllarda çok sık gözlenmektedir. Bazı yıllar mevsim normallerinde kar yağışlarına rağmen nehirlerimizdeki akışın ve baraj göllerimizdeki suyun seviyesinin yükselememesinin nedeni de büyük ölçüde budur.

Küresel iklim değişiminin ülkemizdeki diğer etkileri başlıklar halinde söyle özetlenebilir:

- Kışın küçük artışa rağmen yağışta yazın büyük bir azalma olacak fakat buharlaşma artacak.
- Yağışların mevsimsel dağılımı ve şiddeti değişecek.
- 1987'den beri zaten ortalamanın altında gerçekleşen kar örtüsü daha da azalacak
- Akımları, sadece miktarı azalmayacak, aynı zamanda pik zamanları da değişecektir.
- Kuraklığın sıklığı ve şiddeti artacak.
- "Su stresi" artacak...
- Yüksek basınç kuşağının kuzeye kayması ile ülkemizde egmen olabilecek tropikal iklime benzer bir kuru hava, daha sık, uzun süreli kuraklıklara neden olacaktır.
- Kuş cenneti ve benzeri milli parklar tahrip olur, kuşların göç yolları ve konaklama yerleri değişir.

Böylece, Akdeniz Bölgesinde akışdaki mevsimsel salınımlar hava sıcaklıklarına karşı çok duyarlı olduğu için çok yükselmiştir. Bu da baraj göllerinin su tutma kapasitesini etkilemektedir. Özellikle kar, su toplama havzalarının iklim değişimine gösterdiği reaksiyonu ortaya koyan en iyi faktördür. Bu faktör aynı zamanda havzanın orografik özelliklerine bağlıdır. Yüksek akış katsayıları bir çok hidrolojik projenin yabılabilmesine de engel oluşturacaktır. Özetlemeke gerkirse IPCC'nin bizim için de gecerli olan şu senaryolarına dikkat etmeliyiz.

IPCC tarafından 2030 yılı için yapılan senaryolara göre:

- Ekstrem yağıştaki değişkenlik artabilecek.
- 2025 yılına kadar sadece dünya nüfusunun 1/3'ü yeterli suya sahip olacak. Bazı yerlerde ise ekstrem su kıtlığı ülkelerarası problemlere yol acabilecek.
- Suyun sağlanabilirliğindeki değişimler su temini yönetiminde yeni ve daha serbest kuralları olan su yönetimi strajetilerine

gereksinim duyacak.

- Yağış azalacak, akışlar azalacak ve yer altı su seviyeleri düşecek.
- Su kıtlığından dolayı tarımsal rekolteler düşebilecektir. Bu da yer yer kıtlık ve açlığa neden olacak.
- Su sektörü ekonomik kayıplara uğrayabilecek ve nehir akışlarındaki değişim hidrolik elektrik enerjisi üretminde belirsizlikler ortaya çıkabilecek.

Sonuç olarak, yağışların bazı bölgeler dışında miktar ve dağılımının düzensiz olduğu, büyük şehirlerde ve tarımsal üretimde suyun kısıtlı bulunduğu, içme, kullanma ve sulama suyu kalitesinin gün geçtikçe artan sanayi ve diğer çevre kirlilikleri neticesinde düştüğü ve küresel ısınma düşünülürse, ülkemizin kuraklığın şiddetini çok yakın bir zamanda bugünkünden çok daha fazla hissedeceği açıkça görülmektedir. Kuraklığın artması ile şehir ve ülke sınırlarını aşan nehirlerin kullanımı dahil bir çok uluslararası, ulusal ve yerel su kaynağının paylaşımını ve yönetimini daha da zorlaşacaktır.

Tarım ve Orman

Bölüm 5.3'de küresel iklim değişiminin tarıma olası etkileri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bunlara ilaveten senaryolarda yer alan diğer noktalar şöyle sıralanabilir:

- Kuru kesimlerde yüksek sıcaklıklar ile birlikte orman yangınları ve tarımsal hastalık ve böcek zararlılarında büyük artışlar görülür.
- Tarım için bir çok yerde sulama gereği ortaya çıkacaktır. Geleneksel tarım ürünleri yerine daha sıcak ve kuru iklim şartlarına uygun tarım ürünlerine geçiş bir zorunluluk halini alabilecektir.

Böcek zararlılarına bir örnek vermek gerekirse Türkiye'yi tarih boyunca sık sık etkileyen çekirge sürülerine bakalım. 15 Nisan 1958'de "Türkiye'nin Güneydoğu Bölgesinde, çekirge sürüleri ile yapılan mücadele sonunda, tonlarca böcek ölüsünün ortaya çıktığı bil-

dirilmişti! Nisan ayı başlarında, güney sınırından ülkeye saldıran Afrika kaynaklı çekirge sürüleri, sıcak güney rüzgârlarının yardımıyla kilometrelerce geniş alanlara yayılmıştı. Urfa, Viranşehir, Cizre ve Harran çevresindeki her türlü yeşil bitki, bu iştahlı saldırganlardan nasibini almıştı. Zirai mücadele kuruluşunun sağladığı zehirli ilaçlar, çekirgeleri yok etmede etkili olmuş, yalnızca üç köyde bile toplanan böcek ölüleri 23 tona ulaşmıştı" (Mümtaz Arıkan, "Tarihte Bugün", 15.4.2000 Cumhuriyet Gazetesi).



Çöl çekirgeleri Asya ve Afrika çöllerinin kıyısında yetişiyor. Büyük bir çekirge sürüsü 100 milyar çekirgeden oluşabiliyor ve 1000 kilometre karelik bir alanı kaplayabiliyorlar. Bir ay içinde 3500 km yol da alabilirler. Her bir çekirge bir günde kendi ağırlığı kadar ot yediğine göre, büyük bir çekirge sürüsü bir günde 100 bin ton bitki tüketebilir.

Çöl çekirgeleri yıllık toplam yağışı 80 ile 400 kg arasında olan çöllerin kıyı bölgesindeki kumların üzerine yumurtalarını bırakır. Daha fazla yağış alan yerlerde çekirgelerin düşmanı olan diğer böcekler çok fazla sayıda görüldüğü için çekirgeler oralarda büyük sürüler oluşturabilecek sayıya ulaşamazlar. Hava şartlarının kuru geçtiği dönemlerde çekirge düşmanlarının sayısında büyük azalmalar olur. Bu nedenle, kuru bir yıldan sonra yağmur yağınca çekirge nüfusunda bir patlama olabilir.

Çekirge sürülerinin geçtiği yerlerde kıtlık oluşur ve onlarla doğru mücadele edilmezse insanlar da açlıktan ölebilir. Bu nedenle, Dünya Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) de Türkiye dahil bir çok ülke için hava şartlarına bağlı olarak aylık "Çöl Çekirgesi Tahminleri" yapmaktadır. Bu tahminlere önümüzdeki yıllar daha fazla ihtiyacımız olacaktır.

Turizm

Türkiye'de yaz turizmi en gelişmiş turizm çeşididir. Kış, kültür ve konferans turizmi çok gelişmemiştir. Bu nedenle turizimimiz daha çok artan hava sıcaklığı ve yükselen deniz su seviyelerinden etkilenebilecektir. Örneğin;

- Isınma ile birlikte kışları kar yağışlarının yerini yağmurlar alabilir. Daha az kar yağışı ve/veya çabuk erimeden dolayı da, kış spor merkezlerinden daha kısa sürelerde yararlanılabilir, ya da hiç kullanılamayabilirler.
- Diğer Akdeniz ülkeleri gibi Türkiye için de en büyük sorun, deniz seviyesindeki yükselmeler olacaktır. Turistik plajlar ve yat limanları yükselen deniz suyu ile kullanılamaz hale gelebilir.
- Zengin kuzey ülkeleri daha sıcak hava şartlarına sahip olunca, Türkiye gibi sıcak ülkelere daha az seyahat edebilecektir.
- Ayrıca artan hava sıcaklıkları yaz aylarında nem ile birleşince daha yüksek bunaltıcılığa neden olabileceği için sağlık sorunları olan yaşlı turistlerin sayısında azalmalar olabilecektir.

Ulusal Güvenlik

Savaşlarda ne doğru silah, ne de doğru taktik tek başına en fazla askeri başarıyı sağlayabiliyor. En iyi başarı için çoğu zaman doğru silah, doğru taktik ve doğru hava şartları gerekiyor.

Artık tüm silah sistemleri için, tasarımdan başlamak üzere, atmosferik çevre göz önünde bulundurulmaktadır. Çamurdan-Güneş'e kadar uzanan çevrede modern savaş ve askeri meteoroloji uzmanları herhangi bir çevresel etkinin silahların performansını ve dolayısı ile savaşı etkileme olasılığını artık göz ardı etmemektedir. Bu nedenle, günümüzde "Atmosfer Araştırma Laboratuvarları"nda silahların atmosferik şartlardan nasıl etkileyebileceğine dair yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Havanın silah olarak kullanımına yönelik hava modifikasyonu çalışmaları ve teknolojik araştırmalar 1940'lı yıllarda başlamıştır. Hava

modifikasyonunun askeri ya da diğer düşmanca amaçlar için kullanımına dair yasak hakkındaki 5 Ekim 1978'de yürürlüğe giren B.M. antlaşması ise sadece yaygın, uzunvadeli veya şiddetli hava modifikasyonları için geçerlidir. Burada kastedilen hava modifikasyonu, yağış arttırımı ve dolunun önlenmesi gibi B.M. antlaşmasında izin verilen yerel, sürekli ve şiddetli olmayan değişimlerdir. Bir savaş sırasında hava ve diğer fiziksel çevre koşullarını istenilen biçimde değiştirebilme yeteneğinden, amaçlanan hedef doğrultusunda, Düşmanı Engelleme ve Dosta Yardım Etmek şekilde iki yönlü faydalanılabilinecektir.

Tarih, hava koşullarının sonucunda belirleyici rol oynamış savaşlar ile doludur. Fakat günümüzde değişen iklim de savaşların sebebi olabilecektir. Tüm bu nedenlerden dolayı, Silahlı Kuvvetlerimizin de meteoroloji bilimine bakış acısını artık değiştirmesi gerekmektedir.

IPCC tarafından 2030 yılı için yapılan senaryolara göre:

- İklim değişiminden dolayı göçler tetiklenecek ve bunun sonucunda etnik problemler ortaya çıkacak veya mevcutlar daha da şiddetlenecek.
- Su kullanımı üzerinde şiddetli anlaşmazlıklar çıkacak.
- Çevresel ve eğlence amaçlı su ve doğal kaynak kullanımı kısıtlanacak.
- Bazı ülkelerin tarımı ve dolayısı ile ulusal ekonomi tamamen değişebilecektir.

Fırtınalar ve Diğer Şiddetli Hava Olayları

ABD'de Atlantik Okyanusu'nun kıyısında yaşayan bir balıkçı, atmosfer basıncını takip edebilmek için bir barometre ısmarlar. Barometre bir sabah postacı tarafından kendisine teslim edilir. Balıkçı paketi açıp barometreyi kutusundan çıkardığında, barometrenin iğnesinin "tayfun" gösterdiğini görür. Barometreyi sallar ama barometrenin iğnesi tayfun göstermeye inat eder. Balıkçı barometrenin bozuk olduğunu düşünerek hemen onu geri göndermek üzere şehirdeki posta-

nenin uzun yolunu tutar. Bir gün sonra balıkçı geri dönünce kulübesinin yerinde olmadığını görür. 21 Eylül 1938'de kulübe "adsız bir tayfun" tarafından yok edilmiş ve çevrede 700 kişi ölmüştü.

Kendi ekseni etrafında batıdan doğuya doğru dönen Dünyanın bu dönüş yönüne zıt yönde, tropikal enlemlerdeki okyanusların sıcak suları üzerinde doğudan batıya doğru hareket eden dev azmanı fırtınalardır tayfunlar. Çok büyük bir alanı kaplayan ve bir Mevlevi'nin etekleri gibi kendi etrafında dönen bulut kümesinin ortasında da bu fırtınaların bir tane gözü vardır.

Evet 1938'lerde tayfunların adı yoktu ama şimdi var. Önce burada tayfunlarla ilgili kavram kargaşasına da bir açıklık getirelim. Tropiklerde maksimum rüzgârlar, hızları 60 - 110 km/saatlik bir hıza ulaştığında "tropikal fırtına"; 110 km/saati aştığında da "tropikal siklon" olarak adlandırılır. Tropikal siklonlara Pasifik Okyanusun kuzeyinde "hurikeyn" (hurricanes); Kuzey Pasifik Okyanusun batısında "tayfun" (typhoons); Avustralya'da da "Willy-Willies"; Hint Okyanusunda da sadece "siklon" olarak adlandırılır. Bazı sözlükler tropikal siklonları Türkçe'ye "kasırga" olarak çeviriyor. Aynı sözlükler, "Twister" filmindeki "tornado"ya (yani hortuma) da "kasırga" diyor. Ben Japonlar gibi ve bize daha tanıdık olduğu için tropikal siklonlara Türkçe'de "tayfun" denmesi gerekir kanısındayım.

Tayfunlara isim takmak ilk kez 20. yüzyılın başında Avusturyalı meteorologlar sevmedikleri politikacıların isim vermesiyle başladı. II. Dünya Savaşında Amerikan deniz kuvvetlerinde çalışan meteorologlar, tayfunlara eşlerinin veya nişanlılarının adlarını vermeye başladılar. 1950 den 1952'ye kadar (Able-Baker-Charlie gibi) fonetik alfabeye uygun isimler tayfunlara verilirken 1953'de ABD Meteoroloji Teşkilatı, tayfunları "tahmin edilemez karakterine uygun bir şekilde" kadın ismi kullanmaya başladı. ABD'deki feminist hareketler sonucunda 1979 yılından sonra tüm dünyadaki tayfunlara kadın ve erkek isimleri sırayla verilmeye başladı.

Bu yıla kadar Japonya'da bile olsalar tayfunlara, Helene ya da Richard gibi İngiliz adları veriliyordu. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), örneğin Kamboçya kıyısındaki tayfuna Emily gibi yabancı adlar verilmesi nedeniyle Kamboçyalıların tropikal fırtına uyarılarına karşı ilgisiz kaldığını sonunda fark etti. 14 Asya ülkesinden 130 ad belirlendi ve 2000 yılında Kamboçya dilinde fil anlamına gelen "Damrey" adı, Güney Çin Denizinde görülecek olan ilk tayfuna verildi... WMO'nun bu uygulaması, "Bilim, Teknoloji ve Toplum" adlı yeni bilim dalının işlevine de çok güzel bir örnek teşkil etmektedir...

Araştırmalar küresel ısınmanın tayfunları hem sayı bakımından arttıracak hem de tayfunların şiddeti artacaktır. Artan hava sıcaklığı sonucunda kıyılardan açıkta daha kuvvetli alçak basınç merkezlerinin oluşması ve ekvatoral muson yağmurlarının da kuvvetlenmesi beklenmektedir. Şiddetli yağışlar, alçak basınç alanları ve sıcak okyanus yüzey sıcaklıkları tayfunları oluşması için çok uygun olan şartları oluşturur. En yıkıcı tayfunlar her yüzyılda bir oluyordu, artık bunların her on yılda bir olması bekleniyor.

Dünyada etkili olan 31 çeşit doğal afetin çeşitli özellik ve önem sıraları Tablo 5.6'da gösterilmiştir. Bu tabloda Bryant (1993), 31 adet doğal afeti, afetlerin şiddetini, oluşum sürelerini ve etkilerini temel alarak yaptığı değerlendirmeler ile önem sırasına göre dizmiştir. Bu geniş tabloyu, ancak son kolonlarını atıp kısaltarak buraya alabildim (MMO, 1999).

Tablo 5.6. Dünyadaki doğal afetlerin karakteristik özellikleri ve çeşitli etkilerinin puanlanmasına göre önem sıraları (Bryant, 1993). Buradaki puanlamada ve önem sırasında ölçek 1'den (en büyük veya önemliden) 5'e (en küçük veya önemsize) kadar değişmektedir.

		Karakter ve Etkilerinin Değerlendirilmesi						
Önem sırası	Afet	Afetin şiddeti	Etkili olduğu süre	Etkilediği toplam alan	Toplam can kaybı	Toplam ekonomik kayıp	Sosyal etkisi	Etkisinin kalıcılığı
1.	Kuraklık	1	1	1	1	1	1	1
2.	Tropikal siklon	1	2	2	2	2	2	1
3.	Bölgesel sel ve taşkınlar	2	2	2	1	1	1	2
4.	Deprem	1	5	1	2	1	1	2
5.	Volkan	1	4	4	2	2	2	1
6.	Orta enlem fırtınaları	1	3	2	2	2	2	2
7.	Tsunami	2	4	1	2	2	2	3
8.	Orman ve çalı yangınları	3	3	3	3	3	3	3
9.	Toprak şişmesi	5	1	1	5	4	5	3
10.	Deniz seviye değişimleri	5	1	1	5	3	5	1
11.	Icebergs	4	1	1	4	4	5	5
12.	Toz fırt.	3	3	2	5	4	5	4
13.	Heyelan	4	2	2	4	4	4	5
14.	Kıyı erozyonları	5	2	2	5	4	4	4
15.	Çığ	2	5	5	3	4	3	5
16.	Creep& solifluction	5	1	2	5	4	5	4
17.	Tornado	2	5	3	4	4	4	5
18.	Kar fırt.	4	3	3	5	4	4	5
19.	Kıyı buzl.	5	4	1	5	4	5	4
20.	Ani seller	3	5	4	4	4	4	5
21.	Sağanak yağışlar	4	5	2	4	4	5	5
22.	Yıldırım çarpması	4	5	2	4	4	5	5

23.	Kar tipisi	4	3	4	4	4	5	5
24.	Okyanus dalgaları	4	4	2	4	4	5	5
25.	Dolu fırtınası	4	5	4	5	3	5	5
26.	Donan yağmur	4	4	5	5	4	4	5
27.	Kuvvetli rüzgârlar	5	4	3	5	5	5	5
28.	Toprak çökmesi	4	3	5	5	4	4	5
29.	Çamur ve dağ döküntüsü akışı	4	4	5	4	4	5	5
30.	Air-supported flows	4	5	5	4	5	5	5
31.	Kaya düşmesi	5	5	5	5	5	5	5

Bu tablodan görüldüğü gibi doğal afetlerin büyük bir kısmı ve en önemli üçü hava şartları ile çok yakından ilişkilidir. Örneğin, orman yangınları, tarımsal zararlılar, tarımsal ve hidrolojik kuraklık, çölleşme, göl ve deniz su seviye yükselmeleri, çığ ve seller vb. hava şartları ile yakından ilişkisi olan doğal afetlerdir. Yağışlar, şiddetli yerel fırtınalar, tropikal fırtınalar, fırtına kabarması, şiddetli kış şartları, kırağı, don vb. ise hava şartları tarafından direk olarak oluşturulan afetlerdir. Meteorolojik şartlar ile doğrudan ve dolaylı olarak ilişkili olan doğal afetlerin tümü, meteorolojik afetler veya meteoroloji karakterli doğal afet olarak adlandırılır (MMO 1999).

Associated Press'e göre son günlerini yaşadığımız 1900'lu yıllara damgasını vuran en önemli 15 meteorolojik afet ABD Meteoroloji Örgütünce şöyle sıralanmaktadır:

20. yüzyılın en büyük ilk 15 meteorolojik afetleri:

1. 1907 yılında Çin'de etkili olan kuraklık ve sonuncunda yaşanan açlık nedeniyle 24 milyon insanın öldüğü hesaplanmıştı. 1928-30, 1936 ve 1941-42 yıllarında da kuraklıkdan dolayı milyonlarca Çinli hayatını kaybetmiştir.
2. 1921-22 yıllarında Ukrayna ve Rusya'nın Volga bölgesini etkileyen kuraklık sonucu 250000 ile 5 milyon arasında insan kaybı olduğu hesaplanmakta.
3. 1965-67 yılları arasında Hindistan'da hüküm süren kuraklık 1,5 milyon insanın ölümüne yol açmıştı. 1900 yılında Hindistan da yaşanan kuraklıkta ise 250,000 ile 3 milyon insan hayatını kaybetmiştir.
4. Çin'de Yangtze Nehri'nin 1931 yılında taşması ve bunun sonucunda ortaya çıkan açlık nedeniyle 3,7 milyon kişi ölmüştü.
5. Afrika'nın Sahel bölgesinde 1972-75 yılları arasında yaşanan kuraklık 600000 insan kaybı ile sonuçlanmıştı.
6. 1970'de Bangladeş'i etkileyen bir tropikal siklon, kuvvetli rüzgâr ve deniz kabarması nedeniyle 300000 ile 500000 arasında insan kaybına neden olduğu hesaplandı.
7. 1991'de Bangladeş'i etkileyen başka bir tropikal siklon 138000 kişiyi öldürtü.
8. 1971'de Vietnam'da görülen bölgesel seller 100000 bir insan kaybına neden olmuştu.
9. 1998'de Orta Amerika'yı etkileyen Hurikeyn Mitch 1978'den sonra bölgeyi etkileyen en büyük fırtınaydı. Bu fırtına 11000 kişinin ölümünden sorumluydu.
10. 1954 yılında yaşanan Büyük İran Selinde 10000'den daha fazla insan kaybı olmuştu.
11. 1991 yılında Filipinleri etkileyen Thelma Tayfunu 6000 ölüme neden olmuştu.
12. 1958 yılında Japonya'yı etkileyen Vera Tayfunu 5000 ölümle sonuçlanmıştı.
13. 1952'de Londra'da 4000 ölüme neden olan hava kirliliği olayı yaşanmıştı.
14. İran'da 1972'de etkili olan kar tipisinde 4000 kayıp verilmişti.
15. 1965 yılında Hollanda ve İngiltere dahil olmak üzere Kuzey Avrupa'yı etkilen şiddetli kış fırtınalarında 2000 hayat kaybedilmişti.

Bu listeden görülebileceği gibi küresel iklim değişimi problemi 1980'li yıllardan beri konuşulmaktadır ama en önemli 15 meteorolojik afetin 12'si daha önceki zaman diliminde yaşanmıştır. Yine yukarıdaki listeye göre son yıllarda etkili olan en şiddetli hava olaylarının

tropikal siklonlar ve onların neden olduğu seller ile ilişkili olduğu görülmektedir. Aralık 1999'da Venezüella'da yaşanan bölgesel sel ve toprak kaymalarının neden olduğu insan kaybı da kesinleştiğinde yukarıdaki ilk 10 meteorolojik afetin arasına girer.

TEMA Vakfına göre (www.tema.org.tr), 1998 yılında yaşanan meteorolojik olaylar, iklim değişikliğinin insan yaşamını ne kadar derinden etkilebileceğinin işaretlerini veriyor. 1998'de 56 ülke sel baskınına uğradı, 45 ülke de ise kuraklıklar etkili oldu. 1997 yılının ilk yedi ayında fırtına, sel, kuraklık ve hava şartlarına bağlı diğer doğal afetler yüzünde dünyanın ekonomik kayıplar 72 milyar ABD Dolarını aştı.

Atmosferik sera etkisi güçlendikçe kutuplar ve çevresi, tropikal bölgeden daha fazla ısınacağı düşünülmektedir. Türkiyenin de yer aldığı orta enlemlerdeki alçak basınç merkezleri, atmosferik cepheler, jet akımları ve benzerinin "yakıtını", güçünü kutuplar ile ekvator arasındaki sıcaklık farkından (daha önce Bölüm 2.1'de adlandırıldığı gibi baroklinik kararsızlıktan) kaynaklanmaktadır. Kutuplar ile ekvator arasındaki sıcaklık farkının azalması jet akımlarını ve dolayısı ile daha az ve zayıf (orta enlem) fırtınasına neden olacaktır. Ayrıca yapılan bazı çalışmalar fırtınaları takip ettiği yolların da Türkiye'den yukarı çok daha kuzey enlemlerine çekileceğine göstermeketedir.

Her ne kadar alçak basınç merkezlerinin ve atmsoferik cephelerin neden olduğu fırtına vb olaylarda azalmalar olacaksa da, küresel ısınma nedeniyle havada miktarı aratan su buharı nedeniyle alçak basınç ve cephelere bağlı olmayan, daha çok ilkbahar ve yaz aylarında görülen kısa süreli, sağanak yağışların artaçağı beklenmektedir. Bu tür düzensiz, ani ve şiddetli yağışlar seller, heyelan ve erozyonu artırması beklenmektedir. Ayrıca, Avrupa'nın kuzeyin de olduğu gibi Türkiye'nin de kuzeyinde daha fazla sele maruz kalması beklenirken güney kısımlarında daha fazla kuraklık beklenmektedir.

Böylece, Küresel İklim Modellerinin tahminleri, zaten yoksul olan güney ülkelerinde, sel, kuraklık ve fırtınaların sayı ve şiddet bakımın-

dan da artacağını göstermektedir. Diğer bir deyişle, son yıllarda giderek artan şiddette ve sıklıkta, sel, kuraklık ve fırtınalar gibi meteorolojik afetlerin küresel iklim değişimi ile birlikte daha da artması beklenmektedir. Bu nedenle meteorolojik afetlerle gelişmiş ülkelerde olduğu gibi erken uyarı ile mücadele edebilecek şekilde DMİ ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü mevzuatlarında değişikliklere ve kurumlarda köklü reformlara gidilmesi gerekmektedir.

IPCC tarafından 2030 yılı için yapılan senaryolara göre:

- Sıcak hava dalgalarında artışlar beklenmektedir.
- Kuraklıklarda artış beklenmektedir.
- Şiddetli yağışlarda artış beklenmektedir.
- Tropikal fırtınaların sayısında artış olup olmayacağı açık değildir.
- Çok izole oluşan şiddetli hava olayları iklim değişimi ile hiçbir ilgisi olmayabilir.

Kuraklık

Kuraklık, iklimin su kaynaklarını, tarımı ve tüm canlıları etkilemesinin bir yoludur. Aynı zamanda kuraklık, en kapsamlı sosyo-ekonomik zararlara neden olan, yavaş gelişen en sinsi ve en tehlikeli doğal afettir.

Kuraklık bir doğa kanunudur. Her kuraklığı, küresel iklim değişikliğine bağlamak doğru değildir. Aslında sürekli olarak "iklim" ile "hava şartları" arasında bağlantı kurmak, bu tür meteorolojik afetler sanki sadece "iklim değişince" oluşurmuş gibi kamuoyunda yanlış bir kanı uyandırmakta ve gerçek çözümleri de geciktirmektedir.

Türk ve insanlık tarihi kuraklıklar ile doludur. Ayrıca, nasıl ki deprem kuşağında bulunan ülkemizde deprem normal bir olaymış gibi kabullenip ona karşı önlemler almaya çalışmakta ve onunla birlikte yaşamayı öğrenmemiz gerekiyorsa, yarı kurak bir iklim kuşağında bulunan ülkemiz de kuraklığın olağan bir meteorolojik olay ve doğal bir afet olarak sayarak üzerimize düşenin gereğini yapmalıyız.

Bu nedenle, kuraklığın nedeni "Türkiye yeşile hasret, betonlaşma çok, bu yüzden yağmur yağmıyor" ya da "Arabistan çölünden kum gelmedi" gibi kulağa hoş ama meteoroloji biliminde yeri olmayan demeç ve nutuklar ile de açıklanamaz. Ayrıca kışın Türkiye'de görülen yağış da, Türkiye üzerinde oluşmamaktadır... Bu tür açıklamalar bilim ahlakına da aykırıdır. Ayrıca kimsenin savunamayacağı betonlaşma ve çevre tahribatına suçu atarak, bu konudaki acizliğimizi açıklayamayız. İklim değişikliğinin hiç gündemde olmadığı zamanlarda bile dünyada büyük kuraklıklar yaşanmıştır. 20. yüzyılın en büyük ilk on afetine ve Bölüm 2.7'ye bakınız.

Böylece, Türkiye'de kuraklık gibi meteoroloji karakterli doğal afetler de sık sık birer felakete dönüşerek gelişmiş ülkelere göre çok daha fazla insan ve ekonomik kayıplara neden olmakla birlikte, geçerli çözümler de geliştirilememektedir.

Nasıl ki suyun çoğu (sel) ölümcül ise suyun azı (kuraklık) da ölümcüldür. Dünya'daki en büyük doğal afet olan kuraklık, sinsice gelişir ve etkisi en fazla, suya talebin en yüksek olduğu zamanlar hissedilir. Günümüzde nüfusumuz arttıkça içme, tarım ve diğer kullanımlar için gereksinim duyduğumuz su miktarı da artıyor. Böylece kuraklık ve su sıkıntısı tehlikesi ülkemizde nüfus artışı ile iklim değişimi ile birlikte sürekli artıyor. Bununla beraber, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, Türkiye'nin köy, kasaba, kent ve ülke bazında kuraklık ile mücadele ve su kaynaklarımızın yönetimi için "kuraklık mücadele planlarını" geliştirebilmiş değiliz. Ayrıca Türkiye'de kuraklık izlenmeli ve doğal afet olarak mevzuata konmalıdır. Dünyanın bir numaralı afeti ile inkar ederek mücadele edemeyiz!

Sivrisinekler ve tropikal hastalıklar

Asya ve Afrika'nın sarı humma virüsü taşıyan sivrisinekleri, Avrupa kıtasına akın ettikleri ve tehlikeli hastalıklar taşıdıkları bilinmektedir. Küresel iklim değişimi sonucu ortaya çıkan küresel ısınma ve sivrisi-

nekler nedeniyle New York'da ortaya çıkan Batı Nil Virüsü gibi malarya, 'sarı humma', 'kazıklı humma' türü hastalıklar dünyanın her tarafına yayılmaya başladı. 21. yüzyılda sivrisinek ve onlar tarafından bulaştırılan hastalıklar ile büyük mücadele verilmesi gerekecektir.

2500 çeşidi olan bu sivrisinek adlı haşere, bildiğiniz gibi çalışmamızı, uyumamızı engeller ve keyfimizi kaçırır. Hayvanların kilo kaybına ve süt üretiminin düşmesine de neden olurlar. Ayrıca pek çok hastalığı insan ve hayvanlar arasında taşır ve bulaştırırlar. Böylece dünyada her yıl 3 milyon kişi sivrisinekler yüzünden ölüyor. Artık fırtına ve sel gibi sivrisinek istilasını da önceden belirleyerek erken müdahale edebilir ve onlara karşı zamanında önlemler alabiliriz.

İlkbahar günlerinde suya doymuş olan toprak üzerine düşen yağmur ve eriyen kar durgun su gölcükleri oluşturur. Durgun veya çok yavaş akan sular artık sivrisineklerin üremesi için uygun ortamları hazırlar. Sivrisinekler en çok sakin (rüzgârsız) ve nemli havayı severler. Bu nedenle de gün doğumu ve batımı saatlerinde çok aktiftirler.

Sürekli buzla kaplı kutup bölgeleri hariç, sivrisinekler Dünyanın her tarafında bulunurlar. Sivrisinekler genellikle nektar ile beslenirler. Fakat dişi sivrisinekler yumurtlayabilmek için proteine de ihtiyaç duyar. Protein kaynağı olarak da sadece dişi sivrisinekler insan ve hayvanları ısırarak kanlarını emer. Bu nedenle, sivrisineklerin neden olduğu salgın hastalık ve ölümler daha çok onların üreme mevsimleri olan yaz ve sonbaharda olmaktadır.

Sivrisineklere karşı organize bir şekilde ve bilimsel yöntemler kullanılarak mücadele edilmesi şarttır. Bu nedenle yurt dışında sivrisinekler ile mücadele edebilmek için kurulmuş olan bir çok kamu ve özel sektöre ait uzman kurum ve kuruluş bulunmaktadır. Modern meteoroloji bilimi de bu mücadeleye, "sivrisinek havası tahmini" ile katkıda bulunmaktadır.

Genellikle sivrisinekler 14°C ila 30°C sıcaklık aralığında büyürler. Yumurtadan çıkıp yetişkin bir hale gelebilmeleri için, örneğin, 25°C'de

185 saatlik süreye ihtiyaç duyarlar. Neme de gereksinim duydukları için sivrisinekler yumurtalarını suya veya suyun etrafına bırakırlar. Bu nedenle onların üremesi için yağış da gereklidir. Hava ve iklim şartlarının sivrisinekler üzerine olan etkisi iyice belirlendikten sonra sivrisineklerin üremesinin hava sıcaklığı, yağış ve toprağın nem durumu başta olmak üzere bir çok parametreye göre tahmin edilebilir.

Bununla birlikte küresel ısınma ve iklim değişimi, ülkemizde sürüp giden kuraklıkları sayı ve şiddet bakımından artırarak sivri sinek ve tropikal hastalıklarda daha fazla tehlikeler oluşturacaklardır.

Orman Yangınları

Bitki, iklim ve artan nüfusun ihtiyaçlarının bileşimi, ortaya önlenmesi oldukça zor olan orman yangınlarını çıkartmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre ülkemizde görülen yılda ortalama 1500 adet orman yangını, yaklaşık olarak 14 bin hektarlık ormanımızın her yıl yok olmasına sebep olmaktadır.

Ülkemizin iklim koşulları, bazı bölgelerde yangın tehlikesini arttırmakta ve çıkan yangınların kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır. Son yirmi yılın verileri ülkemizdeki tüm orman yangınlarının % 24'ü Muğla, % 12,2'si Antalya, %11'i İzmir ve %10,8'i Çanakkale gibi sıcak ve kurak bölgelerdeki illerimizde ortaya çıkmaktadır. En azından bu illerdeki orman yangınlarının kontrol altına alınması, ülkemizdeki orman yangınlarını yarı yarıya azaltabilecektir.

Özetle, bizim kanunlarımızda hiç yer olmayan dünyanın en büyük afeti kuraklık ve iklim değişikliği nedeniyle, bizi elektrik ve su sıkıntısı ile birlikte zamlar beklemektedir. Tarım sektöründeki kayıplar da iç göçü arttırarak büyük şehirlerde olan nüfus yığılmasını da arttırabilecektir. Kuraklık ile birlikte aynı zamanda orman yangınları mevsimi erken başlayarak, orman yangınlarının sayısında artışlar olabilecektir.

Son Söz

Günümüzde tüm Dünyadaki şehirleşme hareketleri kırsal kesimden olan göçlerle birlikte hızlanmakta, nüfus yoğunluğunun aşırı artışı ve değişen yaşam standartları sonucu daha çok sanayi üretimine gereksinim duyulmaktadır. Artan şehirleşme ve özellikle sanayi ve yerleşim bölgelerinden çıkan sera gazları ile atmosferik çevremiz büyük miktarda kirlenmekte, küresel ölçekte havanın ısınma eğilimi giderek artmaktadır. Bunun sonucunda, küresel ısınma ve iklim değişimi; seller, kuraklık, insanların, hayvanların ve tarım kuşaklarının yer değiştirmesi, kutuplardaki buzulların erimesi ve deniz su seviyelerinin yükselmesi gibi dünya üzerindeki canlı yaşamı için tehdit oluşturmaktadır. Bu sorunlardan Türkiye'yi soyutlamak mümkün değildir.

Küresel iklim değişimi bir hayal veya çevreci ütopyası değildir! Böyle düşünenlere iki örnek daha vermek istiyorum: Birleşmiş Milletler koruması altında ikibine yakın sayıda bilim insanından oluşan Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli (IPCC)'nin 1990'da yayımlanan ilk raporunda, dünya üzerinde yer seviyesindeki hava sıcaklığının gelecek yüzyılda belirgin bir şekilde artacağının kesin (vitual certainity) olduğu söylenmiştir (New York Times, 16 Nisan 1990). Gerçekten de yaşayıp dikkat edenler veya meteorolojik kayıtlara bakanlar bilir; 90'lı yıllar son 1400 yılın en sıcak yılları olmuştur! Nasıl ki atmosferde belirli bir seviyede bulunan sera gazları sayesinde yeryüzünde yaşayabileceğimiz kadar sıcak havaya sahip olmuşsak; son 100 yıldır havayı kirleterek atmosferin doğal sera etkisini kuvvetlendirmekte havayı ısıtarak yeryüzünü yaşanamayacak bir hale sokmaktayız. Bugüne dek inanılanın aksine, insanların bilincsiz davranışları ve yaşam tarzlarıyla en sonunda dünya iklimi de değişti. Tarafımızdan değiştirilen iklim,

önümüzdeki yüzyılda gezegenimizdeki tüm canlılara büyük sorun ve sürprizler hazırlamakta, her geçen gün ısınan atmosfer insanlığa inanılması güç gelecek için ağlarını örmektedir. Sonuç olarak hava paternlerinin değişmesi ile artacak olan kuraklık sonucu tarım alanlarının etkilenmesi, dünyanın değişik bölgelerinde yaşayan milyarlarca insan için kıtlık ve buna bağlı olarak ölümü kaçınılmaz hale getirecektir. Yükselen deniz seviyesinin sonucunda kıyı alanlarını korumak için ya elimizdeki ekonomik kaynakların büyük kısmını harcamaya zorlanacak ya da kıyılarımızı işgal eden tuzlu deniz suları karşısında büyük yatırımlarımızı bırakıp geri çekilmek zorunda kalacağız...

Bütün bunları ve daha fazlasını bu kitabın önceki bölümlerinde inceledik. Dünyadaki ekolojik sistemin, eşi görülmemiş bu iklim değişikliğine kendini uydurması, varlığını sürdürebilmesi için, ısınma sonucu ortaya çıkabilecek sorunları nedenleriyle birlikte ele aldık. İklim değişikliği toplumların en az kalkınma, sağlık, açlık, kadar üzerinde durulması gereken çevre sorunlarının başında gelmektedir. Bu kadar önemli bir sorunu, beklenenden farklı ya da olağan dışı olan hava durumlarını iklim değişikliğine bir işaret sayarak, arada bir hatırlayıp bir magazin haberi olarak spekülasyonlarda bulunarak geçiştirmek yeterli değildir. Gerçekte serin ve yağışlı gibi (sıcak ve kuru) gündelik havalar, normal atmosfer sistemleri tarafından oluşturulmaktadır. Serin ve yağışlı havalar ile küresel iklim değişikliği, hele hele küresel ısınma arasında ilişki kurmak sadece bir spekülasyondur. Ayrıca atmosferde "hava boşluğu" yoktur "türbülans" vardır. Ozon tabakası "delinmemiş"; sadece stratosferik ozon gazında yer yer "seyrelmeler" oluşmuştur. Havanın "ısısı" değil "sıcaklığından" bahsedilebilir. Türkiye üzerinde "Basra Alçak Basınç Merkezi" de yoktur, musonun ters bir oluğu vardır... Sözün kısası meteoroloji, gerçekten eğitim ve uzmanlık isteyen zor bilim dallarından biridir. Bu konuyu da hakettiği biçimde ciddi ve bilimsel olarak ele almamız gerekmektedir.

Bu kitabı okuduktan sonra atmosfer, ısı, sıcaklık, hava, iklim, ik-

lim değişimleri ve değişen iklimin olası etkileri hakkında daha fazla bilgi sahibi olarak dünyaya, havaya ve iklime bakış açınız biraz olsun değişmiş olmalıdır. Ne de olsa epey bilgi sahibi oldunuz; artık ailece bulunduğunuz yemek masasında, okulda, tarlada, kahvede yapılan konuşmaların ya da okuduğunuz "havadan-sudan" konuların doğruluğu hakkında fikir yürütebilmelisiniz. Bu kitapta okuyucuyu analitik düşünmeye yöneltmek için genellikle değinilen her konunun sebep sonuç ilişkisi üzerinde durulmaya özen gösterilmiştir.

Atmosferin ısınması, dünyanın bir çok ülkesinde olduğu gibi Türkiye'de de, iklim değişikliğinin kendini bir şekilde hissettirebileceği olumlu ve olumsuz etkileri bir arada görmemize neden olacaktır. Gelecek neslin kullanımına sunulacak tüm alt yapı ve benzeri yatırımların, atmosferin sera etkisinden geleceğe bakarak çok daha az etkilenecek olan bizler tarafından planlanıp hazırlanacağı düşünülürse gelecek nesillerin atmosferin ısınması ile karşılaşacağı sorunların en aza indirilmesi için bize büyük sorumluluklar düştüğünü görebiliriz. Atmamız gereken ilk adım sorunu anlamak ve sorun hakkındaki gerçekleri, çözümleriyle birlikte gelecek kuşakların kullanımına sunmak olmalıdır. Sorun anlaşıldıktan sonra gelecek kuşaklar daha büyük sorunlarla karşılamasın diye bugün neler yapabiliriz ve neler yapmamalıyız sorularına yanıt aramalıyız. Farkındaysanız, ülkemizin en büyük yatırımlarından olan Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinde yağışların azalması ve daha da önemlisi artan hava sıcaklığına paralel, buharlaşmanın da artacağı enlemlerde inşa edildiğini gördük. Büyük umutlar bağladığımız bu tür yatırımların fiyasko ile sonuçlanmaması ve benzeri bir sürü nedenlerden dolayı meteorolojist, mühendis, ekonomist, sağlık ve sosyal bilimci, işçi, çiftci, politikacı, kısacası herkes, iklim değişikliğinin belirli zaman dilimlerinde nasıl hissedileceğini anlamak zorundadır. Bizler için gidecek ne başka bir dünya, ne de başka bir Türkiye olmadığını hiç unutmamalıyız. Küresel iklim değişimi gerçek bir sorundur ve biz gelecek planlarımızı küresel iklim değişik-

liğinin sonuçlarını düşünerek yapmalıyız.

Modern afet yönetiminde alarmdan (warning) önce bir gözetleme (watch) aşaması vardır. Afet ya da risk yönetimi yerine "kriz yönetimi" ni tercih edilen ülkemizde neredeyse her doğal afet "aniden" bastırmakta ve hemen alarm durumuna geçmekteyiz. Diğer bir deyişle, barajlarımız ancak durma noktasına yaklaşınca alarma geçip sadece enerji kullanımına yönelik tasarruf tedbirlerinin alınmasına karar verdik. Yani, "Kuraklık Planı" gibi bir plan ve programla "risk yönetimine" başvurulup sürüp giden kuraklık göz önüne alınarak ne mevcut suyu yönettik ne de suyun tasarruflu kullanılmasına yönelik bir karar aldık. Kürsel İklim Değişimi ve Küresel Isınma da birer büyük doğal afettir. Çağdaş ülkelerde olduğu gibi bu afetlerin yaratacağı riksleri şimdiden düşünüp onlara karşı hazırlanmalı, zarar ve risk azaltıcı önlemleri almalıyız.

Türkiye'nin bu konuda sağlıklı politikalar geliştirip bunları takip edebilmesi için öncelikle bilim insanlarını harekete geçirip araştırmalara ağırlık vermesi gerekmektedir. Fakat, devlet hesabına üniversitelerimizde çalışan bilim insanlarımız, kendi ülkesi adına yapacağı araştırmalar için, kendi ülkesinde yapılan gözlemler sonucu alınan verileri kendi devletinden satın almak zorundadır. Devlet Meteoroloji İşleri gibi kamu kurumları, sırf döner sermaye gelirlerini arttırabilmek için, topladıkları verileri bu ülkenin bilim insanlarına satarak para kazanmaya çalışmamalıdır. Kamu kurumlarının, üniversitelerimizde ülke yararına çalışmalar yapılabilmesi için maddi destekle birlikte elde edilen verileri bilim insanlarının (aralarında ayırım yapmaksızın) kullanımına sunacağına, onlardan üstüne para istemesi ya da onları uzun bürokratik işlemlere tabi tutarak işi yokuşa sürmesi çağdaş, anlaşılır ya da ülkemizin yararına bir uygulama değildir. Sonuç olarak Türkiye'deki iklim değişimi çalışmaları daha çok kişisel çabalar ile dar bir çerçevede sürdürülmekte, küresel iklim değişimi sosyo-ekonomik planlarda göz önüne alınmamakta ve Türkiye'nin uluslararası arena-

daki haklı tezleri de bilimsel desteklerden yoksun kalmaktadır.

Umarım yakın bir zamanda devletimizin somut bir bilim politikası olur ve bilim insanımızın "kolay ve ucuz veri edinme" hakkı da gözetilir; teknik kamu kurumlarından biri olan Devlet Meteoroloji İşleri'ni politikadan arındırıp bu ülkenin insanını selden, kardan, çığdan, fırtınadan, dondan, sisten, hava kirliliğinden, nükleer serpintiden, kuraklıktan, orman yangınlarından, taşkınlardan, iklim değişiminin kötü etkilerinden, sözün kısası insanımızın canını ve malını korumaya ve bu ülkeyi hava tahmininde büyük ölçüde yurtdışına bağımlı olmaktan kurtarmaya talip olan bir kurum haline getirebiliriz.

Unutmayınız; Mustafa Kemal Atatürk'ün dediği gibi "İstikbal göklerdedir."

Teşekkür

Bu kitabın hazırlanmasında burada sayamayacağım kadar çok kişiden değişik şekillerde yardımlar aldım. Yıllık iznim sırasında ziyaretinize geleceğim deyip, daha sonra kitap yazacağım gerekçesiyle yanlarında ancak birgün kalabildiğim anneme ve babama; 1990'lı yılların başında bu kitapta sonuçları anlatılan çalışmalarda kullandığım veriyi sağlayan ve teknik yardımda bulunan o zamanın DMİ yetkililerine; bıkıp usanmadan metinleri okuyup, düzeltmeler yapan İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü meslektaşlarıma ve öğrencilerime; karikatürünü kullanmama izin veren Cumhuriyet Gazetesi'nden Behiç Ak'a; yazılarını kullanmama izin verdikleri için Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisi'nden Orhan Bursalı'ya; önemli katkıları için İTÜ'den Doç. Dr. Ahmet Dumayaz'a, Doç. Dr. Levent Şaylan'a, Y. Doç. Dr. Sibel Menteş'e, Doç. Dr. Zerefşan Kaymaz'a, Arş. Gör. Ceyhan Kahya'ya, Arş. Gör. Elçin Tan'a ve Y. Doç. Dr. Nilgün Okay'a; Açık Radyo'da "Havadan-Sudan" konuları gündemde tutarak beni bu konularda sürekli olarak düşünmeye, gündemi takip etmeye yönelten ve önsöz yazarak kitabıma ilgi gösteren Sayın Ömer Madra'ya; Ömer Bey ile radyo konuşmalarımızı dinlerken bu kitabı yazma fikrini ortaya atan, sonuna kadar takip ederek 3 ay içinde sonuçlanmasını sağlayan ve kitap için gerekli olan tüm izinleri alan Güncel Yayıncılık'tan Sayın Aysel Akdaş'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, "Bizlere güvenip de bir daha kitap yazmaya kalkma" diyen eşime ve kızlarıma da gösterdikleri anlayış ve destekten dolayı teşekkür etmeyi bir borç biliyorum. Aynı zamanda ailemden ve diğerlerinden, çevreye verdiğim rahatsızlıktan dolayı da özür dilerim!..

Yararlanılan Kaynaklar

Ahrens, C.D., 1988: Meteorology Today: An Introduction to Weather and the Environment, 3rd Edition, West Publishing Company, St. Paul, 582 s.

Ahrens, C.D., 1993: Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere, West Publishing Company, St. Paul, 438 s.

AMS (American Meteorological Society), 1959: Glossary of Meteorology. American Meteorological Society. 638 p.

Ana Britannica, 1986: 5. cilt, Ana Yayıncılık ve Sanat Ürünleri Pazarlama A.Ş.

ASHRAE, 1997: Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 906 pp.

Asker, S., 1993: İklim ve İnsan Sağlığı, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, 40 s.

Balling, R.C. Jr., 1992: The Heated Debate: Greenhouse Predictions Versus Climate Reality, Pacific Research Institute for Public Policy, San Francisco, California.

Barka, A., ve F. Şaroğlu, 1995: Van Gölü Su Seviye Yükselmesinin Tektonik ile İlişkisi. Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van.

Barron, E.J., 1994, Climatic Variation in Earth History, Understanding Global Climate Change: Earth Science and Human Impacts, Global Change Instruction Program #108, UCAR, 23 pp.

Barry, R. G. and Chorley, R. J., 1992: Singularities and Natural Seasons, Atmosphere Weather and Climate. 192-194 p.

Batur, E. ve M. Kadıoğlu, 1997: Van Gölünün Su Bütçesi, Ulusal Su Kaynaklarımız Sempozyumu, 22-24 Eylül, İTÜ Meteoroloji Müh. Böl., İstanbul, s. 115-128.

Batur, E., 1996: Van Gölünün Su Bütçesi ve Havza İklimi. Master Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 127 s.

Batur, E., M. Kadıoğlu ve Z. Şen, 1997: Van Gölü'ndeki Su Seviye Yükselmesinin Nedeni: Meteoroloji ve Su Dengesi. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, 7-9 Ekim 1997 DSİ, Ankara, s. 334-346.

Batur, E., ve M. Kadıoğlu, 1997: Van Gölü'nün Su Bütçesi. I. Ulusal Su Kaynaklarımız Sempozyumu, 22-24 Eylül 1997 İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 115-128.

Baur, F., 1958: Physikalische-statistische Regeln als Grundlagen für Wetter und Witterungsvorhersagen. vol 2. Frankfurt-am-Main: Akad. Verlagsgesellschaft.152 pp.

Belli, O., 1989: Van Bölgesinde Urartu Baraj ve Sulama Sisteminin Araştırılması, VI. Araştırma Sonuçları Toplantısı, T.C. Kültür Bakanlığı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Başkanlığı, Ankara, 23-27 Mayıs 1988, s. 313-331.

Bigford, T.E., 1991: Sea-level rise, nearshore fisheries, and the fishing industry. Coast. Mgmt., 19, 417-437.

Bootsma, A., 1994: Long Term (100 yr) Climatic Trends for Agriculture at Selected Locations in Canada, Climate Change, 26, 65-88.

Borhan, Y. and Kadıoğlu, M., 1998: Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki Çığların Sinoptik Analizi. Tr. J. Of Engineering and Environmental Science, 22, 345-352.

Borhan, Y. ve M. Kadıoğlu, 1997: Doğal Bir Afet: "Kar Çığları", İTÜ Dergisi, baskıda.

Borhan, Y. ve M. Kadıoğlu, 1997: Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki Kar Çığlarının İstatistiksel Analizi. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, 7-9 Ekim 1997 DSİ, Ankara, s. 211-223.

Böttcher, F., 1993: Science and fiction of the greenhouse effect and carbon dioxide, Change, Research and Policy Newsletter on Global Change, 13: 3-5.

Bradka, J., 1966: Natural seasons in the northern hemisphere. Geofys. Sbornik (Prague) 14, 597-648 p.

Bradley, R.S., 1985: Quaternary Paleoclimatology, Unwin Hyman, Cambridge MA, 472 pp.

Bryant, E.A., 1993: Natural Hazards, Cambridge University Press.

Brier, G. W., Shapiro, R. and Macdonald, N. J., 1963: A Search for Rainfall Calendaricities, Journal of The Atmospheric Sciences. 529-532 p.

Broecker, W.S:, 1975: Climate Change: Are We on the the Brink of a Pronounced Global Warming? Science, 189 no. 3859, p.462.

Brooks, C. E. P., 1946: Annual reccurrences of weather: Singularities. Weather 1. 107-13, 130-134

Brooks, C. E. P., 1950: Climate in everyday life. E. Benn, London.

Brown, N., 1989: The 'greenhouse effect': a global challenge. The World Today, 45, 61-64.

Burroughs, W.J., 1992: Weather Cycles Real or Imaginary? Cambridge University Press, 201 p.

Butzer, K.W., 1958: Quaternary Stratigraphy and Climate in the Near East. Bonner Geographische Abhandlungen 24, 103-128.

Çağlar, Z.N., 1995: İstanbul İçin Klimatolojik Mevsimlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 108 s.

Changnon, A.C., 1992: Inadvertent Weather Modification in Urban Areas; Lessons for Global Climate Change, Bull. AMS., 73(5), 619-626.

Changnon, Jr., Stanley A., 1968: The La Porte weather Anomaly-Fact or Fiction? Bull. of the American Meteorological Society, 49, no. 1, 5.

Changnon, S.A. Jr, Huff, F.A. and Semonin, R.G., 1971: METROMEX: An investigation of inadvertent weather modification. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 52, 958-967.

Changnon, S.A. Jr., 1973: Atmospheric Alterations from Man-Made Biospheric Changes, Modifying the Weather, Western Geographical Series, Vol. 9 Tronto: University of Victoria.

Changnon, S.A., 1987: Climate fluctuations and record-high levels of Lake Michigan, Bull. Amer. Meteor. Soc., 68.(11), 1394-1402.

Changnon, S.A., Jr., 1970: Recent studies of urban effects on precipitation in the United States, in Urban Climates, W.M.O., Tech. Note No. 108, 325-341.

Changnon, S.A.Jr., and D.M.A. Jones, 1972: Review of the Influences of the Great Lakes on Weather. Water Resources Research, 8 (2), 360-371.

Chu, C.-C., 1962: The Pulsation of world climate during historical times. Acta Met. Sinica 31, 275-88.

Cohen, S.J. and T.R. Allsopp, 1988: The Potential Impacts of CO2-Induced Climatic Change on Ontario, Canada. J. Of Climate, 1, 669-681.

Cohen, S.J., 1986: Impacts of CO2-Induced Climatic Change on Water Resources in the Great Lakes Basin. Climatic Change, 8, 135-153.

Colacino, M., 1983: The Yearly Averaged Air Temperature in Roma from 1782 to 1975, Tellus, 35A (5), 389-397.

Condella, V., 1983: When snow squalls become no squalls. Natl. Wea. Dig., 8(2), 22-24.

Cubasch, U. And Cress, R.D., 1990. Processes and modelling. In: Houghton, J.T., Ephraums, J.J. (eds.), Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, 69-91.

Dahlman, R.C., 1993: CO2 and plants: revisited. Vegetatio, 104/105, 339-355.

Dalmaz, M., 1975: Investigation of Artificial Rainfall in Turkey, TÜBİTAK, Project No. MAG-DE-19/A.

De Wit, C.T, 1958: Transpiration and crop yields, Inst. of Biol.and Chen.Res. on Field Crops and Herbage, Wageningen. The Netherlands, Versl. Landbouwk. Onderz., No. 64.6, Gravehage.

Degens, E.T., and Kurtman, F., 1978: The geology of Lake Van. The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, Report No. 169, 158 pp.

Demiray, K., 1990: Temel Türkçe Sözlük, 2. baskı, İnkılap Kitabevi, İstanbul, 1008 s.

Detwiller, J. and H.E. Landsberg, 1974: Inadvertent Atmospheric Modification, in Weather and Climate Modification, edited by Wilmot N. Hess, John Willy & Sons, Inc., 1974, p. 755.

Dickinson, R.E., 1989: Uncertainties of Estimates of Climatic Change: A Review, Climate Change, 15, 5-13.

Dickinson, T., 1991: Exploring the Sky by Day: The Equinox Guide to Weather and the Atmosphere, Fourth Printing, Camden House Publishing, Canada, 72 s.

Driscoll, D. M., 1985: Human Health D. D. Houghton (Ed.). Handbook of Applied Meteorology, New York. John Wiley and Sons.

Durmayaz, A. ve M. Kadıoğlu, 1999: Dünya-Atmosfer Sisteminin Enerji Transferi. Enerji Dünyası Dünya Enerji Kongresi Türk Milli Komitesi Bülteni, 22, 22-28.

Durmayaz, A., Kadıoğlu, M., 1999: Dünya-Atmosfer Sisteminin Enerji Transferi Dengesi, Enerji Dünyası, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 22, Sayfa 22-28, Şubat 1999.

Durmayaz, A., M. Kadıoğlu and Z. Şen, 2000: An application of the Degree-Hours Method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. Energy-Int. Journal. 25 (12), 1245-1256.

Duxbury, A.C. and Duxbury, A.B., 1994: An Introduction to the World's Oceans, fourth edition Wm. C. Brown, Dubuque, Iowa, 472 pp.

Dzerdzeevski, B. L., 1957: Circulation schemes for the seasons in the northern hemisphere. Izv. Akad. Nauk. SSS R Ser. Geogr. No. 1, 36 p.

Eichenlaub, V.L., 1970: Lake Effect Snowfall to the lee of the Great Lakes: Its role in Michigan. Bull. Amer. Meteor. Soc., 51 (5), 403-412.

Fischeid, J.E., H.F. Diaz, R.S. Bradley and ve P.D. Jones, 1991: A Comprehensive Precipitation Data Set for Global Land Areas, DOE Teach. Rept., TROS 1, 82 pp.

Emiliani, C., 1978: The cause of the ice ages. Earth and Planetary Science Letters, 37, 349-352.
Encyclopedia Britannica, 1957: A New Survey of Universal Knowledge, Vol. 22, William Benton, Pub.
Ennis, C.A., and Marcus, N.H., 1993, Biological Consequences of Global Climate Change, Understanding Global Climate Change: Earth Science and Human Impacts, Global Change Instruction Program #107, 51 pp.
Erdun, H., M. Kadıoğlu ve B. Çepniler, 1997: Marmara Bölgesi İçin Fevk Analizi. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, 7-9 Ekim 1997 DSİ, Ankara, s. 414-426.
Firor, J., 1990, The Changing Atmosphere: A Global Challenge, Yale University Press.
Flint, R.F., and B.J. Skinner, 1977: Physical Geology, 2nd ed., John & Sons, Inc.
Flohn, H. and Hess, P., 1949: Grosswettersingularitaten in jahrlichen Witterungsverlauf Mitteleuropas. Met. Rund. 2, 258-63.
Fraedrich, K., and K. Müller, 1992: Climate Anomalies in Europe Associated with ENSO Extremes, Int. J. Climatology, 12, 25-31.
Franzini, E., 1993: Agrarmeteorologische Untersuchungen an Pferdebohne (Vicia faba L.) und Sojabohne (Glycine max. L.) Anhang zweier Pflanzen-Wacstumssimulationsmodelle, Doktora, Bodenkultur Universitaet, Meteorologie und Physik Institut, 14-17.
Friis-Christensen, E.F., and Lassen, K., 1991, Length of the Solar cycle: An Indicator of Solar Activity closely Associated with Climate, Science, 254, 698-700
Gates, D. M., 1993: Climate Change and its Biological Consequences, Sinauer Assoc., Inc., Sunderland, MA.
Gedzelman, S.D., 1980: The Science and Wonders of the Atmosphere, John Willey & Sons, New York, 535 s.
Gilmore, E.C. ve Rogers, J.S., 1958: Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal 50: 611-615.
Givoni, B., 1969: Man climate and archhitecture. Applied Sience Publishers, Barking. 364 pp.
Gleick, J., 1987: Chaos: Making a New Science. Penguin Books, New York, pp.352.
Glick, N. 1978: Breaking Records and Breaking Boards, Am. Math. Monthly, 18, 2-26.
Godrej, D., 2001: The nonsense guide to climate change, Oxford New Internationalists Pub. Ltd., pp. 143.
Green C.M., Robert G.F. ve Leonard M., 1993: Use of Temporal Principal Components Analysis to Determine Seasonal Periods, American Meteorological Society, 986-995.
Greenburg, L., Field, F., Reed, J. I. And Erhardt, C. L., 1967: Asthmaand temperature change. In Tromp, S. W. and Weihe, W. H. (eds) Biometeor. Vol. 2, Pt. 1. Pergamon Press, Oxford, 3-6.
Gregorczuk, M. and Cena, K., 1967: Distribution of effective tempreture over the surface of the earth. Int. J. Biometeor., 11: 145-9.
Gregorczuk, M., 1968: Bioclimates of the world related to air enthalpy. Int. J. Biometeor., 12: 35-9.
Gülferi, İ., 1966: Meteorolojik Değerler Yardımıyla Kış İçin Dış Hesap Sıcaklığının Bulunmasında Kullanılacak Yeni Bir İstatistiksel Metot ve Türkiye'ye Tatbikatı, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, 143 s.
Gültekin, L. ve M. Kadıoğlu, 1996: Marmara Bölgesinde Derece-Gün Dağılımı, TMMOB Makine Müh. Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, Temmuz-Ağustos 1996, 3 (31) 33-41.
Gültekin, L. ve M. Kadıoğlu, 1997: Yapıların Tesisat Donanımında Donma Derece-Günlerin Kullanımı, TMMOB Makina Müh. Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, 37 (5) 53-57.
Gültekin, M.L. ve Kadıoğlu, M., 1998: Erime Derece-Günlerin Kar Erimesinde Kullanımı, II. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu, 18-20 Kasım 1998, Ankara, 96-104.
Gültekin, M.L., 1995: Türkiye'de Derece-Günlerin Dağılımı. Master Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 155 s.
Gültekin, M.L., 2001: Türkiye Genelinde Derece-Günlerin Yersel ve Zamansal Dağılımının Modellenmesi. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
Guo, Y., and Schuep, P.H., 1994: An Analysis of the Effect of Local Heat Advection on Evaporation over Wet and Dry Surface Strips. Bull. Amer. Meteor. Soc., 7, 641-651.
Gürel, N., 1995: Van Gölü Su Seviyesi Değişimi ve Arazi Kullanımına Jeomorfolojik Yaklaşımlar. Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van.
Gürer, İ., ve H. Baki, 1989: Türkiye'nin Bazı Akarsularındaki Depolama Yapılarının Çevreye Etkileri. EİE Bülteni, 145, 34-40.
Güser, A., ve M. Kadıoğlu, 1998: Fırtına, Kuraklık ve Sel için Hovmöller Diyagramı ve Analizi, II. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu Ankara 18-20 Kasım, 1998, s. 145-155.
Guttman, N. B., 1990: January Singularities in the Northeast from a Statistical Viewpoint, National Climatic Data Center, Asheville, North Caroline. Journal Of Applied Meteorology. 358-367 p.

Hamburg, S.P., Harris, N., Jaeger, J., Karl, T.R., McFarland, M., Mitchell, J.F.B., Oppenheimer, M., Santer, B.D., Schneider, S., Trenberth, K.E., Wigley, T.M.L., 1997: Common Questions About Climate Change, United Nations Environment Programme (UNEP), World Meteorological Organization (WMO).

Hamburg, S.P., Harris, N., Jaeger, J., Karl, T.R., McFarland, M., Mitchell, J.F.B., Oppenheimer, M., Santer, B.D., Schneider, S., Trenberth, K.E., Wigley, T.M.L., 1997: Common Questions About Climate Change, United Nations Environment Programme (UNEP), World Meteorological Organization (WMO).

Hanks, R.J., 1974: Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agronomy Journal, 66, 660-664.

Hannah, J. (Eds.), 1992: Sea Level Changes: Determination and Effects, American Geophysical Union, Washington, D.C.

Hayat Ansiklopedisi, 1993: 4. cilt, Cumhuriyet Müesseseleri, İstanbul

Hileman, B.C. ve E.N. Washington, 1992:, Web and Interactions Makes it Difficult to Untangle Global Warming Data Chemical and Engineering News, 27, 19 pp.

Hill, R.W. ve Hanks, R.J., 1978: A model for predicting crop yields from climatic data., ASAE Summer Meeting, Logan, Utah, 78-4030.

Hill, R.W., Johnson, D.R. ve Ryan, K.H., 1979: A model for predicting soybean yields from climatic data. Agronomy Journal, 71, 251-256.

Hitchin, E.R., 1990: Developments in Degree-Day Methods of Estimating Energy Use, Building and Environment, 25 (1), 1-6.

Houghton, J.T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J., 1991: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge.

Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephraums, J.J., 1990: Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Hoesung Lee, Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., and Maskell, K.(editors), 1994: Climate Change, Cambridge University Press, 339 pp.

Hounam, C. E., 1967: Meteorological factors affecting physical comfort (with special reference to Alice Springs, Australia). Int. J. Biometeor., 11: 151-62.

House, T.J., James B.N.Jr., William B.S., Ronald J.C., David M.H., Ann E.M., and James E.P., 1996: Weather as Force Multiplier: Owning the Weather in 2025. USA Air Force, p.44.

Huschke, R.E., 1959: Glossary of Meteorology, American Meteorology Society Press, Boston, Massachusetts, 638 pp.

IAEA, 1989: Impact of Energy Production on Atmospheric Concentration of Greenhouse Gases, IAEA Bulletin, Vol. 31, No. 2, 1989.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1990a: First Assessment Report, WMO.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1990b: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment; J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums, Eds.; Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1995: Climate Change 1995: The Science of Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, Eds.; Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC Working Group I, 1991: Policy makers summary, in Houghton, J. T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J. (eds), Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, England.

Japan Meteorological Agency, Marine Department, 1991: Climate Charts of Sea Surface Temperatures of the Western North Pacific and the Global Ocean, 51 pp.

Jiusto, J., ve M.L. Kaplan, 1972: Snowfall from lake effect storms. Mon. Wea. Rev., 100, 62-66.

Jones, A.E. and Shanklin, J.D., 1995: Continued decline of total ozone over Halley, Antarctica, since 1985, Nature, 376, 409-411.

Jones, P.D., 1988: Hemispheric Surface Air Temperature Variation, Recent Trends and an update to 1987, J. Clim., 1, 654-660.

Jones, P.D., S.C.B. Raper, R.S. Bradley, H.F. Diaz, P.M. Kelly and T.M.L. Wigley, 1986: Northern Hemispheric Surface Air Temperature Variations 1851-1984, J. Clim. Appl. Meteor., 25, 161-179.

Kadıoğlu M, Şen Z., 1998: Heating degree-day variations in Turkey. Proc. of the Fifth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production-SWEMP'98, Ankara-Turkey, 18-20 May 1998, p.161-166.

Kadıoğlu M. ve N. Topçu, 1997: Marmara Bölgesi'nde Kuraklık Takibi. Su Kaynaklarının Korunması ve İşletilmesi Sempozyumu, 2-5 Haziran 1997, İSKİ, İstanbul, s. 167-176.

Kadıoğlu M., E. Batur, H. Özgüler, 1995b: Güneş Lekeleri İle Van Gölü'ndeki Su Seviye Değişimleri Arasındaki İlişkinin Tespiti. Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi, 1-5 Mayıs 1995, MTA Kültür Sitesi, Ankara, Cilt 3, 736-745.

Kadıoğlu, M, and A. Durmayaz, 2001: Impact of climate change on the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul, Journal of Applied Energy (submitted)

Kadıoğlu, M, ve A, Durmayaz, 2000: İstanbul'da Konut Isıtmacılığında Doğalgaz Kullanımının Analizi, I. Çevre ve Teknoloji Sempozyumu 17-18 Nisan 2000 İstanbul, s. 241-251.

Kadıoğlu, M, ve F. Öztürk, 1999: 2000'li Yılların Önemli Bir Silahı: Hava Modifikasyonu. 2000'li Yıllarda Uzay, Havacılık ve Savunma Teknolojilerinin Öncelikleri Sempozyumu Hava Harp Okulu, 29-30 Nisan 1999, Cilt I, s. 307-316.

Kadıoğlu, M, Y. Tulunay and Y. Borhan, 1999: Variability of Turkish Precipitation Compared to El Nino Events. Geophysical Research Letters, 26 (11), 1597-1600.

Kadıoğlu, M. and L. Şaylan, 2001: Trend Analysis of Growing Degree-Days in Turkey. Water, Air and Soil Pollution, 126, 83-96.

Kadıoğlu, M. and Z. Aslan, 2000: Recent Trends of Growing Season Length in Turkey, 2nd International Symposium on New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications Proceedings, 18-20 October 2000, Tekirdağ/Turkey, pp. 295-303.

Kadıoğlu, M. ve H. Erdun, 1994a: Marmara Bölgesinde Yağışın Ana Bileşenler Analizi. (TÜBİTAK) DO–A Türk Mühendislik ve Çevre Dergisi, 19 (4), 335-341.

Kadıoğlu, M. ve H. Erdun, 1994b: Marmara Bölgesinin Yağış Momentleri, I. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu 23-25 Mart 1994, İ.T.Ü. Maslak-İstanbul, s. 133-145.

Kadıoğlu, M. ve Kara, A. B., 1992: Sıcaklık nem bunaltıcılığı ve halka SINEM uyarısı, İTÜ Dergisi, 50 (3), 43-47.

Kadıoğlu, M. ve L. Şaylan, 1998: Türkiye'de Farklı Bitkiler İçin Büyüme-Derece-Gün Değerlerinin Belirlenmesi. Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, İstanbul 21-23 Ekim 1998, s. 109-115.

Kadıoğlu, M. ve Şen, Z., 1999: Degree-Day Formulations and Aplication in Turkey, Journal of Applied Meteorology, 38, 837-846.

Kadıoğlu, M., 1993a: GAP Bölgesinde Beklenen İklim Değişiklikleri. TMMOB GAP'ta Teknik Hizmetler Sempozyumu, 10-12 Kasım 1993, Ankara, s. 327-343.

Kadıoğlu, M., 1993b: Türkiye'de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. Çevre Koruma, 47, 34-37.

Kadıoğlu, M., 1993c: İstanbul İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Hesaplamaları, I. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 20-22 Aralık 1993, İ.T.Ü. Maslak-İstanbul, s. 31-40.

Kadıoğlu, M., 1994a: Van Gölü'nün Yükselen Suları, İTÜ Vakıf Dergisi, 3, 36-38.

Kadıoğlu, M., 1994b: İklim ve Van Gölü Su Seviyesindeki Değişimlerin Arasındaki İlişkinin Tespiti. Van Gölü'nde Su Seviye Değişimleri ve Çevreye Olumsuz Etkileri Sempozyumu, 27-29 Eylül 1994, Van.

Kadıoğlu, M., 1995a: Şehirleşmenin İstanbul'da Yağışa Etkisi, II. Hava Kirliliği, Kontrol ve Modelleme Sempozyumu, 22-24 Mart, 1995, İTÜ, İstanbul, s. 72-84.

Kadıoğlu, M., 1995b: Türkiye Genelinde Hava Kirliliğinin Ana Bileşenler Analizi, II. Hava Kirliliği, Kontrol ve Modelleme Sempozyumu, 22-24 Mart, 1995, İTÜ, İstanbul, s. 102-111.

Kadıoğlu, M., 1995c: Van Gölü Su Seviyesindeki Değişimler ile Meteorolojik Parametreler Arasındaki İlişkinin Tespiti. Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları, Van 20-22 Haziran 1995, s. 21-39.

Kadıoğlu, M., 1995d: Van Gölü ve Yükselen Su Seviyesi, Türkiye Müh. Haberleri Dergisi, 379, 95-96.

Kadıoğlu, M., 1995e: Van Gölü'ndeki Su Seviye Yükselmesinin Meteorolojik Faktörler ile Olan İlgisi. Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van, s. 21-39.

Kadıoğlu, M., 1996: Orman Yangınları ve Meteoroloji, I. Uluslararası Yangın ve Güvenlik Konferansı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Müdürlüğü, 20-21 Mayıs, 1996, s. 157-166.

Kadıoğlu, M., 1996: Türkiye'deki Kasırga, Hortum veya Tornado Gerçeği Nedir? TMMOB Meteoroloji Müh. Odası Meteoroloji Mühendisliği Dergisi, Eylül 1996 (4), 21-29.

Kadıoğlu, M., 1997a: El-Nino ve 1997-98 Kışı İçin Tahminler, EİE Bülteni, sayı 180-181, 3-12

Kadıoğlu, M., 1997b: Şehirleşmenin Marmara Bölgesindeki Yağışlara Etkisi. TMMOB Jeoloji Müh. Odası Su ve Çevre Sempozyumu, 2-5 Haziran 1997, İstanbul, s. 37-46.

Kadıoğlu, M., 1997: Trends in Surface Air Temperature Data Over Turkey. International Journal of Climatology, 17, 511-520.

Kadıoğlu, M., 1997d: Trends in Turkish Precipitation Data. The International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, 17-21 November 1997, Nicosia-North Cyprus, Vol. I, pp. 79-86.

Kadıoğlu, M., 2000: Regional Variability of Seasonal Precipitation in Turkey. Int. Journal of Climatology, 20, 1743-1760.

Kadıoğlu, M., G. Sezen ve B. Çepniler, 1995a: Yağışlar ile Van Gölü Su Seviyesindeki Değişimler Arasındaki İlişkinin Tespiti. Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Genel Kurulu, Ankara 1-5 Mayıs 1995, Cilt 3, s. 717-726.

Kadıoğlu, M., H. Erdun, N. Öztürk, and Z. Şen, 1999: On the Precipitation Climatology of Turkey by Harmonic Analysis. International Journal of Climatology, 19, 1717-1728.

Kadıoğlu, M., H. Toros ve B. Kurtuluş, 1993: Küresel Isınma ve Türkiye'de İklim Değişimi. Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Genel Kurulu, 8-11 Haziran 1993, Ankara, 209-223.

Kadıoğlu, M., H. Toros ve B. Kurtuluş, 1994a: Küresel Isınma ve Türkiye'de Yağış Trendleri. DSİ, Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, 12-14 Nisan 1994, Ankara, Cilt 1, s. 467-476.

Kadıoğlu, M., S. Satılmış ve H. Özgüler, 1994b: Büyük Su Yapılarının Çevre İklimine Etkisi. DSİ'nin 40'ıncı Yılında Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, 12-14 Nisan 1994, Ankara, Cilt 3, s. 1099-1108.

Kadıoğlu, M., Şen, Z. and Gültekin, L., 2001: Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days, Climatic Change, 49, 209-223.

Kadıoğlu, M., Şen, Z., and Batur, E., 1998: The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change, Ann. Geophysicae, 15, 1489-1497.

Kadıoğlu, M., Şen, Z., and Batur, E., 1999: Cumulative-Departures Model for Lake-Water Fluctuations. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 4 (3), 245-250.

Kadıoğlu, M., ve B. Çepniler, 1998: Türkiye'deki Yağış Bölgelerinin Ana Bileşen Analizi ile Tespiti, II. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu Ankara 18-20 Kasım, 1998, s. 110-119.

Kadıoğlu, M., ve H. Toros, 1993: Şehirleşmenin Türkiye'de İklime Etkisi. ÇEVRE'93, Türk Devletleri Arasında 2. İlmi İşbirliği Konferansı, 26-29 Haziran 1993, Alman, Kazakistan, 241-246.

Kadıoğlu, M., ve Z. Şen, 1994: Keban Barajı Öncesi ve Sonrasında Çevre İkliminin Fraktal Analizi. DSİ, Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, 12-14 Nisan 1994, Ankara, Cilt 3, s. 1145-1154.

Kadıoğlu, M., Y. Borhan ve B. Çepniler, 1994: Güneydoğu Anadolu Kar Çığlarının Meteorolojik Analiz ve Tahmini, I. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu, 23-25 Mart 1994, İ.T.Ü. Maslak-İstanbul, s. 174-184.

Kadıoğlu, M., Z. Şen and M.L. Gültekin, 1999: Spatial Heating Monthly Degree-Day Features and Climatological Patterns in Turkey. Theoretical and Applied Climatology, 64, 263-269.

Kane, S., Reilly, J. ve Tobey, J., 1992: An empirical study of the economic effects of climate change on world agriculture, Climatic Change, 21, 17-35.

Kara, K., 1996. Tarla Bitkileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:191, Erzurum, 364 s.

Karaca, M., 1995: Bulut Tohumlaması ve Olabilirliği, Meteoroloji Mühendisliği Dergisi, 13-14, Şubat 1995.

Kemeroğlu, F., 1997: Türkiye'de Ekstrem Sıcaklık Trendleri, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 94.

Kempe, S., Khoo, F., and Gürleyik, Y., 1978: Hydrography of lake Van and its drainage area. pp. 30-45. In the Geology of Lake Van, edited by Degen and Kurtman, The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, Report No. 169.

Kerr, R. A., 1992: Unmasking a shifty climate system. Science, Vol. 255: 1508-1510.

Khavich, V. and Ben-zvi, A., 1995: Forecasting of daily water Levels for Lake Kinret, Israel. Bulletin of Hydrological Sciences, 40, 2.

Kish, A.J., Ogle, W.L. and Loadholt, C.B., 1972: A prediction technique for snap bean maturity incorporating soil moisture with the heat unit system, Agricultural and Meteorology, 10, 203-209.

Kung, E.C., 1988: Climate Dynamics Course Notes, Dept. of Atmospheric Science, University of Missouri.

Kuniholm, P.I, 1990: Archaeological evidence and non- evidence for climatic change, in S. J. Runcorn and J.-C. Pecker, eds., The Earth's Climate and Variability of the Sun Over Recent Millennia, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 1990 pp. 645-655.

Lacy, R. E. and Shellard, H. C., 1962: An index of driving rain. Met. Mag., 91: 177-84.

Lamb, H. H., 1950: Types and spells of weather around the year in the British Isles: annual trends, seasonal structure of the year, singularities. Quart. J. R. Met. Soc. 76, 393-429.

Lamb, H. H.,1961: The English climate. 2nd ed. London: English Universities Press. 212 pp.

Lanchenbruch, A.H., and Marshall, B.V., 1986. Changing Climate: Geothermal Evidence From Permafrost In The Alaskan Arctic, Science, 234, 689-696.

Landsberg, H.E., 1948: Use of Climatological Data in Heating and Cooling Design, American Society of Heating Ventilating Engineering, 54, 253-264.

Landsberg, H.E., 1970: Man-Made Climatic Changes, Science, 170, 1271.

Landsberg, H.E., 1973: City Air -Better or Worse, Symposium: Air Over Cities, U.S. Public Health Service, Taft Sanitary Eng. Center Cincinati, Ohio, Tech. Rept. A62-5.

Legault, B., 1989: The Environmental Challenge - Mother Nature Calls for Help, Ascent, Vol.8, No.1, 1989.

Lenihan, J.M., and Neilson, R.P., 1995: Canadian Vegetation Sensitivity To Projected Climatic Change At Three Organi-

zational Levels, Climate Change, 38, 51-86.
Letherman, K.M. and Al-Azawi, M.M.J., 1986: Predictions of the Heating and Cooling Energy Requirements in Buildings Using the Degree Hours Method, Building and Environment, 21 (3/4), 171-176.
Levis, L.F., 1947: Variation of Temperature in London 1764-1939, Meteor. Mag., 135-138.
Lind, A. R., 1964: Physiologic responses to Heat. S. Litch (Ed.), Medical Klimatology. New Haven: E. Licht Publisher.
Lutgens, F.K. ve Tarbuck, E.J., 1989: The Atmosphere: An Introduction to Meteorology, Fourth Edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 491 s.
Mandelbrot, B.B., 1977: Fractals, forms, change and dimensions. W.H. Freeman, San Francisco, 365 s.
Martin, J.H., Coale, K.H., Johnson, K.S., Fitzwater, S.E., Gordon, R.M., Tanner, S.J., Hunter, C.N., Elrod, V.A., Nowicki, J.L., Coley, T.L., Barber, R.T., Lindley, S., Watson, A.J., Van Scoy, K., Law, C.S., Liddicoat, M.I., Ling, R., Stanton, T, Stockel, J., Collins, C., Anderson, A., Bidigare, R., Ondrusek, M., Latasa, M., Millero, F.J., Lee, K., Yao, W., Zhang, J.Z., Friederich, G., Sakamoto, C., Chavez, F., Buck, K., Kolber, Z., Greene, R., Falkowski, P., Chisholm, S.W., Hoge, F., Swift, R., Yungel, J., Turner, S., Nightingale, P., Hatton, A., Liss, P., and Tindale, N.W., 1994, Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean, Nature, 371, 123-129.
Martin, J.H., Gordon, R.M., and Fitzwater, S.E., 1990: Iron in Antarctic waters, Nature, 345, 156-158.
Mason, B.J., 1971: The Physics of Clouds. Oxford, Clarendon Press, 1971.
Mather, J. R., 1974: Climatology, Fundamentals and Applications, New York: Mc Graw-Hill.
Mearns, L.O, Katz, R. W. and Schneider, S. H. 1984: Extreme High Temperature Events: Changes in Their Probabilities with Changes in Mean Temperature', Journal of Climate and Applied Meteorology, 23, 1601-1613.
Meydan Larousse, 1966: 4. Cilt.
Meydan Larousse, 1969: 2. cilt, Meydan Yayınevi
Mitchell, J.F.B., Manabe, S., Meleshko, V., and Tokioko, T., 1991: Equilibrium Climate Change-And Its Implications For The Future, in Houghton, J. T., G.J. Jenkins, and J.J.Ephraums (editors), Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge, England: Cambridge University Press, p. 131-172.
MMO, 1999: Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler ve Meteorolojik Önlemeler Raporu, TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, s. 61, 1999.
Moran, J.M. ve Morgan, M.D., 1994: Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather, Fourth Edition, Robert McConnin, Macmillan College Publishing Company Inc., 517 s.
Mouginis-Mark, P.J., Pieri, D.C., and Francis, P.W., 1993: Volcanoes, in: Atlas of Satellite Observations related to Global Change, ed. Gurney, R.J., Foster, J.L., and Parkinson, C.L., Cambridge University Press, pp. 341-357.
Munn, R. E., 1970: Biometeorological Methods. New York: Academic Press.
Namias, J, 1983: Some Causes of United States Drought. J. Clim. Appl. Meteor., 22, 30-39.
NAS (National Academy of Sciences), 1983: Changing Climate, Report to the Carbondioxide Assessment Committee, National Academy Press, Washington, DC, 497 pp.
Neuberger, H. and Chair, J., 1969: Principles of Climatology. New York: Holt, Rinehart and Winson, Inc., p.128.
Newhall, N.G., 1988: Sunspots, Dust and Rainfall. The Printer, California, pp. 72.
NOAA, 2001: Today's space Weather: http://www.sel.noaa.gov/today.html.
Ok, V., 1996. Kişisel Görüşme, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, İstanbul.
Oke, T.R., 1978: Boundary Layer Climates. Methuen&Co. Ltd., New York, 372 p.
Oliver, J.E., 1973: Climate and Man's Environment. John Willy & Sons Inc., New York.
Oliver, J.E., 1981: Climatology: Selected Applications. Edward Arnold Ltd, London, 260 s.
Osmanlı Tarih Deyimleri ve Terimleri Sözlüğü, 1993: Milli Eğitim Basımevi. 870 s.
Özden, Y.I., 1995: Halk Sağlığı Açısından Ülkemizde Nüfus Artışı, Kentleşme ve Hava Kirlenmesi, II. Hava Kirlenmesi, Modellemesi ve Kontrolu Sempozyumu'95, İstanbul, 22-24 Mart 1995, 11-26.
Özel Çevre Koruma, 1994: Yangın Var!, s. 62-63. Sayı 6, Haziran 1994.
Özgüler, H., 1984: Türkiye'de Göller Civarındaki Meteorolojik Elemanların Dağılımı. İ.T.Ü. Meteoroloji Müh. Lisans Tezi, İstanbul 47 s.
Özgür, R., 1995: Van Gölü Havzasının Genel Jeomorfolojik Özellikleri ve Tektonik Hareketlerin Göl Düzeyi Değişimlerine Etkisi. Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi, (Özet kitapçığı) 1-5 Mayıs 1995, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
Panofsky, H., 1976: Man's Impact on Climate, Urban Costs of Climate Modification, Ed: T. A. Ferrar, John Wiley &Sons Inc, 27-42.
Parry, M., 1990: Climate Change and World Agriculture, London, Earthscan Publications Limited.
Parry, M., Carter, T. ve Konijn, N. 1988: The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Vol 1:Assessments in Cool

Temperate and Cold Regions, HASA/UNEP, Vol. 2: Assessments in Semi-Arid Regions, HASA UNEP, Kluwer Academic Pub., Boston.

Parry, M.L., (Editor), 2000: Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK. 320 pp.

Paulus, H. J. And Smith, T. J., 1967: Association of alergic bronchial asthma with certain air polutants and weather parameters. Int. J. Biometeor., 11: 119-27.

Pearl, R., Jones, J. ve Curry, R., 1999: Impact of Climate Change on Crop Yield in the Southeastern U.S.A., in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Report to Congress, Vol. 3, Washington, D.C.

Pehlivanoğlu, Y.V. ve M. Kadıoğlu, 1993: Bir Başka Silah Aracı-Hava. Hava Harp Okulu Bülteni, Cilt 12, Sayı 31-32, 79-86 s.

Penning de Vries, F.W.T., Jansen, P.M., Ten Berge, H.F.M. ve Bakema, A., 1989: Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops, Pudoc-Wageningen, 1-18.

Price, C., Stone, L., Huppert, A., Rajagopalan, B., and Alpert, P., 1998: A possible link between El NiÑo and precipitation in Israel, Geophys. Res. Lett. 25, (21), 3963-3966.

Pruppacher, H.R., and J.D. Klett, 1978: Microphysics of Clouds and Precipitation. Reidel Publ. Co.

Quirk, W.J., 1981: Climate and Energy Emergencies, Bulletin American Meteorological Society, 62 (5), 623-631.

Ralph, B., 1980: 'Probability, Precipitation and Pi', Weatherwise, pp.60-64.

Rampino, M.R., Self, S., and Stothers, R.B., 1988: Volcanic Winters, Annual Review of Earth Planetary Sciences, 16, 73-99.

Rasmusson E.M. and J.M. Wallace, 1983: Meteorological Aspects of the El NiÑo/Southern Oscillation. Science, (222), pp. 1195-1202.

Revkin, A., 1992: Global Warming, Understanding the Forecast, American Museum of Natural History and Environmental Defense Fund.

Richard, A.K., 1982: Cloud Seeding: One Success in 35 Years. Science, 217, 519-521.

Rind, D., and Overpeck, J., 1993, Hypothesized Causes of Decade-To-Century-Scale Climate Variability: Climate Model Results, Quaternary Science Reviews, 12, 357-374.

Ritchie, J., Gaer, B. ve Chou, T., 1990: Effect of Global Climate Change on Agriculture: Great Lakes Region, in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Report to Congress, Vol. 3, Washington, D.C.

Rogers, R.R., 1979: A Short Course in Cloud Physics. Pergamon Press.

Rosenzweig, C., 1990: Potential Effects of Climate Change on Agricultural Production in the Great Plains: A Simulation Study, in The Potential Effects of Global Climate Change on the United States, Report to Congress, Vol. 3, Washington, D.C.

Santer, B., 1985: The use of General Circulation Models in climate impact analysis-a preliminiary study of the impacts of a CO2-induced climatic change on Wester Europe Agriculture. Climate Change, 7, 71-93.

Satılmış, S., 1993: Büyük Su Yapılarının Çevre İklimine Etkisi. İ.T.Ü. Meteoroloji Müh. Lisans Tezi, İstanbul 75 s.

Şaylan, L. ve Şen, O., 1996: A study of sensible temperature variation based on measured temprature and humidty in urban and forest areas, Bulletin of the Technical University of İstanbul.

Şaylan, L., 1993: Toprak su içeriğinin ve bitkisel üretimin simulasyonunda SIMWASER modelinin kullanımı, Topraksu dergisi,2,26-31.

Şaylan, L., 1994: Bitki gelişimi modelleri, Hasad dergisi,İstanbul, 106, 18-20.

Şaylan, L., 1995a: Bitki gelişimine sıcaklığın etkisi, Hasad, Kasım 1995, 126, 16-19.

Şaylan, L., 1995b: İklim değişikliğinin dünya tarımına etkileri, Hasad dergisi, 127, 29-32.

Şaylan, L., Sönmez, K.F., ve Eitzinger, J., 1994: Bitki-iklim modelleri tarımsal kuraklığın analizine bir çözüm olabilir mi?,I.Ulusal Hidro-meteoroloji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 72-81.

Seinfeld, J. H., 1975: Air Pollution: Physical and Chemical Fundamentals California Institute of Technology, USA, 523.

Şen Z, Kadıoğlu M., 1998a: Heating degree-days for arid regions. Energy; 23 (12): 1089-1094.

Şen Z, Kadıoğlu M., 1998b: Theoretical risk formulation for degree-day calculations. Theoretical and Applied Climatology; 61: 121-126.

Şen, Z., 1995: Sıklık-Çifte-Oran Yöntemi ile Buhar Tohumlaması Değerlendirmesi ve İstanbul için Uygulaması, İstanbul ve Civarı Su Kaynakları Sempozyumu, İSKİ-İTÜ 22-25 Mayıs, 1995 İstanbul, s. 51-57.

Şen, Z., 1999: Derece Gün Kar Hesaplamaları ve Bölgesel değerlendirme Yöntemi. Kar Hidrolojisi Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 31-44.

Sen, Z., and Kadıoğlu, M., 2000: Simple Daily Dynamic Adaptive Operation Rules for Water Resources Optimization.

Water Resources Management, 14, 349-368.
Şen, Z., M. Kadıoğlu, and E. Batur, 1999: Cluster Regression Model and Level Fluctuation Features of Van Lake, Turkey. Annales Geophysicae-Atm Hydr. 17 (2), 273-279.
Şen, Z., M. Kadıoğlu, and E. Batur, 2000: Stochastic Modelling of the Van Lake Monthly Level Fluctuations in Turkey. Theoretical and Applied Climatology, 65, 99-110.
Şen, Z., M. Kadıoğlu, and K. Koçak, 1998: Comments on "Recent Trends in Maximum and Minimum Temperature Threshold Exceedences in the Northeastern United States". Journal of Climate, 11 (8), 2147-2149.
Shaw, G., 1992, Clouds and Climate Change, Understanding Global Change: Earth Science and Human Impacts, Global Change Instruction Program, UCAR, 20 pp.
Shaw, N., 1933: The Drama of the Weather. Cambridge Univesity Press.
Siegenthaler, U., and Sarmiento, J.L., 1993, Atmospheric Carbon Dioxide and the Ocean, Nature, 365, 119-125.
Sigurdsson, H., 1990: Assessment of the Atmospheric Impact of Volcanic Eruptions, Geological Society of America, special paper 247, 99-110.
Singh, B., Mayar, M.E., André, P., Bryant, C.R. and Thouez, J.P., 1998: Impacts of a Ghg-Induced Climate Change on Crop Yields: Effects of Acceleration in Maturation, Moisture Stress and Optimal Temperature, Climate Change, 38, 51-86.
Slivitzky, M., and Mathier, L., 1993: Climatic changes during the 20th century on the Laurentian Great Lakes and their impacts on hydrologic regime. NATO Advanced Study Institute, Deauville, France.
SMIC, 19171: Inadvertent climate modification, Report of the study of man's impact on climate (SMIC), MIT Press, Cambridge.
Smith, K., 1938: Principles of Applied Climatology, Mc Graw-HILL Book Company (UK) Limited, Maindenhead. Berkshre. England, 166-175.
Stanley A. and Changnon, Jr., 1968: The La Porte weather Anomaly-Fact or Fiction?, Bull. of the American Meteorological Society, 49, no. 1..
Steadman, R. G., 1979: The Assesment of Sultriness. Part 1: A Temperature-Humidty Index Based on Human Physiology and Clothing Science, Journal of Applied Meteorology, 18, 861-873.
Stenitzer, E., 1988. SIMWASER Ein Numerisches modell zor simulation des bodenwasserhaushal tes und des pflanzenertrages eines standartes, Petzenkirchen, 31, 203 s.
Streete, J., 1991: The Sun-Earth System, Understanding Global Change: Earth Science and Human Impacts, Global Change Instruction Program #102, UCAR, 33 pp.
Sykes, M.T. and Prentice, I.C., 1996: Climate Change, Tree Species Distributions and Forest Dynamics: A Case Study in The Mixed Conifer/Northern Hardwoods Zone of Northern Europe, Climate Change, 34, 161-177.
Tegart, W.J. McG, G.W. Sheldon, and D.C. Griffiths (editors), 1990: Climate Change: The IPCC Impacts Assessment, Cambridge University Press.
Thornthwaite, C.W., 1956: Modification of rural microclimates, in W.L. Thomas (ed.) Man's role in changing the face of the earth, Univ. of Chicago Press, 567-583.
Titus, J.G., 1986: Greenhouse Effect, Sea Level Rise, and Coastal Zone Managemem, Coastal Zone Management Journal, 14:3, 147-171.
Toros, H., 1993: Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Trend Analizi. İ.T.Ü. Meteoroloji Müh., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 183 s.
Trenberth, K. E., 1983: What are the Seasons(, American Society, 1276-1282.
Trenberth, K. E., 1990: Recent observed interdecadal climatic changes in the Northern Hemisphere. Bull Amer. Met. Soc., 77 (7): 988-993.
Tsonis, A.A., and Elsner, J.B., 1989: Chaos, Starange Attractors, and Weather. Bull. Amer. Meteor. Soc., 70, 14-22.
Türk, F., 1999: Meteorolojinin Askeri Önemi ve Uygulamaları, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Bitirme Çalışması, s. 98.
Türkeş, M., Sümer, U. and Kılıç, G., 1995: Variations and Trends in Annual Mean Air Temperatures in Turkey with respect to Climatic Variability, Int. J. Climatol., 15, 557-569.
Türkeş, M., Sümer, U. and Kılıç, G., 1996b: Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey, Int. J. Climatol., 16, 463-477.
Türkeş, M., 1996a: Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. Int. J. Climatol., 16, 1057-1076
Vinnicov, K.Ya., P.Ya. Groysman, K.M. Lugyna and A.A. Golubev, 1987: Variations in Northern Hemispheric Mean Surface Air Temperature over 1881-1985, Meteorol. Hydrol., 1, 45-55.

Vries, P. de, Jansen, D.M., Berge, H.F.M. and Bakema, A., 1988: Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops, Pudoc, Wageningen-Netherlands 271pp.
Wallace J. M., Hobbs P. V., 1977: Atmosferic Science An Introductory Survey, 425-26
Weisberg, S. J., 1981: Meteorology The Earth and Its Weather, 2. Baskı, Houghton Mifflin Company, Boston, 250-254.
White, L.M., 1979: Relationship between meteorological measurements and flowering of index species to flowering of 53 plant species, Agric. Meteor., 20, 189-204.
WMO (World Meteorological Organisation), 1975, The Physical Basis of.Climate and Climate Modelling, GARP Publications, Series No. 16, WMO Geneva.
WMO ve UNEP, 1990: Climate Change, The IPCC Impacts Assessment, Ed: W.J. McG. Tegart, G.W. Sheldon ve D.C. Griffiths, Australian Government Pub. Service, Canberra.
WMO, 1983: Guide to Hydrological Practices, WMO Publ. No. 168, Vol. 2, 4th Ed., Geneva, Switzerland.
WMO, 1987: Climate and Human Health, World Climate Programme Applications, World Meteorological Organization, 16 s.
WMO, 1987: The Global Climate System: Autumn 1984-Spring 1986. Climate System Monitoring. CSM R84/86.
Woodworth, P.L., 1990: A search for accelerations n records of European mean sea level. Int. J. Climatology, 10, 129-143.
Yalçın, D., 1986: Keban Baraj gölünün Elazığ İklimine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fizik Müh. Lisans Tezi, Elazığ 76 s.
Yıldırım, T., 1995: Van Bölgesi Volkanizmasının Genel Özellikleri ve Volkanizmanın Göl Seviye Değişimlerine Etkisi. Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi, 1-5 Mayıs 1995, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
Yıldız, S. 1982: Orman Yangınları Üzerinde Sıcaklık ve Nemin Etkisi. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
Yılmaz, R., S. Çelik, A.G. Ertürk, M. Adıgüzel, A. Sayın, 1994: Van gölü Su Seviyesi Yükselmesine Etki Eden Hidrometeorolojik Parametrelerin Analizi. Van Gölü'nde Su Seviye Değişimleri ve Çevreye Olumsuz Etkileri Sempozyumu, 27-29 Eylül 1994, Van.
Yılmaz, Y., 1997: Cemre, Tekillik Analizi, Lisans tezi, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 47 s.
Yoshino, M. M., 1968: Pressure patern calendar of east Asia. Met. Rund. 21, 162-9.
Zachariadou, Elizabeth, 1999: Natural Disasters in the Ottoman Empire. Crete University Press-Foundation for Research & Technology, pp. 313.



Bildiğiniz havaların sonu

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİMİ VE TÜRKİYE

- Nedir bu "küresel ısınma" ve iklim değişimi?
- Bu iki kavram aynı anlamı mı taşıyor?
- Türkiye'deki izleri nelerdir?
- Tarım sektöründe ve enerji politikalarımızda ne tür değişimler yaşanıyor?
- Yakın geleceğe ilişkin küresel iklim değişikliği senaryolarında, Türkiye ile ilgili olası öngörüler nelerdir?

Bu kitapta hava ve iklim olaylarıyla ilgili yanlış bilinen bir çok konunya doğru açıklamalar, bir çok soruya da yanıtları verilmiştir.

"New York'ta bir kelebeğin kanat çırpışının İstanbul'da fırtınaya neden olacağı"nın söylendiği bugünlerde Doç Dr. Mikdat Kadıoğlu'nun kaleminden, meteoroloji biliminin önemini ortaya koyan titiz bir çalışma... Türkçe'de alanındaki tek kaynak...

Uygarlıkların doğuşuna zemin hazırlayan, kimi zaman da uygarlıkların sonunu getiren iklim olaylarının, bu kez insanlığın yaşam biçimiyle bozulduğunun farkında olanlar için...

GÜNCEL YAYINCILIK

ISBN 975-8621-08-4

9 789758 621088