GAZİSEM

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Sürekli Eğitim Uygulama
ve Araştırma Merkezi

2015

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

DERS NOTU

BÖLÜM 1

YAPI İŞLETMESİ VE ŞANTİYE TEKNİĞİ

1.PROJE YÖNETİMİ:

Projenin oluşumu ve gelişiminde çeşitli aşamalar (kademeler) mevcuttur. Bir mühendislik yapısının gereklilik olarak ortaya çıkmasından sonra geçirdiği tüm aşamalarda mühendis veya mimar gibi birçok teknik yönetici ve uygulayıcının çok çeşitli görevleri vardır. Bu mühendislik görevlerini tanımak ve tanımlamak için yapının bütün uygulama aşamalarını genel bir sıralama içinde gözden geçirmek faydalı olacaktır.

1.1. Yapı Gereksiniminin Ortaya Çıkması:

Bu ilk aşamada, mühendislik yapıları ortaya, önce bir gereklilik olarak çıkar. Bu anlamda, bir mühendislik eserinin, gerek duyulmadan yapılması anlamsızdır. Temel aşamalar bakımından özellikle kalkınma planlarını yapan ve yönetenler, bu planların altyapılarını oluşturan gereksinimlerin envanterlerini yapmak, bunlan cok dikkatli sıralamak, sınıflandırmak ve değerlendirmek zorundadırlar. Gereksinimler üç ayn sekilde ortaya çıkmaktadır:

1.1.1. İstekler: Yöneticiler çoğu kez yönettikleri kadro veya toplumdan gelen pek çok istekle karşılaşırlar. Bunların önemli bir bölümü mühendislik yapılarının tasarı tohumlarını atar. Köylülerin yol, su, elektrik istemeleri,öğrencilerin yurt, okul talebinde bulunmaları v.b. Gereksinimlerin böyle istek haline dönüşmesi, mühendislik yapılarının tasarlanmalarının en büyük kaynağını oluşturur. Bir kalkınma planında isteklerle şekillenmiş gerekliliklere ne kadar çok yer verilirse plan o ölçüde demokratik olur. Yöneticiler bu konuya çok önem vermek ve hassas davranmak zorundadırlar.

1.1.2. Planlama Sonucu: Gereksinimlerin bir bölümü de bir konunun planlanması sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Buradaki söz konusu planlama periyodik yapılan bir ülke kalkınma planı olabileceği gibi çok sınırlı bir amacın planlaması da olabilir.

1.1.3. Başka Bir Yapının Sonucu Olarak Ortaya Çıkan Gereksinimler: Bir mühendislik yapısının tasarımında ne kadar kapsamlı ve ayrıntılı bir çalışma yapılırsa yapılsın, yine çoğu kez işletmeye geçildikten sonra yeniden bazı tesislerin yapımına gerek duyulabilir. Örneğin Boğaz Köprüsü inşaatı, çevre yollarının yapımını zorunlu kılmıştır. Böylece üç ayn sinifta belirtilen gereksinimler bir mühendislik yapısının tasarlanması, planlanması, boyutlandırılarak çizimlenmesi, inşası ve işletmeye açılması aşamalarının başlangıcını teşkil etmektedir. Gerekliliğin ortaya çıkmasından sonra konunun bir tasarı olarak ele alınmasıyla artık adı "proje" olmaktadır. Atatürk Barajı Projesi yada İstanbul II. Boğaziçi Köprüsü Projesi gibi. Yani burada sözü edilen proje, konunun adıdır.

1.2. ÖnEtütler:

Ön etütler veya ilk tasarı (avan proje) olarak da tanımlanan bu ikinci aşamada mühendislik yapısının ana çizgileri, büyüklüğü, tipi ve yeri kabaca tasarlanır ve bu aşama mimarlık yada mühendislik sanatına, bilimine, deneyimine ve tasan giiciine en fazla gerek duyulan adımı oluşturur. Bu aşamada şu araştırmalar yapılıp sonuçlandırılmalıdır:

1.2.1. Olanakların Araştırılması: Ön etüt ve olanak araştırmasına, projeye bir sahip, bir izleyici bulmakla başlanır. Projenin büyüklük ve önemine göre bu sahip yada izleyici tek bir kimse de olabilir, ancak çoğunlukla bir kadro yada kuruluştan oluşur. Bu araştırmada,"söz konusu projeye kim sahip olacak, yürütmek ve sonuçlandırmak için kim görev ve yetki alacak" sorularının yanıtları aranır. Her projede, yetkiler başlangıçta kesin olarak belirlenmiş bir sorumlunun yapılacak işe sahip olması, yanlışlıkları, gereksiz zaman ve para kayıplarını, teknisyenlerin gereksiz çekişmelerle yok olacak zamanlarını önlemek ve kayıpları azaltmak bakımından zorunludur. Diğer bir açıdan olanak araştırması, projenin yapılması ve işletilmesi için gereken potansiyel kaynaklar ile hammaddelerin envanteri olmasıdır. Örneğin konu bir hidroelektrik santral ise, gücü sağlayacak akarsuyun düşünülen bölgedeki potansiyel gücü yani kullanılmamış düşü yüksekliğinin ve güvenilir akımların potansiyel kaynaklarını bulmak v.s. örnek gösterilebilir.

1.2.2. Yer Araştırması: Proje konusu olan yapının en uygun yer araştırılır. Konu bir bina ise en uygunarsalar, bir fabrika ise hammaddeler en kolay yükleme, boşaltma yerleri ve enerji araştırılır. Konu bir baraj ise, topoğrafya, jeoloji, morfoloji ve temel stat gibi konular incelenir.

1.2.3. Tip Araştırması: Projede amaca uygun yapı tipleri araştırılır. Bina ahşap mı, kerpiç mi, yığma mı yoksa çelik konstrüksiyon mu olacaktır? Eğer baraj inşa edilecekse, kullanılabilecek malzeme ve sağlanabilecek güvenlik göz önünde tutularak zonlu veya homojen toprak, kaya, dolgu, beton ağırlık, kemer yada payandalı tipten hangisinin uygun olacağı araştırılır.

1.2.4.Boyut Araştırması: Projenin ana ünitelerinin boyutları araştırılır. Boyutlandırmayı etkileyen faktörler şunlardır:

- Gereksinimlerin miktar ve büyüklüğü
- Olanakların sınırlar
- Statik, hidrolik,betonarme gibi hesaplarının getirdiği sınırlamalar
- İşletme şeklinin sınırlamalar

1.2.5. İlk Seçeneklerin Değerlendirilmesi: Yukarıda belirtilen araştırmalar yapılınca, artık projenin çeşitli alternatifleri de ortaya çıkar. Projenin yer, tip ve boyutları bakımından elde edilen alternatiflerin kabaca maliyet hesapları yapılır. Statik, sızıntı, kayma, devrilme ve deprem gibi mühendislik hesaplar karşısında güvenlik dereceler ve ekonomik denge hesapları da gözden geçirilerek en uygun görülen bir veya birkaç alternatif çözüm seçilir. Bu sonuç genel olarak ön etütler raporu yada İstikşaf Raporu adı verilen bir sonuç raporda özetlenir. Sonuç raporu, her çeşit ön etüt araştırmasının ana çizgi ve sonuçlarını, alternatif çözümleri ve seçilen alternatifi, bu seçimin savunulmasını kapsamalıdır. Ayrıca bu rapora alternatif çözümler için yapılmış detaysız çizimler de eklenir. Örneğin; sulama şebekelerinde 1/25.000'lik topoğrafik hartalar, yada bir endüstri tesis projesinde ön etütlerde kullanılan 1/2000'lik haritalar gibi..

1.3. Projenin Planlanması:
Fizibilite=Yapılabilirlik Etüdü adı verilebilecek bu aşamada, yapılan çalışmalarla proje alternatifleri arasında fiziksel ve ekonomik karşılaştırmalar yapılarak bu çözümün ana boyutlarına kesinlik kazandırılır. Bu aşamada yapılan çalışmalar şu sınıflama içerisinde toplanabilir:

1.3.1. Gereken Veriler Listesi: Önce ikinci aşamada en iyi görülen alternatiflerin gerektirdiği ekonomik ve teknik veriler toplanır. Projenin konusuna, büyüklüğüne ve önemine göre bu verilerin listesi ve özellikleri değişir. Örneğin; bir baraj ve bu barajdan su alan sulama şebekesi için gerekli olan veriler:
-1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar
- Baraj yerlerinin 1/1000 ölçekli topoğrafik haritalar
- Baraj gölü ve sulama alanlarının 1/5000'lik haritalar
- Proje sahasının girdiği meteoroloji istasyonunun ölçüm bültenler
- Proje sahasının jeolojik, tektonik ve sismik etütler ile akım-rasat istasyonlarının ölçümleri
- Baraj yeri ve göl sahasının ayrıntılı jeolojik etüdü, gerekli sondaj sonuçlar
- Kullanılacak malzemenin etüdü, taşkın zararları etüdü raporu, arazi sınıflandırması etüdü
- Drenaj etütleri
- Zirai ve tarımsal ekonomi etütleri
- Pazar araştırmaları ve sosyoekonomik etütler
- Mali etütler
- Kamulaştırma etütleri

Yukarıda verilen listedeki gerekli veriler tamamlanmadan planlama çalışmasına geçilmez.

1.3.2. Mühendislik Çalışmaları: Mevcut alternatif çözümlerin temel, statik, hidrolik hesapları,

kesin boyutlandırma hesapları ve gerekli çizimleri yapılır. Planlama çalışmalarında boyutlandırma ve çizimler güvenilir olmalı, maliyet hesabına olanak vermelidir.

1.3.3. Proje Maliyeti Hesabı: Her alternatifin maliyet hesabı yapılır. Maliyet hesabında, inşaatı yaptıracak kuruluşun kullanmakta olduğu "inşaat birim fiyatları" uygulanır. İnşaatı yaptıracak kuruluşun kendi birim fiyatları yoksa, aynı konularda çalışan benzer kuruluşların birim fiyatları uygulanır. Eğer metrajı çıkarılan pozların güvenilir birim fiyatları bulunamazsa, ilerde açıklanacağı ,gibi bir "fiyat analizi" yapılarak ilgili fiyat tespit edilir. Daha sonra inşaatın tamamlanması için gerekli tüm pozların metrajlarıyla, ilgili pozların birim fiyatlar ıçarpılarak ve kümülatif toplamları alınarak "Maliyet Tutarı" bulunur. Bu tutarın içinde şantiyenin kurulması ve yeterli işletimi için gerekli olan yapıların maliyetleri de bulunmalıdır.

Maliyet Tutarına % olarak önceden bilinmeyen giderler bir kalem olarak eklenir. Bu yüzde % 5-20 arasında değişir. Buna % 15 civarında yapı kontrol ve yönetimi ile proje-mühendislik giderleri de eklenir. Bu son gider, proje yönetiminin tüm aşamalarında proje sahibinin harcamak zorunda kalacağı hizmet, etüt ve araştırma giderlerini karşılamak zorundadır.

Örnek olarak "Bir yol inşaatı yatırım maliyeti" hesabim göz önüne alalım :

. Kazı ve dolgu işleri……...600 x 10^9 TL
. Yol kaplaması……..……400 x 10^9 TL
. Sanat yapıları……200 x 10^9 TL
+ Hesaplanan inşaat maliyeti……1200 x 10^9 TL
. Bilinmeyen giderler % 15 x 1200 x 10……..= 180 x 10^9 TL
+ İnşaat maliyet toplamı……...1380 x 10^9 TL
+Proje ve yapının kontrolu,yönetimi ve mühendislik hizmetleri:%15x1380 x10^9=207x10^9 TL
TOPLAM: 1587 x 10^9 TL
Kamulaştırma giderleri (etütlerden)……213 x 10^9 TL
YEKUN……1800 x 10^9 TL
. İnşaat süresince faiz (2 yıllık % 10 dan): (1/2) x 2 x % 10 x 1800 x 10^9……= 180 x 10^9 TL
YATIRIM TOPLAM MALİYETİ……..: 1980x10^9 TL

1.3.4. Ekonomik Analizler: Ekonomik analizler, belirli bir zaman dönemi esas alınarak yapılır. Ekonomik analiz yada diğer bir deyişle "Projenin Ekonomik Ömrü" olarak tanımlanan bu dönem 30-40 yıl arasında kabul edilir. Projeyi oluşturan tesislerin tamamı veya ünitelerine bağlı değişik alternatiflerin ekonomik analizleri ve bunların karşılaştırmaları genellikle yıllık giderler ve faydaların hesaplarına dayanır. Yıllık gider ve faydalar üç ayn yontemle hesaplanabilmektedir:

1.3.5. Eşdeğerlilik ve Gider Karşılaştırmaları:

1.3.5.1. Paranın zaman değeri ve eşdeğerliliği (gelecekteki değer):

Aylık bileşik faiz $S=P[(1+i / P)^p]^n$ veya $S = P (1+i / P)^{np}$
Yıllık bileşik faz ise $S = P(1+i)^n$ veya $S = P.F_{ps}$ [n yıl sonraki değer],
Gelecekteki değer = Şimdiki değer x Bileşik faiz faktörü
Formüllerde;

P	: şimdiki değer,
I	: faz oranı/yüzdesi,
n	: süre (yıl)
S	: gelecekteki değer
$P(1+i)$	:ikinci yılın başındaki başlangıç değeri,
$P(1+i)^2$	: İkinci yılın sonundaki başlangıç değeri
$P(1+i)^3$	: 3.yılın başında …….
P	: 1 yıl içindeki zaman periyotları sayısı ise,
$(1+i/P)^p-1$	: Etkin geri dönüş oranı yada bir yıl için değerdeki artış.
F_{ps}	: Dönüştürme faktörü,(şimdiden —► geleceğe),

$F_{ps,i,n}$: n yıl sonra, faz oranıyla bugünden geleceğe dönüştürme fakt. Mühendislik ekonomisinde genellikle zaman birimi 1 yıl alınmaktadır. Buna, 1 periyotluk zaman denir.

Etkin geri dönüş oranı, belki bir yılda p kez yerine bir kez kullanılabilir. Buna nominal geri dönüş oranı da denir

*.Bileşik faiz kuralı, mühendislik ekonomisinde eğer süre bir yılı aşıyorsa kullanılır. Süre bir yılın altında ise "Basit Faiz" kullanılır ve ilk miktara nazaran faiz artışı S = P (1+n.i) ; (n yılın bölümleri yada parçaları olmak üzere) formülüyle belirlenir.

Aksi söylenmedikçe, bir yılı aşkın aylık parçalı yatırım süresi için;
yıllık tamsayılı kısmında ⟶ bileşik faiz, artık yada ondalık kısmında bulunan fazla aylar için ⟶ basit faiz uygulanmaktadır.

Örnek-1:
10000 TL'nin 2 ay süreyle, yıllık %10 faiz oranı ve basit faizle artış miktarı:
S=10000[(2/12) (0.10)] = 166.67 TL.dir {S=P(n.i) den}. Bir başka tanımlamayla ana parayla birlikte toplam getiri: S = P (1+n.i) = 10000[1 + (2/12) 0.10] = 10166.67 TL olmaktadır.
Örnek-2:
1000 TL. borç alıp 4 ay sonra 1050 TL. geri ödeyen bir kimse ne kadar (% kaç) yıllık faiz ödemiştir?
S = 1000 [1+ (4/12. i)] = 1050 ⟶ i= 0.15 (yıllık % 15),
Örnek-3:
Bir miktar paranın yıllık %8 faizle 2 katına çıkma süresi nedir? $S=P.F_{ps,\%8,n}=2P$, ($F_{ps,\%8,n}=2$ Tablo değeri kullanılarak [Bkz. Tablo 1]), $F_{ps,\%8,n}=1.9990$ okunur. Böylece sözkonusu faizle para 9 yılda iki katına çıkmış olur.

TABLO 1.1) Kesikli Bileşik Faiz =%8 için,

Tekil Ödeme		Düzenli Yıllık Ödeme		Düzenli Artan Ödeme		Amortismanlı Ödeme	
Bileşik Faiz Faktörü	Şimdiki Değer Faktörü	Birim gider Şimdiki Değer Faktörü	Sermaye Geri Dönüş Faktörü	Sermaye Maliyeti Faktörü	Şimdiki Değer Faktörü	Basamakları Toplamlı Şimdiki Değer Faktörü	Doğru Çizgi Şimdiki Değer Faktörü
$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	$\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	$\frac{F_{RP}-nF_{SI}}{i}$	$\frac{n-F_{RP}}{0.5n(n+1)i}$	$\frac{1}{niF_{PS}}$
P den S ye (F_{PS})		S den P ye (F_{SP})	R den P ye (F_{RP})	P den R ye (F_{PR})	P den K ya (F_{PK})	G den P ye (F_{GP})	SD den P ye (F_{SDP})	SL den P ye (F_{SLP})
1	1.0800	0.9259	0.9259	1.0800	13.5000	. . . . .	0.9259	0.9259
2	1.1664	0.8573	1.7833	0.5608	7.0096	0.8573	0.9030	0.8916
3	1.2597	0.7938	2.5771	0.3880	4.8504	2.4450	0.8810	0.8590
4	1.3605	0.7350	3.3121	0.3019	3.7740	4.6501	0.8598	0.8280
:	:	:	:	:	:	:	:	:
(9)	**1.9990**	0.5002	6.2469	0.1601	2.0010	21.8080	0.7647	0.6941

Örnek-4:
Eğer 10000 TL., artarak 4 yıl sonunda 14120 TL. olmuşsa geri dönüş oranı yada faiz oranı nedir?
14120 = S = P(1+i)n= 10000 (1+i)4 , ⟶ (1+i)4 =1.412,
4 log (1+i) = log 1.412 = 0.14983, ⟶ log (1+i) = 0.03746, {colog = 1/log}
(1+i) = 1.090 , i =1 -1.090 = 0.090 ; i = %9 bulunur.,

Örnek-5:
10000 TL.nin yıllık %10 faizle 3 yıl 4 ay sonraki değeri nedir?
S = 10000 [1+ (4/12).(0.10)] = 10333 TL. (4 ay sonraki değeri)
S = 10333 $F_{ps,\%10,3}$ =10333 (1.331) = 13753 TL. (3 yıl sonraki değeri) ($F_{ps,\%10,3}$ için [Bkz. Tablo 2] den) TABLO 1.2) Kesikli Bileşik Faiz = %10 için,

Tekil Ödeme			Düzenli Yıllık Ödeme		Düzenli Artan Ödeme		Amortismanlı Ödeme	
Bileşik Faiz Faktörü		Şimdiki Değer Faktörü	Birim gider Şimdiki Değer Faktörü	Sermaye Geri Dönüş Faktörü	Sermaye Maliyeti Faktörü	Şimdiki Değer Faktörü	Basamakları Toplamlı Şimdiki Değer Faktörü	Doğru Çizgi Şimdiki Değer Faktörü
$(1+i)^n$		$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	$\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	$\frac{F_{RP}-nF_{SI}}{i}$	$\frac{n-F_{RP}}{0.5n(n+1)i}$	$\frac{1}{niF_{PS}}$
P den S ye (F_{PS})		S den P ye (F_{SP})	R den P ye (F_{RP})	P den R ye (F_{PR})	P den K ya (F_{PK})	G den P ye (F_{GP})	SD den P ye (F_{SDP})	SL den P ye (F_{SLP})
1	1.1000	0.9091	0.9091	1.1000	11.0000	. . . . .	0.9091	0.9091
2	1.2100	0.8264	1.7355	0.5762	5.7619	0.8264	0.8815	0.8678
(3)	**1.3310**	0.7513	2.4869	0.4021	4.0211	2.3291	0.8552	0.8289
4	1.4641	0.6830	3.1699	0.3155	3.1547	4.3781	0.8301	0.7925
:	:	:	:	:	:	:	:	:

1.3.5.2. Bugünkü değer (şimdiki değer) yöntemi:

Projenin giderleri, başlangıçta mühendislik hizmetleri ve inşaat giderleridir. İnşaatın tamamlanmasından sonra bunların yerini işletme giderleri alır. Başlangıçta az olan faydalar da bir gelişme döneminden sonra en büyük değere ulaşır. Bugünkü değer yönteminde, 50 yıllık ekonomik analiz dönemi içerisinde her yıl harcanacak işletme, bakım ve yenileme giderleriyle yatırım giderlerinin bileşik faiz yoluyla analiz dönemi başındaki değeri hesaplanır.

Örneğin; projenin başlamasından 1 yıl sonra harcanacak 105 TL'lik bir yatırım giderinin % 5 faiziyle dönem başındaki değeri 100 TL'dir.

Aynı şekilde, projenin uygulanmasıyla her yıl elde edilecek faydaların bileşik faiz formülüyle ekonomik analiz dönemi başındaki değeri bulunur. Bu şekliyle yöntemin esası, dönem başındaki fayda ve giderlerin karşılaştırılmasına dayanır.

Şimdiki değer = Gelecekteki Değer x Şimdiki Değer Faktörü

$P = S / (1+i)^n$, $P = S (1+i)^{-n}$, $P = S.F_{sp}$ Burada $(1+i)^{-n}$ veya F_{sp} : Şimdiki değer faktörü'dür ve tablodan alınır.

$F_{sp,i,n} = (1+i)^{-n} \longrightarrow F_{sp} = 1 / F_{ps}$ birbirinin tersi, karşılıklı faktörlerdir. Yukarıda yazılı şimdiki değer eşitlikleri, gelecekteki değere göre azaltılmış miktarları vermektedir.

$S = P(1+i)^n$ Takvim doğrultusunda hareket edildiğinde hesaplama için ($n > 0$)

$P = S (1+i)^{-n}$ Takvimin tersi doğrultusunda hareket edildiğinde hesaplama için ($n < 0$) alınacaktır.

Diğer bir deyişle;

Zaman-2 miktarı = Zaman-1 miktarı x bileşik faiz operatörü,

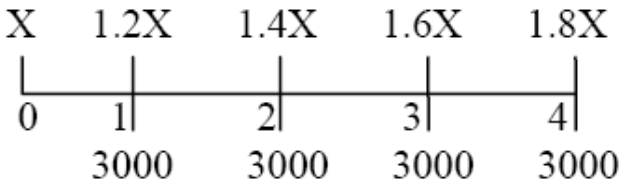
$(1+i)^n$ bileşik faiz faktörü, n yıllık ötelemeyle, bu birim değer alınarak ve "n" in işaretine bağlı olarak, takvim yönünde yada tersine bir matematik operatör olarak kabul edilebilir.

Mühendislik ekonomisinde harcama ve gelirler farklı zaman süreçlerinde meydana gelir. Bunlar, dönüştürme yapılarak yalnızca ortak tek bir anda bir araya getirilebilir. Bunu da bir matematik operatör olarak ancak zaman değeri dönüştürme bağıntısı tanımlar. Problemleri çözerken, iki eksenli bir diyagramda yatay eksende zaman, düşey eksende harcama veya gelirler alınarak incelemek uygun olmaktadır. Harcamalar ve girdiler diyagramın karşıt yönlerinde yer alabilir, ancak bu şekilde problem bir bütün olarak ve tüm yönleriyle görülebilir. Odak nokta yada odak tarih denilen başlangıç anı (focal point = focal date) bu diyagramda mutlaka tanımlanır.

Örnek-6:

16 yaşındaki bir çocuğun, babası tarafından ileriye dönük öğrenim yatırımı düşünülmektedir. 17, 18, 19 ve 20. yaşlarındaki 4 yıllık okul harcamalan icin 3000'er Br.TL.ye gereksinimi olan bu öğrenci için şimdiden bir miktar paranın hesaba yatırılmak suretiyle yatırımı yapılmalıdır. 20. yaşına gelinceye kadar paranın değer artışı her yıl aritmetik olarak % 4 ve miktar artışı da ilk yıldan itibaren her yıl %20 olacaktır. Bu durumda ne kadar para yatırmak gerekir?

İlk yatırıma x denilirse izleyen yatırımlar yapay olarak 1.2x, 1.4x,... v.s. olacaktır. Buna göre diyagram:



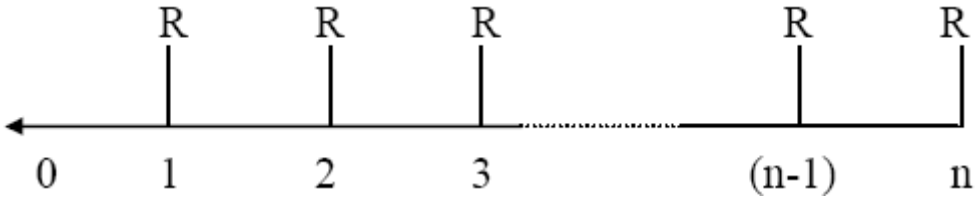
Odak tarih 2.yıl alınırsa, zaman değeri dönüştürme bağıntısı kullanılarak; $X(1.04)^2 +1.2X\ (1.04)^1 +1.4X\ (1.04)^0+1.6X\ (1.04)^{-1} +1.8X\ (1.04)^{-2} = 3000(1.04)^1 +3000(1.04)^0 +3000(1.04)^{-1} +3000(1.04)^{-2}$ = 1699 TL. olarak bulunur.

1.3.5.3. Dönem sonu değerleri yöntemi:

Bu yöntem, gelecekteki değer yönteminin benzeri ve bugünkü değer yönteminin ise tam karşıtı biçiminde olup, yıllık fayda ve giderlerin ekonomik analiz dönemi sonundaki değerleri bileşik faizle bulunmakta; alternatif karşılaştırmaları da (fayda/gider) oranlarıyla yapılmaktadır.

1.3.5.4. Birim gider, düzenli yıllık giderler ve faydalar yöntemi:

n yıllık bir periyotta R kadar bir miktarın her yıl sonunda ödeneceğini göz önüne alalım. Bunun diyagramı:



Burada R:
Birim gider olarak tanımlanmaktadır.

Bilinen "zaman değeri dönüştürme bağıntısı" kullanılarak tüm terimleri 0 (sıfır) başlangıç zamanına getirmek suretiyle tek bir P şimdiki değere dönüştürmek mümkündür.

$$P = R\left[\frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + ... + \frac{1}{(1+i)^n}\right]$$

Parantez içindeki terimler işaretiyle toplu olarak bir arada gösterilirse; $\sum_1^n \frac{1}{(1+i)^2}$ ve n adet terim geometrik serilerle, ilk terim 1/ (1+i) ile , oran da 1/ (1+i) ile gösterilecek olursa:

$$\text{Geometrik seriler toplamı} = \frac{1 - oran^{(terimsayısı)}}{1 - oran} x\, ilk\ terim$$

Bu durumda önceki toplam şu hale gelir:

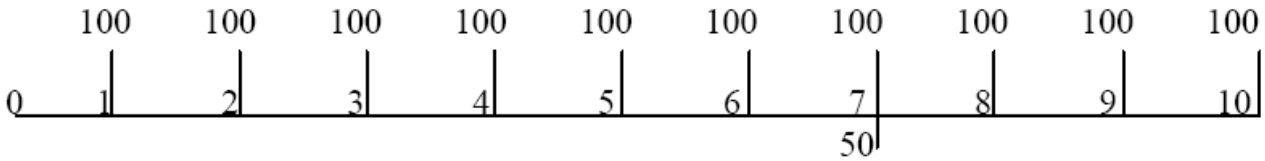
$$\sum_1^n \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1-\left[\frac{1}{(1+i)}\right]^n}{1-\left[\frac{1}{(1+i)}\right]} \cdot \frac{1}{1+i} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}.\ \text{Böylece}\ P = R.\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad \text{yada} \quad P=R.F_{RP}$$

Şimdiki değer = (birim gider).(birim gider şimdiki değer faktörü)

Burada F_{RP} birim gider şimdiki değer faktörü olarak tanımlanır. Bu şekilde F_{SP} şimdiki değer faktörüyle karışması da önlenmiş olur. F_{RP}, R harcamalarını P ye dönüştürür. Tamamlanmış şekliyle yukarıdaki eşitlik: $F_{RP,i,n} = R.\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$ olur. $F_{RP,i,n}$ değerleri tablolardan alınacaktır, bu değerler "eşdeğer ödeme serileri faktörü" ya da "yıllık şimdiki değer faktörü" olarak bilinir.

Örnek-7:

Her yıl %6 değer kazanan paranın aşağıdaki diyagramda verildiği şekilde (gelirler serisi) nin üçüncü yıl sonundaki eşdeğer miktarını bulunuz.



Bu seri şekilde gelirler 7. yıldan sonra bir düzensizlik göstermekte fakat bu yıldan itibaren 50 birimlik giderler halinde gelirlere karşılık çıkmaktadır.

Üstteki tüm çizgilerin şimdiki değeri $P=R.F_{RP}$ formülüyle, alttaki tek çizginin şimdiki değeri $P=S.F_{SP}$ formülüyle bulunacaktır.

$P = 100.F_{RP,\%6,10} - 50.F_{SP,\%6,7} = 100\ (7.3601) - 50\ (0.66506) = 702.8$ (sıfır zamanına getirildiğindeki durum).

3 yıl takvime göre ötelendiğinde;

$702{,}8.F_{PS,\%6,3} = 702.8\ (1.1910) = 837.00$ TL. (üçüncü yıl sonunda)

$$R = P.\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$ veya $R = P.F_{PR}$, Birim gider = (şimdiki değer).(sermaye geri dönüş faktörü)

Projenin yıllık gider olarak tesis ömrü, yenileme oranı, yenileme süresi ve faiz oranına bağl olarak projenin yatırım maliyeti, yıllık amortismanı, faizi, tesisi ve yenileme giderleri ile işletme ve bakım giderlerinin tutarı hesaplanır. Yıllık fayda olarak geliştirme dönemindeki artışın ortalamaya olan etkisi de göz önünde tutularak faydaların ortalama değeri hesaplanır. Alternatiflerin karşılaştırılmasında bu gider ve faydaların oranları kullanılır.

Tesis ömrü, yenileme süresi ve oranlarını veren birçok tablolar vardır. Amortisman, faiz ve yenileme giderleri toplamına "Amortisman Faktörü" denir. Amortisman faktörü, 1 TL yi yenilemek ve faiziyle birlikte geri ödemek için her yıl ödenmesi gereken eşit taksitlerdir.

$$a = \frac{c.i.(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}.\frac{(1-c).i.(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

Burada a : amortisman faktörü,

n: yenileme süresi, N: tesis ömrü, c : yenileme oranı (%), i: faiz oranı (%)

Bazı tesislerin tesis ömürleri, yenileme süreleri, yenileme oranları, yenileme faktörleri % 5 faiz oranına göre amortisman faktörleri aşağıdaki cetvelde gösterilmiştir (Tablo 3).

TABLO 1.3) Tesis Cinsine Göre Yapılarda Yenileme Ömür, Süre, Oran ve Amortisman Faktörleri

Tesis Cinsi	Tesis Ömrü (Yıl)	Yenileme Süresi (Yıl)	Yenileme Oranı (%)	Yenileme Faktörü [---]	Amortisman Faktörü (Fay+Yen.+Amor.)
Baraj-Tünel	150	5	2	0.00013	0.05016
Vana,kapak,Cebri Borular	75	45	50	0.00313	0.05379
Yol	100	---	---	---	---
Betonarme Köprü	100	45	2	0.00013	0.05050
Çelik Köprü	100	45	50	0.00313	0.05332
Ahşap Köprü	30	30	100	0.01506	0.06505
Sulama Tesisleri, Kanallar	150	45	2	0.00013	0.05016
Taşkın Koruma Tesisi, Seddeler	150	45	3	0.00013	0.05016
Yer altı Su Kuyuları	35	35	100	0.01107	0.06107
Kanalizasyon	40	40	100	0.00833	0.05828
Binalar, Daimi Kamp Tesisleri	65	20	10	0.00302	0.05500
Geçici Kamp Tesisleri	50	---	---	---	0.05478

İstimlâk arsa bedeli, mühendislik hizmetleri ve proje yönetimi giderleri, işletme ve bakım giderleri, tesisin her türlü bakımı ve işletilmesi için harcanan giderlerin toplamı "yıllık giderler toplamını" oluşturur.

İşletme ve bakım giderlerini hesaplamada, birtakım istatistik cetvellerden yararlanılır. Bazı tesislerin işletme ve bakım giderleri % olarak tanımlanır; bazıları ise cetvellerden alınır.

TABLO 1.4) Tesis Cinsine Bağlı İşletme ve Bakım Faktörleri

Tesis cinsi	İşletme ve bakım faktörü (%)
Tünel (kaplamasız olarak)	3
Vanalar, kapak düzenekleri	1
Betonarme ve çelik köprüler	3
Ahşap köprüler	8
Binalar	1
Daimi kamp tesisleri	1
Regülatör ve kaplamalı kanal	2
Toprak kanal ve seddeler	2
Kanalizasyon	2
Yollar	2

SAYISAL ÖRNEK: Bir önceki yol yapımıyla ilgili yatırım problemi örneğinde ele alınan inşaatın toplam yıllık giderlerini hesaplayalım: -Amortisman + faiz + yenileme giderleri: -Proje yönetimi + müh.hiz. + kontrolluk hiz. giderleri: -Kamulaştırma giderleri: -İnşaat süresince faiz giderleri: -İşletme ve bakım giderleri: Yıllık giderler toplamı:

-Amortisman + faiz + yenileme giderleri:	$1380 \times 10^9 \times 0.05038$	=	69.5×10^9 TL
-Proje yönetimi + müh.hiz. + kontrolluk hiz. giderleri:	$207 \times 10^9 \times 0.05478$	=	11.3395×10^9 TL
-Kamulaştırma giderleri:	$213 \times 10^9 \times 0.05478$	=	11.6681×10^9 TL
-İnşaat süresince faiz giderleri:	$180 \times 10^9 \times 0.05478$	=	9.8604×10^9 TL
-İşletme ve bakım giderleri:	$1380 \times 10^9 \times \%\ 2$	=	27.6×10^9 TL
Yıllık giderler toplamı:		$\sum$ =	130.00×10^9 TL

1.3.5.5. Faydalar:

Projenin tesisi, bakımı ve işletilmesi sonucunda elde edilen, gereksinimleri ve istekleri karşılayan mal ve hizmetlere "fayda" denir. Faydalar ölçülebilen ve ölçülemeyen faydalar olarak iki gurupta toplanabilir.

Ölçülebilen faydalar, projeden doğan ve para birimleriyle elde edilebilen faydalardır. Üretilen enerji, sulamayla artan ürün değeri v.b.

Ölçülemeyen faydalar ise, projeden doğan ve para birimleriyle ifade edilemeyen faydalardır. Örneğin bir okulun inşa edilmiş olması her ne kadar parasal bir kazanç sağlamıyorsa da çocukların eğitimine katkısı yönünden faydası göz önüne alınır. Aynı şekilde bir kavşakta inşa edilen yeraltı geçidinin faydası, trafik kazalarını kısmen önlemesi yönüyle ele alınır. Bunlar ölçülemeyen ve hesaplanamayan fayda değerleridir.

Ölçülebilen faydalar da kendi içinde iki ayrı gurup olarak ele alınabilir:

a) Direkt (doğrudan) faydalar
b) Endirekt (dolaylı) faydalar

Direkt faydalar; projeden doğrudan doğruya elde edilir. Sulama projesinde, sulamadan önceki ürün değeriyle sulamadan sonra beklenen ürün değeri arasındaki fark bir direkt faydadır. Endirekt faydalar, direkt faydaların yeniden işlenmesiyle elde edilir. Yine bir sulama projesinde artık ürünün

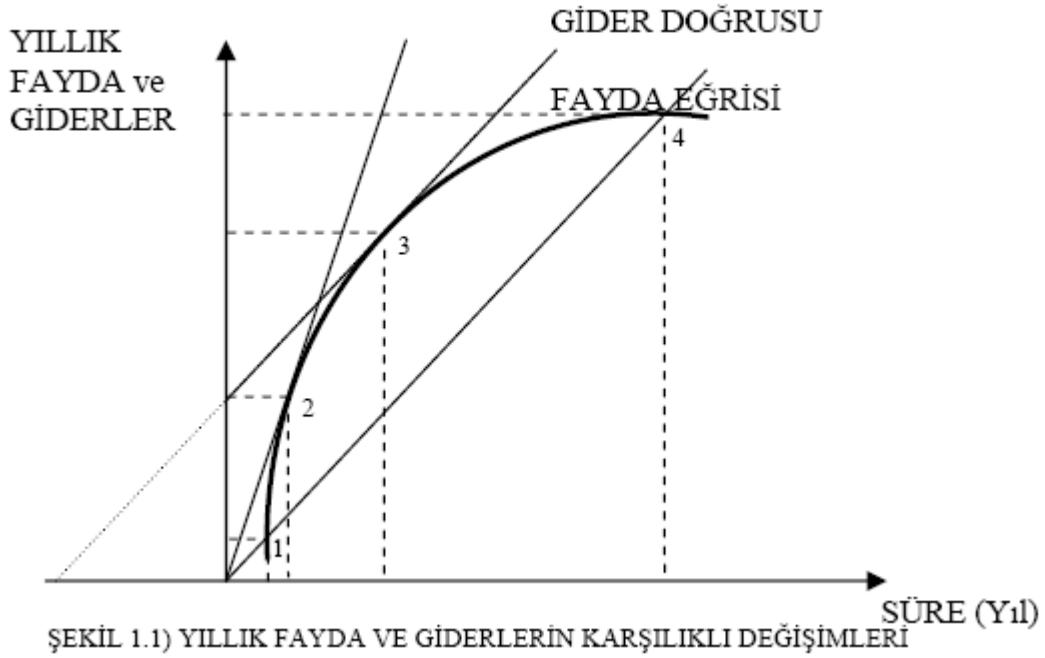
taşınma zorluğundan dolayı ulaştırma sektöründe elde edilen fayda bir endirekt faydadır. Proje faydalarının hesabı için ekonomik etütler yapılır. Bunun için de tüm etkenleri doğru değerlendirmek gerekir.

1.3.5.6. Ekonomik Karşılaştırma Yöntemleri:

Projenin yeri, tipi, boyutları incelenerek, alternatiflerin ekonomik karşılaştırmaları yapılır ve en ekonomik olan çözüm aranır. Genellikle seçilen en ekonomik çözüm, projenin çözümü ya da formülasyonu olur, ama bazı durumlarda maliyet, kredi koşulları, güven, arsa sınırlamaları, sosyoekonomik koşullar en ekonomik olmayan çözümleri de gerektirebilmektedir.

Ekonomik karşılaştırmalar için üç yöntem kullanılmaktadır:

1. Yıllık Giderlerin Karşılaştırılması:
   Projenin alternatifleri değiştikçe faydalar sabit kalıyorsa bu durumda yıllık giderler karşılaştırılır. En az yıllık gidere sahip alternatif, en ekonomiktir.
2. Üretim Maliyetlerinin Karşılaştırılması:
   Bu yöntem, alternatif proje boyutlarının değişik olması halinde, faydaların değerlendirilmelerinin zor olduğu durumlarda kullanılır. Alternatife ait yıllık gider üretim miktarına bölünerek üretim maliyeti elde edilir. (Kwh. enerji maliyeti, barajda rezerve edilen suyun maliyeti v.b.)
3. Yıllık Fayda ve Giderlerin Karşılaştırılması:
   Eğer projenin alternatiflerinin maliyet ve faydaları karşılıklı olarak değişiyorsa, bu alternatiflerin karşılaştırılması ve ekonomik yatırım limitlerinin elde edilebilmesi için yıllık giderlerle, yıllık faydalar karşılaştırılır.



ŞEKİL 1.1) YILLIK FAYDA VE GİDERLERİN KARŞILIKLI DEĞİŞİMLERİ

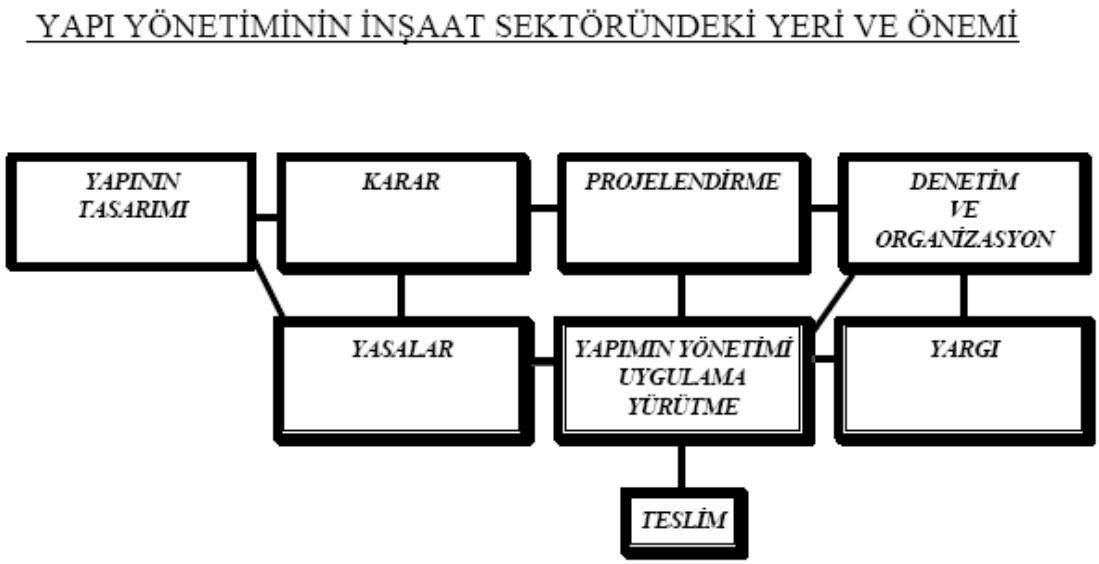
1 ve 4 noktalarında yıllık giderler = yıllık faydalardır.,
Bu noktalara ekonomik limitler denir.,
2 noktası en büyük (fayda/gider) oranını, diğer bir deyişle rantabiliteyi verir.,
3 noktası ise fayda-gider farkının en büyük olduğu noktadır ve proje kaynaklarının ekonomik olanını verir. Bu noktanın üzerinde seçilen bir noktada çözüm bu noktaya göre (artan faydası < artan gideri) olan noktadır.

1.3.5.7. Ekonomik analizlerin sonuçları:
Proje tek bir ünite ya da tesisten oluşuyorsa, ekonomik analizlerden sonra ekonomik limitler içerisinde diğer etkenlerin en iyi biçimde uyuştuğu alternatif, proje çözümü ya da formülasyonu olarak karşımıza çıkar. Diğer etkenlerin önemli olmadığı durumlarda fayda/gider oranının en büyük olduğu 3 nolu noktaya göre proje boyutlandırması yapılmalıdır. Her zaman proje çözümlemeleri için yalnızca ekonomik karşılaştırmalar yeterli olmaz. Özellikle sosyoekonomik etkenlerin ağırlıklı olduğu projelerde 4 nolu noktaya kadar (üst ekonomik limite kadar) yatırım yapılabilir. Sonuç olarak bir projenin ekonomik yönden sağlamlığını sağlamak için şu iki koşul yerine gelmiş olmalıdır.

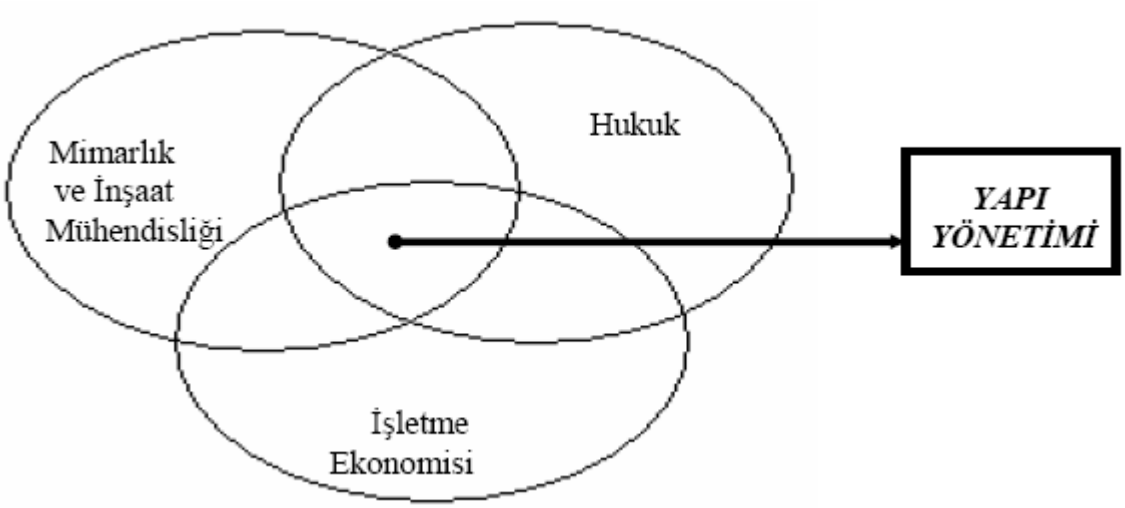
a) Projenin her ünitesinin faydası, en az bu ünite için harcanacak giderler kadar olmalıdır.

b) Projenin her ünite ve alternatifi incelenmeli, ekonomi dışındaki diğer etkenler karşısında çözümün diğerlerine nazaran daha ekonomik olduğundan emin olunmalıdır.

1.3.6. Uygulama Programı:
Teknik bakımdan en uygun sürede tamamlanacağı düşünülen çözüm için projeyi etkileyen başka etkenlerin durumu da kombine edilerek (birleştirilerek) bir uygulama programı hazırlanır. Çok üniteli büyük projelerde uygulama programı hazırlamak da zordur. Bu nedenle işi basit ve grafik düzeylerde, daha anlaşılır biçimde çözmek için CPM, PERT, Kutu Diyagramı, Denge ve Devre Diyagramları gibi geçerli ve teknik yöntemler kullanmak ve bilgisayar desteğinden yararlanmak daima uygun olmaktadır.



ŞEKİL 1.2) İnterdisiplin olarak yapı yönetimi (yukarıda); mimarlık, inşaat mühendisliği, hukuk ve işletme ekonomisi bilim dallarının bir kesişimi (ara kesiti) olarak ortaya çıkmıştır (aşağıda).



- Planlama Türleri
    1. Çubuk Diyagramlar
    2. CPM
    3. PERT
    4. Kutu Diyagramlar
    5. LOB (Denge ve DevreDiyagramları)
    6. Kaynak Kullanımı

- Genel Konular
    1. Yol, Servis yolu
    2. Servis köprüleri
    3. Yatakhane
    4. Yemekhane
    5. Atelye
    6. Depo
    7. Patlayıcı Madde

Mühendislik Ekonomisi

1. Masraf kavramı nedir?
2. Kontrol nasıl yapılır?
3. Bütçe
4. Gelir Tablosu
5. Bilanço
6. Fon akışı
7. Yatırım Planlaması
    - Kısa vadeli planlama
    - Orta vadeli planlama
    - Uzun vadeli planlama
    - Finans kaynaklarının maliyeti
    - Karlılık (fizibilitesi)
    - Başa baş analizi
    - İş yen Diizenlemesi

Özel Şantiyeler

1. Liman
2. Baraj
3. Demiryolu, yol
4. Tünel
5. Köprü
6. Kanalizasyon
7. Hava Meydan

Yasal Durum:

a. İmar Yasası ve mevzuatı
b. İhale Yasası (Kamu kuruluslan açısından)
c. Arsa seçimi ve teminş
d. Proje yapımı ve yatırımı gerçekleştirecek oranların belirlenmesi
e. Sözleşme yapımı
f. Sözlelşmenin uygulanması
    - Mali işler
    - Hukuki işler
g. İşin bitimi

1.3.7.) Planlama ve Planlama Teknikleri:

Planlama; neyin, ne zaman , nerede, nasıl ve kim tarafından yapılacağının önceden belirlenmesidir.

Planlama, yönetimin 6 değişik fonksiyonundan ilkidir. Bu fonksiyonlar sırasıyla;

1. Planlama,
2. Organizasyon,
3. Yürütme (emir-komuta)

4. Kontrol
5. Koordinasyon, eşgüdüm
6. Yönetici yetiştirilmesi

Planlama teknikleri bir kuruluşta ne zaman kullanılmalıdır?

a. İş çok büyük ya da karmaşık ise,
b. Yönetim kademesindeki kişiler bu teknikleri biliyor ve benimseniyorsa.

1.3.7.1) Planlamanın özellikleri

1. Planlama bir seçim ve tercih sürecidir.
2. Plan bir kararlar toplamıdır.
3. Plan geleceğe yöneliktir. Amaca ulaşmak için bir süre gereklidir.
4. Planlamada ileriyi doğru görmenin önemi fazladır.
5. Plan bilinçli bir seçim sürecidir.
6. Planlama yönetimin belirleyici veya yasalaştırıcı nitelikte işlevidir.

1.3.7.2) Planın yararlar

1. Zaman ve emek savrukluğunu azaltır.
2. Yöneticinin dikkatini amaca yöneltir.
3. Uyumlu çalışma olanağı sağlar.
4. Çabaların amaca uygunluğunun denetlenmesine ortam sağlar,
5. Olumsuz etkenler önceden görülüp önlem alınabilir.
6. Rasyonel kural ve yöntemlerin geliştirilmesine yardımcı olur.
7. Yetki devrini kolaylaştırır.
8. Denetimin standartlaşmasına katkı sağlar.

1.3.7.3) Planın sakıncalar

1. Gerekli işgücü ve araçlar kaliteli ve pahalıdır.
2. Amaçlardan çok dilek ve istekleri içerir.
3. Kişiyi bir ölçüde gelecekte yaşatır ve bugünü unutturur.
4. Uygulayıcıların girişim gücünü azaltır.
5. Getirdiği yeni düzene direnmeler olur.
6. Yeterli hız ve doğrultuda yapılamayan planların amaca ulaşması güçleşir.
7. Planın kapsadığı süre ve ayrıntı derecesi çeşitli olup sakıncalar doğurabilir.

1.3.7.4) Yönetici açısındanserimlerleplanlama

1. Yönetimde kolayca işbölümü yapılabilir. Yetki devri, koordinasyon, denetim ve yürütme süreçleri daha kolay yapılabilir.
2. Benzer işlerde benzer planlar yapılır. Bu da planlamayı sistematik hale getirir.
3. Yöneticinin ilgilendiği işlemleri başlama, bitiş, işgücü ve masraf konularında daha belirginleştirir.
4. Süre, masraf akışı, işgücü, ekipman, hammadde gibi verilerin ilk tahmini yapılabilir nitelikte değilse,verileri önceden değiştirmek olanağı vardır.
5. Hiyerarşinin her düzeyinde sorumlulukları belirlemek olanağı vardır. Bu sorumluluklar serimde departmanlara göre ayrı renklerde gösterilebilir.
6. Diğer planlama çalışmalarına göre serimlerle planlama daha az kuramsal, daha çok uygulamaya yöneliktir.
7. Periyodik izleme raporları ile yatırım, kaynak, (işgücü, ekipman, malzeme, para, v.s.). süre, masraf, ara hedefler yönünden sistematik olarak denetlenir ve normal sapmalarda gerekli düzeltici önlemler alınır.
8. Yönetici, kaynak kullanımı yönünden şu kolaylıkları sağlayabilir;

- Bolluklu işlemlerdeki kaynaklar, kritik işlemlere aktarılabilir. Bunun için de kaynakların kullanım esnekliği araştırılmalıdır.
- Değişik yatırımlarda ortak kaynak kullanımını planlama olanağı verir

- İşlemlerin fiziki özelliklerini daha ayrıntılı araştırma gereğini doğurur. İş akışı analizine ve yöntem değişimine ortam hazırlar.

Bütün bunların yanında;

a) Serimle planlama tekniklerinin yalnızca araç olup amaç olmadığı,
b) Giderlerin zamanla değişimi önemli olduğundan ayrı ve hassas bir hesabı gerektirdiği,
c) Bu tekniklerin ve yöntemlerin hiçbir zaman kendi uygulayıcısından daha iyi olamayacağı,
d) Yeniliklere karşı uygulayıcılar tarafından her zaman tepki gösterileceği unutulmamalıdır.

1.3.7.5) Serimlerle Planlama Yöntemlerinde Tarihsel Gelişim

Kritik yörünge (CPM) ve PERT metotları geliştirilmeden önce, yatırımların iş programlar ıçubuk (Gantt) metoduna göre yapılmakta idi. Bu metot, bazı hallerde faydalı olmasına rağmen, faaliyetlerin birbirlerine göre lojik bağlantılarını göstermekten yoksundur. Her ne kadar, bir faaliyet bitmeden diğerinin başlayamayacağı, bazı faaliyetlerin aynı zamanda devam edebileceği v.b. gibi basit kurallar, çok karışık olmayan projelerde, bu metotta da göz önüne alınmakta ise de, hangi faaliyetlerin kesin süresinde bitmesinin zorunlu olduğunu, yatırımın toplam süresine hangilerinin daha çok etkidiği, en ekonomik sürenin nasıl bulunacağı, yatırımın süresinin kısaltılmasıyla maliyeti arasındaki bağıntının nasıl değiştiğinin cevapları alınmaktadır.

1957 yıllarında gelişen ihtiyaçlara cevap vermek üzere İngiltere'de Central Electricty Generating Board'un Operations - Research kısmı, bir kuvvet santralının tevsii inşaatında "kısaltılamayan en uzun süreli faaliyetler" diyebileceğimiz bir metot geliştirdiler. 1958 yılında ise bu metodu düzelterek ve başka bir kuvvet santralına tatbik ederek, yatırım süresini % 40 kısaltmayı başardılar.

Aynı tarihlerde Amerika Birleşik Devletlerinde bu problemle uğraşılmaya başlanmıştır. 1958 yılının başında, "US - Navy Special Projects Office" adlı bir büro kurularak planlama ve kontrol için yardımcı olabilecek çareler araştırmaya başladılar. Çalışmalarını, kısa adı PERT olan, "Program Evaluation Research Task" ismi ile açıkladılar. 1958 Şubatında, bu grubun matematikçilerinden Dr. C.E. Clark, ilk defa teorik çalışmalarını grafik gösteriliş haline getirerek "ok diyagramı" diye anılan faaliyet şebekesini kurmuştur. Çalışmalar büyük gelişmeler kaydederek, Temmuz 1958' de, şimdiki PERT metodu, diye adlandırılan "Program Evaluation and Review Technique" metodu tamamlanmıştır.

Benzer çalışmalara A.B.D. Hava Kuvvetlerinde de rastlanmaktadır. 1958 yılında, Du Pont de Nemours Company adlı kimyasal yatırımlar yapan firma, çok büyük bir yatırımın planlanması ve yürütülmesinde "Critical Path Method" kısa adıyla CPM, adı verilen yeni bir sistem uygulanmıştır. Bu metot sayesinde firma birkaç yıl içinde milyonlarca dolar tasarruf sağlamayı başarmıştır. 1959 da Dr. Mauchly, CPM metodunu basitleştirerek endüstri yatırımlarına tatbik edilebilir hale getirmiştir. 1958 yılından beri, bilhassa A.B.D. de, bu metotların geliştirilmesi ve düzeltilmesi için yoğun çalışmalar yapılmıştır. Elektronik hesap makinalarının uygulamalı alanlara girmesinden sonra CPM ve PERT metotlarıyla, büyük ve uzun vadeli yatırımların, kapasite dengelenmesi, maliyet kontrolü v.b. işlerin yapılması mümkün olmuştur.

Bugün çeşitli maksatlar için hazırlanmış çok sayıda Elektronik hesap makinası programları, her cins yatırımın daha çabuk ve daha ekonomik sonuçlandırılmasına yardımcı olmaktadırlar.

1.3.8.) Planlama Teknikleri:

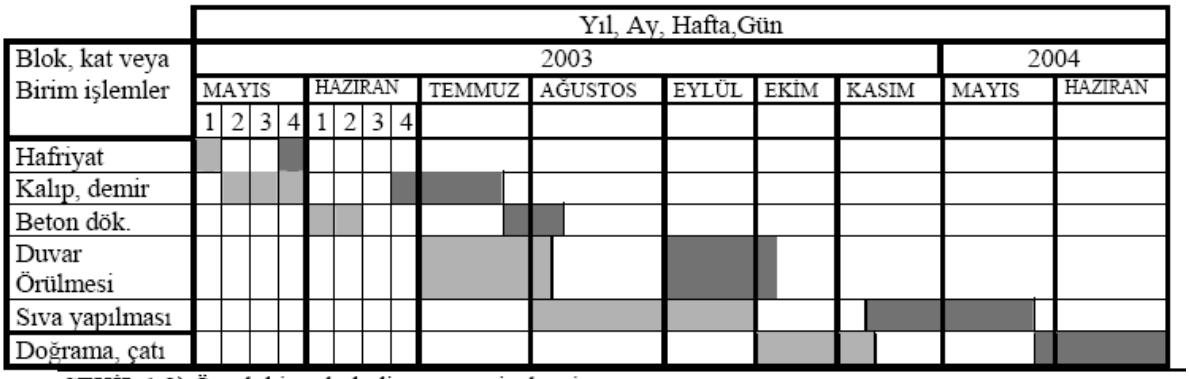
Başlıca iş programlama ve planlama teknikleri şunlardır;

1. Çubuk diyagramlarıyla planlama (Bar Charts-Gantt Chart)
2. CPM - Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method)
3. PERT - Seçenekli Değerlendirme Yöntemi (Program Evaluation and Review Technique)
4. Kutu Diyagramlarıyla Planlama (Precedence Diagram)

5. L.O.B. Denge ve Devre Diyagramlarıyla Planlama
6. Kaynak Kullanımı / Kaynak Atama Yöntemleri (Resource Allocation/Resource Assignment)

1.3.8.1) Çubuk Diyagramlar

Planı yapılan projenin işlemleri birer yatay çubuk şeklinde bölümlenmiş bir tablo üzerinde, birbirini izleyecek tarzda çizilir. En son işlemin bitiş noktası, aynı zamanda projenin tamamlanma süresini verir. Çok sağlıklı bir planlama türü değildir, ancak çok basit olarak projenin akışının kontrolünü mümkün kılabilir.



ŞEKİL 1.3) Örnek bir çubuk diyagramı çizelgesi

A blok (I.Grup) B Blok (II.Grup)

Çubuk diyagramlar ile ilgili uygulama örneği:

Aşağıda verilen bilgilerden yararlanarak yalnızca bir bloktan oluşan 4 katlı (temel ve çatı dahil) yapının şantiye yöntemi için Çubuk Diyagram iş programını yapınız ve verilen iş kalemlerine göre kaba inşaatın tamamlanma süresini hafta bazında yaklaşık olarak bulunuz.

İşlem	Birim Metraj	Ölçü	İşçilik-Makine Analiz süre değeri
Hafriyat	350	m^3	0.25 saat / 1 makine (yalnız temelde)
Kalıp	1200	m^2	0.25 saat / 1 usta-işçi (her katta)
Demir	17000	Kg	0.085 saat / 1 usta işçi (her katta)
Beton	700	m^3	2 saat / 1 usta işçi (her katta)
(Beton dökümünden sonra 15 gün priz süresi mutlaka alınacaktır.)			
Tuğla Duvar	80	m^3	4 saat / 1 usta işçi (her katta)

- Her bir işlem hafriyat hariç 10'ar kişiden oluşan bir ekiple gerçekleştirilecektir. Yukarıdaki değerler 1 'er işçi için verilmiştir.
- Hafriyat ve kalıp aynı ayna başlayabilmekte ve bağımsız yürütülmekte, izleyen diğer işlemler birbirine bağlı ve aralıksız devam etmekte (demir ve beton), bundan sonra 15 priz ve kalıp bekleme ara termini bırakılmakta ve ardından duvar ekibi aralıksız çalışabilmektedir.
- Günde normal 8 saat çalışma ve fazla çalışma olarak da 2 saat çalışılmaktadır.
- Her bir işlem % 85 verimlilik faktörüne mutlaka bölünecektir.
- Çalışma mevsimi başlangıcı 15 mart 2003 ve sonu 30 aralık 2003 alınacak, bu 9 ayda haftalık 6 gün ayda da 4 hafta çalışıldığı 30 aralık ile 15 mart arasındaki 2.5 aylık dönemde boş beklendiği Kabul edilecektir.; taşan işler bir sonraki seneye devredilecektir.
- Çizelge, haftalık ⟶ aylik ⟶ yillik çalışma programı şeklinde düzenlenecektir.

ÇÖZÜM:

Hafta olarak işlem sürelerinin bulunması (her bir kat için)

İşlem	Hesaplama	Yapım süresi (Hafta)
Hafriyat	350*0.25=87.5 saat /0.85≈103 saat / (8+2)=10.3 gün /6	1.72
Kalıp	1200*1.5=1800 saat /0.85≈2118saat / (8+2)=211.8 gün /6	3.53
Demir	17000*0.085=1445 saat /0.85≈1700 saat / (8+2)=170 gün /6	2.83
Beton	700*2=1400 saat /0.85≈1647 saat / (8+2)=165 gün /6	2.75
Duvar	80*4=320 saat /0.85≈376.5 saat / (8+2)=38 gün /6	0.63

	Mart		Nisan				Mayıs				Haziran				Temmuz				Ağustos				Eylül				Ekim				Kasım				Aralık	
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
İşlem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
afriyat																																				
alıp																																				
emir																																				
eton																																				
uvar																																				

ŞEKİL 1.4) Problemin diyagram olarak çözümü

Yaklaşık olarak kaba inşaatın tamamlanma zamanı Aralık 2003 ayının 3. haftasının son günleridir.
Toplam çalışma süresi 37 haftadır.

1.3.8.2) CPM (Kritik Yol/Yörünge Yöntemi)

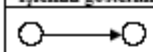
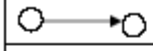
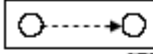
Bir yatırımın planlamasında, yatırımın unsurlarını oluşturan ana faaliyetlerin, süre, maliyet ve kapasite bakımından programa ve neticeye etkime miktarlarının bilinmesi çok önemlidir. Yatırımın istenen süre içinde ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi için hangi işlerin daha kontrollü yapılmasının zorunlu olduğunu da bilmek şarttır. Bu sebeple, yatırım ve işletmelerin,modern teknolojinin hızla geliştiği bu çağda her türlü imkanlardan faydalanarak geniş maksatlı programlara göre yapılması gerekmektedir.

Hazırlanan programlar,

1. Kısa vadeli (stratejik) planlar,
2. Uzun vadeli (taktik) planlar,

olmak üzere iki grupta yapılmaktadır.

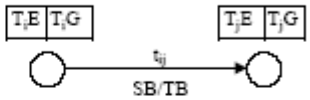
Her cins yatırımlara uyabilen ve sonuçlarına etkili olan yeni metodların geliştirilmesine gerek duyulmuştur. Kritik yörünge (CPM) VE PERT metotları bu ihtiyaçlardan doğan modern planlama metotlarından ikisidir. Her iki metodun ana prensibi, insanın aklını kullanarak günlük hayatta yaptığı işlerin metodik olarak değerlendirilmesidir. CPM' le planlamada işlem gösterimi şöyle özetlenebilir:

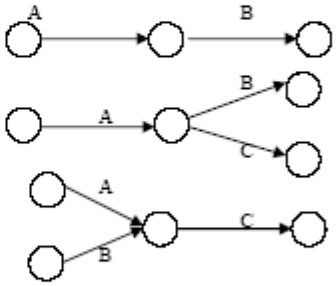
İşlemin gösterimi	Süre (t)	Yapılan İş	Adı	Örnek
	+	+	İşlem	.Duvar Örülmesi .Beton Dökülmesi
	+	—	Süre İşlemi	.Beton Kürü .Kalıp Bekleme
	—	—	Kukla İşlem (dummy activity)	—

ŞEKİL 1.5) CPM grafik planlama tekniğinde işlemlerin tipik gösterim tarzları

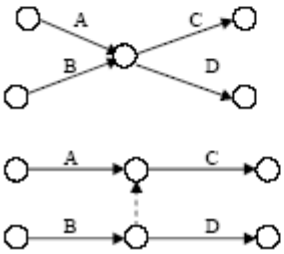
Çeşitli işlem tanımlamaları:

i : Başlangıç Düğümü
j : Bitiş Düğümü
$t_{i,j}$: İşlemin Süresi
T_i E : i düğümünün en erken tamamlanma zamanı
T_j G : j düğümünün en geç tamamlanma zamanı
SB : Serbest Bolluk
TB : Toplam Bolluk





CPM' de yanlış olan durum:

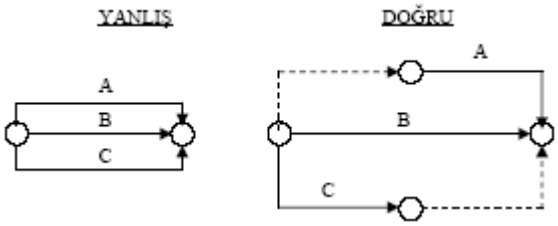


B tamamlandıktan sonra D başlar.
A ve B tamamlandıktan sonra C işlemi başlayabilir.

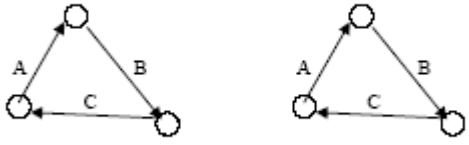
Doğru Çözüm

Projelerde bu işlemlerin birbirlerini mantıklı ve teknik olarak izlemesinden oluşan bütüne serim (network) ağ diyagramı, şebeke) denir. Serim hazırlanmasında uyulması gerekli kurallar şöyle özetlenebilir:

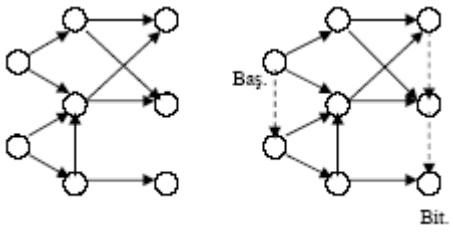
1) İki düğüm arasında yalnız bir işlem tanımlanabilir.



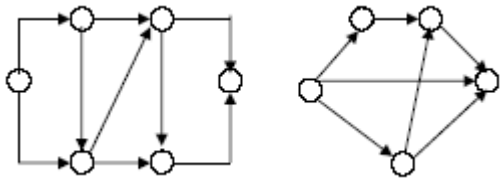
2) İşlemler bir halka oluşturacak şekilde düzenlenemez.



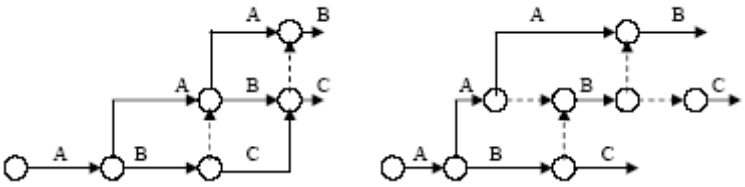
3) Serimde yalnızca bir başlangıç ve bir bitiş düğümü olmalıdır.



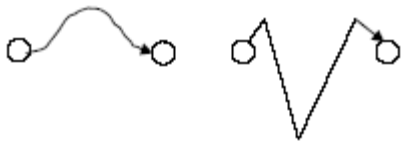
4) Ana serimden alınan bir işlem, bir ayrıntı serimi ya da alt serim haline getirildiğinde başlangıç ve bitiş düğümleri ana serimin işlem uç düğümleri ile çakışmalıdır.

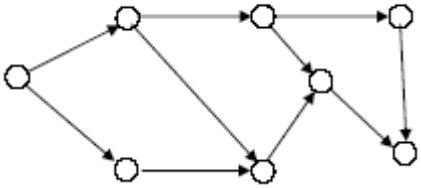


5) İşlemler arasında ilişkiler kurulurken mantıksal hata yapılmamalıdır.



6) Serimde okların şekillerinin önemi yoktur. Doğru, eğri, kırık çizgilerle gösterilebilir. Aynı düğüm no'ları birden fazla işleme verilmemeli, ancak bilgisayar programlar için ok yönünde büyüyen ardışık numaralama yapılmalıdır.

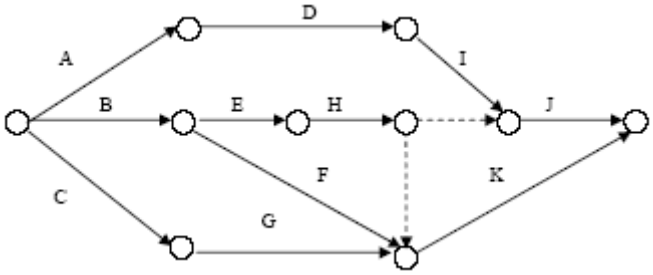




ŞEKİL 1.6) CPM ile çizelge oluşturmada yapılan doğru ve yanlışlar

Serimin İşlem ilişkilerine göre oluşturulması:
Aşağıda verilen işlemler arası ilişkilere göre serimi çizelim.

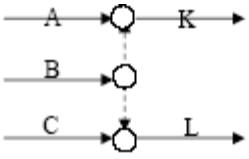
- (A, B, C) serimin ilk işlemleridir.
- (A)'dan sonra (D), (C)'den sonra (G), (B)'den sonra (E) ve (F) işlemleri başlar.
- (I) işlemi (D)'den sonra, (H) işlemi (E)'den sonra başlar.
- (K)' nın başlaması için (H), (F) ve (G)' nin tamamlanması gerekir.
- (H) ve (I)' yı (J) işlemi izler.
- (J) ve (K) şebekenin son işlemleridir.



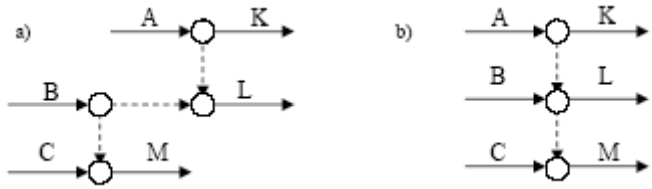
ŞEKİL 1.7) İşlemlerin CPM diyagramı biçimine dönüştürülüşü ÖRNEKLER: 1) K işlemi A ve B tamamlandıktan sonra, L işlemi ise B ve C tamamlandıktan sonra başlar.

ÖRNEKLER

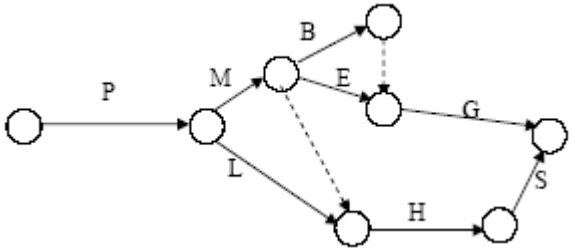
1. K işlemi A ve B tamamlandıktan sonar, L işlemi ise B ve C tamamlandıktan sonra başlar.



2. a.) K işlemi A dan sonra, L işlemi, A, B den sonra ve M işlemi de B, C den sonra başlayacaktır.
   b) K işlemi A dan sonra, L işlemi A, B den sonra ve M işlemi de A, B, C den sonra başlayacaktır.

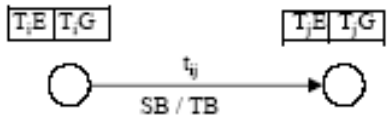


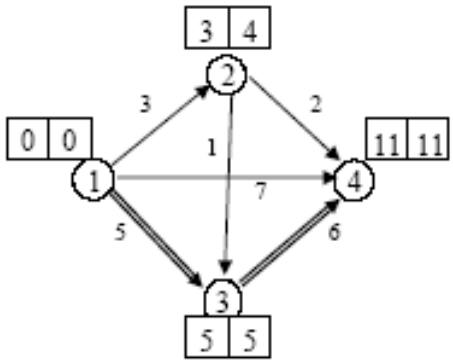
3. İşlemler arasında aşağıdaki bağıntılar olan şebekenin gösterilişi;
   * P ilk işlemdir,
   * M ve L, P den sonra aynı zamanda başlamaktadır,
   * B, E aynı zamanda başlayan ve aynı zamanda biten işlemler olup M den sonra başlamaktadır.
   * H işlemi L yi takip ediyor fakat başlaması için M in tamamlanmış olması şarttır.
   * G ve S son işlemlerdir; G, E den sonra; S, H dan sonra başlamaktadır.



CPM ile Çizilmiş Bir Serimde Yatırım Süresinin Bulunması İçin Hesaplama Şekli (Düğüm Zamanları):

(1) $T_a E = 0$ ($T_1 E = 0$) alınır. $T_{a=}$ start, ilk
(2) $T_j E = \max (T_i E + t_{ij})$, $i \rightarrow j$
(3) $T_t G = T_t E$, (11=11) $T_{t=}$ tamamlanma
(4) $T_i G = \min (T_j G - t_{ij})$ $i \rightarrow j$
(5) $T_i E < T_i G$ ve $T_j E < T_j G$





ŞEKİL 1.8) (a) CPM de düğüm zamanları; (b) CPM de örnek işlem süre ve zamanlar $T_iE = T_iG$ veya $T_jE = T_jG$ olduğu yerlerde KRİTİK YOL vardır.

Yatırım projelerinde kritik yörünge üzerinde bulunan faaliyetlerin gösterilen süreler içinde bitirilmesi zorunludur, zira bunların tamamlanma sürelerinde meydana gelen aksamalar yatırımın toplam süresini uzatır. İşlemlerin Kritiklik Koşulları:

1. Bir İşlemin kritik olabilmesi için başlangıç ve bitiş düğümlerinin her ikisinin de en erken ve en geç tamamlanma zamanlan esit olmalıdır.
2. İşlemin başlangıç düğümü en erken tamamlanma zamanıyla işlem süresi toplamı, bitiş düğümünün en erken tamamlanma zamanını vermelidir. ($T_jE = T_iE + tij$)
3. Kritik yol, başlangıç düğümümden başlar ve bitiş düğümünde biter. Mutlaka her serimde en az bir kritik yol vardır.
4. Kritik yol birden fazla olabilir.
5. Kritik yolun uzunluğu bize yatırım süresini verir.

6. Toplam bolluğu sıfır olan işlemler kritik işlemlerdir. Hesaplamalarda serbest ve toplam bolluklar

kullanılır. Toplam bolluk negatif olmamalıdır.

Kiritik olmayan işlemler, belirli zaman araliklan icinde tamamlandığı takdirde yatırımın toplam süresini değiştirmeyen işlerdir. Bu tür faaliyetlere bolluğu olan faaliyetler denir. i-j işlemleri için dört çeşit bolluk tarif edilmiştir:

* **Toplam Bolluk (TB)** [İngilizce Total float (TF), Almanca Gesamtschlupt (SG) veya Gesamte Pufferzeit (GP)]

i - j işlemi en erken başlama zamanı olan T_iE zamanında başlamakta ve t_{ij} süresince devam etmektedir. Bu işlemin bittiği zaman ile j düğüm noktasının (veya i-j işleminin) izin verilen en geç tamamlanma zamanı arasındaki süre farkına faaliyetin "toplam bolluğu" denir.

* **Serbest Bolluk (SB)** [İng. Free float (FF), Alm. Freienschlupf (SF) veya Freie Pufferzeit (FP)]

i-j işlemi izin verilen en erken T_iE başlama zamanında başlamakta ve tij süresince devam etmektedir. Bu işlemin bittiği zaman ile j düğüm noktasının en erken tamamlanma zamam T_i E arasındaki süre farkına "serbest bolluk" denir.

* **Bağımsız Bolluk (BB)** [İng. Independent float (IND.F), Alm. Unabhaengige Schluphf (SU) veya unabhaengige Pufferzeit (UP)]

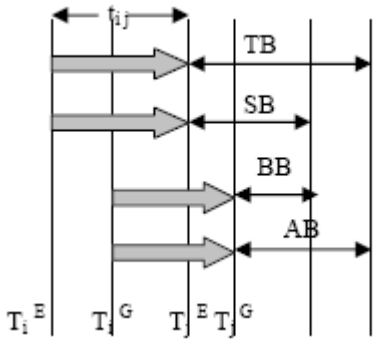
i - j işlemi, i düğüm noktasının en geç tamamlanma zamanında başlayıp t_{ij} süresinde devam ederek ve gene de j düğüm noktasının en erken tamamlanma zamanından evvel bitebilir, aradaki süre farkına "bağımsız bolluk" denir.

* **Ara Bolluk (AB)** [İng. _, Alm. zwischen Schlupf (SZ) veya zwischen Pufferzeit (ZP)]

i - j işlemi, i düğüm noktasının en geç tamamlanma zamanında başlayarak t_{ij} süresince devam etmekte ve j düğüm noktasının en geç tamamlanma zamanından erken bitmektedir. Bu iki zaman arasındaki süre farkına "arabolluk" denir.

$TB = T_J\,G - (T_i\,E + t_{ij})$
$SB = T_J\,E - (T_i\,E + t_{ij})$
$BB = T_J\,E - (T_I\,G + t_{ij})$
$AB = T_J\,G - (T_I\,G + t_{ij})$

TB : Toplam Bolluk
SB : Serbest Bolluk
BB : Bağımsız Bolluk
AB : Ara Bolluk

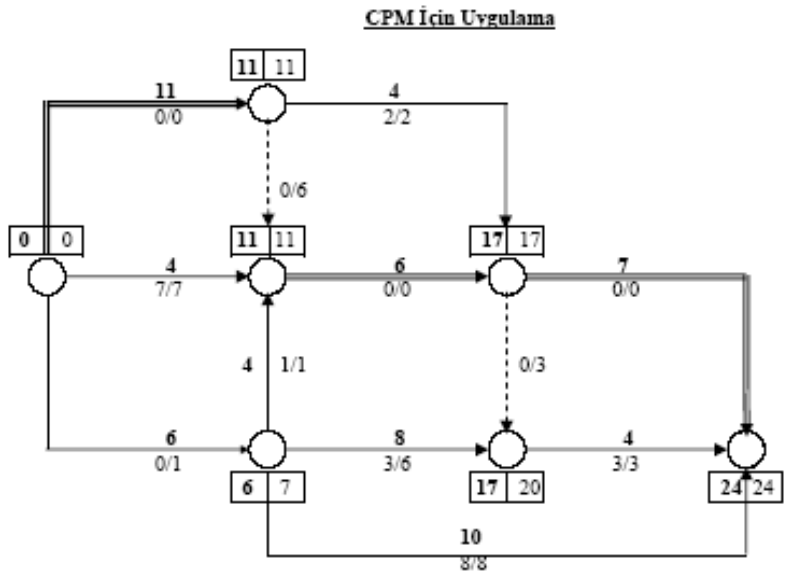


ŞEKİL 1.9) CPM de bolluklar

İşlemlerin en erken ve en geç başlama ve tamamlanma zamanları;

Bolluk çeşitlerinin tamamlanmasından sonra herhangi bir işlemin en erken başlama (bitme) ve en geç başlama (bitme) zamanları bolluklar ve düğüm noktalarının en erken ve en geç tamamlanma zamanları cinsinden hesaplanabilir.

$EB_{ij} = T_i^E$ (En erken başlama zamanı)
$ET_{ij} = T_i^E + t_{ij}$ (En erken tamamlanma zamanı)
$GB_{ij} = T_j^G - t_{ij}$ (En geç başlama zamanı)
$GB_{ij} = T_j^G$ (En geç tamamlanma zamanı)



Kritik yol : 7-3, 3-2, 2-4, 4-1 dir.

İşlem	Süre	Düğüm Zamanları				SB	TB	İşlem Zamanları			
	t_{ij}	T_i^E	T_i^G	T_j^E	T_j^G			EB_{ij}	ET_{ij}	GB_{ij}	GT_{ij}
7-3	11	0	0	11	11	0	0	0	11	0	11
7-8	6	0	0	6	7	0	1	0	6	1	7
7-2	4	0	0	11	11	7	7	0	4	7	11
3-4	4	11	11	17	17	2	2	11	15	13	17
8-2	4	6	7	11	11	1	1	6	10	7	11
8-5	8	6	7	17	20	3	6	6	14	12	20
8-1	10	6	7	24	24	8	8	6	16	14	24
2-4	6	11	11	17	17	0	0	11	17	11	17
4-1	7	17	17	24	24	0	0	17	24	17	24
5-1	4	17	20	24	24	3	3	17	21	20	24

ŞEKİL 1.10) CPM Örnek uygulama serimi, süre ve bollukları, çözüm çizelgesi (12 sütunlu).

Bollukların kullanıldığı yerler:
1. İşlemlerin kritik olup olmadığını ve esnekliğini hesaplama,
2. Malzeme, ekipman ve gider gibi kaynakların en uygun bir biçimde kullanılmalarına yardımcı olmak üzere,
3. Optimum yatırım süresinin hesaplanmasında,
4. İşlem sürelerinin değiştirilmesinde, ekip büyüklüğü ya da ekip sayısının değiştirilmesinde.

1.3.8.3) PERT (Seçenekli Değerlendirme) Yöntemi:

Kritik yörünge (CPM) ile programlamada, serimin tüm işlemlerinin sürelerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bazı yatırımlarda, serimin bazı işlemlerinin süreleri tam olarak bilinemez. Eğer süresi belirsiz olan bu işlemler kritik yörünge üzerinde değilse ve bulunduğu düğüm noktalarında büyük bolluklar varsa, gene kritik yörünge metodu ile programlama yapılabilir. Ancak iş programında zorlamalar, kapasite dengelemesi ve maliyet hesabı gibi irdemeleri yapılamaz.

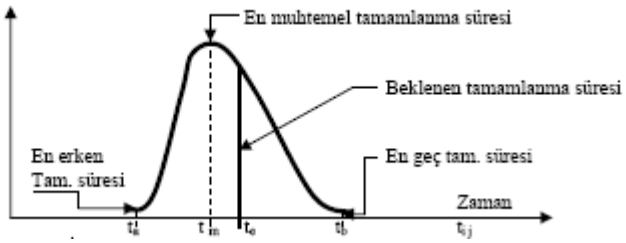
Eğer işlem süreleri belli olmayan işlemler kritik yörünge üzerinde ise, artık yatırımın tamamlanma süresinin bile tayini mümkün değildir. Bu hallerde yatırımların planlanması PERT metodu ile yapılmalıdır. Çünkü bu metotta belirsiz süreler, ihtimaller hesabına göre, hesaplanabilmekte ayrıca düğüm noktaları ile yatırımın toplam süresinin programa göre yüzde kaç ihtimalle tamamlanabileceği de bulunabilmektedir. Bu metot uzun zamanlı, elemanlan siire ve iş bakımından pek çok şartlara bağlı olan karışık yatırımlarda çok kullanılmaktadır.

PERT metodu, süreleri tam bilinemeyen işlemlerin programda göz önüne alınmasını sağladığından kapsamı, kritik yörünge metoduna nazaran daha geniştir. Kritik yörünge (CPM), PERT metodunun özel hallerinden biridir.

Bir projede
t_a : En iyimser süre (en erken tamamlanma, optimist süre)
t_b : En kötümser süre (en geç tamamlanma, pesimist süre)
t_m : Normal ya da ortalama süre
t_e : Beklenen tamamlanma süresi
V_{te} : Beklenen sürenin varyansı
σ_{te} : Beklenen sürenin standart sapması

$$t_e = \frac{1}{6}(t_a + 4t_m + t_b) \qquad V_{te} = \left[\frac{t_b - t_a}{6}\right]^2 \qquad \sigma_{te} = \sqrt{V_{te}}$$

İşlemin tamamlanmasına ait "ihtimal dağılım eğrisi" aşağıda gösterilmiştir.



ŞEKİL 1.11) Olasılık ve dağılım eğrisi özellikleri

PERT yönteminde projenin belirli bir yüzde olasılıkla ne zaman tamamlanabileceği;

$$T_S = T_X + Zx\sigma_{T_x}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada:
T_s : Projenin yeni tamamlanma süresi (öngörülen tahmin)
T_x : Beklenen tamamlanma süresi (sonuç sure)
σ_{Tx} : T_x süresinin standart sapması
Z : Tamamlanma olasılığı

PERT seriminde her işleme ait olası en erken ve en geç gerçekleşme süreleri (t_a,t_b) normal gerçekleşme süresi işlem ayrıtlar ıüzerinde verilir. Serimin işlemlerinin tamamlanma süreleri (t_e), varyansları (V_{te}) ve standart sapmalan (σ_{te}) yukarıda verilen formüllerle hesaplanır.

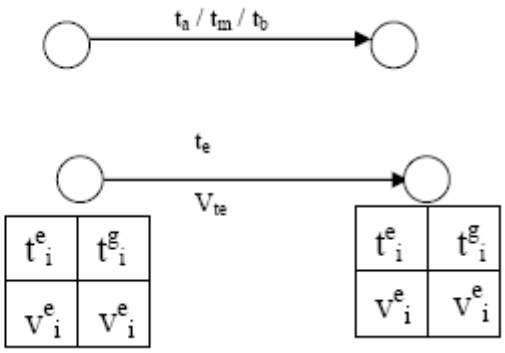
Serimin programlanan zamanda tamamlanma olasılığı (P), yine yukarıda verilen T_s formülünden ve ilgili değerler yerine yazılıp Z değeri çekilerek, normal dağılım tablosundan da bu P değeri okunarak belirlenir.

TABLO 1.5) STANDART NORMAL DAĞILIM ALTINDAKİ ALAN (Olasılık Tablosu)

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0,0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4691
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4384	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.2	.4297	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.7	.2420	.2389	.2368	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0056	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048

ÖRNEK:
Bir projedeki işlem süreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Programlanan ya da beklenen tamamlanma zamanı 17.5 gün olup projenin programlanan zamanda tamamlanma olasılığını bulunuz.

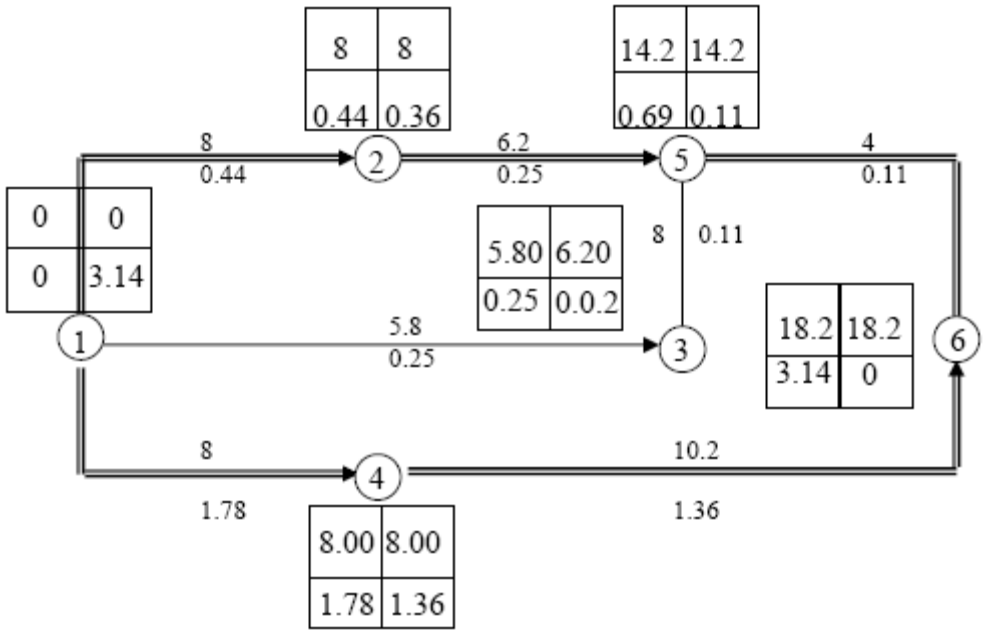
İşlem	Süreler (Gün) t_a	t_m	t_b
1-2	6	8	10
1-3	4	8	7
1-4	4	8	12
2-5	5	6	8
3-5	7	8	9
4-6	7	10	14
5-6	3	4	5



ŞEKİL 1.12) PERT de süre ve varyanslar

ÇÖZÜM:

İşlem	t_e	V_{te}	σ_{te}
1-2	8.0	0.44	0.66
1-3	5.8	0.25	0.50
1-4	8.0	1.78	1.33
2-5	6.2	0.25	0.50
3-5	8.0	0.11	0.33
4-6	10.2	1.36	1.17
5-6	4.0	0.11	0.33



ŞEKİL 1.13) PERT için örnekproje serimi

Uygulamada Karşılaşılan Güçlükler:

1. Yatırım izlenirken, işlemlerdeki süre değişikliklerinin kontrolü ve programa aktarılması gerekir. Bu işlem, kontrol ve revizyon işlemi olarak adlandırılır.
2. Sonradan yapılacak ekleme ve çıkarmaların çözümlenmesi istenir.
3. Çalışılamayan günlerin programa aktarılması gerekir.
4. Başlangıç ve bitme ara terimlerinin istenilmesi de başka bir zorluktur.

Serimde Kontrol ve Revizyon Yapılırken:

- Belirli aralıklarla işyerine gidilir, yapılan ve tamamlanan işlerin durumları izlenir.
- Biten işlemler, ilk serim üzerinde sıfır süreli ,işlemler olarak kaydedilir,
- Devam eden işlemler, o işlemin bitmesi için gerekli olan sürelerle tanımlanır,
- Henüz başlamamış olan işlemler işyerinde yapılan yeni belirlemelerde elde edilen sürelerle gösterilir.

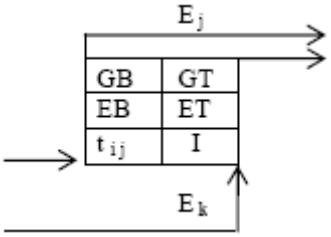
Çalışılmayan günlerin programa aktarılmasında da;

- Çalışılmayan ve kısa rastlanan işlemler iki değişik karakterde olur:
  İşlem parçalanmış biçimde yapılabilir.
  İşlem parçalanamaz, başlanan iş bitirilmelidir.
- Bu problemler programa ara terminler şeklinde aktarılır.
  Başlangıç ara termini (makinelerin, ancak temel işinin bitiminden sonra gelebilmesi zorunluluğu),
  Bitme ara termini (aşırı soğuklar başlamadan beton dökme işinin tamamlanması zorunluluğu), Kritik yol, ara termin çözümlemelerinde başlangıçtan bitişe kadar

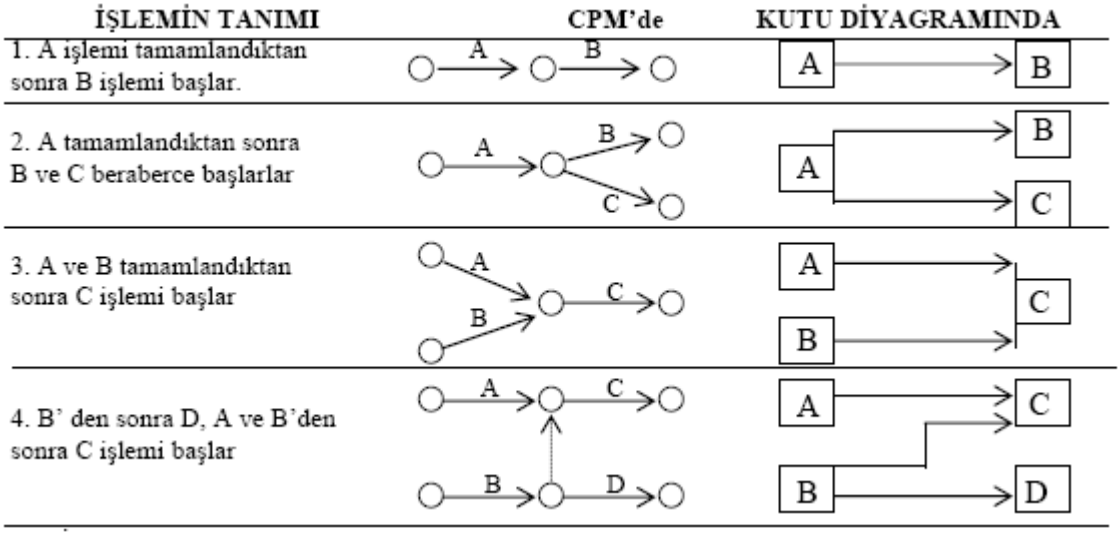
sürmeyebilir.

1.3.8.4) Kutu Diyagramları (Precedence Diagrams)

Çözüm tekniği olarak CMP'e çok benzeyen kutu diyagramlarında, bir inşaat işinin planının çıkartılması ve birbirini izleyen rutin işlemlerin kontrolü çok kolay olmaktadır. Kutu diyagramında işlem tanımları ve CPM''e kıyaslaması şöyle yapılabilir:

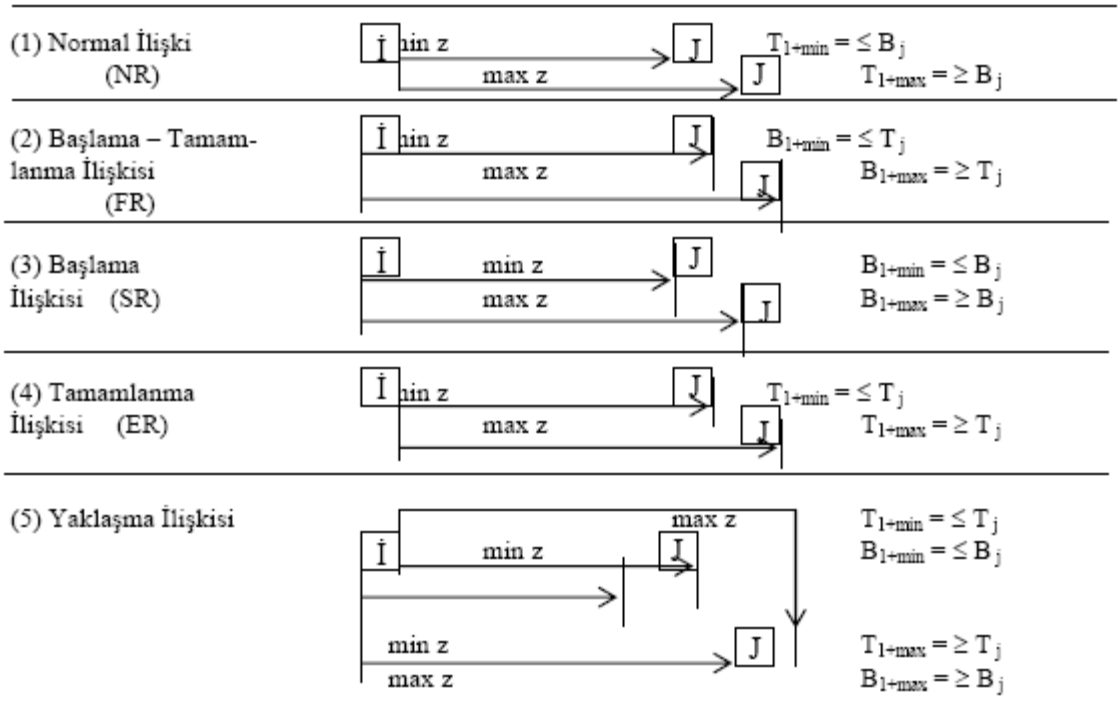


I : İşlemin tanımı (adı, no'su, v.s.)
t_{ij} : İşlemin süresi
EB : İşlemin en erken başlama zamanı
ET : İşlemin en erken tamamlanma zamanı
GB : İşlemin en geç başlama zamanı
GT : İşlemin en erken tamamlanma zamanı



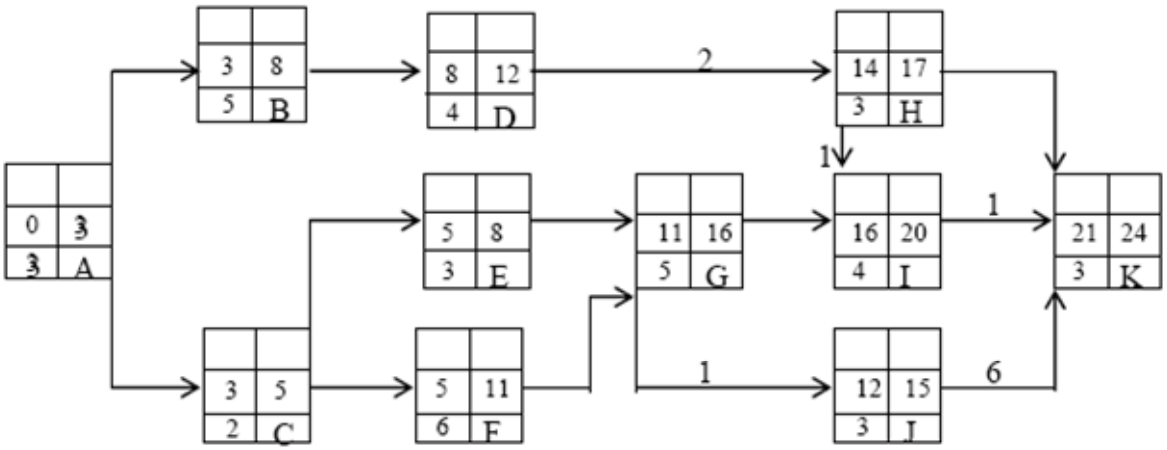
ŞEKİL 1.14) CPM ve Kutu Diyagramında karşılıklı işlem tanımları (yukarıda); İlişki türleri (aşağıda)

Kutu Diyagramında İliski Türleri:



Kutu Diyagram Uygulaması:
En Erken Başlama ve Tamamlanma Zamanlarının Bulunması:

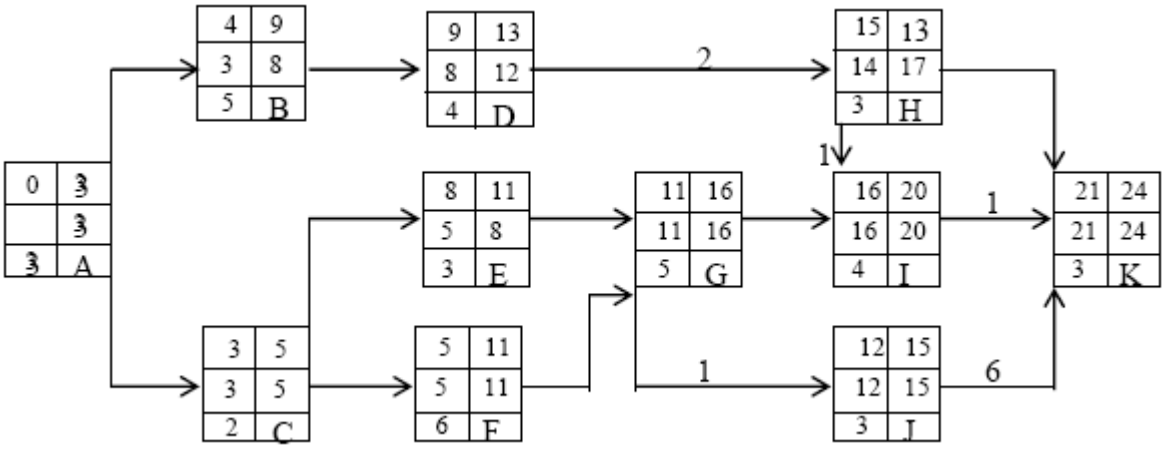
(1) İlk İşlemin en erken başlama zamanı EBA = 0 dır.
(2) Herhangi bir işleminin en erken başlama zamanı EBJ = max(ETi + Z)
(3) Herhangi bir işlemin en erken tamamlanma zamanı: $ET_j = \max (EB_i + t_i; ET_i + Z)$ dir.



ŞEKİL 1.15) Örnek Kutu Diyagramı sorusu için başlangıç serimi

En Geç Başlama ve Tamamlanma Zamanlarının Bulunması:

(1) Son İşlemin en geç tamamlanma zamanı $GT_K = ET_K$ dır.
(2) Herhangi bir işlemin en geç tamamlanma zamanı:
GT i = min (GB_j -Z) dir.
(3) Herhangi bir işlemin en geç başlama zamanı:
GBI = min ($GT_i - t_i$; GT_i - Z) dir.



ŞEKİL 1.16) Örnek Kutu Diyagramı Serimi için sonuç serimi

* $EB_i = GB_i$ veya ET i = GT_i ise işlem kritiktir.
*GB_i- EB_i veya GT_i - ET_i bollugu verir.

1.3.7. Şantiye Planlaması:

Proje ünitelerinin inşa edileceği yerlere "şantiye" denir. Şantiyenin yer seçimi, büyüklüğü, kapsadığı tesislerle şantiye araç ve gereçler listesi, projenin tipi, büyüklüğü ve yerel koşullara göre her projede değişiklik gösterebilir.

Bir şantiyenin planlanmasına geçmeden önce şantiyenin çalışılan ve yaşanan bir yer olduğunu gözden uzak tutmamak gerekir. Şantiyede yapılan çalışmaların çeşit ve özelliklerine göre yer alması gereken her türlü tesis de bulunmalıdır. Yönetim binaları, ambarlar, atölyeler, servis yolları, malzeme ocakları, laboratuvarlar, yardımcı tesisler v.b. yerler bu çalışma düzenine göre yapılır. Ayrıca, içinde yaşanılan yer olarak çalışanların gereksinimlerini karşılayacak sosyal ve sıhhi tesisler, lojman ve işletmeler de bulunmalıdır. Bu tip tesislerin büyüklüğü çalışan işçi sayısına ve bölge koşullarına göre değişmektedir. Bu tip yapılardan bir kısmı, proje işletmeye devredildiğinde işletmeye ait yapılar içinde yer alacak, bir kısmı ise inşaatın sona ermesiyle sökülecektir.

Bunlar genelde geçici tesislerdir. Proje planlaması aşamasında bu planlamanın gerçekten çok iyi yapılmış olması, maliyet ve gereksinimlerin tam olarak ortaya çıkartılmış olması önem arzetmektedir.

Projenin durumu kesinleştikten sonra, uygulama programı göz önüne alınarak "inşaat makine listesi" hazırlanmalıdır. Bu listenin hazırlanabilmesi için de inşaatın plankotelerinin ve aplikasyon durumunun çıkartılmış olması, zemin kazı ve dolgu durumları, demirli - demirsiz beton v.b. ana kalemlerinde inşaat kapasitelerinin bilinmesine gerek vardır. Hazırlanan makine parkı listesi, yatırı planlan icin çok yararlı bir veri olmaktadır.

1.3.8. Mali Analiz:

Projenin uygulanabilmesi için, yatırım gereksiniminin iş programına göre iş süresine dağılımı hesaplanır. "Yatırım Gereksinimleri Tablosu" da yatırım planları ve programlarıyla uğraşanlar için değerli bir veridir. Eğer proje çok amaçlı ise, maliyet amaçlar arasında bölüştürülür. Bu bölüştürmede en çok kullanılan yöntem, maliyetin amaçların faydalarına ya da giderlerine göre bölünmesidir.

Devlet eliyle uygulanan yatırım projeleri ya kamu hizmeti niteliğinde ya da ekonomik karakterli projelerdir. Okul, ulusal savunma tesisi, taşkın koruma tesisleri kamu hizmeti niteliğindedir. Bu tür yatırımlar vergilerle beslenen genel ya da katma kamu bütçelerinden karşılanır. Maliyetin herhangi bir kimse ya da kuruluşa ödetilmesi düşünülemez. Oysa, demir-çelik, kağıt ve enerji gibi tesisler ekonomi karakterlidir, bunların giderlerinin bunlardan yararlananlar tarafından karşılanması istenir. Fabrika tesislerinin geri ödeme taksitleri, üretim maliyetinin hesaplanmasında gözönünde bulundurulur ve ürünün satış fiyatı geri ödenmesini sağlar. Örneğin, sulama projelerinde, sulama tesisinin geri ödeme miktarları, faiz oranlarında düzenleme yapılarak yararlanan düşük gelir düzeyli çiftçi ailesinin ödeme kapasitesine uygun duruma getirilir.

1.3.9. Projenin Savunulması:

Proje planlamasının ardından, seçilen projenin açıklamasını ve sebeplerini kapsayan bir "proje savunması" aşaması gelir. Bu savunma da projenin konusu içerisine giren gereksinimler, mevcut olanaklar, seçilen projenin mühendislik ve teknik bakımdan hesapları, maliyetler, giderler, faydalar, mali analiz sonuçları, projenin uygulanacağı bölgedeki ekonomik koşullara etkisi, yan faydaları, çalışma programı, şantiye planlaması, makine parkı ve gereksinimler yer alır.
Projenin savunulması sonucunda şu hususlar belirtilir:
1-) Proje ekonomik bakımdan sağlamdır 2-) Proje teknik bakımdan sağlamdır 3-) En uygun alternatif seçilmiştir

1.3.10. Proje Planlamasının Sonucu:

Tüm proje planlaması verilerinin özeti, istatistik bilgiler, yapılan etütler, mühendislik ve ekonomik hesap sonuçları ve projenin savunulması birleştirilerek bir planlama raporu haline getirilir. Yapılan çizimler ya bir rapor eki ya da ofsetle basılmış kitap sayfaları haline getirilir. Uygulama programlarına alınacak yapıların teknik ve ekonomik savunmalarının bu raporla yapılacağı

düşünülerek, planlama raporlarının proje gerekçelerini iyice açıklayan düzgün bir dille yazılmasına, konuların iyi sınıflandırılmış bir fihrist (içindekiler indeksi) içinde açıklanmasına önem verilir.

Projeler, planlama raporlarının sonuçlarına göre ya uygulama raporlarında göz önüne alınırlar ya da daha sonra ele alınmak üzere arşivlenir, saklanırlar. Uygulanmasına karar verilen projeler daha sonra "Kesin Proje" aşamasına gelir.

1.3.11. Yüklenici İnşaat Firmalarının Organizasyonu:

Öncelikle "firma" tanımını yapmak gerekir! Firma, toplumun gereksinim duyduğu mal ve hizmet üretim, koruma ve dağıtımını, dolaylı veya doğrudan karşılayan ekonomik çalışma birimlerine verilen addır.

1.3.11.1. Organizasyonun önemi:

Bir inşaat firmasında atılacak en önemli adım, uygun bir organizasyonel yapı ortaya koymaktır. Bu organizasyon yapısı kurulmadan firma bünyesindeki birbirinden farklı işlevlerin etkin ve koordineli bir biçimde yerine getirilmesi pek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle her firma, stratejisiyle uyumlu ve işlevsel gereksinimlerine uygun bir organizasyon yapısı kurmak durumundadır.

Firma çapındaki organizasyonel yapının kurgusu yapılırken diğer yandan kişisel sorumlulukların en etkin şekilde ortaya konulması da gereklidir. Kişilere yüklenen sorumluluklar ne yerine getiremeyecekleri kadar ağır ne de boş kalacakları kadar hafif olmamalıdır. Verilen işle karşılığında alınan sonucun paralelliği sağlanarak üst düzey yöneticilerle çalışanlar arasında iş dağılımı açısından denge ve eşitlik sağlanmalıdır.

Uygun ve yerinde bir organizasyon, etkin bir yönetimin ilk koşuludur. Organizasyonda gerekli prensipler şu şekilde sıralanabilir:

a. Firmanın stratejisi ve amaçları doğrultusunda yeteri kadar yönetim pozisyonu oluşturularak belirlenmiş amaç ve hedef stratejilerin başarılması
b. Firma içi iletişim sistemi açıkça tanımlanarak denetim, emir ve bilgi akışının uygun bir sistematiğe oturtulması
c. Bir üst düzeydeki yöneticinin ayrılması durumunda, firma işlevlerinin aksamaması için bir alt düzeydeki elemanın en az üstünün yerini alabilecek kadar iş eğitimine tabi tutulması.

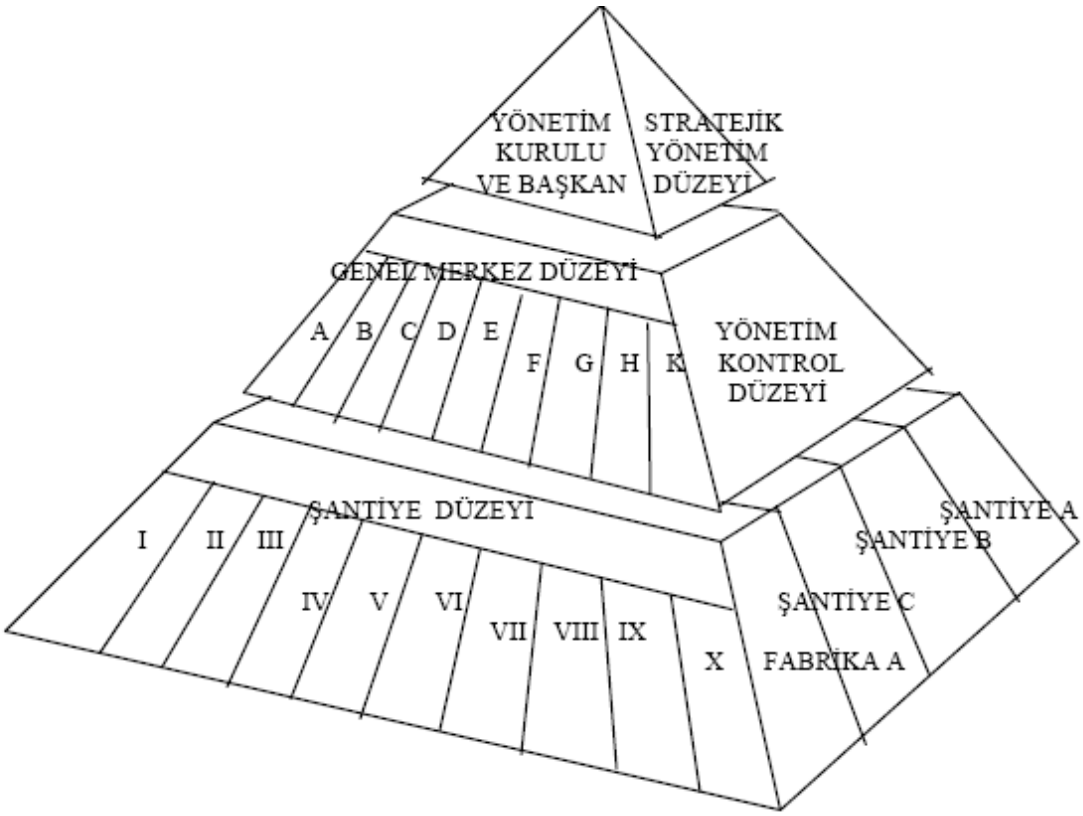
İnşaat firmalarını diğerlerinden ayıran birtakım özellikler organizasyon yapılarını da etkilemekte ve farklılaştırmaktadır. Bunlardan en önemlisi, inşaat firmalarının etkinlikte bulunduğu projelerin çok fazla birbirlerine benzememesi ve özgün olmalarıdır (yani standartlık yoktur). Her farklı proje, gereksinim programından başlayıp finans (nakit) akışı, teknik gereksinimler, tamamlanma zaman periyotları ve kalite standartlarıyla bir bütün oluşturmaktadır. Bunun yanısıra inşaat firmalan icin üretim yerleri (alanları) olan şantiyeler de farlı özellik ve koşullara sahiptir. Bunlar, iklim, arazi özelliği, topoğrafya, zemin, v.b. sayılabilecek pek çok parametreyi oluşturur. Bu tür farklılıklar hem firmanın hem de şantiyelerin organizasyonunun esnek olması koşulunu da beraberinde getirmektedir. Organizasyon, her projenin özelliklerine uygun olarak şekillenebilmeli ve hedeflenen koşulları yerine getirebilecek niteliğe sahip olmalıdır. Ekonomik mal ve hizmetler ortaya koyabilmek için;

a-) Gerekli üretim faktörlerinin birleştirilmesi

b-) Genelde, önemli büyüklükteki finansal kaynakların belirlenmesi, ortaya konulması

c-) Yapılan ve yapılacak olan tüm etkinliklerin yönetilmesi ve denetlenmesi gereklidir. Bu nedenle de firmalar belli bir organizasyon çatısı altında olmak durumundadır.

Firmaların organizasyon yapıları bir "kare piramit”e benzetilebilir:



ŞEKİL 1.28) Yüklenici inşaat firmalarında genel organizasyon yapısı

HARF, RAKAM ALT AÇIKLAMALARI:

A: Merkezi Planlama Birimi
B: İhale ve Teklif Hazırlık-Sözleşme Yönetimi
C: Proje Teknik KoordinatörlüğüH
D: Şantiyeler-Fb.larKoordinatörlüğü
E: Kalite Kontrol ve Yönetimi Birimi
I: Üretim Planlaması Sorumlusu
II: Yapı Üretimi(Saha Mühendisliği)
III: Kalite Kontrol Sorumlusu
IV: Şantiye Makine Bakım Yönetim
V: Satınalma-Depolama Sorumlusu
VI: Alt Yüklenici Yönetimi(Taşeronlarla İlişkiler)
F: Ekipman (makine) Yönetimi
G: Merkezi Satınalma Birimi
H: Mali-Hukuki İşler Koordinatörlüğü
K: İnsan Kaynaklan Yonetimi Birimi
—-: Pazarlama Yönetimi : Şantiye İdari İşler Sorumlusu
VII: Hakediş, Kesin Hesap, v.b. İşler
VIII: Şantiye Muhasebesi-Vergi Mevzuatı-Mali İşler
IX: Şantiye Personel Yönetimi Sorumlusu
X : Şantiye İdari İşler Sorumlusu

1.3.11.2. Organizasyon Yapısında Düzeyler:

(1) Üst Düzey Yönetim (Stratejik Planlama Düzeyi - Karar organı)
(2) Orta Düzey Yönetim (Yönetim Kontrol Düzeyi - Firma bazında genel ve merkezi yönetim)
(3) Alt Düzey Yönetim (Operasyonel Kontrol Düzeyi - Şantiye, İşyeri bazında bölgesel yönetim)

Bu düzeyler ayrı ayrı incelenecek olursa;

(1**) Üst (Stratejik Planlama) Düzey Yönetim**: Bu düzeyde, firma için ilk sırada bulunan ve stratejik karar verme yetkisine sahip yönetici ve kişiler, yetkileri itibariyle yer alırlar. Bu kişiler ve/veya kuruluşlar firmanın ana hedeflerini, gelecekteki karlılık, yatırım ve üretim gücü, personel stratejisi gibi ana hedeflerini belirlerler:

- Firmanın etkinlikte bulunacağı alanların belirlenmesi
- Yeni yatırım kararlarının verilmesi
- Büyüme ve küçülme kararlar

- Fiyat politikalarının belirlenmesi
- Üst düzey görevlere atanacak personelin belirlenmesi

(2) Orta (İdari Kontrol) Düzey Yönetim: Bu düzeyde, bölge veya proje müdürleri, bölüm veya daire başkanları, ürün yöneticileri gibi yöneticiler bulunur. Bu kişiler, üst düzey yönetimin aldığı kararların uygulamaya konulmasında ve amaçlara ulaşılmasında sorumluluk üstlenirler. Başlıca görevleri:

- Şantiyelerin koordinasyonu (eşgüdüm)
- Firma etkinliğinin artırılması için gerekli önlemlerin alınması
- Firmanın varlığını sürdürmesinde temel koşul olan "yeni işlerin alınmasının" sağlanması

(3) Alt (Operasyonel Kontrol) Düzey Yönetim: Bu düzeyde, bölüm veya şube müdürleri, proje sorumluları ve yöneticileri, şantiye şef ve yardımcıları, saha mühendis ve mimarları gibi kişiler bulunur. Bu kişiler, üstlerin verdiği kararları tam olarak yerine getirmekle sorumludur. İnşaat firmalarında alt düzey yönetim genellikle şantiyelerde yer alır ve bu görevler üretimin yapıldığı yerin (işyeri), projenin özelliğine göre de farklılık gösterir. Şantiyeler, inşaat firmasının devamını sağlamak için üretimin yapıldığı yerlerdir; buna bağlı olarak da en genel başlıca görevler şunlardır:

- Planlanan maliyette ve sürede,
- Projelere, teknik, bilim ve fen kurallarına uygun olarak,
- Gerekli emniyet tedbirlerini (önlemleri) almış ve kalite standartlarına uygun biçimde projelerin
- aplikasyon ve gerçekleştirimini sağlamak.
- İşçi çalışma, taşeronlarla ilişkiler, malzeme yönetimi, insan kaynakları kullanımı,
- İnsan kaynakları kullanımı, ekonometri, çevre güvenliği, v.b. temel ve güncel işler.

Başarılı bir inşaat firması, şantiye ve ofis işletmesinde yoğun deneyimlere sahip olmalıdır. Firma kurucuları ve yöneticileri genellikle şantiyelerde uzun süreli deneyim kazanmış kişilerdir. Her firma, büyüklüğüne, kültürüne, coğrafi konumuna, yapılan işin özelliklerine, yönetimsel ve teknik deneyimlerine bağlı olarak kendisine uygun ve yeterli organizasyon yapısını (yapılarını) geliştirebilir.

1.3.11.3. Firma Büyüklüklerine Göre Organizasyon Yapıları:

1. **Küçük İnşaat Firmaları**: Organizasyonel form, yerine getirilmesi gereken görevlere bağlı olarak firmanın bölümlere ayrılmasıyla oluşur. Küçük firmalar tarafından kullanılan bu bu form en basit ve en temel olanıdır. Maliyet tahmini (keşif) ve teklif (mektubu) hazırlama için, bu konuda deneyimli bir kişi ile şantiye kontrol ve yönetimi konusunda deneyimli ikinci bir kişinin ortaklığı temelde küçük inşaat firmalarının başlangıcıdır. Küçük firmalarda birden fazla bölüm tek bir kişi tarafından yönetilir. Bu şekilde bir kişi birden çok görevi eş zamanlı olarak üstlenebilir. Çok daha küçük yapılanmış firmalarda tek bir kişi tüm (teknik) görevleri üstlenebilir. Firmalar küçük ya da büyük de olsa yapılacak işler aynıdır. Bu anlamda bölümlerin çok sayıda alt hizmet guruplarına ayrılması söz konusu değildir. Bu tip firmaların tüm sözleşmeleri merkez ofisçe yapılır. Şantiyelerde karmaşık olmayan (basit) bir yönetim vardır; bölümlerde de teknik deneyim çok fazla olmayabilir. Küçük inşaat firmaları, genellikle belirli bir iş türüne göre uzmanlaşmak suretiyle organizasyon yapılarını oluştururlar.
2. **Orta İnşaat Firmaları**: Küçük firmalara göre daha büyük sermaye hacmi olan ve daha karmaşık sözleşmeler üstlenen firmalardır. Bu firmalar, daha fazla deneyim gerektiren işleri kolaylıkla üstlenir ve bu sayede hem merkez ofislerini organizasyonda daha genişletebilir hem de her bölümün değişik yardımcı hizmet alt birim ve bölümlerini oluşturabilirler.
3. **Büyük İnşaat Firmaları**: Bu tip firmalar çok geniş bir yelpaze içerisinde, farklı büyüklükte, tip ve özellikte sözleşmeleri ardışık ya da eş zamanlı olarak kolayca üstlenebilirler. Buna bağlı olarak kaynak ve uzmanlık gereksinimleri daha fazla ve çeşitli olmaktadır. Firma büyüdükçe organizasyon yapısı da gelişir; farklı bölümler kurulabilir. Çeşitli etkinlikleri ve

personeli koordine etmek için tek kişinin kapasitesi yeterli olmayabilir. Bu nedenle yetki, görev ve sorumlulukların dağıtılması, bölüştürülmesi ve devredilmesi gerekecektir. Organizasyonda yetki devredilen yardımcılar, kendi bölümüne ya da gurubuna liderlik edecek, hedeflenen sonuca ulaşmak için gerekli ve yeterli çalışmanın yapılmasını sağlayacak; sorumluluk üstlenecektir.

Firmanın temel organizasyon yapısı çoğunlukla sabit tutulmakla birlikte belirlenecek prensipler çerçevesinde firma guruplara ayrılarak "merkezkaç bir yönetim" şekliyle değişken veya dinamik olarak da kurulabilir. Merkezden yönetim şeklindeki temel yönetim politikasına bağlı olarak kurulan ve oluşturulan gurupların özerk olmaları sağlanmalıdır. Ancak, personel işleri, yasal işlemler (hukuk mevzuatı), pazarlama, tasarım, teknik hizmetler, finansman gibi konular genelde merkez ofis tarafından yürütülmeli ve denetlenmelidir. Guruplara ayrılma;

- Yapılan iş türüne göre (zemin mühendisliği, kompleks yapılar, baraj ve su yapıları, köprü, yol, konut inşaatı, v.b.),
- Coğrafi bölge özelliklerine göre olabilir.
  Firmanın yönetim kararlarına bağlı olarak herhangi bir bölümün altında öngörülen bölümler, guruplar, kendi başlarına ayrı birer bölüm olarak kurulabilir. Farklı firmaların büyüklüğüne, kültürüne, coğrafi konumuna, yaptığı işin özelliklerine ve yönetim - teknik denetim özelliklerine bağlı olarak da;
- Diğer firmaların organizasyon yapılarına göre ek ve/veya eksik bölümleri bulunabilir,
- Bazı bölümleri, diğer firmaların aynı bölümlerine göre daha büyük ya da küçük ölçekte oluşturulabilir.

Orta ve büyük ölçekli inşaat firmalarında bulunması öngörülen (önerilen) başlıca çalışma ve görev birimleri (bölümler) şunlardır: 1-) Başkan - Yönetim Kurulu (ve/veya başkanı) 2-) Personel Yönetimi (müdürlüğü, dairesi) 3-) Projelendirme Bölümü (proje büro ya da ofisleri) 4-) Şantiye Kontrolü (denetim) Bölümü 5-) Mühendislik Hizmetleri Bölümü (yapım, yönetim, deney, kalite, v.b. saha işleri) 6-) Maliyet Tahmini (keşif, hakediş, metraj, birim fiyatlama, analiz, teklif hazırlama, v.b.) 7-) Muhasebe ve Finans (nakit akışı) Bölümü (parasal ve ödemeli-akçeli, kayıt ve arşivli işler) 8-) Pazarlama Bölümü (yalnızca satış esasına göre çalışan özel firmalarda) 9-) Satın alma ve Sevkiyat Bölümü (taşıma, ulaşım, istifleme, temin, fiyat araştırması, v.b.) 10-) Fabrikalar ve Atelyeler (mamul, yarı mamul madde temini, onarım, bakım, v.b. işler) 11-) Depolar (koruma, iç ve dış piyasadan temin, envanterli - tedarikli işler) 12-) Bakım ve Onarım Bölümü (makine-ekipman, bakım, onarım, yedek parça, v.b.) 13-) Güvenlik Bölümü (üretim ve malzeme, kişisel can güvenliği, çevresel v.b. güvenlik işleri) 14-) Bilgi - İşlem Bölümü (otomasyon, bilgi depolama, kayıt, standart evrak düzenleme, hesap işleri) 15-) Temsilcilikler (yalnızca şehir ve ülke asm is yapan firmalar için) 16-) Personel Eğitimi ve Stajyer Öğrenci İlişkileri Bölümü (personel biriminin benzeri görevleri için)

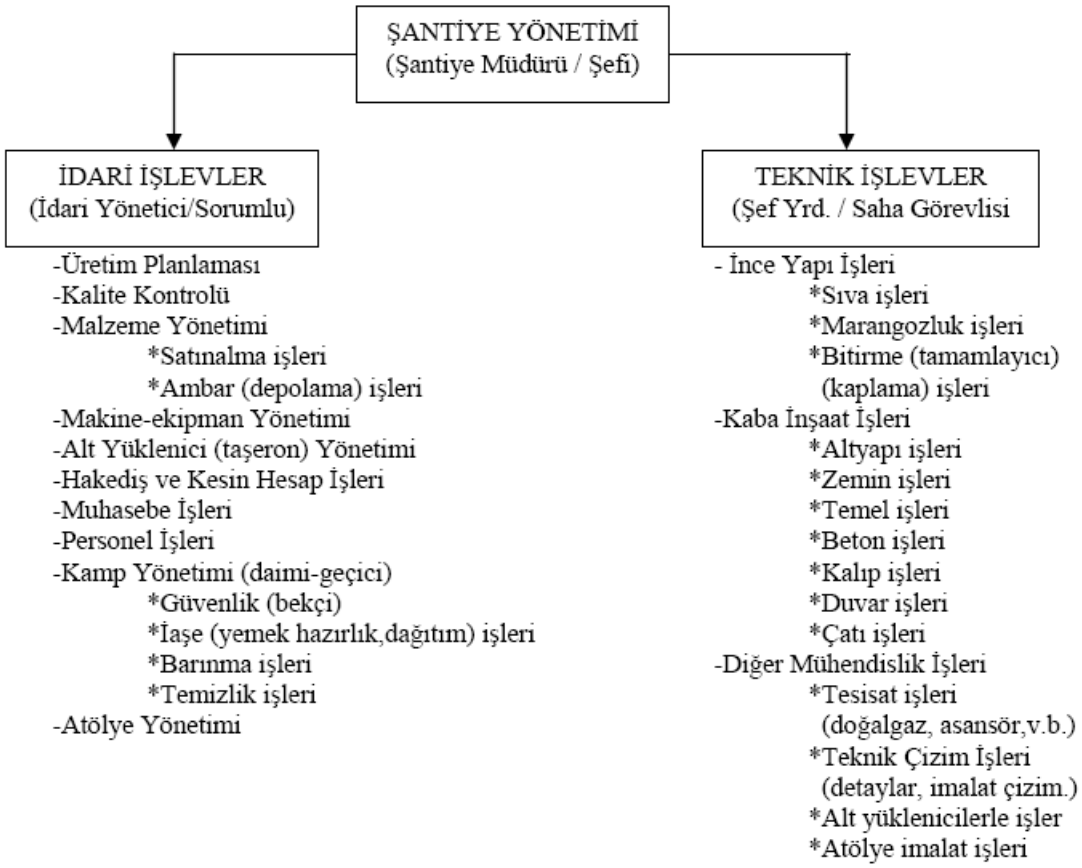
1.3.11.4. Şantiye Genel Organizasyonu:

İnşaat firmaları, işlevlerini sürdürdükleri merkez ofislerinin yam sira yapımını üstlendikleri her proje için bu sürece bağlı olarak varlıklarını da sürdüren şantiyelere sahiptirler. Geçici birer üretim merkezi olan şantiyeler, başlı başına birer organizasyon olmalarına rağmen merkez büroya karşı sorumludurlar. Proje çok büyük ve karmaşık olmadıkça şantiyedeki bazı görevler merkez ofisçe gerçekleştirilir. Küçük şantiyelerde personel işleri, yasal işlemler, tasarım, teknik hizmetler, pazarlama, finansman gibi işler genellikle merkez ofisten yürütülür. Büyük şantiyelerde, pazarlama, finansman merkezden, diğer işlevler ise şantiyeden yürütülür.

Sözleşmenin büyüklüğüne göre şantiye organizasyonu hem teknik hem de idari açıdan farklılıklar gösterir. Sözleşme büyüdükçe organizasyonda yer alan uzmanların ve şantiyede çalışan görevlilerin sayısı artar; şantiye yöneticisinin sorumlulukları genişler. Ancak, günümüzün değişen ve gelişen kosullan icerisinde yapı malzemesi ve elemanı üreten firmaların çok artması, ürün yelpazesinin genişlemesi, ürünlerin daha karmaşık ve uzmanlık isteyen süreçlerle üretimi ve

montajı gibi konular uzman alt yüklenici ve firmaların ortaya çıkmasını gerekli kılmıştır. Taşeronluk sisteminin (alt yüklenici = subcontractor) firma sabit maliyetlerini azaltması ve firmaları istenmeyen mali ve hukuki sorumluluklardan kurtarması, inşaat sektöründe proje kapsamında tüm işçiliği kendi personeline yaptıran firmaların yerini tedarikçi firmaların ve koordinatör şirketlerin almasına neden olmuştur. İş yaptırma biçimlerindeki bu değişim genelde firma organizasyonlarına yansımakta, kalabalık ve hantal yapılaşmaların yerini daha küçük, hareket yeteneği fazla ve bilgi teknolojilerini etkin kullanabilen firmalar almaktadır.

Bir inşaat organizasyonunda başarının sağlanması için merkezdeki muhasebe, finans gibi temel işlevlerin düzenli bir sistem içinde yürütülüp, bu işlevler sonucu ortaya çıkan bilginin şantiyeye aktarılması ve buradaki aktivitelerin öngörülen standartlar içinde uygulanması gerekmektedir. Şantiyeler başlı başına birer organizasyon olmalarına karşın bağımsız hareket edemeyen birimlerdir; genel olarak firmanın merkez organizasyonuna karşı sorumludurlar. Şantiyedeki üretim ve faaliyetler, firmanın merkezdeki organizasyonuna dahil olan proje müdürü tarafından denetlenir ve firma tepe yöneticisine rapor edilir. Proje müdürü, şantiye organizasyonu ile merkez organizasyonu arasında bir bağlantı konumundadır. Şantiye organizasyonunun başında üretimin sözleşmeye, iş programına, belirlenen teknik ve kalite standartlarına uygun olarak yürümesini sağlayan, tüm teknik ve idari işlerden sorumlu şantiye müdürü (veya şefi) vardır. Şantiyedeki diğer işlevler ise bu müdürün sorumluluğu altında "idari" ve "teknik" olarak iki kısımda toplanabilir. İdari işlevlerin büyük kısmı firma merkezinde yürütülenlerin bir uzantısıdır. Teknik işlevlerse projenin gerçekleştirilmesi için gerekli olan yapım faaliyetlerinden oluşur. Bu anlamda şantiyedeki işlemler şu şekilde sıralanabilir:



Şimdi bu idari ve teknik işlev birimlerini fonksiyonları itibariyle ayrı ayrı inceleyelim:

- **Üretim Planlama ve Programlama Bölümü:**

Bölüm temel işlevlerinden biri "süre planlamasıdır". Planlanan tamamlanma süresinin gerçekleştirile- bilmesi için gerekli olan altyapı ve kaynakların da planlanması ve araştırılması

önemlidir. Kaynak planlaması, malzeme ve taşeron temini, işgücü planlaması, makine-ekipman planlaması bu bölümün çalışmaları arasında yer almaktadır.Finansman ya da nakit planlaması şantiye düzeyinde her zaman mümkün değildir; firmalar bu işi genel merkez düzeyinde yapmayı yeğlerler.
Planlama çalışmalar ıçerçevesinde ayrıca ürün maliyeti odaklı maliyet planlaması ve kontrolü de söz konusudur.Şantiye kurulmadan önce çalışmalara başlayan bölüm şantiyenin kurulmasından da sorumludur. Bölümün diğer bir görevi de iş programlarını, bunların revizyon ve değişikliklerini, güncelleştirmelerini yapmak, gerekli iş türlerini tespit etmektir.

- **Kalite Kontrol Bölümü:**

Kalite kontrolünde amaç, yapılan üretimin işveren tarafından kabul edilmesi için ürünün şartnamelerde belirtilen niteliklerde gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Yapımda kalite kontrolü yalnızca niteliksel özelliğe sahip değildir. Aynı zamanda bu nitelikleri sağlayan niceliksel özellikler de kontrol sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır. Kalite kontrolünün yam sira üretim yapılmadan önce kalitenin sağlanmasına yönelik tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirlerin alınması bir kalite yönetimi sistemini gerektirir ve bu sistemin kurulması, işletilmesi genel merkez düzeyinde organize edilir ve şantiye düzeyinde temel işlevlerin prosedürüne yansır.

- **Makine - Ekipman Yönetimi Bölümü:**

Projenin gerçekleştirilmesi için gerekli makine ve ekipmanların zamanında şantiyede kullanılacağı ve bulunacağı yerde olmalarını sağlar. Gerekli makine ve ekipmanın aralıksız kullanımına olanak tanır; boş bekleme sürelerini en aza indirir. Araçların düzenli ve periyodik bakım ve onarımlarını gerçekleştirip kullanım yer ve biçimlerini organize eder. Araç / saat maliyetlerini hesaplar, izler, en aza indirmek amacıyla düzenlemeler yapar, üretkenliklerini artırmak üzere önlemler alır.

- **Malzeme Temini,Yönetimi (Satınalma) Bölümü:**

Yapım için gerekli malzemelere ilişkin bir Pazar araştırması yapar; fiyat ve benzeri özellikleri tespit eder; örnekleri üzerinden gerekli kontrolleri yapar. Bu bölüm merkezi satınalma bölümüyle birlikte çalışır. Şantiyeye gelen malzemenin nitelik ve niceliğine ilişkin etkin kontroller yapar. Eksilen ve yakın zamanda gerekli olacak envanterdeki malzemelerin alınmalarını, planlama ve programlama gurubuyla ortak çalışarak sağlar. Satın alınan malzemeleri muhasebe ve ambara gerekli işlemler için bildirmek durumundadır. Malzeme depolama ve ambar bölümü, temin yoluyla elde edilen her tür malzemenin giriş kaydını, perakende çıkışları, ölçümlerini yapar; zimmetleme, iade ve döküm listelerini çıkarır. Satınalma, planlama-programlama, makine parkı bölümleri, malzeme tedarikçileri ve muhasebeyle sürekli ilişki içerisindedir.

- **Alt Yüklenici Yönetimi Bölümü:**

İnşaat firmalarında alt yüklenici çalıştırılması konusundaki artışlar bu kişilere yönelik çeşitli işlevleri de beraberinde getirmiştir. Öncelikle çevresel ve bölgesel alt yüklenici araştırması, seçimi yapılacaktır. Tespit edilen alt yüklenicinin kabiliyet ve kapasiteleri, referansları, performans bilgileri ve üretkenlikleri açıkça belirlenir. Alt yüklenicilerin hakedişleri bu birim ve bölümce yapılır.

- **Hakediş ve Kesin Hesap Bölümü:**

Firmaların yaptıklar ıüretim karşılığında işverenin parasal alacakları ve üretimin firmaya olan maliyeti bu birimce hesaplanır. Hakediş hesaplarını (belli bir formata uygun olarak) sözleşmede belirtilen sistematik çerçevesinde (birim fiyat, maliyet+kar, götürü bedelle, v.b.) ilgili bölüm yapar. Üretimin firmaya olan maliyeti "maliyet muhasebesi" düzeni içerisinde hesaplanır. Bu hesaplamaları yapmaya yönelik bilgilerin toplanması da bu kapsamda yapılan işler arasındadır.

Yapımda biten, tamamlanan işlerin adımsal onayları alındıktan sonra her bir kalemin ataşman, yeşil defter, v.b. hesap işleri sırasıyla yapılır. Hakediş sıra numaralarına göre yüklenici ve alt

yüklenici hakedişleri hazırlanır; şantiye şefi onayından sonra da ödenmek üzere muhasebeye gönderilir.

- **Muhasebe Bölümü:**

Bu bölümün ana görevi de kesin hesap bölümünden gelen alt yüklenici hakedişlerini ödemektir. Satınalma bölümü aracılığıyla ambara gelen malzemelere ait fatura, irsaliye, v.b. belgeleri tutar, tedarikçi firmaların ücretlerini öder. Personel ve idari işler aracılığıyla gelen ücretli izin, personel maaşları, kasa defteri tutulması, işçi ücret ödemeleri, bordro, sigorta çizelgeleri gibi işler ve hazırlıklarla ilgili çalışmaları yürütür. Diğer her tür harcamanın ödemelerinin yapılması, belgelendirme, bütçe ve finans gereksinimleri-nin çıkartılması, fatura takibi, vergi ve harç ödemeleri gibi işlemleri takip etmek de bu bölümün görevleri arasındadır.

- **Personel İşleri Bölümü:**

İşçi çalıştıran bir işyerinin uyması gereken SSK mevzuatı ve ilişkileri, fon, vergi v.b. ödeme yükümlülükleri ile işçi sağlığı ve iş güvenliğiyle ilgili sorumluluk ve çalışmalar; bu konuda işçilere gerekli eğitimin verilmesini sağlamak; personel izin, giriş ve çıkışları, varsa sendikal faaliyetlerle ilgili işler ve ilişkiler; nitelikli personel temini ve personel özlük haklarının takibi gibi konular bu bölümün görevleri arasında yer almaktadır.

- **Kamp Yönetimi Bölümü:**

Çok sayıda kişinin çalıştığı ve büyük bölümünün de konakladığı şantiyeler için güvenlik, temizlik, yemek, yapılan üretimin korunması, barınma gereksiniminin karşılanması v.b. türden şantiye idaresine yönelik işlerle uğraşmak; yemekhane ve yatakhanelerle ilgili çalışmalar (kurallar, kullanım talimatları, yönetmelik hazırlanması, v.b.) ile puantaj çalışmaları da bu bölümün görevlerindendir.

- **Atölye Yönetimi Bölümü:**

Yapım işi için gereken malzeme ve elemanların hazırlanmasından bu birim sorumludur. Bu hazırlıkların sağlıklı biçimde tamamlanabilmesi için gereken girdilerin temini de malzeme yönetimiyle koordine edilerek olgunlaştırılır. Bu bölüm genelde atölyelerdeki sabit donanımın bakım ve onarımı, makine ve yedek parça temini, makine arızalarının giderilmesi, yarı mamul madde üretimi, donanım ve makine ve düzeneklere parça ekleme-çıkarma-deneme gibi günlük ve hayati işlevleri yerine getirmek suretiyle çalışmalarını kısımlara bölerek yoğunlaştırır.

- **Formenlerle İlişkiler Birimi:**

Genel olarak şantiyedeki en alt idari birim olarak formenler (teknisyen düzeyinde) her tür teknik konuda farklı uzmanlık alanında kişilerden oluşmaktadır. Bu kişiler şantiye içerisinde işlerin ve işçilerin takibi ve iş denetimiyle (nezaret) ilgili olarak çalışır; makine şefliğine bağlı makine operatörleri, taşıt şoförleri ve işçi puantörleri de kendilerine bağlı olarak (emirleri altında) görev yaparlar.

1.3.11.5. Küçük Sözleşmeler İçin Şantiye Organizasyonu:

Küçük işlerin sözkonusu olduğu bu tip sözleşmelerde, şantiye organizasyonu firmaya bağlı, tecrübeli bir formen tarafından yürütülür. Söz konusu formen şantiyede sürekli kalmadığından işler çoğunlukla yardımcısı durumundaki bir usta (ya da ustalar) tarafından takip edilir. Ustalar, söz konusu işin sözleşmelere, şartnamelere, iş programlarına uygun olarak yürütülmesi ve ilerlemesinden sorumludurlar. Bu kişiler işleri kalite, teknik, fen ve sanat kurallan cercevesinde denetlerler ve günlük kurgularını düzenlerler; iş güvenliği ve yardım konularında da sorumluluk taşırlar. Kısaca, periyodik aralıklarla şantiyeye gelen formenin şantiyedeki sürekli yardımcılarıdırlar. Genel olarak maliyet kontrolü, ücret, maaş, fazla çalışma, prim, ikramiye gibi kayıtlar formenler tarafından tutulur.

1.3.11.6. Orta Büyüklükteki Sözleşmeler İçin Şantiye Organizasyonu:

Bunlar, işgücü kapasitesi 35-45 arasında olan organizasyonlardır. Bu tip ya da büyüklükteki şantiyelerde firmaya bağlı tecrübeli bir baş formen yönetici durumundadır. Şantiyede sürekli kalması gereken baş formenin organizasyon ve iş yönetimiyle ilgili her konuda bilgi ve tecrübe sahibi olması gerekir. Ayrıca baş formen, şantiyenin merkez ofise yakınlığına, sözleşmenin büyüklüğüne ve süresine bağlı olarak merkez ofisten hizmet desteği alır. Merkezden destek hizmet alamayan baş formen için organizasyonda uzmanların sayısını artırmak gereklidir. Genelde baş formen tüm teknik işleri kurgular, organize eder ve yönetir. Ayrıca, güvenlikle ilgili konular da baş formenin sorumluluğundadır.

Bu tip şantiyelerde, kontrol örgütü adına çalışan "sürveyanlar" yapılan işin miktarını ölçer ve günlük, haftalık iş maliyetlerini çıkarırlar. Organizasyonda çalışma zaman çizelgesi kayıtlarının tutulması, ücretlerin hatasız belirlenmesi, iş ve malzemelerin, ihzaratın ölçümü, aylıkların belirlenmesi, ödenmesi; ekipman bakım ve onarımları gibi hususlar merkez ofis tarafından gerçekleştirilir. Genelde orta büyüklükteki sözleşmelerin 70 - 75 işçi gibi daha fazla sayıda işgücüyle gerçekleştirildiği şantiyelerde yönetim ve oluşum alternatifleri çeşitli şekillerde olabilmektedir.

1.3.11.7. Büyük Sözleşmeler İçin Şantiye Organizasyonu:

Bu tip sözleşmeler işgücü kapasitesi 120 - 150 işçi olan organizasyonlar tarafından yürütülür. Her işlev ayrı bir bölüm olarak şantiye organizasyonunda yer alır. Şantiyenin organizasyonu, sözleşmenin özellik ve koşullarına, işçi sayısına, şantiye ekipmanların tür ve sayılarına, şantiyenin konumuna göre farklılık gösterebilir. Önemli olan, şantiyede tam ve sürekli bir kayıtlama, yönetim ve denetim sağlamaktır. Başlı başına birer organizasyon oluşturan şantiyelerin tüm yönetimsel işlevleri merkez büro tarafından kontrol edilir. Ayrıca, merkez ofisteki işlevlerin birer benzer uzantısı şantiyelerde de görülür.

1.3.11.8. Yapı Üretim (İmalat) Süreci:

Yapı üretim süreci, mal sahibi veya yatırımcının (ya da ilgili inşaat firmasının bizzat kendisinin) belirli bir gereksinimi karşılamak ya da mevcut bir olanağı değerlendirmek amacıyla bir yatırım yapmaya karar vermesiyle başlar. Bazı durumlarda yatırımın ekonomik ya da teknik boyutlarını araştıran bir fizibilite (=yapılabilirlik) çalışması gerekebilir. Bu fizibilite çalışması, yapımın organizasyonundan ürünün niteliklerine kadar birçok konuda izlenecek yollar hakkında fikir verecektir. Bundan sonra, elde edilen verilerin işverenin gereksinimleri, ekonomik sınırlamalar ve teknolojik olanakların tasarım çalışmalarıyla desteklenmesi ve koordine edilmesi sonucu yapıya ilişkin projeler ortaya çıkmaya başlar. Mimari, statik, betonarme, elektrik, tesisat projeleri ile kalıp planları v.b.proje esasları ve koşullar açıklayan "şartnameler" bu aşamayı izleyen dönemde hazırlanır. Bir maliyet tahmini yapabilmek amacıyla projelerdeki imalat miktarlar ıölçülür ve piyasa rayiç bedelleriyle fiyatlandırılır. Bu aşamadan sonra yapımcı firmayı seçebilmeyi teminen ihale yoluna başvurulur. Bu amaçla;

- İhaleye davet edilecek en uygun yapımcı firmalar belirlenir (listesi çıkarılır ve genel olarak sayılarının üçten az olmamasına özen gösterilir)
- Firmaların tekliflerini özgürce ve sağlıklı olarak oluşturabilmeleri için gerekli belgeleri içeren ihale dosyası (yeni yasalara göre ihale işlem dosyası) hazırlanır.
- Bu aşamada sürece dahil edilen tüm inşaat firmaları (istekliler) yapı üretim sürecine katılmış olurlar. Herbir inşaat firması bağımsız olarak (ve öncelikle) ihaleye girip girmeme konusunda karar alır. Bunun için idare, işveren ya da mal sahibi konumundaki kişi, kurum veya kuruluşun güvenilirliği, işin maliyeti, teknik yükümlülükleri (şartnamesi) gibi konularda kapsamlı araştırma yapılması gereklidir.
- İhaleye katılma kararı alan inşaat firması elde ettiği ihale dokümanlarını dikkatle inceler;

işin imalat miktarları ve toplam maliyetini tekrar ve ayrıntılı hesaplar; kendi maliyet bilgileriyle fiyatlandırarak karşılaştırır. Elde edilen sonuç ve kesin maliyet bedeli üzerine firma yönetimince uygun görülen bir kâr veya sabit giderlerden pay , vergi gibi toplamalı kalemlerden oluşan ek (mark-up) katarak kendince en uygun teklif fiyatını (veya toplam bedeli) oluşturur. Toplam fiyat eklerinin hesaplanması farklı yöntemlerle olabilir. Bazı durumlarda kâr ön plandayken bazı durumlarda kârdan daha çok prestij, işin alınması, istihdam politikası, firma ödemelerinin yoğunluğu, piyasa tarafından tanınma, reklam, v.b. amaçlar ön planda yer alabilir.

- İhaleyi kazanan inşaat firması işi gerçekleştirmekle yükümlü ve sorumlu bir yöneticiyi şantiyede işin başında bulunmak üzere görevlendirir. Bu inşaat yöneticisinin yapım öncesi gerçekleştirmek zorunda olduğu başlıca işler sırasıyla şunlardır:
    - ❖ Saha araştırması yapmak,
    - ❖ İşin gerçekleştirilmesiyle ilgili bir senaryoyu ortaya koymak ve buna uygun olarak şantiye mobilizasyonunu sağlamak.
    - ❖ Şantiyenin bir işletme olarak organizasyonu ve resmi makamlar karşısındaki pozisyonunun belirlenmesi.

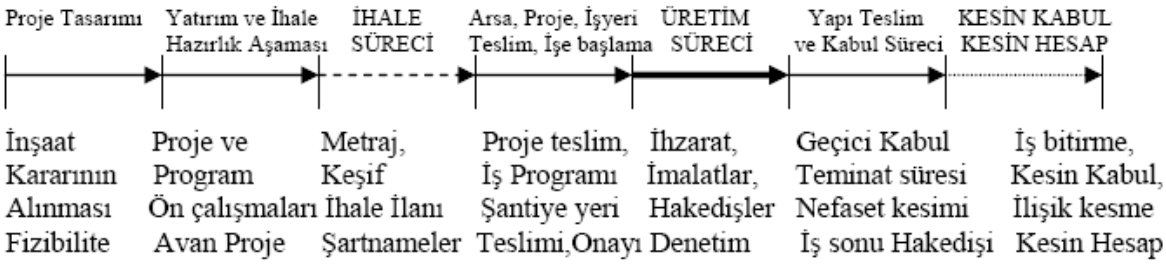
Bu işlevlerin kalitesi, yapım sırasında karşılaşılacak pek çok problemi baştan çözebilir ya da artırabilir. Eldeki mevcut işe uygun olarak istihdam edilecek teknik personel bulunur. Genellikle üst düzey ve yönetici konumundaki elemanlar firmanın sürekli çalışanı (işveren vekili), alt düzeydeki ve yönetilen elemanlar ise proje düzeyinde kendileriyle geçici sözleşme (akit) yapılan kimselerdir (işçi). Projede görev alacak elemanların firma bünyesinden ya da dışından bir araya getirilmesi de ayrı birer prosedürü gerektirir.

Çizilen gerçekleştirim senaryosuna uygun olarak bilgi sistematikleri kurulur ya da var olan sistematikler eldeki özel konu için uyumlandırılır. Böylece planlama, hakediş, depo takibi, v.b. düzenler kurulmuş olur.

Bir sonraki aşamada gerek duyulan malzeme, makine ve/veya işgücü miktarı ile ekipman için tedarikçiler belirlenir; tedarikçilerce temin edilenler partiler halinde şantiyeye getirilerek depolanır; daha sonra programa bağlı olarak üretime başlanır. Genel olarak firma personeli tarafından işin organizasyonu ve denetimi; alt yükleniciler tarafından da fiili üretim gerçekleştirilir. Mal sahibi ya da idare adına görev yapan kontrol örgütü üretimin proje ve şartnamelere uygun yürüyüp yürümediğini kontrol eder. Belirli periyotlarla yapılan üretim miktarlan olciilerek parasal karsiliklan isverenden talep edilir. Genel olarak işin hakedişi iki türlü düzenlenir:

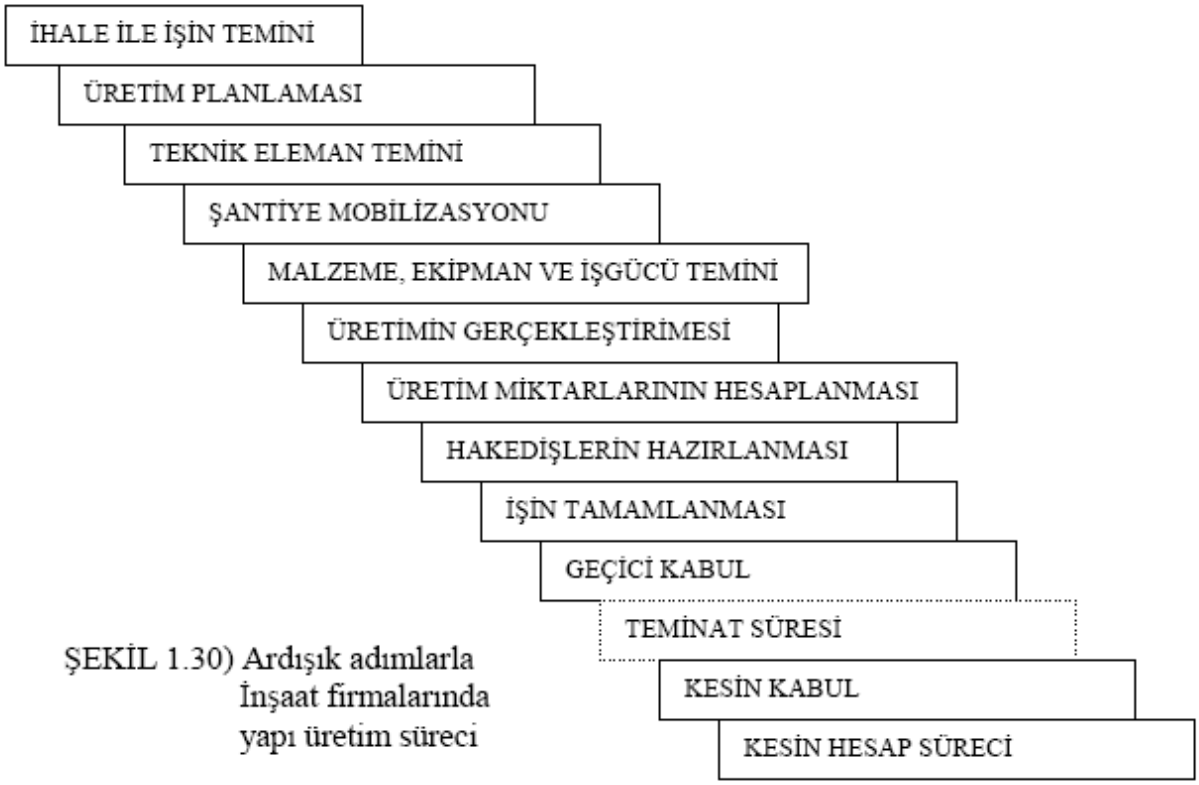
- ➢ Yapimci firma, kendi tedarikçilerine (malzeme ve işgücü alt yüklenicilerine) yaptıkları hizmet karşılığında bir hakediş öder

- ➢ Benzer şekilde, şantiye sahasında yapılmış olan tüm imalatların ve getirilen malzemenin (ihzarat) karşılığı, sözleşmede belirtilen koşullar çerçevesinde mal sahibinden hakediş düzenlenerek istenir; alınır.
- ➢ Hakedis, düzenlenmesi sırasında miktarlar ve sözleşmeye uygunluk açılarından kontrol edilir; edilmelidir. Yapımcı firma ya da asıl yüklenici, kendi alt yüklenicilerine ödeyeceği alt hakedişleri kontrol ederken mal sahibi adına çalışan kontrol gurubu da mal sahibinin ödeyeceği hakedişleri kontrol eder.
- ➢ Şantiyedeki üretimin tamamlanmasına yakın geçici kabul işlemi yapılacaktır. Bu sırada kontrol gurubu yapıda gördüğü ya da belirlediği eksiklikleri, hataları tespit edip inşaat firmasına bildirir. Söz konusu eksiklikler tamamlandıktan ve yapı bir süre kullanımda denendikten sonra sözleşmede belirtilen koşullar çerçevesinde kesin kabul yapılarak sözleşme sona erdirilir.



ŞEKİL 1.29) Yapı üretim, yürütme, denetim ve teslim süreci

Bir inşaat Firmasının Yapı Üretim Süreci, (ardışık adımlarla):



ŞEKİL 1.30) Ardışık adımlarla İnşaat firmalarında yapı üretim süreci

1.4. Kesin Proje :

Bu aşamada, uygulayıcıların gerek duyacağı, bütün boyutları ve yapı malzemesiyle yöntemleri kapsayan ayrıntılı çizimler hazırlanır. Bir bina inşaatında çizimler 1/50 ölçekli olmalıdır. Detay projeler ise 1/10, 1/15 ölçeklerle çizilir. Bir sulama projesinde kanalların boykesiti yatay 1/5000, düşey 1/2000 ölçekle çizilir. Çizimler olabildiğince sade, herkesçe kolayca anlaşılabilecek şekilde ve uygulanabilir, kesin metrajlı projelerin kolayca yapılabilmesine olanak verebilecek biçimde hazırlanmalıdır. Bu sebeple projede ölçülendirme ve kotlar ayrıca başka bir çalışmadan yararlanma ya da ek çalışmalar yapmayı gerektirmeyecek kadar açık ve kesin olmalıdır. Kesin proje çizimleri, yapıda kullanılacak malzemenin cinsi ve kalitesi yönünden de yeterli bilgileri kapsamalıdır.

1.4.1. İyi Bir Projenin Çizim Koşulları:

İyi bir kesin proje, yapım sırasında gereken bilgileri yanlışlık ve eksikliğe meydan vermeden uygulayıcıya veren projedir. Kesin proje detayları net bir biçimde çizilmeli, malzemenin montaj sırasını göstermelidir.

1.4.2. Teknik Şartname ve Yönetmelikler:

Projenin uygulanması sırasında yapı ünitelerinin ve malzemelerin bütün teknik özellikleri, çizim yapan mühendis ya da mimarlar tarafından şartnamelerde belirtilmelidir. Bir şartname, yapının tüm unsurlarını kapsamalıdır. Birçok kuruluş, kendi konularına giren yapı tipleri için önceden hazırlayıp düzenledikleri basılmış bir "Teknik Şartname" yi ihale edilen her projeye (proje ihale dosyasına) eklemektedirler. Örneğin, Yapı İşler Teknik Şartnamesi, Köprüler Teknik Şartnamesi v.b. Çok dar konu sınırlamalarıyla hazırlanması ve gerektiğinde konusu sınırlı olan bu şartnamelerin gözden geçirilmesi iyi bir yoldur. Şartnamelerde, ilgili yapı tiplerinde kullanılacak malzemenin teknik özellikleri, test sonuçları, yapı ve montaj koşulları bulunur.
Şartname, anlam olarak işi yaptıran tarafın (kuruluş ya da daire) düzenlediği, yapım, satın alma, satma, kiralama gibi işleri gerçekleştirmek için yazıp, basıp, uyguladığı; yapan veya yaptıran her iki tarafın da uymayı üstlendiği maddelerin sıralı olduğu belge demektir.
Proje uygulaması sırasında ayrıca bazı yönetmeliklerden de yararlanılır. Yönetmelikler de genel olarak bir kuruluşun çalışmalarda uymak üzere ortaya çıkardığı ve uyulacak ilkeleri kapsayan basılı yayınlar, talimatnamelerdir. Yapı işlerinde uygulanan bazı şartname ve yönetmelikler şunlardır:

a) Bayındırlık İşler Genel Şartnamesi (B.İ.G.Ş.)
b) Genel Teknik Şartname (G.T.Ş.)
c) Kurumların Özel Teknik Şartnameler
d) Bayındırlık İşler Kontrol Yönetmeliği (B.İ.K.Y.)
e) İmar Yonetmeligi (t-Y.),
f) Muayene ve Kabul Yönetmeliği (M.K.Y.)
g) Diğer özel her türlü katılma ve uygulama yönetmelikleri
h) Yapı İşlerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğü

Yapı Yönetiminin son konulan icerisinde bu dokümanlara biraz daha ayrıntılı olarak değinilecektir.
Yukarıdaki son maddede belirtilen doküman bir tüzüktür. Şartname ve yönetmeliklerden ayrı olarak tüzükler, herhangi bir kurum ya da kuruluşun çalışmalarını ve yönetimini düzenleyen, ilgili hükümleri ancak o kuruluşun genel kurulunca değiştirilebilen maddeleri kapsayan basılı yayınlardır. Eski deyimiyle bunlar nizamnamelerdir.
Kesin projenin yapılması ve özellikle uygulanması aşamasında, yukarıda kısaca özetlenen bu dokümanların ya da basılı yayının içeriğine uygun hareket etmek, uymak esastır.

1.4.3. Metraj ve Çeşitleri:

Kesin projenin hazırlanmasından sonra, ihale keşfine esas teşkil edecek olan, yapı birimlerinin miktarlarının hesabı işlemine geçilir. Metraj çıkartılması denilen bu işlemde projenin planları, kesit ve görünüşleriyle her türlü kroki ve ölçümlerinden yararlanılır. Tüm kazı ve beton elemanları m^3, sıva, boya ve kalıp gibi elemanlar m^2, çelik konstrüksiyon, inşaat demirleri, madeni aksam kg. ya da ton gibi birimlerle ölçülendirilir ve hesaplanır.
Şu gereksinimler için metraj hazırlanabilir:

1. 1 .keşif ya da ihale keşfi için
2. 2.keşif ya da kesin hesap keşfi için

3. Hakediş düzenlenmesi için
4. Fiyat analizi, ataşman ve yeşil defter için

1.4.4. Rayiç, Analiz, Birim Fiyat:

Yapı birimlerinin hacim, alan, ağırlık ya da uzunluk esasına göre ölçülen ve hesaplanan bu metrajları ya da miktarları parasal olarak ifade edilmelidir. Bu fiyatlandırmayı yapabilmek için de baz olarak alabileceğimiz, çelişkisiz ve yasal yönden rahat olarak kullanabileceğimiz bazı dokümanlara gerek vardır:

a) Rayiç (ya da Rayiç Fiyat): Birim maliyet analizi hesabında kullanılan işçilik, makine, malzeme, araç ve gerecin yurt düzeyinde ortalama ve yaklaşık ücret listesidir. Rayiçteki değerler içinde yüklenici kan bulunmayan yalın değerlerdir. Rayiç listelerinde genel olarak işçilik, taşıt, inşaat, makine ve araç, inşaat gereç rayiç fiyatları bulunur.
b) Fiyat Analizi: Birim üretim maliyetleri içerisine giren işçilik, makine, taşıt miktar ve tutarlarını tespit eden bir yayındır. Her takvim yılı başında o yılın rayiçlerine bağlı olarak ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yüksek Fen Kurulunca düzenlenerek yayınlanır. Genel Fiyat Analizi adı altında yayınlanan bu dokümanda yer alan ve "Poz" adı verilen her üretim ya da imalat için kimi zaman "Yardımcı Analiz" lerden de yararlanılır.
c) Birim Fiyat: Her inşaat birimi ya da üretimi için ilgili yapımın birim miktan icin uygulanacak o yıla ait fiyatlar, rayiç listeleri ve Fiyat Analizlerinden alınan değerlere yüklenici kârları katılarak oluşturulur.

İlgili birim fiyatları tanımlayan dokümanlar:

- Birim Fiyat Tarifleri ya da Seridöpri Tarifleri (Birimi fiyat listesinde gösterilen her imalatın
  malzeme fiyatları, yapım tarzı, sırası, uygulama koşulları ve kapsamıyla, birim fiyat ödemesine nelerin girip girmediği, imalatların ölçü tarzları yer alır.)
- Birim Fiyat Tarifleri Eki Fiyat Listesi ya da Seridöpri (Her takvim yılı başında Birim Fiyat Tarifleri esasına göre rayiç ve analizlerden tespit edilen imalat fiyatlarını içeren listedir. Bayındırlık Yüksek Fen Kurulunca bastırılır, dağıtılır.)

1.4.5. Keşif Çıkartılması ve Yapı Maliyeti:

Her yapı ünitesi ya da imalatı için daha önce çıkartılan metraj değerleriyle son birim fiyatlar çarpılarak ve bunlar (kümülatif olarak) toplanarak ilgili yapının maliyeti hesaplanır. Bu maliyet bedeline "Keşif Bedeli" denir. Eğer birim fiyat cetvellerinde fiyatı olmayan imalatlar söz konusu olursa, o kuruluş için "Özel Birim Fiyat" lar çıkartılır ya da.... yılı Birim fiyat cetvellerinden yararlanılır.

AYLARA GÖRE İMALAT PROGRAMLARININ HAZIRLANMASI

İnşaatın tanımlanması, projelerin çizimi, hesaplar, metrajlar incelenerek inşaatın önemli iş kalemlerinin özellik ve miktarları, her ünitenin nasıl yapılacağı ve çalışma programının ne olacağı belirtilir. Bu amaçla proje raporlarından önemli iş kalemlerinin miktarları bu tabloya geçirilir. Bu miktarların iş programına göre her ay ne kadarının tamamlanacağı gösterilir.

TABLO 1.6) Yapı işlerinde aylık imalat programı örneği (pursantaj usulüyle)

			2003 YILI ÇALIŞILAN AYLARI							
İŞİN CİNSİ	*BİRİM*	*MİKTAR*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
TOPRAK KAZISI	M^3	25000	%40	%60						
KAYA KAZISI	M^3	12000	%30	%70						
KAZI NAKLİ	ton	70	%35	%65						
KALIP	M^2	8000		%20	%35	%45				
BETON	M^3	2500			%20	%40	%40			
BETONARME	M^3	3200				%10	%20	%20	%25	%25

Bu çalışmalara paralel olarak inşaat için gerekli olan ve temin edilmesi için önceden yeri ve miktarı belirlenen:

a. Malzeme kaynakları, ocakları, dekapaj, çimento, demir, agrega, akaryakıt, patlayıcı maddeler
b. Enerji ve suyun temini, elektrik enerjisi
c. Şantiyeye ulaşım ve haberleşme, servis yolları, P.T.T., kara ve demiryolu ulaştırma hizmetleri

araştırılır.

2. YAPI YÖNETİMİ:

2.1. İŞ YÖNETİMİ PRENSİPLERİ:

Yönetici, başkalarının aracılığıyla iş gören, oluşturulan işten en olumlu sonucu alabilmek için işin yapılmasını planlayan, denetleyen, teşkilatlandıran, teşvik, koordine ve kontrol eden, eğiten kişidir. Yaptığı tüm bu işlem ve çalışmalara da iş yönetimi denir.

2.1.1. Yöneticinin Genel Görevleri:

2.1.1.1. Bütçe düzenleme ve planlama:

Yönetici, işin öngörülen sürede tamamlanması için gerekli olan bütün çalışmaları tespit eder. Bu çalışmaların toplam süresini, kaynaklarını ortaya koyar. Bu amaçla, iş planlamasıyla mali kaynaklar arasında bir nakit bütçesi (= cash budget), iş planı ile planların günlük uygulamaları arasında da bir tahakkuk bütçesi (= cash receipts journal, = cash disbursements journal) hazırlar.

*. Düzenlediği bütçede iş politikasının gerektirdiği hedeflere varabilmek için çalışmalar yapar.
*. Gerekli kaynakları tahmin eder (= estimating)
*. Çalışmalar için gereken personel, malzeme, makine ve sermayeyi tahmin eder
*. Net nakit karını tespit eder (= cash profit),

Hazırlanan uygulama program ve bütçesi üst makam onayından geçirilir ve onaydan sonra ilgili personele iletilir. Bundan sonra mevcut uygulama, bütçe planlama ve iş programlarıyla karşılaştırılır, uygun değişiklikler yapılır.

2.1.1.2. Örgütlendirme:

Temel örgüt prensipleri:

1. Örgütteki her görev belirli bir kişi veya büroya verilmelidir
2. Kişilere veya bürolara verilen sorumluluk kesin olarak sınırlanmalı ve anlaşılması sağlanmalıdır
3. Yöntemler örgütün her kademesinde aynen uygulanmalıdır
4. Örgütte görevli herhangi bir üye kime bağlı olduğunu ve kimin kendisine bağlı olduğunu bilmelidir
5. Örgütteki her görevli bir denetçiye bağlanmalıdır (bir kişinin direkt olarak iki amirinin bulunması hiçbir zaman düşünülemez)
6. Bir denetçiye doğrudan bağlı personel veya büroların sayısı verimli bir şekilde idare edilebilecek bir sayıdan fazla olmamalıdır
7. Çalışmalardan sorumlu olan kişi veya bürolara mümkün olduğunca geniş iş yetkisi ve sorumluluğu verilmelidir. Ancak bu yetki ve sorumluluk, müessesenin politikasının gerektirdiği kontrol ve iş yöntemlerine engel olmamalıdır
8. Üst düzeylerdeki amirler, bütün astlarının günlük işlerini incelemekten çok tüm müesseseyi ilgilendiren genel problemlerle uğraşmalıdırlar
9. Örgütlendirmede işin başarısına engel olacak biçimde, çok geniş bir örgütlemeye kesinlikle gidilmemelidir

İŞ YÖNTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu yöntemler eldeki personel, makine-ekipman ve malzemeyi en iyi şekilde kullanarak ve en az giderle, en kısa zamanda en az çabayla daha çok sayıda ve en üstün kalitede mal-hizmet üretimini sağlayacak pratik bir plan oluşturur. Bu amaçla yapılacak işler şunlardır:
1.) İşler elemanlara ayrılır. Bir işi oluşturan bütün elemanların bir listesi çıkarılır
2.) Her elemana ya da iş için şu sorular ayrı ayrı sorulmalıdır:

- Niçin gereklidir ?
- Ne amaçla yapılır ?
- Nerede yapılmalıdır ?
- Ne zaman yapılmalıdır ?
- Kim en iyi yapar ?
- Nasıl yapılması uygundur ?

3.) Yeni yöntem geliştirirken de;

a. Gereksiz işleri çıkarın
b. Gerekli işlemleri birleştirin
c. İş sırasını yeniden düzenleyin
d. Bütün işlemleri basitleştirin. İş daha çok kolaylaştırılır, kontrol yöntemleri sadeleştirilir. Malzeme, makine ve teçhizat iş sahasına en uygun yere yerleştirilir. İşte çalışan personelin iki eli de faydalı şekilde kullanılmaya çalışılır.
e. Bulduğunuz yeni yöntemi maddeler halinde yazın

2.1.1.3. Koordinasyon ve Kontrol:

Koordinasyon, bir kuruluşun işlemesini kolaylaştıracak şekilde bütün çalışmaların uyumlandırılmasıdır. Diğer bir deyimle her çalışan bölümün parasal ve sosyal bünyesine kendisinden beklenen iş emin ve az giderle yapabilecek en uygun ölçüler verebilmektir. Koordinasyonun bulunduğu bir kurumda her şube ya da bölüm, diğer şubelerle beraber işi yürütür. Her kısım, hem kendisinin yapacağı hem de diğer kısımların yapacağı işlerdeki payının ne olacağını bilir. Çeşitli servislerin hazırladıklar iş programları, kurumun ana hedefine uygun olur.
Kontrol ise, her işin yapılan programa, verilen emirlere, kabul edilen prensiplere uygun olarak yürütülüp yürütülmediğini yoklamak demektir. Amaç, yapılan hataları, yanlışlıkları ortaya çıkarıp onlan diizeltmek ve bir kez daha tekrarlanmalarına olanak vermemektir. Kontrolün etkili olabilmesi için uygun zamanda yapılması ve ceza uygulaması bulunması gerekir. İdari, ticari, teknik, mali ve emniyet konularında kontrol gereklidir.

2.1.1.4. Personel Eğitimi:

Bir yönetici, personel eğitimiyle ilgili olarak şunları yapmalıdır:

a. Ünitede çalışacak personelin seçimi için gerekli yetenekleri belirlemek
b. Ünite içinde disiplin kurmak, personeli çalışmalarından sorumlu tutmak, personeli tayin etmek, gerekirse işten çıkarmak, terfi gibi işlemlerin zamanında yapılmasını sağlamak
c. Çalışmaların daha iyi yürütülmesini sağlamak için zaman zaman personelden teklifler istemek ve bu teklifleri olumlu bir tutumla karşılamak
d. Personelin işten memnuniyetini arttıracak, moralini yükseltecek ve onlan ise bağlayacak önlemler almak
e. Anlaşmazlıkların zamanında ve adil bir şekilde çözümlenmesini sağlamak
f. Personelin davranış, bilgi ve deneyimini geliştirici önlemler alınmasını sağlamak
g. Personele kurum politikası ve planı hakkında bilgi vermek, kendi sorumluluklarının neler olduğunu açıklamak

h. Sık sık personelle fikir alışverişinde bulunmak
i. Ünitede çalışanların hepsine haklı ve eşit işlemler yapmak ve onlan calismaya teşvik etmek
j. Personelden herhangi birinin yokluğunda işlerin aksamaması için her duruma ait görevin bir başkasına öğretilmesini sağlamak.

2.2. ŞANTİYE KURULMASI:

2.2.1. Şantiye Kurulmasının Nedenleri: Bir yapıyı en düşük maliyetle ve ekonomik olarak oluşturmak üzere o yapıya ait makine, malzeme ve insan gücü arasında optimum bir denge sağlamanın gerekli olması, şantiye kurulmasının başlıca nedenidir. İyi bir şantiye tesisi, başarılı bir yapım hizmetinin esası ve mühendisin başlıca görevlerinden birini oluşturur.

2.2.2. Şantiyeye Gitmeden Önce Yapılacak İşler:

a. Proje, sözleşme, şartname ve diğer belgelerin alınması: Şantiye ve kontrolluğunuz altındaki işe at tüm projelerin (boykesit, enkesit, plan, sanat yapıları projeleri, planlama, Biruckner Epürü v.b.) sözleşme ve ekleri, şartnameleri (B.İ.G.Ş., Y.İ.G.Ş., B.İ.K.Y., İ.Y., M.K.Y. ve diğerleri), basılı yayını (emanet inşaatlarda, 1.nci keşif özet, emanet inşaat komisyon kararı, fiyat analizleri, birim fiyatlar v.b.) almak.
b. Şantiye personelinin tespiti ve bunlara ait listelerin alınması: Şantiyeniz veya kontrol işinizle ilgili personelin isimlerini, görevlerini ve gündeliklerini bir liste halinde hazırlayınız.
c. Şantiyeye gerekli tüm alet, ekipman ve malzemenin hazırlatılması ve gönderilmesi: Şantiyenizle ilgili olarak size ayrılmış makineler, malzemeyi (çimento, demir, kereste v.s.) ve diğer donatıyı (nivo, takeometre, yatak, yemek takımı v.s.), akaryakıt miktarlarını öğreniniz. Ayrıca kendiniz şantiye için gerekli malzeme, makine, akaryakıt v.s.yi hesap edip size ayrılan miktarla hesapladığınız arasındaki farkı bulun ve durumu üst organlara iletin.
d. Şantiyede kullanılacak basılı kağıt, kırtasiye ve formların sağlanması: Bu konuda gerekl olanlar;
   - Kontrol işlerinde: Rölöve defteri, yeşil defter, ataşman defteri, hakediş raporu, yeni fiyat tutanağı, geçici kabul tutanakları, kayıt defteri, kesin metraj cetveli, kesin hesap cetveli, bol miktarda dosya ve klasör
   - Emanet işlerde veya yüklenimlerde: İşçi puantaj kartı, işçi karnesi, işçi çizelgesi, işçi bordrosu, makine puantaj kartı, kayıt defteri, enkesit defteri, rölöve, ataşman ve yeşil defterler, ambar kartı, makine kontrol kartı, aylık ilerleme raporu, çizim gereçleri, (gönyeler, pergel, T cetvel, dubl-desimetre), kübaj cetveli, not defteri, nüfus kaydı örneği, yeterince kağıt, kalem, mürekkep, dosya ve klasörler.
e. Şantiye için gerekli demirbaş malzemenin temin edilmesi ve gönderilmesi: Şantiyeye gerektiği kadar masa, dolap, ranza, karyola, çadır, v.s. nin merkez ambarlarından veya piyasadan temin edilmesi gereklidir.

2.2.3. Şantiyeye Gittikten Sonra Yapılacak İşler:

a. **İşyerinin gezilmesi**: İşyeri baştan aşağı gezilerek arazi tanınır, işin büyüklüğü hakkında fikir elde edilir. Çevredeki su kaynakları, yollar, telefon, telgraf hatları, köyler, kasabalar not edilir.
b. **Şantiye yerinin seçimi**:
   - Şantiye yeri, olabildiğince inşaat yerine yakın olmalıdır
   - Şantiye, inşaat yerinin ortalarına düşmelidir
   - Şantiye yerinde içme suyu ve temizlik içini bol miktarda temiz su bulunmalıdır
   - Şantiye yeri, telefon veya telgraf hat veya merkezlerine yakın olmalıdır
   - Şantiye, olabildiğince mevcut bir yola yakın kurulmalıdır
   - Şantiye, çalışanlara şehirden uzakta yaşamanın verdiğ iüzüntüyü unutturabilecek,

manzara yönünden güzel bir yere kurulmalıdır

c. **İşle ilgili malzeme, kazık v.s.nin kontrolü**: İşyerine gittiğimizde, eğer aplikasyon uzun süre önce yapılmışsa birçok aplikasyon kazığının kaybolduğu ya da yerinin değiştiği gözlenir. İlk iş, kaybolan kazıkların eski yerlerini tekrar bularak, ölçüp belirleyerek yerlerine çakmaktır. Örneğin, bir karayolu işinde öncelikle yol eksen kazıkları, sonra some kazığı, tanjant-orijin, tanjant-final ve röper kazıkları, sigorta ve çivili kazıklardan yararlanılarak çakılır. Bu yapılırken iki kazık ara uzaklığı düzlükte (alinyimanda) 25 m.'yi, yatay kurbada 20, düşey kurbada ise 10 m.'yi geçmemelidir.
    - Yol ekseni belirlendikten sonra yol boyunca nivelman (kot tespiti) yapılır. Bu şekilde boykesit ve röperler kontrol edilmiş olur. Röperler, birbirine 500 m.den daha uzak olmamalıdır.
    - Yeni röper yapıldığında, bunlara paralel daima kontrol nivelmanı da yapılmalıdır.
    - Nivelman ve kotlamalar son olarak sigortalanır. Bundan önceki röper ve eksen röperlerinden yararlanılır. Yol ekseni sigortalanırken tg-orijin, tg-final noktaları, düzlükte en az km'de bir birbirlerini gören çivili kazıklar yapılır. Yarmadan dolguya geçiş noktalarında da sigortalama yapmak gerekir. Sigortalar yol ekseninden en az 25 m. uzağa ve çalışma sahası dışına yapılmalıdır.
d. **Şantiye sahasının düzeltilmesi ve servis yollarının yapımı**: Şantiye yerine karar verildikten sonra her şeyden önce işe ait makine v.s.nin geçeceği servis yollarını bir greyderle düzelttirip şantiye yerine bağlamak gerekir.
e. **Şantiye planının yapılması**: Şantiyeyi bir plana göre kurmak gerekir. Tesviyeli bir plan üzerinde işçi yatakhaneleri, yemekhaneler, büro ve ambar yerleri, kum-çakıl depoları, servis yolları, makine park yerleri v.s. ölçekli olarak işaretlenir.
f. **Şantiye binalarına at planın yapılması**: Şantiye kuruluş planı hazırlandıktan sonra burada düşünülen şantye, idare binası, kantin, yemekhane, yatakhane, büro, revir, ambar, demirhane, marangozhane, misafirhane gibi binalara ait projeler hazırlanır. Bunların hazırlanmasında yöresel malzemelerden yararlanılması ve sökülüp takılması, tekrar kullanılması mümkün olan standart yapı elemanları kullanılması gibi iki önemli konu üzerinde durulmalıdır.
g. **Şantiye binalarının yapımı**: Şantiyeye makine, malzeme, donatı ve işçiyi göndermeden önce şantiye binaları ve diğer tesisler büyük ölçüde yapılır.
h. **Malzeme ocaklarının incelenmesi ve gerekli kamulaştırma, yapı için ayırma ve işletme ruhsatı alma işlemlerinin yapılması:** Şantiye kurulurken gerekli kum, çakıl, taş ocakları, su kaynaklar belirlenir; laboratuvar deneyleri, etütler sonunda şartname ve teknik bilgiye uygun çıkan malzemelere ait ocakların mülkiyeti araştırılır. Bu duruma göre kamulaştırma ve işletme ruhsatı almak için üst organlara, yöresel ya da yerel resmi yönetime başvurulur.
i. Kamulaştırma işleminin uygulanma olasılığının araştırılması, yapılacak işlerin tespiti, mal sahiplerine gerekli bildirimin (tebligatın) yapılması:
j. **Eldeki projelerin araziye uygunluk derecesinin belirlenmesi ve gerekli değişiklik önerilerinin hazırlanması**: Şantiye mühendis ya da mimarı olarak size verilen projelerin araziye uyup uymadıklarını, daha iyi ve ekonomik uygulama olanağının bulunup bulunmadığını incelemek görevinizdir.
k. **İşyerindeki yöresel koşulların incelenmesi ve gerekli önlemlerin alınması**: Başlıca parasal koşular, iklim durumu yağışlar, geçici işçi temini, yöreden sağlanacak yiyecek, içecek temini koşullar ve miktarları. Bunların yarn sira şantiyenin güvenliği konusunda etüt edilmesi gerektiğinde en yakın hükümet yöneticisiyle bağlantı sağlanması gerekir.
l. Diğer yönetimlerle ilgili bazı işlerin çözümlenmesi şantiye sahası içinde çalışmalara engel olabilecek bazı tesisler, elektrik, telefon direkleri, yeraltı kabloları, su boruları, kanallar,

tarihi eserler, askeri yasak bölge v.s. bulunabilir. Böyle durumlarda ilgili yönetimle hemen ilişki kurularak bu konuların çözüme kavuşturulmasına çalışılır.

2.2.4. Şantiye Kurulmasında Dikkat Edilecek Hususlar:

Depo yerleri, yapının büyüklük ve biçimine, depo yerinin durumuna, eğimine, şantiyede kullanılacak makine ve gereçlere bağlıdır. Depoların yapımı için başlıca prensipler şunlardır:

1. Düzeltme ve temizleme: Kazıdan çıkan toprak yapı yerinin düzeltilmesi ve rampaların yapılmasında kullanılır; fazlası işyerinden uzaklaştırılır
2. Kum depoları: Harç yapılan yere yakın ve yanına ulaşılması kolay yerde olmalıdır.
3. Çakıl depoları: Bunlar, betoniyerin yakınında yere veya bir huni içerisine depo edilmelidir
4. Yağlı kireç çukuru: Harç yapılan yerin yanına yapılır
5. Taş ve tuğla depoları: Elevatör kulesi varsa bunun yanında, eğik yapı iskelesi kullanılacaksa bu iskeleye en yakın yerde yapılır
6. Çimento: Betoniyer yakınında bir barakaya veya çadıra depo edilir
7. İskele, kemer ve kalıp şablonları: Bunlar kereste biçme yerine ve marangozhaneye yakın bir yere depo edilir
8. Çivi, bulon, etriye: Bunlar aynı ambarlarda barındırılırsa demir malzeme için ayrı, cam, çini, fayans gibi malzeme için ayrı ve boyalar için ayn boliimii olan bir ambar kullanılır
9. Betonarme demirler: Demir bükme tezgahına yakın bir yere depolanır
10. Doğramalar: Doğrama bina içinde yapılmış veya hazır alınmışsa bina içinde bir yere, şantiyede yapılacaksa kereste deposuna yakın bir yerde üretilir ve yine bina içinde depolanır
11. Sıcak demir işleri: Kerestelerden, doğramalardan, patlayıcı madde deposundan uzak bir yerde yapılmalıdır. Soğuk demircilik işleri ise ekonomi sartlan gozetilerek uygun bir yerde yapılır
12. Park: Makineler ve büyük araçlar için park yapılır. Ufak araçlar ve aletler ambarlarda saklanabilir

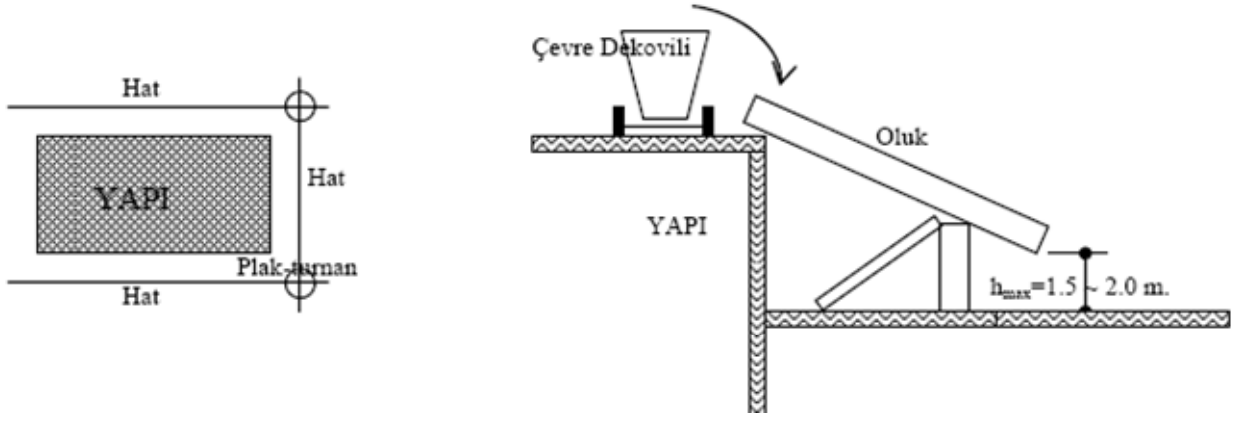
2.3.25. Taze Betonun Taşınması ve Kalıplanması İşletmeleri:

2.3.25.1. Dövme veyumuşak beton (plastik kıvamlı beton):

(1) JAPON ARABASIYLA BETON DÖKME: Arabanın hacmi 100-300 lt.dir. Şantiye içinde kolaylıkla

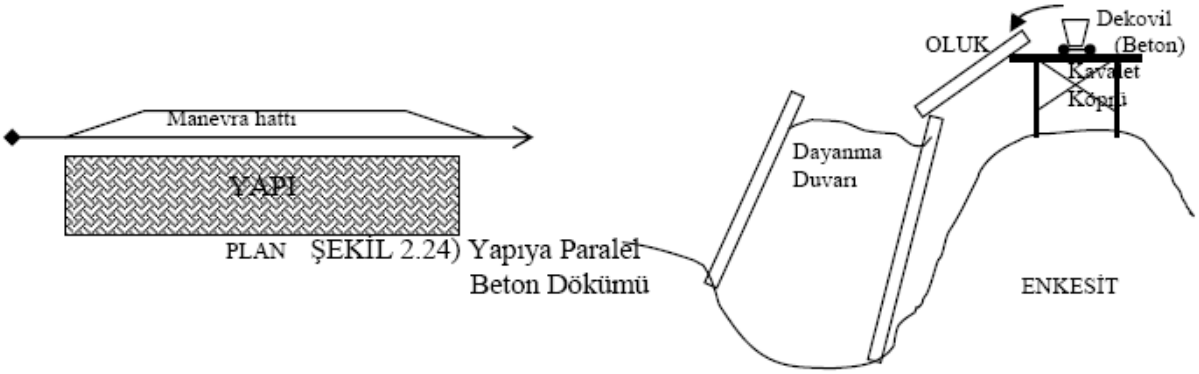
sürebilmek için kalastan yapılmış bir yol oluşturulur. Yolun eni yaklaşık olarak 1 m. olur. Ayrıca yapının etrafını bir geçiş yoluyla çevrelemek kolaylık sağlar.

(2) ÇEVRE DEKOVİLİYLE BETON DÖKME:Yapının etrafına dekovil hattı döşenir. Köşelere plakturnan konulur. Betonu temellere kaydırmak için uygun yerlerde düşüm olukları tertiplenir. Betonun serbest düşme yüksekliği en fazla 1.5-2.0 m. olmalıdır. Düşüm oluğunun yatayla yaptığı açı yaklaşık olarak 30 ° civarındadır (Şekil 2.23).



ŞEKİL 2.23) Çevre dekoviliyle beton dökme

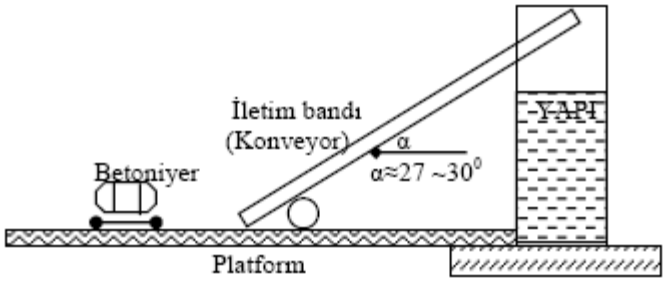
(3) YAPIYA PARALEL DEKOVİLLE BETON DÖKME: Dayanma duvarı gibi uzun bir yapı gözönüne alınırsa bu yapıya paralel ve kronman (tepe) kotundan bir dekovil hattı geçirmek gerekir. Dekovil hattı kavalet bir köprünün üzerinde bulunur (Şekil 2.24).



ŞEKİL 2.24) Yapıya Paralel Beton Dökümü

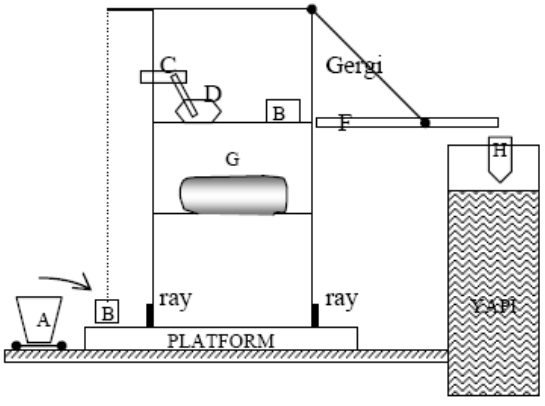
(4) **KAVALET KÖPRÜ ÜZERİNDEN BETON TAŞINMASI VE BORUYLA DÖKÜM:** Yapı kronman kotu çok yüksekte olursa yüksek bir kavalet köprü üzerinde gelen beton yapıya oluklar yardımıyla değil düşüm borularıyla dökülür. Prensip öncekinin aynısıdır.

(5) **İLETİM BANDIYLA BETON DÖKME**: Betonyerin yüksek bir yerde kurulamaması halinde, hazırlanan beton, iletim bantlarıyla yüksek bir yapıya gönderilir. İletim bandının kurulabileceği en büyük eğim, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi amax = 27° dir (Şekil 2.25).



ŞEKİL 2.25) İletim bandıyla beton dökümü

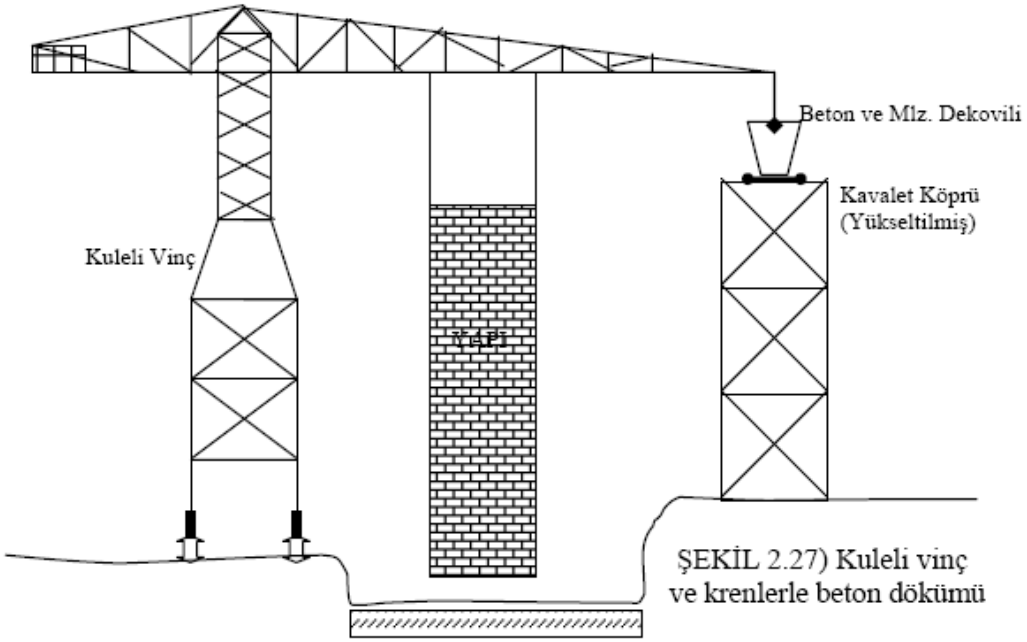
(6) **DEVİNGEN BETONAJ KULESİYLE YAPIYA PARALEL BETON DÖKME**: Yapının yüksek ve arazinin düz olması durumunda yapıya paralel ray döşenerek üzerine betonaj kulesi oturtulur. Betonyerle beton silosu bu kulenin üzerine yerleştirilir. Kulenin üst dikmelerine iki gergi yardımıyla iletim bandı takılır ve yapının üzerine uzatılır. Agrega ve çimento dekoville gelir, kulenin elevatör kovasına dökülür. Elevatörle çıkarılan agrega, agrega silosunda toplanır. Betonyerden çıkan beton, beton silosunda toplanır ve oradan iletim bandı yardımıyla döküm borusunun hunisine gider, boru aracılığıyla betonlanan kota erişir (Şekil 2.26).



A :Dekovil
B :Elevatör ve kovası
C :Agrega silosu
D :Betonyer
E :Beton silosu
F :İletim bandı
G :Safra
H:Huni

ŞEKİL 2.26) Devingen betonaj kulesiyle beton dökümü

(7) **KULELİ VİNÇLER VE KÖPRÜLER YARDIMIYLA BETON DÖKME**: Kuleli vinç, kalıpların oturtulmasına, kaplama taşlarının taşınmasına, betonun yerine dökülmesine yarar. Eğer beton bir yamaçta hazırlanıyorsa, kavalet bir köprü üzerine oturan bir dekovil hattı yardımıyla binanın yanına getirilir. Kuleli vinçle betonu taşıyan kova kaldırılır ve bir huni-boru sistemiyle beton yapıya dökülür (Şekil 2.27).



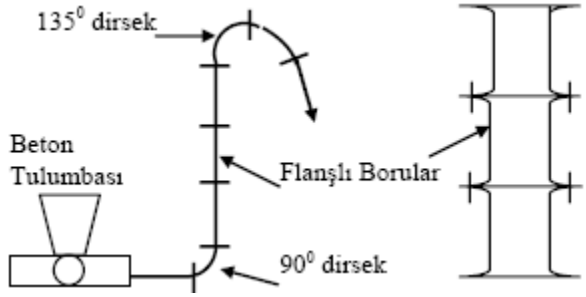
ŞEKİL 2.27) Kuleli vinç ve krenlerle beton dökümü

(8) **BETON POMPAJI**: Borularda betonun ilerlemesine, betonun çelik üzerinde sürtünmesi, dirseklerin akımı önlemesi ve betonun iç sürtünmesi engel olur. Kesintisiz ve iyi bir beton pompajı yapabilmek için betonun yeteri kadar akıcı kıvamda, yani su oranı yüksek olması gerekir. Yalnız bu arada belirli bir su dozajını da geçmemek gerekir. Su oranının yüksek olması segregasyona (=ayrışma) sebep olur. O halde hem uygun su karışımı hem de uygun granülometride ince malzeme için yeterli oranı bulmak gerekir.

Basınçlı havayla çalışan pompaj aletlerinde verilen hava betona karışır ve sıvı dozajını arttırır. Bu tip pompajda genellikle 5 kg/cm2 lik basınç yeterli olmaktadır. Pompajda kullanılan beton karıştırma kabının en az 750 lt. olması, boruların yatayla yapacaklan acilann da 60° yi geçmemesi gerekir. Pratikte 600 m. ye kadar yatay, veya 250-300 m.ye kadar yatay 40-50 m. ye kadar da düşey iletim yapılabilmektedir.

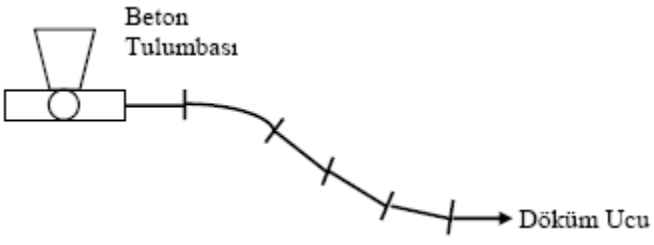
Beton tulumbalarının bulundukları seviyelere göre beton iletimi üç şekilde yapılır (Şekil 2.28 a,b,c):

(8.1.) Dik yukarı iletim:



ŞEKİL 2.28 (a) Beton tulumbalarıyla dik yukarı yönde beton dökümü

(8.2.) Az eğimli aşağı iletim:



ŞEKİL 2.28 (b) Beton tulumbalarıyla az eğimle aşağı yönde beton dökümü

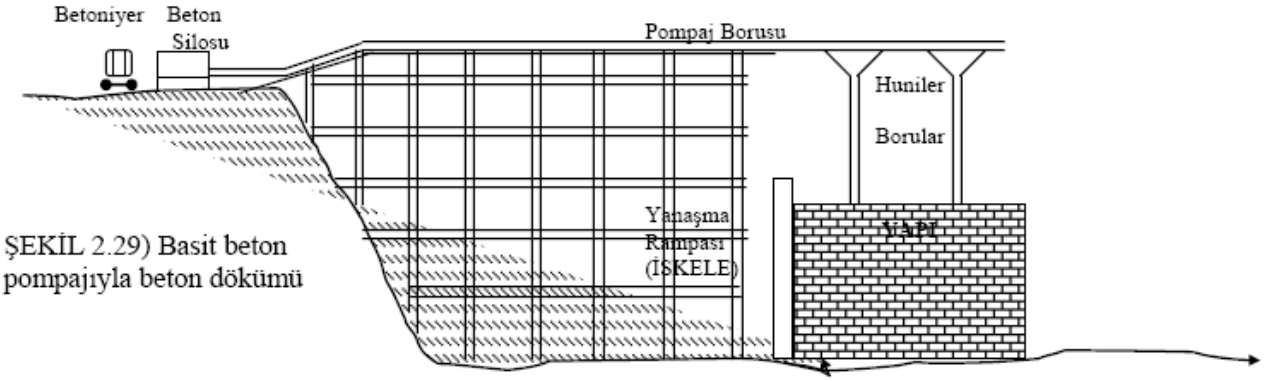
(8.3.) Az eğimli yukarı iletim:



ŞEKİL 2.28 (c) Beton tulumbalarıyla az eğimle yukan yonde beton dökümü

Pompaj yöntemi; tünellerde, galerilerde, diğer taşın yöntemlerinin uygun olmadığı derin temellerde, boyu ve yüksekliği fazla, taşıma iskelesi gerektiren durumlarda, güç araz koşularında, su altındaki beton işlerinde, şantiyede beton taşınının trafiği sıkça kesmesi durumlarında uygun olmaktadır.

(9) **BASİT BETON POMPAJI**: Betoniyer yüksekte bulunur ve yapılan beton siloda toplanır, buradan beton pompaj boruları yardımıyla nakledilir. Yapıya yaklaşılıncaya kadar pompaj boruları zemn üzerindedir, yapıya yanaşması için borular bir rampa üzerine alınır ve beton döküm borularının üzerindeki hunilere oturtulur (Şekil 2.29).



ŞEKİL 2.29) Basit beton pompajıyla beton dökümü

2.3.25.2. Sulu beton:

(1) DURUR AKIM DİREĞİYLE BETON DÖKME: Akım direğinin boyu 60 m.ye kadarsa ve ahşaptan yapılmışsa beton kovasının en fazla 500 lt.lik olması, direk, çelikten yapılmışsa en fazla 750 lt.lik olması gerekir. Bu direklerin çalışma alanlarının yarıçapı 30 m. ye kadardır ve böyle bir düzenleme beton hacminin 2000 m3 den çok olması halinde ekonomik olur. Böyle bir sistem bir nokta etrafında toplanan stadyum gibiyerlerde uygundur. Gene aynı şekilde liman inşaatlarında da kullanılabilir. Yapılan sulu betonu taşıma işinden kurtulmak için orta yere sabit akım direği dikilir ve ucuna dönebilen bir huniyle boru sistemi asılır. Karışmış beton bir asansörle huniye kadar çıkarılır ve dökülür. Beton, huniden borular aracılığıyla yapıya taşınır. Yalnız beton borusunu taşıyabilmek için altına iskeleler gereklidir.

(2) DURUR AKIM KULESİYLE BETON DÖKME: Prensip tamamen bir öncekinin aynıdır. Direk yerine burada bir kule yapılmıştır. Böyle bir sistemin çalışma alanının yarıçapı 45 m.ye kadar olup, 3000 m^3den daha büyük beton dökümünde ekonomiktir. Kule yükseklikleri 80 m.ye, beton kovası hacmi de 1500 lt.ye kadar olabilmektedir.

(3) DURUR KABLOLU KRENLE BETON DÖKME: Viyadük gibi derin vadilerde inşaat işlerinde, yapı üzerine bir kablo gerip, betonu kren'in gode'lerine doldurup bunları bir şaryo'ya asılı olarak hareket ettirerek yapı üzerine gönderip beton dökme işlemlerinden oluşan bir sistemdir.

(4) DEVİNGEN KABLOLU KRENLE BETON DÖKME: Barajlarda olduğu gibi yapı genişliğinin büyük olduğu durumlarda taşıyıcı kablonun sabit olması, betonun istenilen yere

ulaşmasını önler. Bu gibi durumlarda taşıyıcı kablo hareket edebilir şekilde düzenlenir.

2.4.BETONARME YAPILARIN ÖZELLİKLERİ VE BETON ŞOSE ŞANTİYELERİ:

Betonarme yapılarda beton döküm işleri önceki konularda anlatılmıştır. Burada demir, kalıp ve iskele ile ilgili olarak aşağıdaki konular üzerinde durulacaktır.
Şantiyeye gelen tüm demirler çaplarına göre gruplandırılarak ayrılır ve istiflenir. Demir deposunun yanında demir bükme yeri, onun yanında da hazırlanmış etriyelerle bağlanmış ve üstleri etiketlenmiş hazır demir donatı bekleme yeri bulunur. Küçük işlerde bu üç kısım arasında taşıma işleri işçiyle yapılır. Büyük işlerde ise yerine göre motorlu taşıt ya da dekovil kullanılır.

İskele ve kalıp atölyelerine gelince, iskele kerestesi ve kalıp kerestesi ayrı ayrı depo edilmelidir. İskele kereste deposu yanında iskele hazırlama yeri, onun yanında da hazır iskele bekleme yeri, kalıp içinse kalıp kereste deposunun yanında, kalıp hazırlama yeri ve onun yanında da kalıp bekleme yeri yapılır.

(1) **BETON ŞOSE KAPLAMALARI HAZIRLIK ŞANTİYELERİNDE**: Çimento bir ana depoda toplanır. Şosenin birinci ve ikinci kat tabakalarına gerekli olan agrega ayrı ayrıdır ve iki ayrı yerde istiflenmelidir.

(2) **BETON ŞOSE İNŞAAT ŞANTİYELERİNDE**: Tamamen makineler kullanılır. Tüm işler ayrı makineler tarafından yapılır. Bir beton şose inşaatında yapılacak başlıca işler şunlardır:
1-Beton dökülecek kısmın k yanına ray döşenir
2-Zeminin üst yüzey tokmakla dövülerek sıkıştırılır
3-Kalın kağıt serilir
4-Alt katın betonu dökülür
5-Alt kat betonu yayılır, serilir
6-Alt kat enine beton derzi yapılır
7-Alt kat betonu sıkıştırılır
8-Üst kat betonu dökülür
9-Üst kat betonu yayılır, serilir
10-Üst kat enine beton derzi yapılır
11-Üst kat boyuna beton derzi yapılır
12-Üst kat betonu sıkıştırılır
13-Üst kat betonunun derzleri yeniden gözden geçirilir
14-Üst kat betonunun üzerine güneşlik gerilir
15-Üst kat betonu sulanır

2.5. ŞANTİYE BİNALARI:

İşin büyüklüğüne göre bir şantiyede bir kısmı ya da tümü bulunması gereken başlıca şantiye binaları şunlardır:

(1)Bürolar (2)Lojmanlar (3)İşçi binalar (4)Barakalar (5)Sağlık binalar (6)Atölyeler (7)Garajlar ve sundurmalar (8)Bakkal ve kantinler (9)Fırınlar (10)Ahırlar (11)Ambarlar (12)Kümesler

2.5.1. Şantiye Binalarının Genel Düzenlemeleri:

Şantiye binalarında kullanılacak yapı malzemeleri o bölgede bulunabilen, iklim koşullarına uygun ve en önemlisi ucuz malzemeler olmalıdır. Genellikle kerpiç, taş, ahşap ve seyrek olarak tuğla kullanılır. Son zamanlarda teknoloji ve malzeme konusundaki hızlı gelişim sayesinde hazır,

sökülüp kurulabilir, çok ve değişik amaçlı kullanımlar için, polypropilen esasl ışantiye binaları, kapalı hacimler, bölümler ya da yapı malzemeler kullanımları yaygınlaşmaktadır. Hazır değil de yerinde üretiliyorsa, şantiye binaları iklim koşulları ve deprem yönetmeliklerine uygun olmalıdır. Binalarda ısıtma problemi tam olarak çözülmeli, gerekirse çift katlı pencere kullanılmalı, personel toplu olarak büyük salonda çalıştırılmalı ve yemek saatlerinde ise geniş yemekhanelerde toplanmalıdır. Sivrisinek olan yerlerde, pencerelere ince bir tel gerilmelidir. Emniyet için pencerelere demir parmaklık takılması, hem emniyet hem de ISI bakımından da gereğine göre pencerelere tahta kepenkler takılması uygun olur.

2.5.1.1. Binalarda ekonomi sağlanması:

Ekonomi, yapı elemanlarının standardizasyonuyla sağlanır. Standartlık, esas olarak sökülebilir (demontabl) yapı elemanlarına uygulanır. Hangi yapı sistem kullanılırsa kullanılsın çatı, tavan, döşeme, kapı, pencere, tel kafes, demir parmaklık, tahta kepenk, ocak, baca, havalandırma, yıkanma ve tuvalet gibi tesisler mutlaka standartlaştırılmalıdır. Binaların ana taşıyıcı elemanları da standart panolar, prefabrik elemanlar kullanılarak demontabl şekilde yapılabilir. Ayrıca bina içinde kullanılacak eşyalar; örneğin masalar, portmantolar, dolaplar, sandalyeler, karyolalar ve benzerleri de standardize edilmelidir.

2.5.1.2. Bürolar:

Büyük işlerde çalışan teknik ve idari personel kalabalık olacağından bu durumlarda büro binalar yapılır. Böyle bir binada şantiye şefi, teknik büro, muhasebe bürosu, malzeme bürosu, yazı işleri bürosu vezne, bekleme odası, vestiyer, antre, kapıcı odası, gibi odalar bulunur. Bütün bu odaların kapılar koridora açılmalı, ayrıca odalar iyi bir şekilde aydınlatılmalıdır.

2.5.1.3. Lojmanlar:

Şantiyede çalışan personel sayısı az ise, yani 10-15 kişiden oluşuyorsa o zaman ayrı bir büro binası yapılmaz; lojmanla büro binası aynı yerde bulunur. Böylelikle, lojmanlar bürolu büyük lojman, bürolu küçük lojman, ayrı aile lojmanı, blok lojman ve yatakhane olmak üzere beş tipe ayrılmaktadır.

a-) BÜROLU BÜYÜK LOJMAN: Sayısı çok olmayan personel ve çalışma bürolarını aynı çatı altında toplamak düşünülmüştür. Böyle bir binada çalışma bürolarından başka yatak odaları, banyo, mutfak, yemek salonu gibi hacimler de bulunur. Şantiye şef evli değilse burada oturur.

b-)BÜROLU KÜÇÜK LOJMAN: Evinde de çalışmaya devam eden evli şantiye şefleri için bu tip lojman yapılır.

c-) AYRI AİLE LOJMANI: Şantiye şefi, eğer blok lojmanlarda oturtulmayacaksa, düzenleme şekli bürolu lojmanın aynısı olan bir lojman şekli düşünülür.

d-)BLOK LOJMAN: Evli memurlar için blok lojmanlar yapılır. Blok lojman genellikle yan yana ikili blok olarak, ya da hem yan yana hem de arka arkaya olmak üzere dörtlü blok halinde yapılır. Bu bloklarda şantiye şefi de oturabilir. Oturmaması halinde ayrı bir aile lojmanı yapılır.

e-)YATAKHANE: Bunlar alt kademe personel için düşünülür. Yatakhanelerde en büyük hacim genel personel yatakhanesine ayrılmıştır. Bu kişiler burada yatar ve yemek yerler. Bu nedenle yatakhanelere mutfak bölümü de eklenebilir. Ayrıca şantiyeye gelen misafirler aynı bina içinde fakat ayrı bir bölümde kalabilirler.

2.5.1.4. İşçi binaları:

İşçi binalarında , çalışan işçilerin yatırılmasına yetecek kadar karyola veya ranza bulunur. Ranzalar için bir koğuş düzenlenir. Bu tip binalarda mutfak, banyo ve WC ye ek olarak işçilerin ekipmanlarını koyacakları bir deponun mutlaka bulunması gerekir.

2.5.1.5. Barakalar:
Barakalar, işbaşında gece kalmayan (vardiya ya da fazla mesai yapmayan) personelin gündüz çalışmaları ve bannmalan icin yapılan, genellikle geçici olan yapılardır. Ancak bu barakalardan gereğinde çift sıralı veya tek sıralı bir ambar ya da yatakhane olarak yararlanmak olasıdır. Bekçi kulübeleri de bu cins yapılar içine girerler. Barakalar, ekonomi düşüncesiyle genellikle sökülebilir şekilde yapılan yapılardır.

2.5.1.6. Sağlık binaları:
Revir, ilkyardım noktası, hamam ve grup tuvaletler gibi çeşitli tipte yapılardır.
a-) REVİR: İşbaşında 18 yatağa kadar hasta alabilen, doktor, hastabakıcı ve gerekirse eczanesi bulunan bir binadır.
b-) İLKYARDIM NOKTASI: İşbaşında 3-4 km de bir adet acil yardım için ilkyardım noktası bulunur. Bu binalarda pansuman odası ve sağlık memuru odası bulunur.

c-) HAMAM: Uzun sürecek işlerde, işbaşında temizliği sağlamak için genel bir hamam gerekebilir. Hamamlar iki bölümdür ve birinci bölümde personelin yıkanması için duşlar, ikinci bölümde de şef, idari ve teknik elemanların yıkanması için özel banyolar bulunur. Kazan dairesi, yakıt deposu ve hamam görevlisinin konaklama yeri aynı çatı altında bulunur.

d-) GRUP TUVALETLER: Bunlar işçi tuvaletleri, pisuvarlar ve personel tuvaletler olmak üzere iic grupta toplanırlar. Tuvaletlerde, foseptik çukurlarının tuvaletlerin hemen altında veya yanında olmasına, çukurlarla tuvaletler arasındaki bağlantının borularla, koku çıkarmayacak şekilde bağlanmış ve iyice kapatılmış olmasına dikkat edilmelidir.

2.5.1.7. Atölyeler:
İşbaşında mozayik atölyesi, doğrama atölyesi, demir atölyesi gibi çeşitli atölyeler bulunabilir. Her atölyede tezgahlar için ayrılmış büyük bir hacim bulunur. Bundan başka atölye şefi odası, malzeme odası, gelen işler odası, biten işler odası ve döküntü malzemenin yığıldığı kırpıntı odası bulunur. Atölyeler, tezgahların sıralanışına göre TEK SIRALI ya da ÇİFT SIRALI ATÖLYELER olarak iki kısımda düzenlenebilir. Tezgahlara en yakın yere de işletici (motris) kuvvet binası yapılmalıdır.

2.5.1.8. Garajlar:
Garajlar, kapalı, açık veya sundurma gibi çeşitli şekillerde yapılabilir. Şoförlerin kalmalan icin bir oda, bir de alet, makine ve ekipmanı saklamak için takım odasına gereksinimi vardır. Garajlarda, taşıtların kontrol, tamir ve bakımı için gömme kontrol çukurlarının yapılması yararlıdır (Şekil 2.40 a,b).
a-) KAPALI GARAJLAR: Bu tip garajların ön duvarları vardır. Garajların eni, boyu ve yükseklikleri garaja girecek araçların boyutlarına ve sayılarına bağlıdır.
b-) AÇIK GARAJLAR: Kapalı garajların aynısıdır, sadece ön duvarları yoktur.
c-) SUNDURMALAR: Dekovil hatlarına ait makinelerin serviste olmadıkları zamanlar korunmalan icin inşa edilirler. Bunlar çoğu zaman ahşaptan yapılır, çatıları ise dalgalı saç yada asbestli kaplama ile örtülür. Dış duvarlarının da dalgalı saçtan yapılması mümkündür. Ray aralarına ateş çukuru yapılması uygun olur. Arka arkaya en çok üç lokomotif konulabilir. Yapının içinde şefe ait bir oda ile alet ve ekipmanı korumak için odalar gerekir.

2.5.1.9. Bakkal ve Kantin:
Yalnız bakkal dükkanı veya yalnız kantin yapılabileceği gibi her ikisi birlikte de yapılabilir. Bakkal dükkanları genellikle iki bölümde yapılır. Birinci bölümde dükkan, ikinci bölümde ise depo vardır. Bunlara ayrıca bakkalın evi de eklenir (Şekil 2.41 a,b,c).

2.5.2. Ambarlar ve Depolar:

Malzeme ambarları firmanın elindeki malzeme miktarına, işin büyüklüğüne, süresine, piyasa durumuna ve iş mevsimine bağlı olarak çeşitli yerlerde, çeşitli sayıda, çeşitli karakterde ve büyüklükte olabilir. Ambarlar korudukları malzemenin çeşidine göre sınıflandırılabilir:

(1) AMBARLARIN YER BAKIMINDAN SINIFLANDIRILMASI:

Firma merkezinin bulunduğu yerdeki ambarlara "merkez ambarı" denir. İşbaşında kurulan ambarlara ise "şantiye ambarı" denir. İş ne olursa olsun mutlaka şantiye ambarları bulunur. Bazen merkez ambarları bulunmayabilir; bu durumda piyasa ambar rolü oynar.

(2) AMBARLARIN MALZEME BAKIMINDAN SINIFLANDIRILMASI:

Ambarların içine konacak malzemeler çok çeşitlidir. Bir kısmı sıcağa dayanmaz, bir kısmı ise soğukta bozulur. Bir kısmı neme dayanmaz, bir kısmı da havalandırılmak ister. Bir kısmının ise yere gömülü saklanması gerekir. Bir kısmı patlayıcı, bir kısmı parlayıcı ve yanıcıdır; bir kısmı da paslanır. Bu durumlara bağlı olarak çeşitli sayıda ve ayrı ayrı ambarlar yapılır. Küçük işlerde bir veya bir kaç ambar yapılır; bunların içinde çeşitli gözler düzenlenir ve eşit istekler gereken malzemeler aym gozlerde toplanır.

2.6. YAPIDA VE ŞANTİYELERDE KULLANILAN MAKİNELER (Genel Sınıflandırma)

2.6.1.) Yapı Makineleri ve Kullanımları Hakkında Genel Bilgiler

2.6.1.1) İnşaat ve makine:

Makine, elektrik, tekstil gibi seri ve sürekli üretim yapan endüstriler şu sebeplerden dolayı makineleşme yoluna gitmişlerdir:

- İşçilik ücretlerinin giderek artması
- Rekabet ve satış fiyatları dolayısiyle maliyetleri ucuzlatma zorunluluğu
- Rekabet, yurtiçi ve yurtdışı üretimlerle yarış dolayısiyle kaliteli mal üretme zorunluluğu

Üretim şekli süreklilik ve serilik göstermemekle birlikte iş hacimlerinin büyük oluşu nedeniyle inşaatta ve bağlı yan sanayilerinde oldukşa yoğun makineleşmeye gidilmektedir.

Yapının cinsi	Toprak Baraj	Yol	Bina
Kullanılan makine değeri İnşaat bedeli (%)	75	30	10

2.6.1.2) İnşaatta Makine Kullanılmasını;

	Gerektiren sebepler		Önleyen sebepler
1.	İşçi bulma zorluğu	**1.**	İstihdam açısından bir ölçüde işsizliğe sebep olması
2.	Büyük hacimli işlerin ancak makineyle kısa zamanda yapılabilmesi.	**2.**	Daha büyük sermaye gerektirmesi.
3.	Makineli imalatta teknik kontrolun kolay olması	**3.**	İş hacminin küçük olduğu zamanlarda elle bir inşaatın daha ucuz olması
4.	Makineli imalatta maliyetin önceden büyük yaklaşıklıkla hesaplanabilmesi	**4.**	Makinelerin amortismanı için gerekli olan işlerin her zaman bulunamaması.
5.	İşlerin daha üniform ve kaliteli yapılabilmesi	**5.**	Makine kullanımı için gerekli kaliteli personelin her zaman bulunamaması.

2.6.1.3) Şantiyelerde Karşılaşılan Makineyle İlgili Problemler:

Şantiyelerde genel olarak karşılaşılan ve inşaat mühendisleri tarafından çözümlenmesi gereken problemler şunlardır:

- Zemin kazma, sıkıştırma, taşıma v.b. işler (toprak işleri)

- Taş malzeme elde etme, taş kırma, eleme, derecelendirme, yıkama v.b. problemleri
- Beton hazırlama, taşıma-serme, sıkıştırma; bitümlü malzeme hazırlığı v.b. işler
- Her türlü taşıma, istif, yükleme-boşaltma v.b. işleri.

Yukarıda sözü edilen makine kullanımıyla ilgili problemler başlıca şu üç ana esasa göre incelenir:

MAKİNE SEÇİMİYLE İLGİLİ PROBLEMLER	MAKİNE YERLEŞİMİYLE İLGİLİ PROBLEMLER	MAKİNE İŞLETİMİYLE İLGİLİ PROBLEMLER
. Belirli bir inşaat işinin yapılabilmesi için gerekli olan makine tipleri hangileridir? . Şantiyede belirli şartlar altında bu makine tipleri içinde amaca en uygun olanlar hangileridir?	. Makine şantiyenin neresine yerleştirilmelidir? . Montaj sırasında nelere dikkat edilmelidir?	. İş verimini artırmak için, makinenin işletilmesi sırasında dikkat edilecek hususlar nelerdir? . İşletme arızalarını azaltmak için makine nasıl bir bakıma tabi tutulmalıdır?

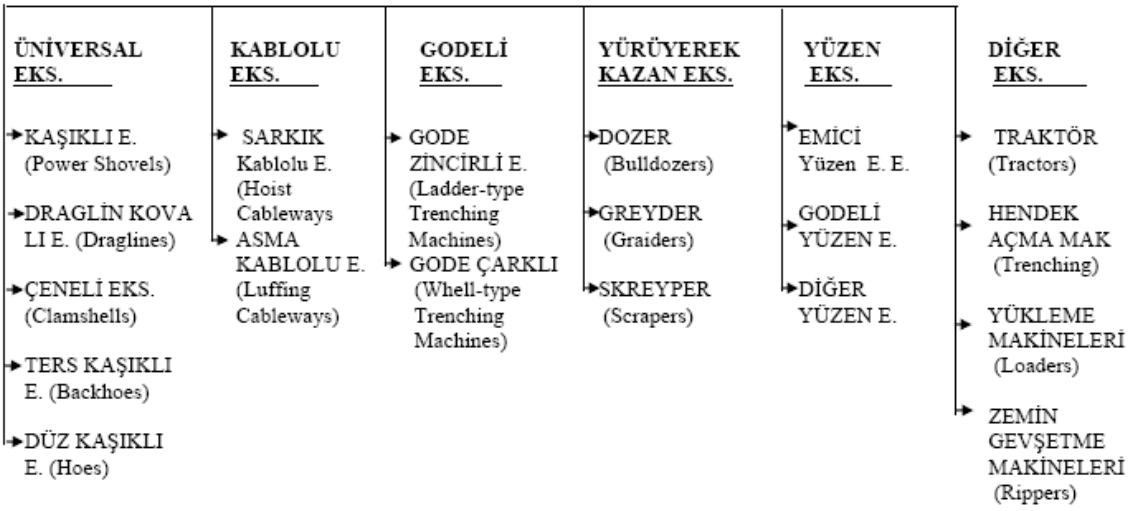
2.6.1.4) yapı makinelerinde aranılan özellikler

Herbir yapı makinesinde aranan özellikler birbirinden farklı olmakla birlikte genel olarak tüm yapı makinelerinde şu önemli özellikler aranmaktadır:

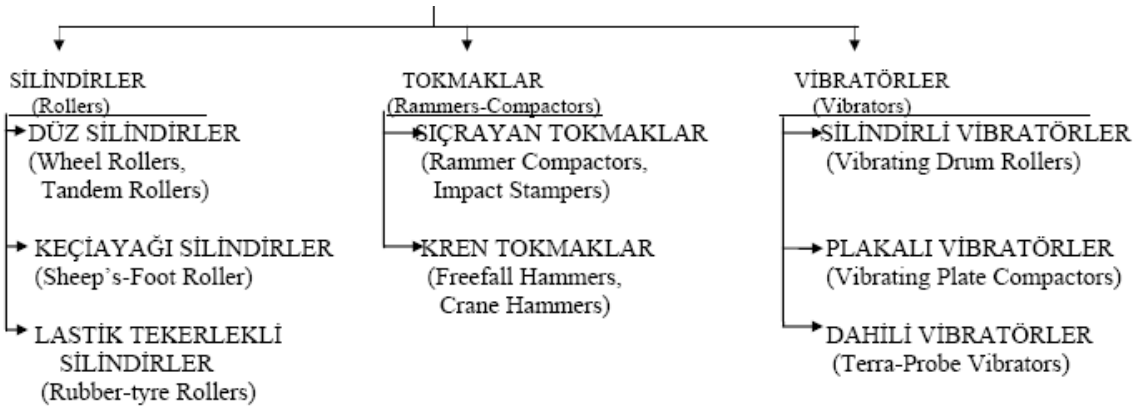
1-Asin yiike dayanıklılık
2-Dış etkenlere dayanıklılık
3-Taşıma (transport), kurma (montaj) ve sökme (demontaj) kolaylığı
4-İşletme, tamir ve bakım kolaylığı

2.6.2.) Zemin Kazma Makineleri

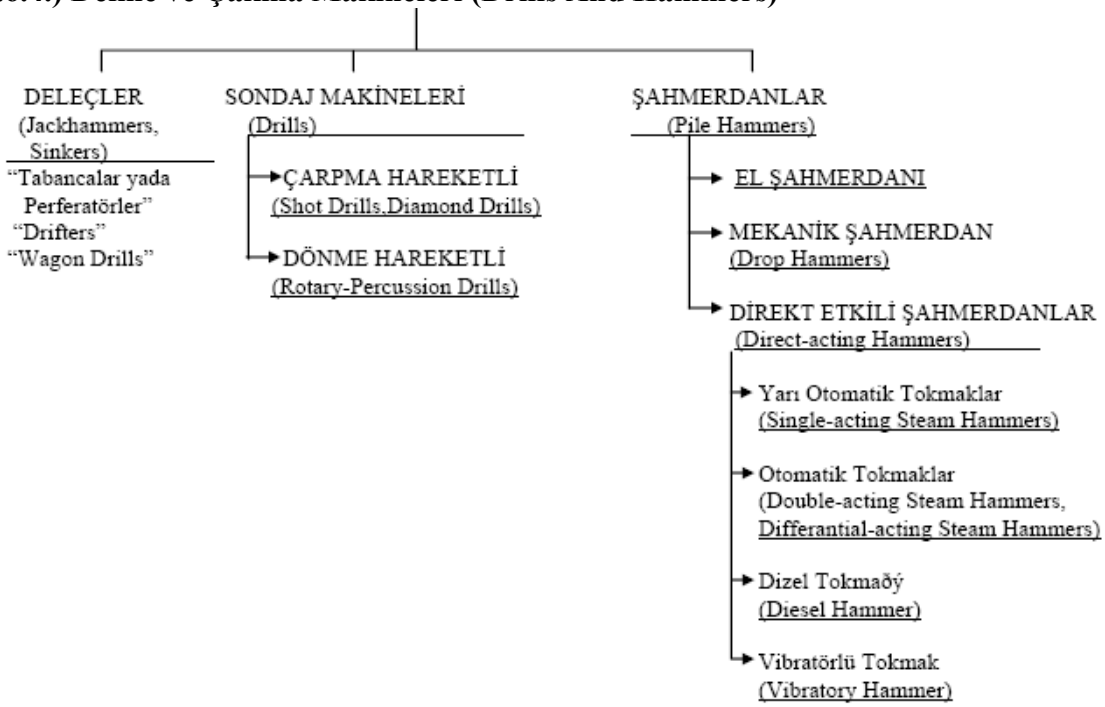
Çalışma şekilleri ve özellikleri yönünden zemin kazma makineleri 6 temel kategoride guruplandırılır:



2.6.3.) Zemin Sıkıştırma Makineleri (Compacting Equipment)

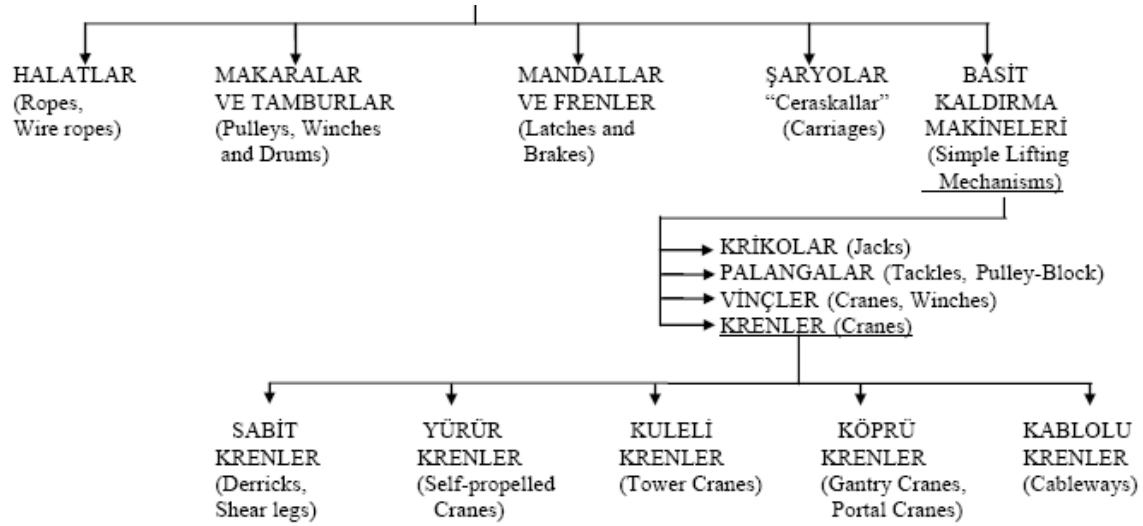


2.6.4.) Delme ve Çakma Makineleri (Drills And Hammers)

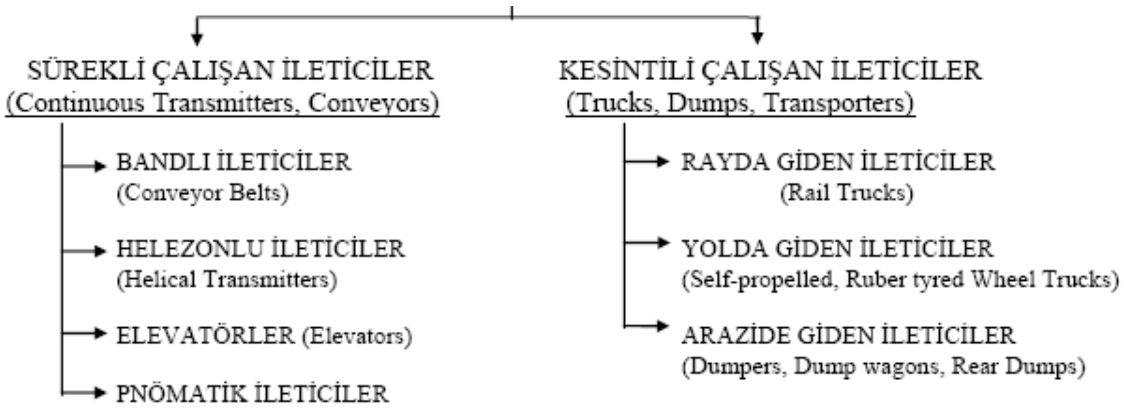


2.6.5.) Kaldırma ve İletme Tesisleri (Hoist, Lifting, Trucking And Transportation Systems)

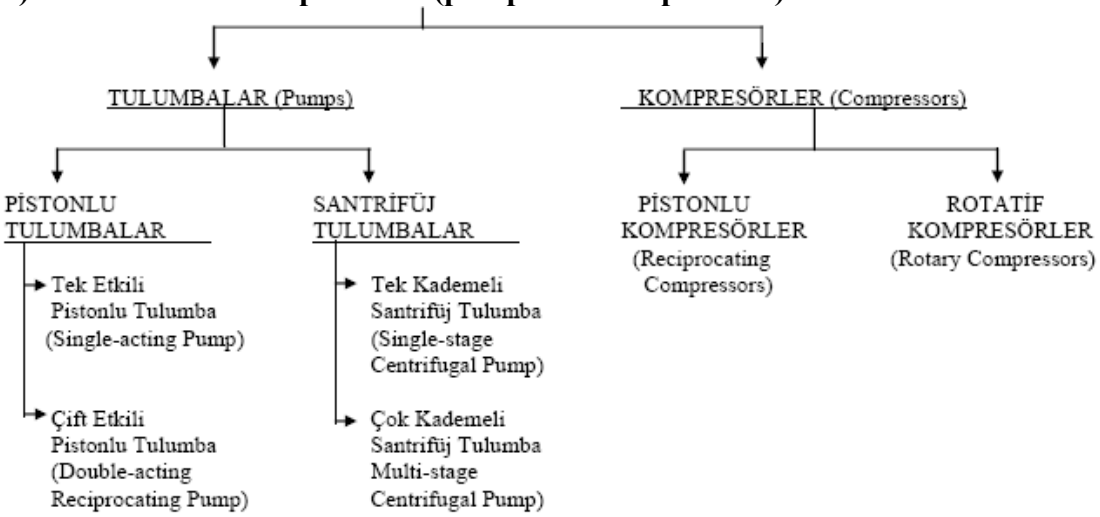
2.6.5.1) kaldırma makineleri (lifting equipment or mechanisms)



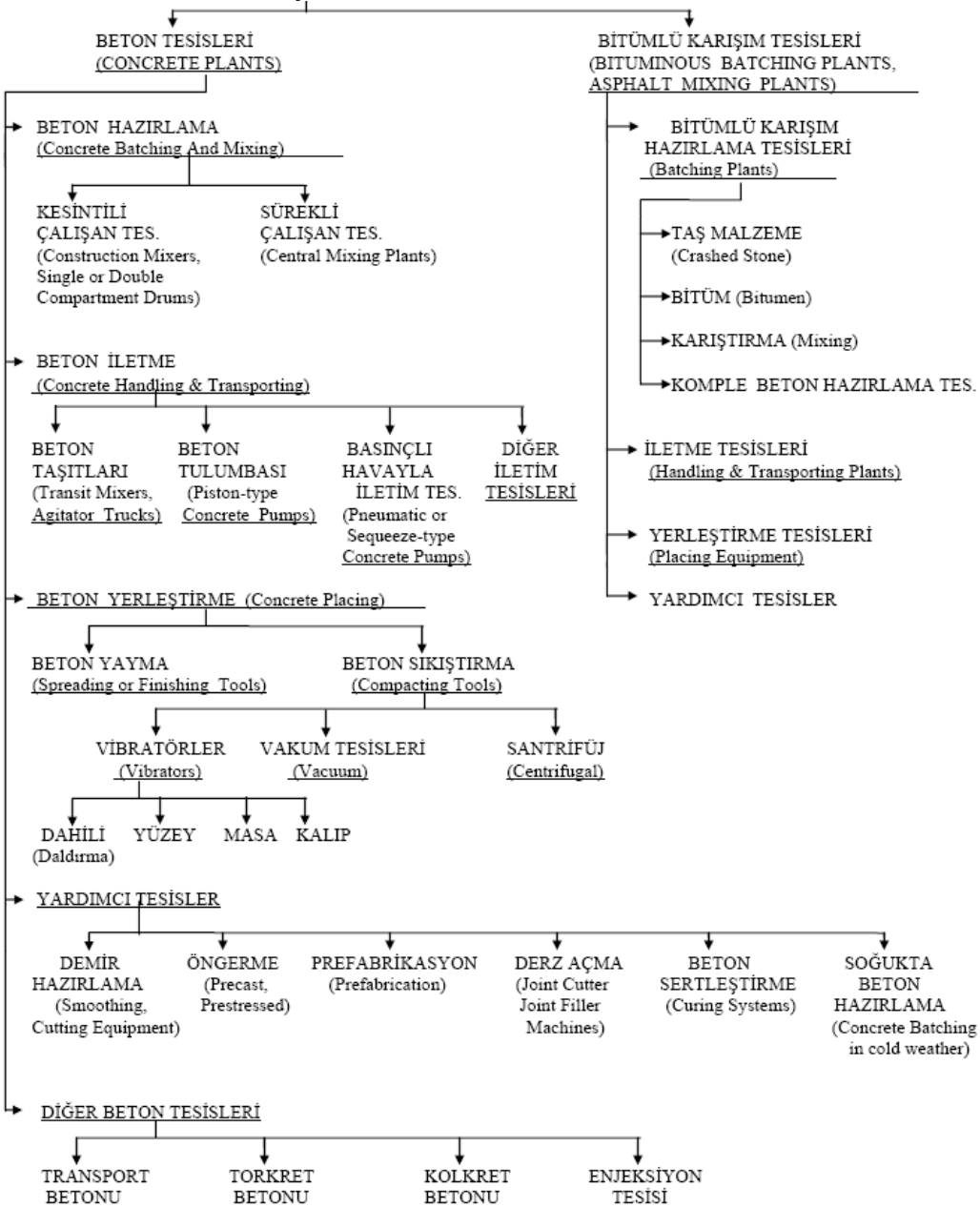
2.6.5.2) iletme tesisleri (transmission plants, trucks, wheels)



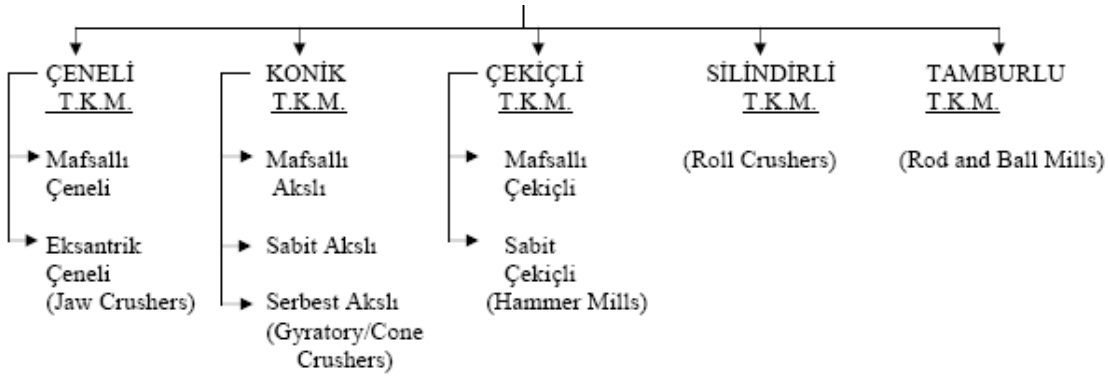
2.6.5.3) tulumbalar ve kompresörler (pumps and compressors)



2.6.5.4) beton ve bitümlü karışım tesisleri



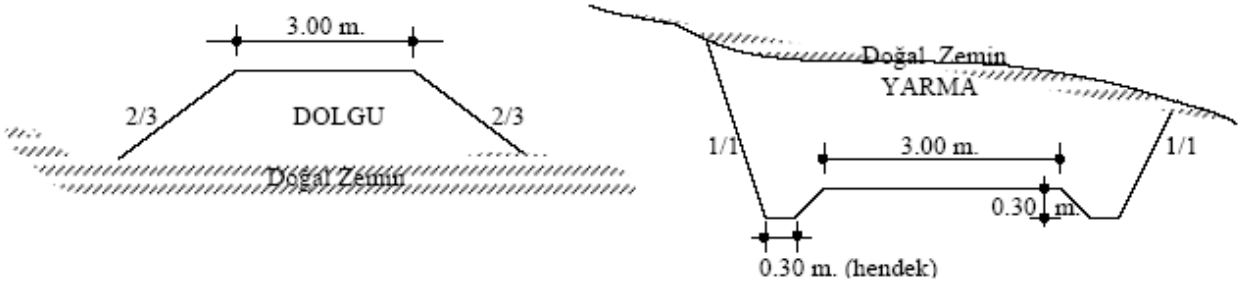
2.6.5.5) taş kırma makineleri (konkasörler - crushers)
(A) TAŞ KIRMA MAKİNELERİNİN YAPILIŞ TARZLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI:



(B) TAŞ KIRMA MAKİNELERİNİN KÜÇÜLTME ORANLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

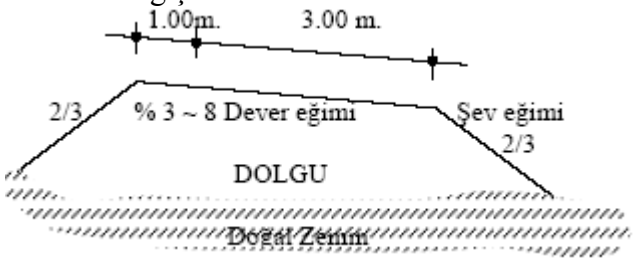
Kaba Taş Kırma Makineleri	**İnce Taş Kırma Makineleri**	**Kum Yapma Makineleri**
50 cm.≤d1≤120 cm.	5 cm.≤d1≤20 cm.	1 cm.≤d1≤3 cm.
5 cm.≤d1≤20 cm.	1 cm.≤d1≤3 cm.	0.1 cm.≤d1≤0.3 cm.

2.7. SERVİS YOL LARI:
Bir inşaata gerekli olan her türlü malzemeyi, alet ve makineyi işbaşına ulaştırmak için servis yolları yapılır (Şekil 2.51 a,b,c,d).
2.7. 1.) Genişlikler: Servis yollarının genişlikleri alinyimanlarda (düzlükte) 3 m. olur. Eğer yol yarmada ise yan taraflara 30 cm. genişliğinde hendek yapılır. Hendek derinliği de gene 30 cm.dir.



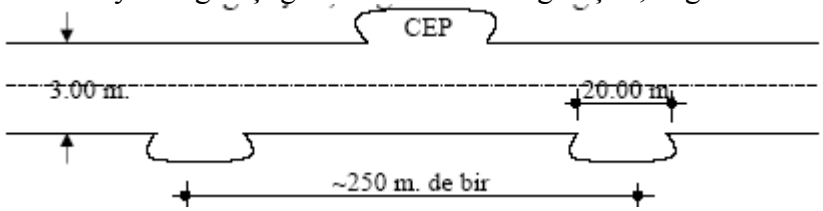
ŞEKİL 2.51 (a) Servis yolunda genişlikler ve şekil

2.7.2.) **Yolun Eğimleri**: Servis yollarında en büyük eğimler kabul edilir. Örneğin % 20 gibi çok büyük bir eğim oldukça sık rastlanır. Kurbalar ve ek genişliklerde de servis yollarında en küçük değerler alınabilmekte, kurba yarıçapı 15 m. ye kadar düşebilmektedir. Kurbalarda yol platform genişliği normalden 1 m. fazla yapılmaktadır (4 m). Yolun bu ek genişliği kurbaların dış tarafına verilir. Ayrıca kurbalarda yolun enine de bir eğimi vardır. Savrulmayı ve yanal merkezkaç kuvveti azaltmak için verilen bu eğime "dever" denilir. Servis yollarında, deverin değeri % 3 ile % 8 arasında değişir.



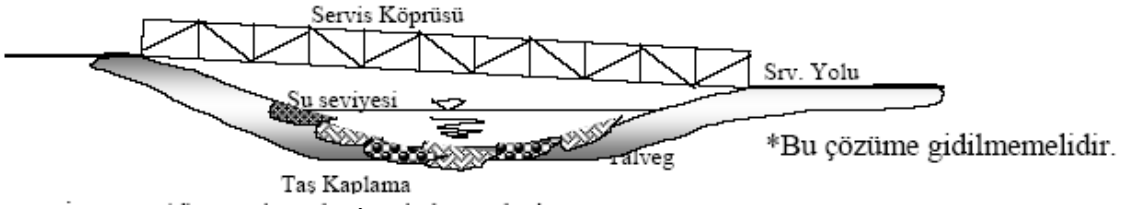
ŞEKİL 2.51 (b) Yol eğimleri

2.7.3.) **Karşılaşma Yerleri:** Servis yolu genişliği tek bir aracın geçmesine uygundur. Taşıtların karşılaşma durumlan icin her 250 m.de bir en az 20 m. lik rastlaşma yerleri (cepler) yapılır. Buralarda yolun genişliği 5 m.dir. Bu fazla genişlik, dağlık arazide dağ tarafına verilir.



ŞEKİL 2.5 1(c)
Karşılaşma yerleri

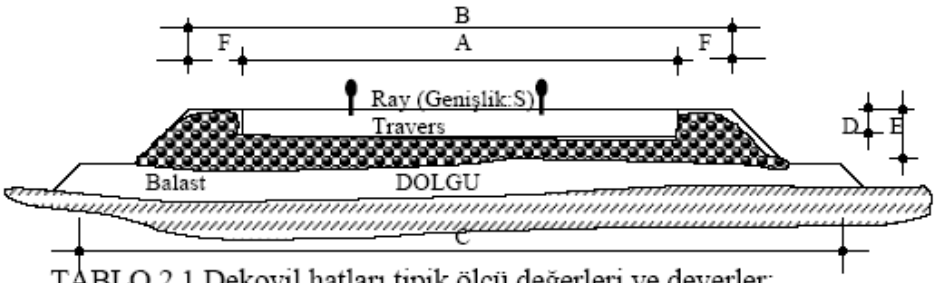
2.7.4.) **Servis Yolu Kaplamaları**: Servis yolları genellikle kaplamasız olarak yapılır. Fakat kışın da trafik varsa bu durumda yolun üzerine gereği kadar çakıl ve kırmataş serilir.
2.7.5.) **Kasisler Ve Servis Köprüleri**: Servis yollarının rastladığı kuru dereler üzerine bile mutlaka bir servis köprüsü yapılmalıdır. Dereden gelen suyu bir kasis yardımıyla yoldan aşırmak gibi bir çözüm düşünülmemelidir.



ŞEKİL 2.51 (d) Servis yolu servis köprüleri

2.8. **DEKOVİL HATLARI**

Dekovil hatlarının teşkilinde aşağıdaki durumlar dikkate alınır. Yolun imalatı aşağıdan yukarıya doğru belli bir sırayla gerçekleştirilir (dolgu, balast, travers, ray, cebire, tirfon, v.b....) (Şekil 2.52).



ŞEKİL 2.52)
Dekovil hatları

TABLO 2.1 Dekovil hatları tipik ölçü değerleri ve deverler:

Hat Genişliği (S)	Travers Boyu (A)	Balast Genişliği (B)	Platform Genişliği (C)	Travers Yüksekliği (D)	Balast Yüksekliği (E)	Banket Genişliği (F)	Enküçük Kurb Yarıçapı (R_{min})
1.00 (Standart)	1.70	2.40	3.60	0.14	0.30	0.30	50
0.75 (Orta)	1.50	2.20	3.30	0.12	0.25	0.30	40
0.60 (Dar)	1.30	2.00	3.10	0.12	0.25	0.30	25

* Ölçüler (m) / ** V : hız (km/saat) / *** R : Yarıçap (m)

DEVER :

Hat Eni (S)	Dever Yüksekliği [h] (mm)	En Büyük Hız [V_{max}] (Km/saat)	h_{max} (mm)
1.00	$H=8.3\ V^2 / R$	V_{max}=30 Km / saat	H_{max} =85 mm
0.75	$H=6.2\ V^2 / R$	V_{max}=25 Km / saat	H_{max} =65 mm
0.60	$H=5\ V^2 / R$	V_{max}=15 Km / saat	H_{max} =45 mm

KAYNAK KİTAP

Prof. Dr. İlker ÖZDEMİR
Yapı Yönetimi Ve Şantiye Tekniği Ders Notları
T. C. Osmangazi Üniversitesi
Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Eskişehir Teknoloji Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi
Yayın No: Ta 97 - 003

YAPI YÖNETİMİNDE BAZI KAYNAK KİTAPLAR (TÜRKÇE)

1. BERKMAN, A. Fuat, Şantiye Tekniği, Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul, 1981.
2. ÖZDEMİR, İ., Yapı İşletmesi Ders Notları, A.Ü.Müh-Mim. Fak., Eskişehir, 1991.
3. GENYA, Y., Yapı İşler Tatbikatı, Ankara, 1986.,
4. SUNGUROĞLU, K., Yapı İşletmesi, Şantiye Tekniği ve Maliyet Hesapları, T.M.M.O.B., İnşaat Müh. Odası, Ankara Şubesi Yayını No: 1982/1, Şafak Matbaası, Ankara,
5. ÇETMELİ, E., Yatırımların Planlanmasında Kritik Yörünge (CPM) ve PERT Metotları, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1972
6. YILDIRIM, F.K., Mühendisler, Mimarlar ve Bilirkişiler için Mevzuat El Kitabı, TİMYAD İnşaat Mühendisleri Yardımlaşma Derneği Yayını, Ankara, 1986.
7. ERİŞKON, A., Yapı İşletmesi, Şantiye Tekniği ve İş İdaresi Ders Notları, K.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Trabzon, 1973.

YABANCI KAYNAK KİTAPLARDAN ÖRNEKLER

1. BARRIE, D.S. and B.C.PAULSON, Professional Construction Management, Mc Graw-Hill Book Co. Inc. New York, 1984.
2. HEDLEY, G. and C. GARRET, Practical Site Management, George Godwin Ltd. Publishing, Great Britain, 1976.
3. FORSTER, G., Building Organisation and Procedures, Longman Publishing, London and New York, 1978.
4. WARD, P.A.,Organisation and Procedures in the Construction Industry, The M & E TEC Book Series Publishing, Great Britain - Manchester, 1979.

BÖLÜM 2
MUKAVEMET

TEMEL İLKELER

Mukavemet, yük etkisi altındaki cisimlerin gerilme ve şekil değiştirme durumunun -iç davranışın- incelendiği uygulamalı mekaniğin bir dalıdır. Buradaki cisim kelimesiyle çubuklar, plak ve kabuklar, kolon ve miller ile bu elemanların birleştirilmesiyle oluşan yapı ve makineler kastedilmektedir. Cisimlerin dayanımı veya şekil değiştiren cisimler mekaniği olarak da adlandırılan malzeme mekaniğinde öncelikle gerilme analizi ve cisimlerin mekanik özelikleri incelenir.

Malzeme mekaniği çalışmaları, kuvvet etkisindeki cisimlerde denge kavramının anlaşılmasıyla başlar. Statik dersinde dengedeki katı cisimlerin dış davranışı incelenirken mukavemette dış yüklerden oluşacak iç kuvvetler ve şekil değiştirme araştırılır. Burada ilk olarak statik denge denklemleri ve yük etkisindeki bir cisimde uygulanması üzerinde durulacaktır. Daha sonra malzeme deformasyon yasaları ve geometrik uygunluk koşulları ele alınacaktır.

AMAÇ

Mukavemette temel amaç, cisimlerin yük taşıma kapasitelerinin dayanım, rijitlik ve stabilite bakımlarından araştırılmasıdır. Sözü edilen kavramlarla bir cismin sırasıyla sürekli şekil değiştirme veya kırılmaya karşı direnci, şekil değiştirme direnci ve cismin denge konumunun kararlılığı kastedilmektedir. Gerçek yapılardaki karmaşık gerilme durumunu deneysel olarak tespit edilen eksenel gerilmeye bağlayan kırılma teorilerinin vereceği gerilme düzeyi, bazen dayanım için bir ölçü olarak kullanılır. Göçme veya kırılma en genel anlamıyla yapının herhangi bir parçasının kendisinden beklenen işlevi yerine getirememesi olarak tanımlanacaktır.

Örneğin eleman şeklindeki kalıcı deformasyon, denge konumundaki değişiklik ve yapı elemanının kullanımına engel olacakşekil değişimleri bizim için ayrı ayrı birer göçme biçimidir.

Mukavemetin başlıca uğraşı alanları şöyle özetlenebilir.

1. Yük etkisindeki cisimlerde gerilme ve şekil değiştirme durumunun araştırılması
2. Yapıların hasar görmeden ve/veya göçmeden ve kendisinden beklenen işlevi kaybetmeden taşıyabileceği en büyük yükün hesap yada deneyle bulunması
3. Belirli şartlar altında tanımlanmış yüklere karşı en etkin şekilde direnebilecek malzemenin seçimi ve eleman şeklinin belirlenmesi -boyutlandırma-

Teknolojideki gelişme, yapı ve makinelerin daha karmaşık hale gelmesine yol açmaktadır. Bu durumda mühendislerin gerilme, şekil değiştirme ve malzeme davranışı konularını iyi kavrayıp bu konularda ustalaşmaları gerekmektedir. Bu derste şekil değiŞtiren cisimler mekaniğinin temel kavram ve bilgilerinin verilmesi kadar uygulamadaki kullanılıŞı hususu üzerinde de durulacaktır. Konunun tam olarak anlaŞılması yanında pratik problemlerin çözümünde kullanımını görmek en iyi öğrenme yöntemidir.

ANALİZ YÖNTEMLERİ

Yüklerin şekil değiştiren cisimler üzerindeki etkisinin incelendiği a) Mukavemet b) Elastisite teorisi olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bu iki yaklaşım arasındaki temel fark, şekil değiştirmelerin tanımından ve yapılan

basitleştirmelerden kaynaklanmaktadır. Mukavemette, mühendislik uygulamalarıyla deneysel çalışmaların sonuçlarından faydalanılarak bazı basitleştirici kabuller altında problemin çözümü aranır. Elastisite Teorisinde ise her adıma matematik açıdan yaklaşılır. Dolayısıyla yükleme ve problem şeklinin basit olduğu durumlarda kesin sonuca ulaşılır. Elastisite Teorisinde kesin sonuca ulaşmada matematik güçlükler bulunur. Yapı elemanlarının analizinde aşağıda verilen hususların düşünülmesi gerekir

1. Statik denge: Yapı elemanının bütününde veya elemandan alınan herhangi bir parçada kuvvet denge denklemleri sağlanmalıdır.
2. Şekil değiştirmeler: Yapı elemanını oluşturan malzemenin davranışı gerilme-birim şekil değiştirme (σ-ε) bağıntısına uygun olmalıdır.
3. Geometri: Yapı elemanında şekil değiştirmeden sonra herhangi bir kopma kırılma ve kütle kaybı olmamalı, yapı elemanı bütünlüğünü korumalıdır.

Yukarıdaki ilkelerin uygulanmasıyla bulunan gerilme ve birim şekil değiştirmelerin elemanınş sınır koşullarına uygun olması gerekir. Bu durum, sınır koşullarının sağlanması olarak ifade edilir. Analizde her zaman yukarıdaki adımların verilen sırayla uygulanması gerekmeyebilir. Gerilme ve şekil değiştirme analizinde, şekil değiştirme enerjisi kavramından hareketle geliŞtirilen enerji yöntemleri, denge yöntemi yerine kullanılabilir. Her iki yöntem yükleme ve eleman Şeklinin düzenli olması durumunda yeterli hassaslıkta *sonuç* verirken karmaşık problemlerin çözümünde de sayısal yöntemlerin uygulanabileceği temeli oluştururlar.

KUVVET VE YÜKLERİN SINIFLANDIRILMANSI

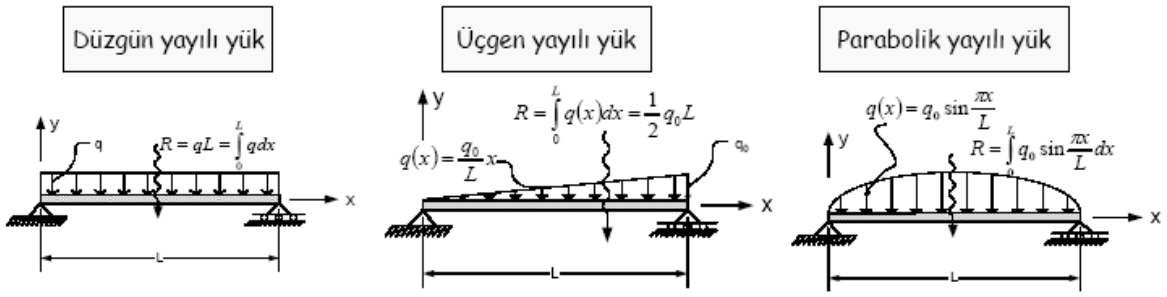
Cisme etkiyen bütün kuvvetlerle mesnetlerde oluşan reaksiyonlar *dış kuvvetler* olarak düşünülür. Bu kuvvetleri yüzey ve cisim kuvvetleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Tekil tipteki yüzey kuvveti sonlu bir alana yada tek bir noktaya etkirken cisim kuvvetleri, çekim kuvveti veya manyetik kuvvetler gibi cismin her bir hacim elemanına etkide bulunur. Dünyanın cisimlere uyguladığı çekim kuvvetine ağırlık adını veriyoruz. *İç kuvvetler* ise cismin bünyesini oluşturan malzeme parçaları arasındaki etkileşim kuvvetleri olarak algılanır. Cisme etkiyen yükler tekil veya yayılı kuvvetlerle kuvvet çiftleri olabilir. Eğer kuvvetin etkidiği alan elemanın boyutları ile kıyaslandığında küçük kalıyorsa kuvveti tekil kuvvet olarak kabul etmek mümkündür. Cisme yavaşça etki eden durağan yüklere *statik yükler,* aniden etkiyen yüklere de *darbe yada çarpma yükleri* denir. Yükün cisme binlerce defa etki edip kaldırılması ise *tekrarlı yükleme* olarak isimlendirilir. Aksi belirtilmedikçe cismin ağırlığı ihmal edilip, yüklemenin statik olduğu kabul edilecektir. SI birim sisteminde kuvvet birimi newton (N), uygulamada çoğu zaman kilonewton (kN) olarak kullanılır.

Yüklerin Sınıflandırılması :

1. Şiddeti zamanla değişen yükler (Dinamik yükler)
2. Şiddeti zamanla değişmeyen yükler (Statik yükler)

Etkime Biçimine *Göre* Yüklerin Sınıflandırılması:

1. Tekil yük
2. Yayılı yük
   a) Eğri boyunca yayılı yük
   b) Alana Yayılı yükler
   c) Hacme yayılı yükler



STATİK DENGE KOŞULLARI

Yapı ve makine elemanlarının tasarımında bu elemanlarda oluşan iç kuvvetlerin dağılımının bilinmesi gerekir. Dış ve iç kuvvetlerin belirlenmesinde statiğin temel kavramları ile denge koşulları kullanılır. Daha sonra göreceğimiz bileşke iç kuvvetin bileşenlerinin -kesit zorlarının- oluşturacağı deformasyonlar mühendisler açısından özel bir anlama sahiptir.

Cisme etkiyen kuvvet sisteminin bileşkesi sıf ırsa, cisim dengededir. Newton'un birinci yasasına göre parçacığa etkiyen bileşke kuvvet sıfır ise parçacık ya hareketsiz kalır yada sabit hızlı düzgün doğrusal hareket yapar. Statik adından da anlaşılacağı üzere temelde cisim veya parçacığın hareketsiz olma durumunu inceler. Üç boyutlu bir cismin dengesi düşünüldüğünde, statikçe dengenin olabilmesi için aşağıdaki denklemlerin sağlanması gerekir.

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \quad \sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0$$

Daha açık bir ifade ile cisme etkiyen kuvvetlerin herhangi bir doğrultudaki toplamı ile herhangi bir eksen etrafında oluşturacağı momentler toplamı sıfır olmalıdır. Eğer cisme etkiyen kuvvetler tek bir (x-y) düzlemin içinde ve dengede ise yukarıdaki bağıntılardan üçünün otomatik olarak sağlanacağı $\Sigma F_z=0$, $IM_x=0$, $IM_y=0$ aşikardır. Dolayısıyla düzlem problemlerdeüç bağımsız denge denklemi bulunmaktadır.

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_z = 0$$ Düzlem Hal için

Açıkça kuvvetlerin herhangi iki doğrultudaki (x,y) toplamı ile düzlem içindeki herhangi bir A noktasına veya z eksenine göre bileşke moment sıfır olmalıdır. Yukarıdaki denklemlerin yerine aşağıdaki iki ayrı denklem takımı kullanılabilir.

$\sum F_x = 0 \quad \sum M_A = 0 \quad \sum M_B = 0$ Burada A ve B noktalarını birleştiren doğru x eksenine dik olmamaktadır.

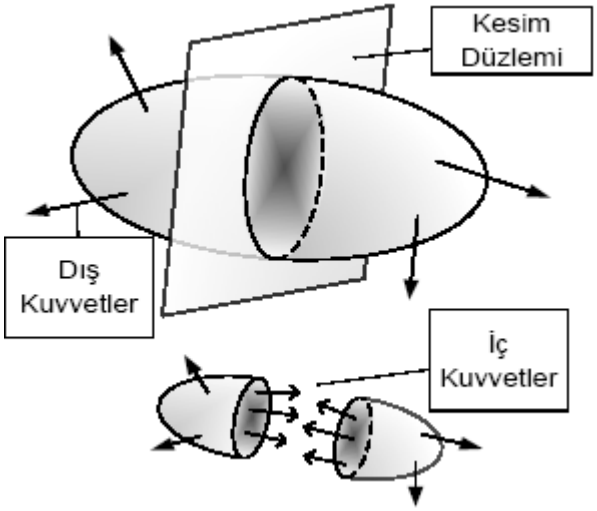
$\sum M_A = 0 \quad \sum M_B = 0 \quad \sum M_C = 0$ Burada da A, B ve C noktaları aynı doğru üzerinde bulunmamalıdır.

Alternatif denge denklemleri, kuvvet toplamının moment toplamı ile değiştirilmesi yoluyla elde edilmiştir. Moment alınacak noktanın dikkatlice seçilmesi durumunda alternatif denklemler cebrik hesapları önemli ölçüde basitleştirir.

İvmeli hareket eden bir cisimde statik denge denklemleri yazılırken ilave olarak atalet kuvvetlerinin de dikkate alınması gerekir. Yapı analizi bakımından atalet kuvvetlerinin dış yüklere eklenerek, cismin üzerindeki tüm kuvvetlerin etkisi altında dengesinin incelenmesi D'Alembert ilkesi olarak adlandırılır.

Mühendislik problemlerinin büyük çoğunluğu dengedeki yapı ve makinelerle ilgilidir. Genellikle yükler adını vereceğimiz tanımlı ve belirli kuvvetler etkisinde reaksiyonlar adını vereceğimiz yükleri dengeleyen bilinmeyen kuvvetlerin bulunması söz konusudur. Yalnızca denge denklemleri yardımıyla bütün kuvvetlerin belirlenebildiği problemlere izostatik, denge denklemlerinin bütün kuvvetlerin belirlenmesine yetmediği problemlere de hiperstatik denir. Hiperstatiklik derecesi, bilinmeyen bağımsız kuvvet sayısı ile yazılabilen denge denklemi sayısı arasındaki farktır. Statikteki denge denklemleri ile belirlenebilecek olan dışındaki her bir reaksiyona hiperstatik bilinmeyen (Redundant) adı verilir. Herhangi bir sistemdeki hiperstatik bilinmeyen sayısı ile hiperstatiklik derecesi birbirine eşittir.

İÇ KUVVETLER : KESİM YÖNTEMİ



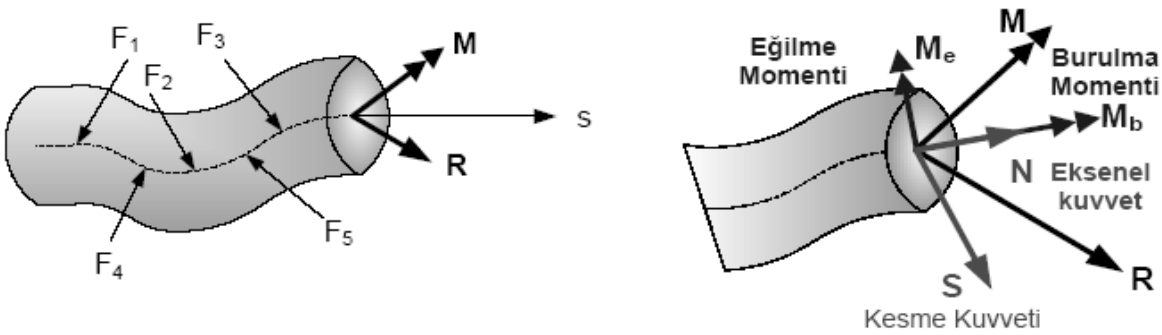
Cisme dış kuvvetler etkidiğinde, cisimde bir şekil değişimi ile birlikte cismi oluşturan parçacıklar arasında bu parçacıkları bir arada tutacak iç kuvvetler ortaya çıkar. Şimdi mukavemetteki ana konulardan biri olan iç kuvvetleri kesim yöntemi yardımıyla incelemeye başlayabiliriz. Kesim yönteminin uygulanmasındaki adımlar şöyle sıralanabilir.

1. Cismin, bağlı olduğu diğer cisimlerden ayrılarak mesnet reaksiyonları da dahil olmak üzere etki eden bütün kuvvetlerin gösterildiği çizimlere Serbest Cisim Diyagramı (SCD) adı verilir.Uygulamada cismin yapacağı şekil değiştirmeler cismin kendi boyutları yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olacağından SCD çiziminde dikkate alınmazlar.
2. Bilinmeyen dış kuvvetlerin belirlenmesi amacıyla SCD üzerindeki kuvvet sistemi için denge denklemleri yazılır.
3. Cisim herhangi bir yerden hayali bir düzlemle kesilerek ikiye ayrılır. Parçalardan biri göz önüne alınarak 2. adımdaki işlemler tekrarlanır. Mademki cisim bir bütün olarak dengededir, kesimle ortadan kaldırılan *iç* kuvvetlerin dikkate alınması şartı ile o bütünden ayrılan herhangi bir parçanın da dengede olması gerekir. Bu noktada, dış kuvvetlerin *iç* kuvvetlerle dengelenmekte olduğunu, diğer bir deyişle dış kuvvetlerin, eleman boyunca - kesim düzlemine bağlı olmak kaydıyla- *iç* kuvvetler şeklindeyayılı olarak devam ettiklerini söyleyebiliriz.

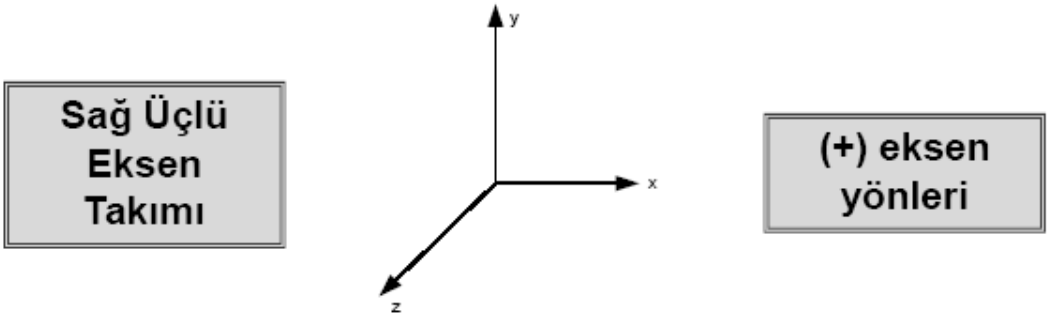
En büyük gerilmeyi oluşturan *iç* kuvvetlerin bulunduğu yere elemanın kritik kesiti adı verilir. Eleman üzerinde yalnızca tek bir kuvvet etki ediyorsa kritik kesitin yer ve doğrultusuna gözlemle karar verilebilir.

KESİT ZOR(LAMA)LARI

Yapı elemanlarının büyük bir çoğunluğu çubuklardan meydana gelir. Bir yapı elemanının çubuk olarak isimlendirilebilmesi için uzunluğunun, enkesit büyük kenarının 5 katından daha fazla olması gerekir. Çubukların herhangi bir kesitine etkiyen *iç* kuvvetleri, enkesitin ağırlık merkezinde etkiyen bir kuvvetle bir kuvvet çifti vektörü olarak gösterebiliriz. İç kuvvetlerin bileşkesi olan bu iki vektör, enkesite dik ve teğet doğrultulardaki bileşenlerine ayrılabilir. N, S, M_b ve M_e ile gösterilen bu bileşenlerden yalnızca birinin bulunması haline, basit mukavemet halleri adı verilir.



Her bir bileşen bir mukavemet halini gösterir. Bir kesitte bu tesirlerden bir kaçı bir arada bulunursa bu duruma bileşik mukavemet hali denir. Kullanılacak olan sağ-üçlü koordinat takımının x ekseni her zaman çubuk ekseni ile çakıştırılacak, y ekseni yukarı, z ekseni ise okuyucuya doğru yönlendirilecektir.

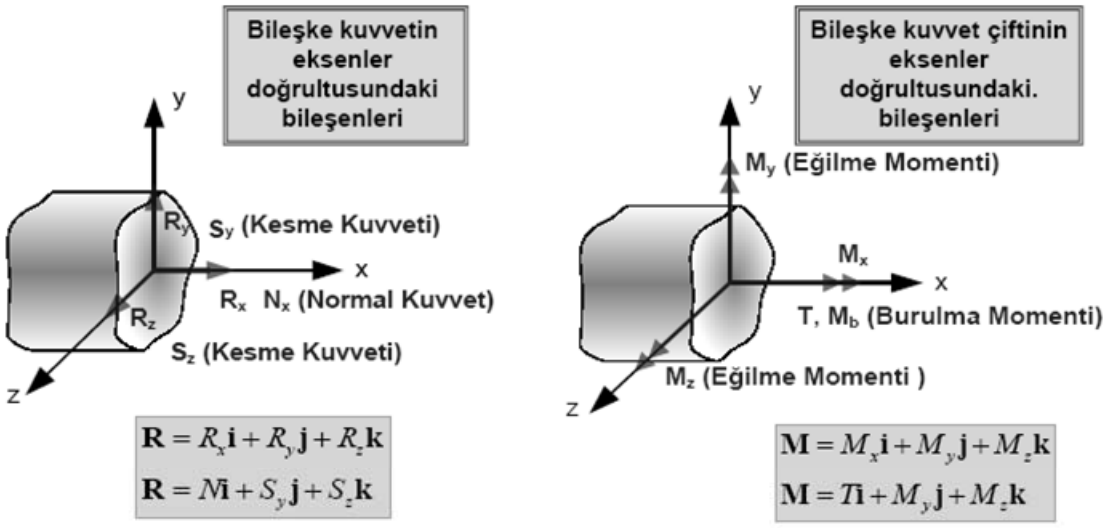


Kuvvet çifti vektörünün yönleri daima sağ-el kuralı ile belirlenecek ve kuvvet vektörleriyle karışmaması için uçlarında çift ok gösterilecektir. Dik kesitte bulunan *iç* kuvvetlere kesit zor(lama)ları adı verilir. Her bir kesit zoru çubukta farklı bir şekil değiştirme meydana getirir.

R_x eksenel kuvveti elemanın boyunu uzatmaya yada kısaltmaya çalışır. Eğer bu kuvvet kesim yüzeyinden uzaklaşıyorsa eksenel çekme, kesim yüzeyine doğru yönlenmiş ise eksenel basma kuvveti adını alır.

R_y, R_z kesme kuvvetleri komşu malzeme parçalarını keserek birbirinden ayırmaya çalışır. Genellikle S harfiyle gösterilir.

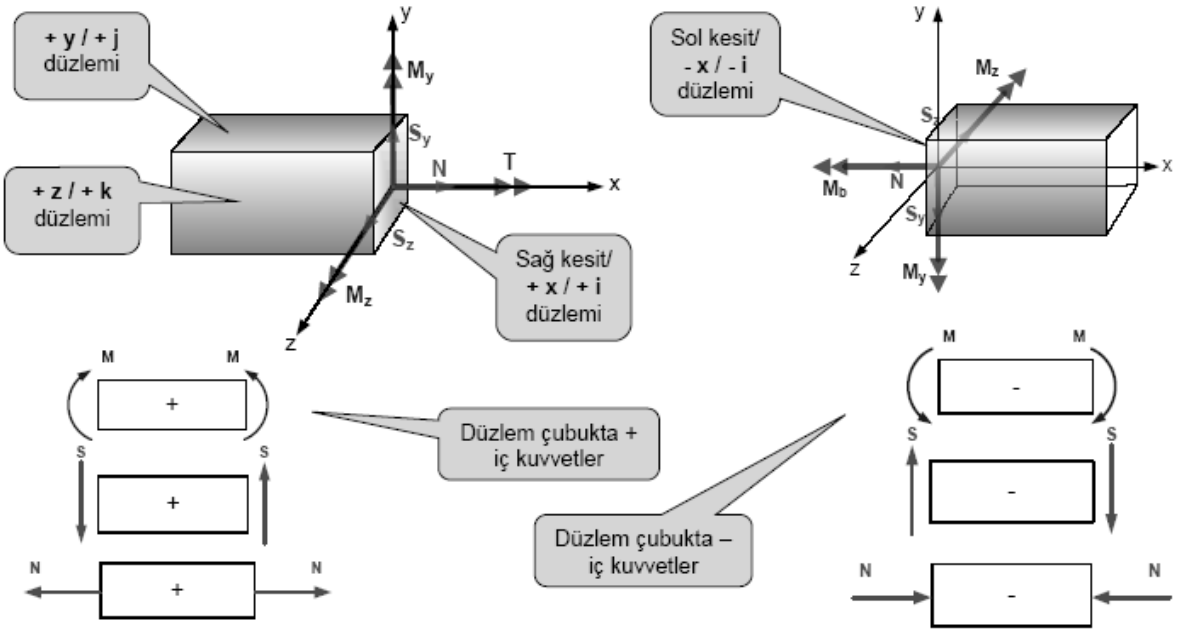
M_x burulma momenti veya tork elemanı kendi ekseni etrafında döndürmeye çalışır ve genellikle T harfi ile gösterilir. M_y, M_z eğilmemomentleri ise çubuğu bükmeye çalışır



Herhangi bir yapı elemanı kesit zorlarından bir veya bir kaçına veya tamamına aynı anda maruz kalabilir. Tasarımda her bir kesit zoru ayrı olarak ele alınıp çözüm yapılır. Daha sonra bulunan sonuçların uygun şekilde birleştirilmesiyle nihai çözüme ulaşılır. Dolayısıyla kesit zorlarıyla kesit zorları kullanılarak bulunan gerilme ve birim şekil değiştirmelerin hesaplanmasında kesim yöntemi ilk adım olarak karşımıza çıkmaktadır.Uygulamada bütün kuvvetler tek bir düzlem içinde etki ettiğinden (x-y düzlemi) problem büyük ölçüde basitleşmektedir. Düzlemsel problemlerde kesite etkiyen üç kesit zoru eksenel kuvvet N, kesme kuvveti S_y ve eğilme moment M_z dir. Bir düzlemin normal vektörünün koordinat ekseni ile aynı yönlü olması durumunda bu düzleme pozitif düzlem aksi halde negatif düzlem denir. Newton'un üçüncü yasasına göre kesit zorları kesimle ayrılan parçalara eşit ve zıt yönlü olarak etkir.

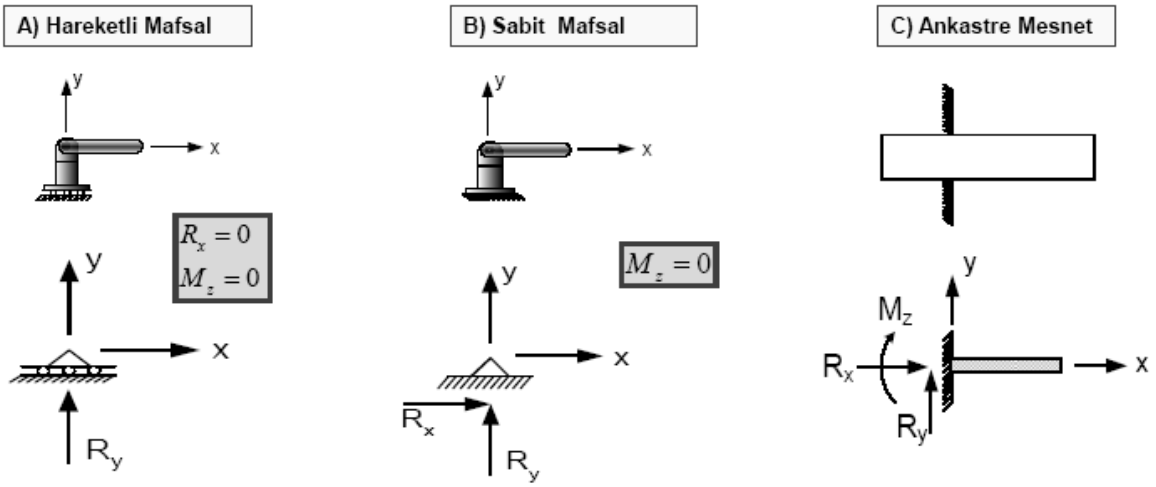
KESİT TESİRLERİ İÇİN POZİTİF YÖN KABULLERİ

Bir düzlem, o düzlemden dışarıya doğru yönelen birim vektörle tarif edilir. Normalleri, koordinat eksenlerinin pozitif yönleri ile çakışan düzlemlere sırasıyla +**i, +j, +k** düzlemleri denir. Aşağıda sol tarafta gösterilen ve normali +x ekseni yönünde olan (+**i**) düzleme pozitif x düzlemi veya sağ kesit de denmektedir. Eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti için pozitif düzlemde koordinat eksenleri yönündeki, negatif düzlemde ise koordinat eksenlerine ters yönlü kuvvetler pozitif kabul edilecektir. Bu işaret kabulü çubukların yük etkisi altındaki davranışına adapte edilebilir. Örneğin pozitif eksenel kuvvetler çubuk boyunu uzatır.



MESNET TİPLERİ VE GÖSTERİM ŞEKİLLERİ

Aynı düzlemdeki yüklerin etkisinde bulunan yapı elemanlarının mesnet tipleri aşağıda gösterilmiştir. Bu gösterim şekilleri yapı elemanlarının SCD çizilirken kullanılır. Hareketli mafsal, yapı elemanının bir doğrultudaki yer değiştirmesine ve dönmesine izin veren ancak belirli bir doğrultudaki yer değiştirmeye engel olan mesnet tipidir. Sabit mafsal, elemanın dönmesine izin veren ancak herhangi bir doğrultudaki yer değiştirmesine engel olan bir mesnet tipidir. Sabit ve hareketli mafsallara basit mesnetler denir. Ankastre yada sabit mesnet, elemanın yer değiştirmesine ve dönmesine engel olan mesnet tipidir. Dolayısıyla sabit mesnetlerde hem momente hem de herhangi bir doğrultudaki kuvvete karşı konur. Bu kuvvet yüzeye teğet ve normal doğrultulardaki bileşenlerine ayrılabilir. Serbest cisim diyagramlarında her bir mesnetteki reaksiyon kuvveti (R) ve moment (M) gösterilir. Elemandaki iç kuvvetlerin bulunmasına reaksiyonların belirlenmesinden sonra başlanır.



TASARIMDA BAŞLICA ADIMLAR

Tasarımın ana amacı, yapı elemanlarının verilen yükleri göçmeksizin taşıyabileceği ve kendisinden beklenilen işlevleri yerine getirebileceği uygun malzeme, eleman şekil ve boyutlarının belirlenmesidir. Bu aslında bir optimizasyon problemidir. Yukarıda sözü edilen amaçlara ulaşmadaki etkinlik kullanılan malzeme ve yapım maliyetinin minimum yapılmasıyla başarılır. Yük etkisindeki bir elemanın tasarımında aşağıdaki hususlar göz önüne alınmalıdır.

1. Elemanın kendisinden beklenilen işlevleri hangi durum(lar)da kaybedeceği belirlenmelidir.
2. Verilen yüklemeden oluşacak gerilme ve birim şekil değiştirme durumu tespit edilmelidir.
3. Gerilme ve birim şekil değiştirme gibi önemli büyüklüklerin elemanda göçme oluşturmaksızın alabileceği en büyük değerleri belirlenmelidir.
4. Güvenlik katsayıları seçilmelidir.

Yukarıdaki işlem adımları, verilen problemin yapısına bağlı olarak uzayıp kısalabilir. Pek çok etkinin dikkate alınması söz konusu olduğunda çoğunlukla bir deneme-yanılma işlemiyle tasarım sonuçlandırılır. Bu derste eleman malzemesi ile geometrik boyutlar önceden seçilmiş olduğundan tasarım sırasında yalnızca dayanım koşulunun sağlanması üzerinde durulacaktır. Basit mukavemet hallerinin incelendiği bölümlerde çıkartılacak formüller, uygun eleman boyutlarının seçiminde kullanılacaktır.

Elemanların tasarımında dikkate alınması gereken diğer hususlar da yükleme sonucu elemanda oluşacak deformasyonun hesaplanması ve burkulmadır. Bu konulara daha sonraki bölümlerde açıklık getireceğiz.

Kullanılan Birim Sistemi		
Kuvvet	F	*N, kN*
Uzunluk	L	*mm, m*
Zaman	t	*sn*
Alan	A	mm^2, m^2
Hacim	V	mm^3, m^3
Atalet Momenti	I	mm^4, m^4
Mukavemet Momenti	W	mm^3, m^3
Moment	M	*Nm, kNm*
Gerilme	σ, τ	N/m^2, N/mm^2
Elastisite Modülü	E	*GPa*
İvme	a	m/sn^2
İş-enerji	W,U	Joule

Pascal

$1\,Pa = N/m^2$ $\qquad$ $1\,MPa = 10^6\,N/m^2$

$MPa \rightarrow MN/m^2$ $\qquad$ $N/mm^2 = 10^6\,N/m^2 = MPa$

Faktör	Hece	İşaret
10^{12}	Terra	T
10^{9}	Giga	G
10^{6}	Mega	M
10^{3}	Kilo	k
10^{2}	Hekto	h
10	Deka	da

Faktör	Hece	İşaret
10^{-1}	Desi	d
10^{-2}	Santi	c
10^{-3}	Mili	m
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a

ÇUBUK MUKAVEMETİNİN ESASLARI

Yapılarboyutları bakımından
1. Çubuklar (tel, halat, kablo, direk, kiriş, kemerler, Bir boyutlu taşıyıcı cisimler
2. Levha, plak ve kabuklar (Döşeme plakları, kubbe ve tonozlar)
3. Üç boyutlu yapılar (Ağrılık barajları)

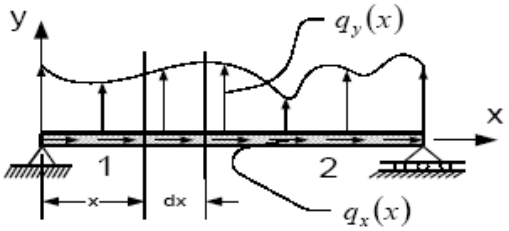
şeklinde üç sınıfa ayrılabilir. Mukavemette yalnız çubuk şeklindeki cisimler incelenecektir. Çubuklar eksen ve dik kesiti ile belirginleşir. Eksen genel olarak bir uzay eğrisi olup, çubuğun büyük olan boyutunu temsil ederken dik kesit ise kapalı bir eğri ile çevrelenmiş düzlem parçasıdır. Sabit kesitli, doğru eksenli çubuklara prizmatik çubuklar denir. Çubuğa etkiyen dış kuvvetler çoğu defa yayılı olup doğrultuları genellikle çubuk ekseninden geçer. Eğer dış kuvvetlerin tesir çizgileri çubuk ekseninden geçmiyorsa bu kuvvetler çubuk eksenine kuvvet çiftleri ile birliktetaşınır.

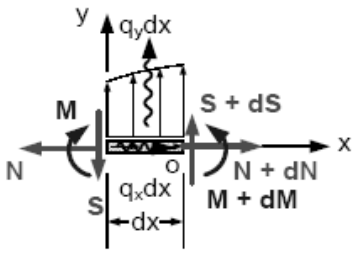
KESİT ZORLARININ BULUNMASI

Kesit zorlarının bulunmasında aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.
1- **Kesim yöntemi** (STATİK)
Dış kuvvetlerin etkisi altındaki sistemin mesnet tepkileri hesaplanır.Eleman, süreksizlik gösterdiği noktalardan bölgelere ayrılır. Bu noktalar, tekil yüklerin uygulandığı noktalar, yayılı yüklerin başladığı ve bittiği yerler ve çubuk kesitinin değiştiği noktalardır. Her bir bölgedeki kesit zorları yazılan denge denklemleri yardımıyla hesaplanır.
2- **İntegrasyon yöntemi**
Kesit zorlarına ait diferansiyel denge denklemleri, sınır koşulları dikkate alınarak çözülür.

YAYILI YÜKLER ETKİSİNDEKİ DOĞRU EKSENLİ BİR KİRİŞTE KESİT ZORLARININ DİFERANSİYEL DENGE DENKLEMLERİ

Genellikle ekseni boyunca etkiyen yayılı yükleri eğilme dirençleri yardımıyla mesnetlerine aktaran bir boyutlu (en kesit boyutları küçük, uzunluğu büyük olan) yapı elemanlarına kiriş adı verilir. iimdi dış yüklerle kesit zorları arasındaki bağıntıları elde etmek istiyoruz. Aşağıda gösterilen basit kirişe x ve y eksenleri doğrultusunda q_x ve q yayılı yükleri etkisin. q_x ve q sırasıyla x ve y eksenleri doğrultusunda etki eden yayılı yüklerin şiddetindeki değişimi x koordinatına bağlı olarak ifade eden fonksiyonlardır. Yayılı yükler ve mesnet reaksiyonları altında dengede olan kirişten dx kalınlıklı küçük bir parça çıkartılsın. Bütünü dengede olan çubuktan alınan bu küçük parçanın da üzerine etkiyen yükler ve kesit zorları altında dengede olması gerekir. Alınan dx kalınlıklı parçanın sağ yüzündeki zorlamaların sol yüzdeki zorlamalardan dN, dS ve dM kadar farklı olduğu kabul edilmiştir. Eksenler doğrultusundaki denge denklemlerinden kirişe ait aşağıdaki üç diferansiyel denklem bulunur.





$$\sum F_x = 0 \qquad (N+dN) - N + q_x dx = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad (S+dS) - S + q_y dx = 0$$

$$\sum M_z = 0 \qquad M + dM - M - q_y dx \frac{dx}{2} + S dx = 0$$

$$\frac{dN}{dx} = -q_x \qquad \frac{dS}{dx} = -q_y \qquad \frac{dM}{dx} = -S$$

$$\frac{dS}{dx} = \frac{d}{dx}\left[-\frac{dM}{dx}\right] = -\frac{d^2M}{dx^2} = -q_y \qquad \frac{d^2M}{dx^2} = q_y$$

Kiriş diferansiyel denklemlerinin integrasyonu ile kesit zorları fonksiyonları belirlenebilir. İntegrasyon sabitlerinin bulunmasında kesit zorlarının başlangıç değerlerinden yararlanılır. İntegrasyon yöntemi özellikle yayılı yük fonksiyonlarının verildiği hallerde kolaylık sağlar. Önceki sayfada çıkarttığımız diferansiyel denklemleri belirli iki nokta arasında mesela 1 ve 2 noktaları arasında integre edersek aşağıda gösterilen ifadeler elde edilir. Bu ifadelerin sağ taraflarındaki integrallerin fiziki anlamları sırasıyla negatif işaretle söz konusu noktaların arasındaki yayılı yük fonksiyonlarının altında kalan alan ile yine negatif işaretle kesme kuvveti diyagramının altında kalan alan olarak söylenebilir. Söz konusu denklemlerin sol tarafları ise sırasıyla her bir kesit zorundaki değişimi vermektedir.

$$\frac{dN}{dx} = -q_x \qquad N_2 - N_1 = -\int_1^2 q_x dx = -YFAKA_x$$

Yayılı yük fonksiyonu altında kalan alan

$$\frac{dS}{dx} = -q_y \qquad S_2 - S_1 = -\int_1^2 q_y dx = -YFAKA_y$$

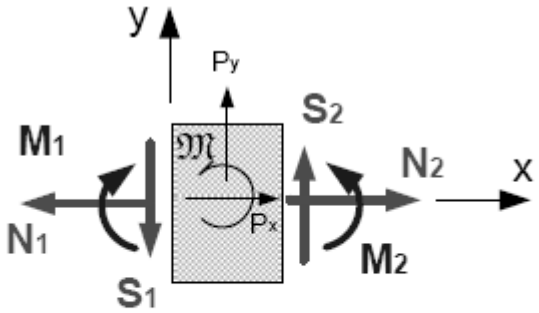
Yayılı yük fonksiyonu altında kalan alan

$$\frac{dM}{dx} = -S \qquad M_2 - M_1 = -\int_1^2 S_y dx = -KKDAKA$$

Kesme kuvveti diyagramı altında kalan alan

KİRİŞE TEKİL YÜK VE MOMENT ETKİMESİ HALİ

Kesit zorlamalarına ait diferansiyel denge denklemleri bulunurken göz önüne alınan çubuk parçası üzerinde herhangi bir tekil kuvvet yada kuvvet çifti etkimediği düşünülmüştür. Eğer tekil kuvvet ve kuvvet çiftleri varsa kuvvet zorlarında süreksizlik olacaktır. Herhangi bir kesitte x ve y eksenleri doğrultusunda P_x ve P_y tekil kuvvetleri ile bir M momenti etkisin. Tekilliğin olduğu yerden alınacak bir eleman üzerinde denge denklemleri yazıldığında yandaki bağıntılara ulaşılır.



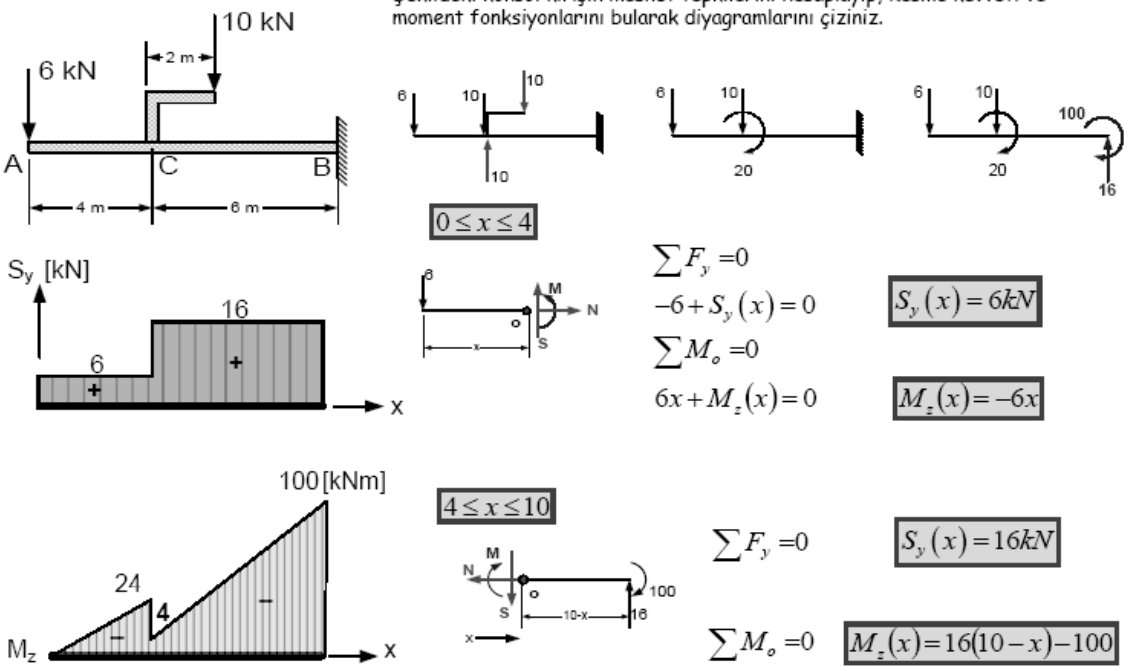
$$N_2 - N_1 = -P_x$$

$$S_2 - S_1 = -P_y$$

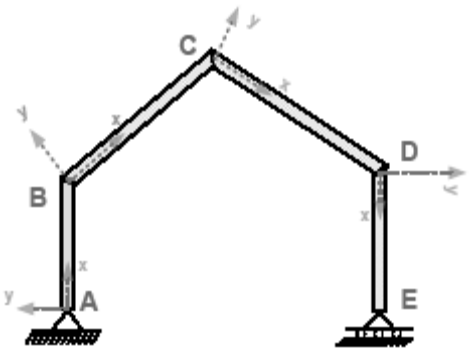
$$M_2 - M_1 = -M$$

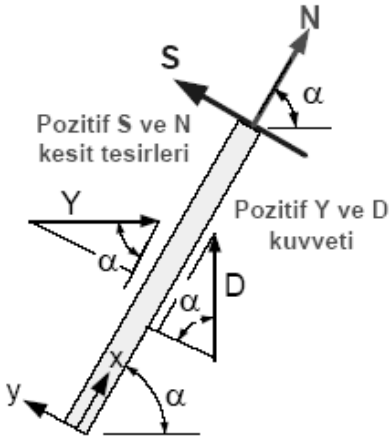
Örnek

Şekildeki konsol kirişin mesnet tepkilerini hesaplayıp, Kesme kuvveti ve moment fonksiyonlarını bularak diyagramlarını çiziniz.



İki ya da daha fazla çubuğun (kiriş elemanının) uçlarından rijit şekilde birleştirilmesiyle oluşturulan taşıyıcı sistemlere *çerçeve* denir. Çerçeveyi oluşturan elemanlar çeşitli doğrultularda uzanırlar. Tek katlı tek açıklıklı *çerçevelere* portik adı verilmektedir. Sanayi yapılarında *sıkça* karşılaşılan portiklerin açıklığı 26-30 metre civarındadır. Yan tarafta bir sanayi yapısının taşıyıcı sistemi şematik olarak gösterilmiştir. *Çerçeve* elemanlarına ait kesit zorları, elemanlara ait eksen takımları kullanılarak belirlenir. Genelde elemanlara çerçevenin içinden bakılarak elemanın sol ucuna koordinat takımının merkezi yapıştırılır. x ekseni eleman ekseni ile çakıştırılır. y ekseni (bakış yönünde) yukarı doğru, z ekseni de kağıt düzlemine dik doğrultuda ve okuyucuya yönelecek biçimde gösterilir. iimdi yatayla α açısı yapan bir elemanın herhangi bir kesitindeki Kesme kuvveti (S) ile Normal kuvvet (N) yi kolayca hesaplamak üzere iki bağıntı çıkaralım.





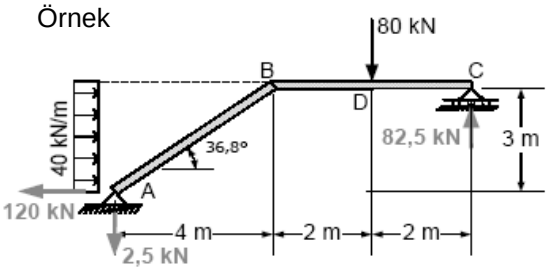
Yatayla herhangi bir α açısı yapan çubukta göz önüne alınan kesitin solunda kalan parçadaki (yapıdaki) Yatay ve düşey doğrultudaki bileşke kuvvetler Y ve D olarak belirlendiğinde söz konusu kesitteki kesme kuvveti S ve normal kuvvet N ; y ve x doğrultularında yazılacak toplam kuvvet sıfır denklemlerinden hesaplanabilir.

$$\sum F_y = 0 \qquad S - Y * \sin\alpha + D * \cos\alpha = 0$$

$$\sum F_x = 0 \qquad N + Y * \cos\alpha + D * \sin\alpha = 0$$

$$S = Y * \sin\alpha - D * \cos\alpha$$
$$N = -(Y * \cos\alpha + D * \sin\alpha)$$

Örnek



Şekildeki çerçevenin mesnet tepkilerini hesaplayıp, Kesme kuvveti ve moment fonksiyonlarını bularak diyagramlarını çiziniz.

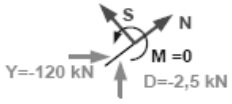
Mesnet tepkilerini hesaplamak için yapının tamamında denge denklemleri yazılırsa,

$$\sum M_z^A = 0 \Rightarrow C_y = 82,5\,kN \uparrow$$
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow A_x = 120\,kN \leftarrow$$
$$\sum M_z^C = 0 \Rightarrow A_y = 2,5\,kN \downarrow$$

Önceki sayfada çıkartılan iki bağıntıyı kullanarak yüklemede veya elemanların doğrultusunda değişme olan kritik noktalardaki zorlamaları hesaplayalım.

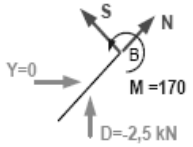
$$S = Y^* \sin\alpha - D\cos\alpha$$
$$N = -\left(Y^* \cos\alpha + D^* \sin\alpha\right)$$

A noktasının Sağı



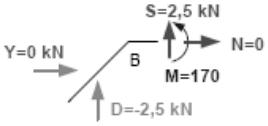
$$S_A = -120\cdot 0,6 + 2,5\cdot 0,8 = -70\,kN$$
$$N_A = -(-120\cdot 0,8 - 2,5\cdot 0,6) = 97,5\,kN$$
$$M_A = 0$$

B noktasının Solu



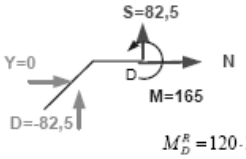
$$S_B^L = 2,5\cdot 0,8 = 2\,kN$$
$$N_B^L = -(-2,5\cdot 0,6) = 1,5\,kN$$
$$M_B^L = 120\cdot 3 - 120\cdot 1,5 - 2,5\cdot 4 = 170\,kNm$$

B noktasının Sağı



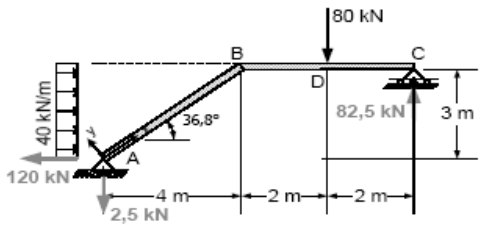
$$S_B^R = 2,5\cdot 1 = 2,5\,kN$$
$$N_B^R = -(2,5\cdot 0 + 0\cdot 1) = 0$$
$$M_B^R = 170\,kNm$$

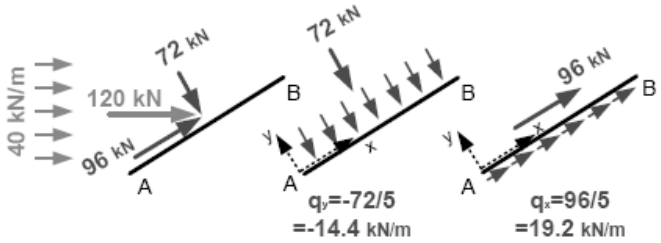
D noktasının sağı

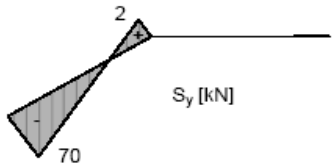


$$S_D^R = 82,5\,kN$$
$$N_D^R = -(82,5\cdot 0 + 0\cdot 1) = 0$$
$$M_D^R = 120\cdot 3 - 120\cdot 1.5 - 2,5\cdot 6 = 165\,kNm$$

Bundan önceki problemlerdeki (tekil veya yayılı) yükler ya elemanın sol ucuna yapıştırdığımız x, y eksenleri doğrultusundaki bileşenleri cinsinden verilmekteydi ya da söz konusu eksenler doğrultusundaki bileşenlerine kolayca ayrılabilmekteydi. Bu problemdeki 40 kN/m lik düşeyde düzgün yayılı yükün AB elemanının A ucuna yapıştırılan x ve y eksenleri doğrultusundaki iki bileşene ayrılması (diğer bir ifade ile q_x , q_y yük fonksiyonlarının belirlenmesi) gerekir.





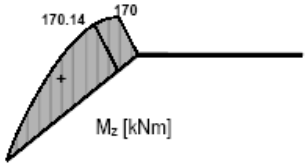


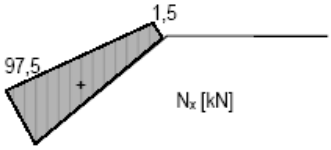
AB elemanı $0 < x < 5\,m$

$$\frac{dN}{dx} = -q_x \quad \frac{dN}{dx} = -19.2 \Rightarrow N = -19.2x + c_1 \qquad (x = 0; N = 97.5) \Rightarrow c_1 = 97.5$$
$$N = -19.2x + 97.5 \quad kN$$

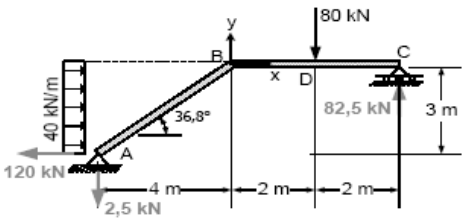
$$\frac{dS}{dx} = -q_y \quad \frac{dS}{dx} = 14.4 \Rightarrow S = 14.4x + c_2 \qquad (x = 0; S = -70) \Rightarrow c_2 = -70$$
$$S = 14.4x - 70 \quad kN$$

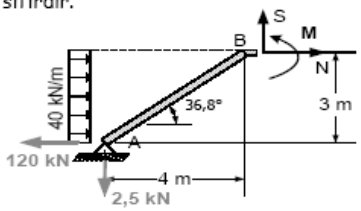
$$\frac{dM}{dx} = -S \quad \frac{dM}{dx} = -14.4x + 70 \Rightarrow M = -7.2x^2 + 70x + c_3 \quad (x = 0; M = 0) \Rightarrow c_3 = 0$$
$$M = -7.2x^2 + 70x \quad kNm$$



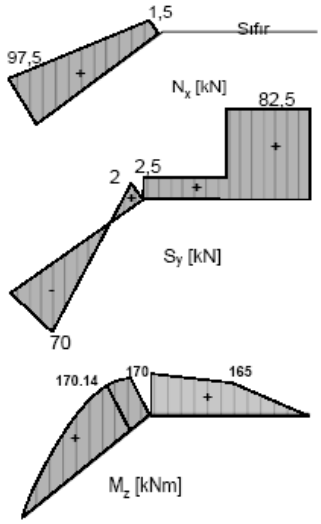


BC elemanının ortasına etkiyen 80 kN lık bir tekil kuvvet bulunmaktadır. Dolayısıyla D noktasından önceki ve sonraki kesit zoru fonksiyonları birbirinden farklıdır. Öncelikle koordinat takımını elemanın sol ucu olan B noktasına yapıştırarak, x koordinatının 0 ile 2 m. arasında değiştiği BD kısmında geçerli olan kesit zorları fonksiyonlarını belirleyelim. Kesit zorlarının x=0 daki başlangıç değerlerini daha önce çıkartılan S ve N bağıntıları ile belirlemiştik. Şimdi aynı değerleri kesim yöntemi ile hesaplayalım. BC elemanında q_x , q_y yük fonksiyonlarının her ikisi de sıfırdır.





$$\sum F_x = 0 \Rightarrow N = 0$$
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow S = 2.5 \quad kN$$
$$\sum M = 0 \Rightarrow M + 120*1.5 + 2.5*4 - 120*3 = 0$$
$$M = 170 \quad kNm$$



BC elemanı $0 < x < 2\ m$

$$\frac{dN}{dx} = -q_x \quad \frac{dN}{dx} = 0 \Rightarrow N = c_1$$
$$(x = 0; N = 0) \Rightarrow c_1 = 0 \quad N = 0 \quad kN$$

$$\frac{dS}{dx} = -q_y \quad \frac{dS}{dx} = 0 \Rightarrow S = c_2$$
$$(x = 0; S = 2.5) \Rightarrow c_2 = 2.5 \quad S = 2.5 \quad kN$$

$$\frac{dM}{dx} = -S \quad \frac{dM}{dx} = -2.5 \Rightarrow M = -2.5x + c_3$$
$$(x = 0; M = 170) \Rightarrow c_3 = 170$$
$$M = -2.5x + 170 \quad kNm$$

BC elemanı $2 < x < 4\ m$

$$\frac{dN}{dx} = -q_x \quad \frac{dN}{dx} = 0 \Rightarrow N = c_1$$
$$(x = 4; N = 0) \Rightarrow c_1 = 0 \quad N = 0 \quad kN$$

$$\frac{dS}{dx} = -q_y \quad \frac{dS}{dx} = 0 \Rightarrow S = c_2$$
$$(x = 4; S = 82.5) \Rightarrow c_2 = 82.5 \quad S = 82.5 \quad kN$$

$$\frac{dM}{dx} = -S \quad \frac{dM}{dx} = -82.5 \Rightarrow M = -82.5x + c_3$$
$$(x = 4; M = 0) \Rightarrow c_3 = 330 \Rightarrow M = -82.5x + 330 \quad kNm$$

GERİLME

Mühendislerin yük etkisi altındaki bir elemanın davranışını tanımlamakta kullandığı iki kavram;

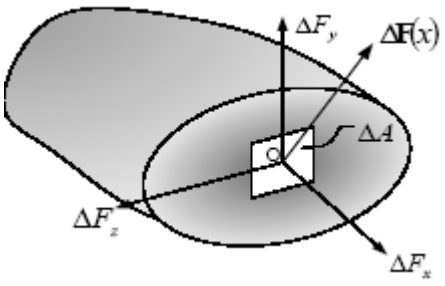
Gerilme ve Birim Şekil Değiştirme

dir. Gerilme ve bileşenlerini tanımlamakta kesim metodunu kullanıp, eksenel kuvvetten oluşan normal gerilme ile ortalama kayma gerilmesinin bulunuşu üzerine duracağız. Sonra, öğrendiklerimizin çeşitli problemlerde nasıl kullanıldığı açıklanacak eksenel yüklü çubukların ön boyutlandırılması ve emniyet gerilmesi incelenecektir.

TANIM : GERİLME

Neden normal ayakkabı ile kara gömülen, bata çıka adım atabilen biri hedik giydiğinde yeni yağmış kar üzerinde bile batmadan rahatça yürüyebilmektedir? Nedeni birim alana gelen ağırlığın ikinci durumda azalması olarak söylenebilir. Kuvvet etkisinde dengede olan bir elemanın içindeki herhangi bir noktadaki *iç* kuvvetin şiddetine yani birim alana düşen *iç* kuvvete gerilme adını veriyoruz.

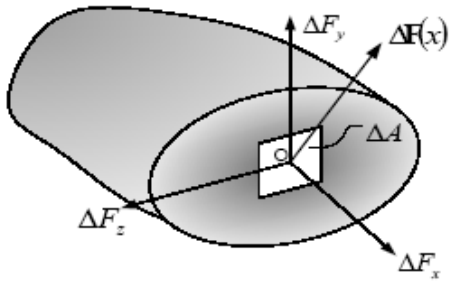
Gerilme birimi Pascal'dır Uygulamada daha çok MegaPascal (MPa) kullanılır.



$$Gerilme\ (\sigma;\tau) \begin{cases} \frac{N}{m^2} \rightarrow Pascal\ (Pa) \\ \frac{N}{mm^2} \rightarrow MegaPascal\ (MPa) \end{cases}$$

Yukarıdaki şekilde dengede olan bir cisimden kesilerek alınan bir parçanın kesim düzlemi üzerinde alınan herhangi bir o noktası ve bu nokta civarındaki ΔA alanı ile bu alana etkiyen $\Delta \mathbf{F}$ *iç* kuvveti gösterilmiştir. O noktasına yapıştırılan koordinat takımının x ekseni kesim düzlemine dik olan doğrultu ile çakıştırılmıştır.

$\Delta \mathbf{F}$ *iç* kuvvetinin eksenler doğrultusundaki bileşenleri sırasıyla ΔF_x , ΔF , ΔF_z olarak bilinsin. Bu gerilme bileşenlerini ΔA alanına bölerek ΔA sıfıra giderken limiti alınırsa her bir eksen doğrultusundaki gerilme bileşeni tanımlanmış olur. Yüzeye dik doğrultudaki gerilmeye normal gerilme adı verilip σ (sigma) harfi ile gösterilirken, kesim yüzeyi içindeki gerilmelere de kayma gerilmesi denir ve τ (tau) harfi ile gösterilir. Her gerilme bileşenine eklenen iki indisden birincisi kesim düzleminin normalinin doğrultusunu, ikinci indis ise gerilme bileşeninin kendi doğrultusunu belirtir. Örneğin τ_{xz} normali x ekseni olan düzlemde z ekseni doğrultusundaki kayma gerilmesidir.



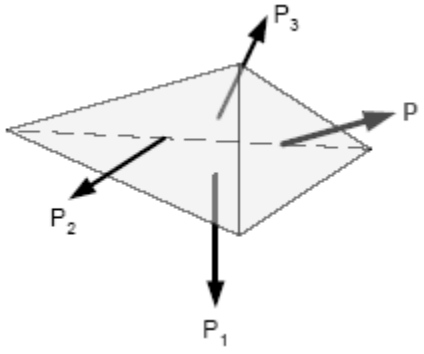
$$\sigma_{xx} = \sigma_x = \lim_{\Delta A \to 0}\left(\frac{\Delta F_x}{\Delta A}\right) = \frac{dF_x}{dA}$$

$$\tau_{xy} = \lim_{\Delta A \to 0}\left(\frac{\Delta F_y}{\Delta A}\right) = \frac{dF_y}{dA}$$

$$\tau_{xz} = \lim_{\Delta A \to 0}\left(\frac{\Delta F_z}{\Delta A}\right) = \frac{dF_z}{dA}$$

Gerilme;

a) İç kuvvetin *(ΔF)* noktadan noktaya değişmesine bağlı olarak değişir.
b) $\Delta \mathbf{F}$**'**nin etkidiği noktadan geçen düzlemin doğrultusuna da bağlı olarak değişir.

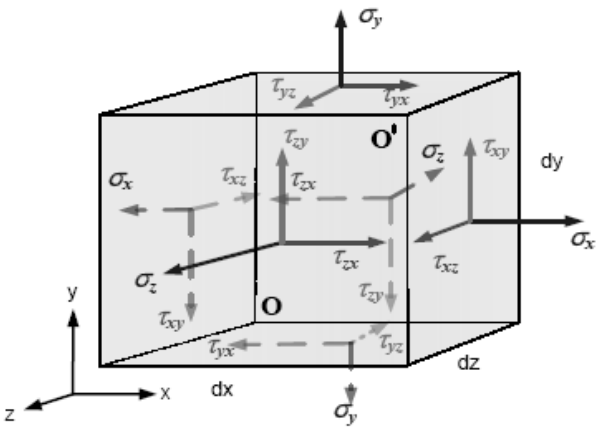


Bir noktadaki gerilmenin tam olarak tanımlanması için o noktadan geçen bütün düzlemlerdeki (sayısı sonsuz) gerilmelerin verilmesi gerekir. Örneğin yukarıdaki şekilde gösterilen ve o noktasının bulunduğu yerden çıkartılan dört yüzlünün üç yüzündeki *iç* kuvvetler verilmiş ise dördüncü yüzdeki *iç* kuvveti ya da gerilme durumunu yalnızca denge denklemleri yardımı ile bulmak mümkündür.

$$\mathbf{P = f(P_1, P_2, P_3)}$$

Gerilmenin Bileşenleri

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$



Bir noktadan geçen sonsuz sayıdaki düzlemin her birindeki gerilmenin diğer bir deyiŞle GERİLME HALİ'nin belirtilmesi için o noktadan geçen üç dik düzlemdeki gerilme bileşenlerinin verilmesi yeterli olur.

Düzlemler o noktadan geçen eksenlere dik olarak seçilirse sonsuz küçük boyutlu bir kübik eleman elde ederiz. Gerilmelerin elemanın yüzlerine yayılı ve O ve O' noktasındaki gerilmelerin eşdeğer olduklarını düşünüyoruz. Gerilmeler her düzlemin merkezinde bir vektörle gösterilmiştir. Bir noktada üç dik düzlemdeki toplam 9 gerilme bileşeni ile verilen gerilme hali gösterimine ***GERİLME TANSÖRÜ*** *de*nir.

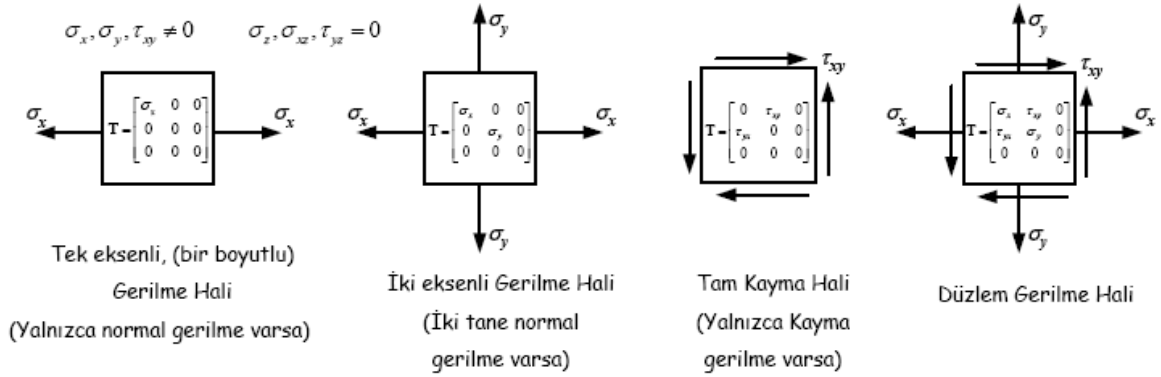
Gerilme tansörünün her bir satırında yalnızca belirli bir düzlemdeki gerilme bilşeşenleri sıralanırken her bir sutunda ise belirli bir koordinat ekseni doğrultusundaki gerilmelergösterilmektedir. Skaler büyüklüklerin tarif edilmesinde bir rakam ve birimin verilmesi yeterli olurken vektörel büyüklüklerin anlaşılmasında bir rakam ve birim yeterli olmamaktadır. Örneğin bir yer değiştirmenin 5 m olduğu söylemek cismin son konumu hakkında hiçbir bilgi vermez. Yapılması gereken şey cismin başlangıç konumuna bir eksen takımı yapıştırmak ve yer değiştirmenin 3 m., 4 m., 0 m. gibi bu eksenler doğrultusundaki üç bileşenini vermektir. Verilen bu üç parametre ile cismin son konumu tam olarak tarif edilmiş olur. Bir noktadaki **gerilme hali** ile daha sonra göreceğimiz bir noktadaki **birim şekil değiştirme hali** hep tansörel büyüklükler olup dokuz bileşeni verilmeden tam olarak anlaşılamayan büyüklüklerdir.
Kayma gerilmesinin özelliklerinin bulunması için denge denklemlerini yazalım.

$\sum F_x = 0$; $\sum F_y = 0$; $\sum F_z = 0$ Otomatik olarak sağlanır

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow -(\tau_{yx} dzdxdy + (\tau_{xy} dzdy)dx = 0$$

$\tau_{yx} = \tau_{xy}$ **DİK DÜZLEMLERDEKİ KAYMA GERİLMELERİ EŞİTTİR.**

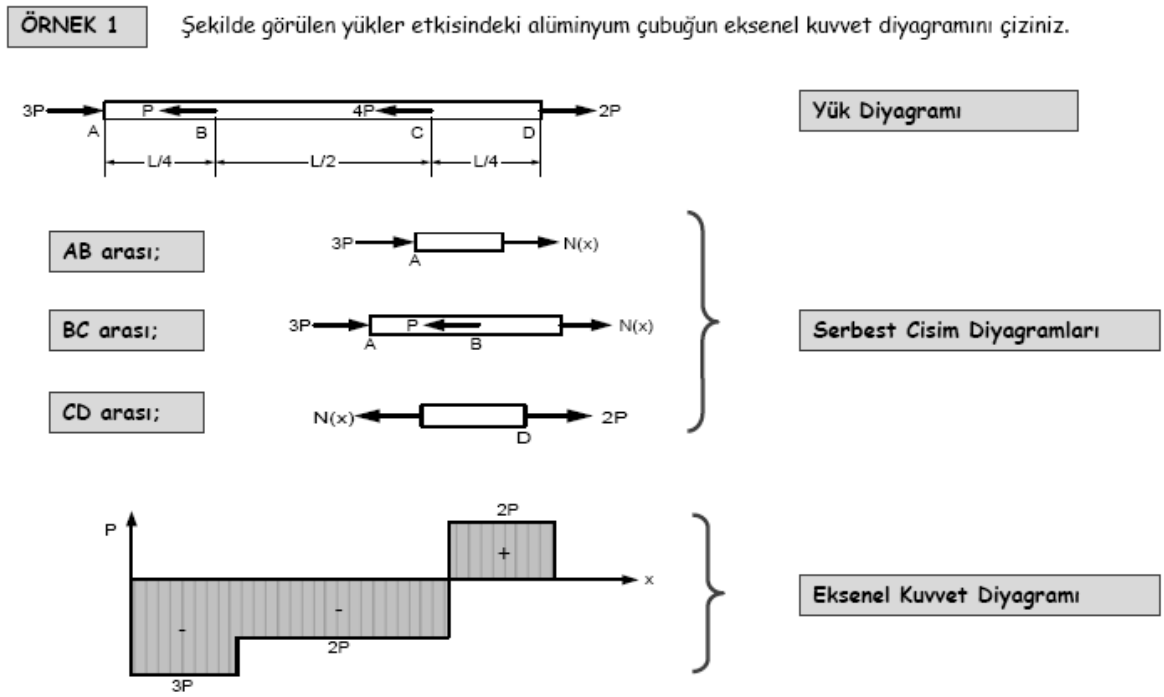
$\sum M_x = 0 \Rightarrow \tau_{yz} = \tau_{zy}$ $\sum M_y = 0 \Rightarrow \tau_{xz} = \tau_{zx}$



bulunur. İşaret kabulü, düzlemin normali ile gerilmenin yönünün her ikisinin de pozitif veya negatif olması durumunda gerilme **POZİTİF** kabul edilir. Şimdi gerilme halinin **xy düzlemi** üzerindeki izdüşümünü alalım (**+z** yönünden bakıldığında).

Ekseni Doğrultusunda Kuvvetlerle Yüklü Doğru Eksenli Çubukta Eksenel Normal Kuvvetler

Bu durumda eksenel normal kuvvet ve uzama veya kısalma söz konusudur.



Çubuk boyuna ekseni doğrultusunda birkaç eksenel kuvvetle yüklü ise eksenel normal kuvvetler kesitten kesite değişir. Bu
amaçla öncelikle eksenel normal kuvvet diyagramı çizilmelidir. Bunun için;.

- Öncelikle reaksiyonlar hesaplanır.
- Yüklemede değişme olan her bir bölgede (yükte süreksizlik olan her bir bölgede) ayrı bir kesim yapılarak o bölgedeki eksenel normal kuvvet, denge denklemi yazılarak hesaplanır.
- Eksenel kuvvet diyagramı çizilir.

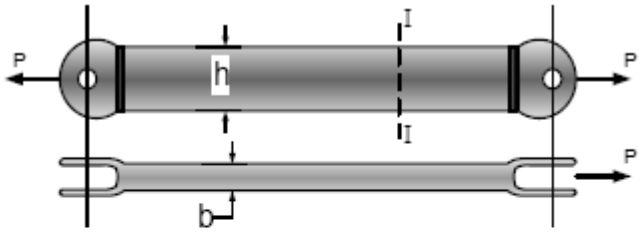
Diyagramın kapanması hesaplamaların doğruluğunu kontrol etmek için kullanılabilir.

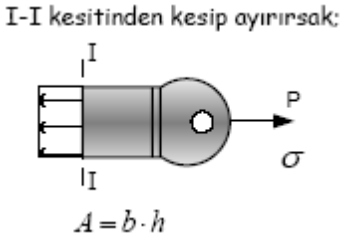
NORMAL GERİLME

Cismin herhangi bir kesitindeki gerilme, sabit şiddete veya düzgün yayılı ise buna **basit gerilme** adı verilir.Yük taşıyan elemanların çoğunun düşünülen bir kesitindeki iç kuvvetler ya eksenel kuvvettir ya da kesme kuvvetidir. Örneğin kablolar, kafes kiriş elemanları, eksenel yüklü çubuklarda eksenel normal kuvvet, iki çubuğu birleştiren cıvata, pim ve perçinlerde ise kesme kuvveti söz konusu olduğundan normal gerilme ile kayma gerilmesini hesaplamakta doğrudan gerilmenin tanımını ve denge denklemlerini kullanmak mümkündür.

***Gerçek* gerilme yayılışını bulmak için şekil değiştirmeleri dikkate almak gereklidir.**

Eksenel kuvvetle yüklü prizmatik bir çubuk düşünelim.





$$\sum F_{yatay} = 0 \Rightarrow P = \sigma \cdot A$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Eksenel Çekme gerilmesi

Çubuk ekseni ile 90^o'lik açı yapan I-I kesitini düşünelim. Kesim yüzeyindeki gerilme şekilde düzgün yayılı olarak gösterilmiştir**.**

Bu enkesitteki üniform gerilmenin değeridir. Bunun için;

- P enkesitin ağırlık merkezinden uygulanmalı
- Çubuk doğru eksenli, yapıldığı malzeme homojen olmalı
- Kesim düzlemi çubuk uçlarından uzak olmalı

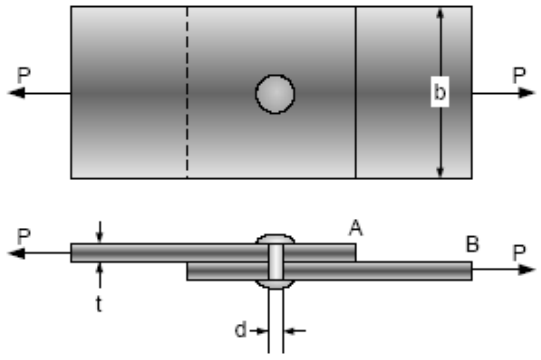
ile verilen üç kriterin sağlanması gerekir.

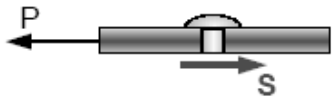
1. kriter sağlanmaz ise moment oluşur gerilme enkesite düzgün yayılmaz.

Çelik yapı elemanlarının birleştirilmesinde perçin, bulon (cıvata) veya kaynak kullanılır. Perçin, küre takkesi bir baş ve hafif konik gövdeden oluşan bir birleştirme elemanıdır. Kızıl renk alıncaya kadar ısıtılan perçin elemanlara açılan delikten geçirilir. Diğer uçtan çıkan konik kısım dövülerek küre takkesi biçimi verilir. Konik olan perçin gövdesi dövülme sırasında silindire dönüşerek deliği tam olarak kapatır. Eski yapılarda kullanılan perçin, kaynak teknolojisindeki ilerleme sebebiyle günümüzde kullanılmamaktadır. Perçin yada kaynakla birleştirilen yapı elemanlarını, elemanlara zarar vermeden sökmek mümkün olmadığından bu birleşim araçları kalıcı yapılarda kullanılır. Bir yapının ileride sökülerek başka bir yere taşınması söz konusu ise bulon (cıvata) denilen birleşim aracı kullanılır. Cıvata altıgen bir baş ve üzerine diş açılmış silindirik bir gövdeden oluşur. Elemanlara açılan delikten geçirilen cıvatanın dişli ucuna somun adı verilen bir parça anahtar yardımıyla sıkılır. Hafif eğik yüzeylere takılan cıvatalarda somun takılmadan önce yükün yayılmasını sağlamak amacıyla pul denilen halka şeklindeki metal parçalar kullanılır. Çelik yapılardaki titreşimler sebebiyle zamanla somunların gevşemesi söz konusudur. Somunların gevşemesine engel olmak için ya rondela adı verilen yaylar ya da çift somun sıkılması yoluna gidilir.

Direkt kesme haline örnekler:
1- Perçinli veya bulonlu -civatalı- birleşim

Kayma gerilmesi hesabı

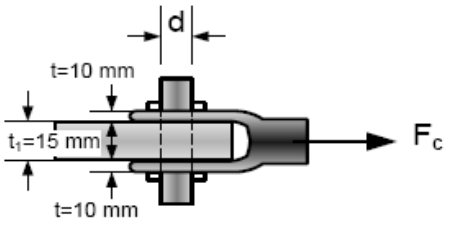




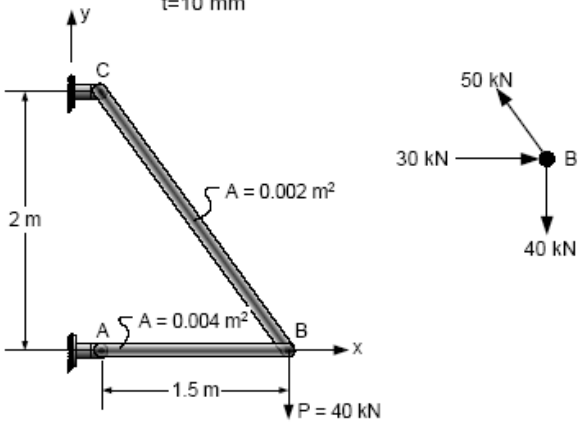
$$\tau_{ort} = \frac{P_1}{m \cdot \left(\pi \cdot d^2 / 4 \right)}$$

P_1 = bir perçinin taşıdığı kuvvet
m = bağlantıdaki eleman sayısı -1

Örnek



Şekilde 40 kN'luk düşey kuvveti taşıyan kafes sistem görülmektedir. Bütün pimler 20 mm çapa sahiptir. Çatal uçlardaki kalınlık 10'ar mm, bağlantı levhasının kalınlığı 15 mm'dir. Elemanlardaki normal gerilmeleri C mafsalındaki kayma ve ezilme gerilmelerini hesaplayınız.



B düğüm noktasının dengesinden çubuk kuvvetleri kolayca hesaplanabilir.

$$\sigma_{AB} = \frac{-30 \times 10^3}{0.004} = -7.5 \times 10^6 Pa = 7.5 MPa$$ **Basma**

$$\sigma_{BC} = \frac{50 \times 10^3}{0.002} = 25 \times 10^6 Pa = 25 MPa$$ **Çekme**

$$\tau_C = \frac{50 \times 10^3}{2\pi d^2 / 4} = 79.6 \times 10^6 Pa = 79.6 MPa$$

$$\sigma_{ezilme} = \frac{50 \times 10^3}{0.015 \times 0.020} = 166.7 \times 10^6 Pa = 166.7 MPa$$ **Mesnet levhasında**

$$\sigma_{ezilme} = \frac{50 \times 10^3}{2 \times 0.010 \times 0.020} = 125 \times 10^6 Pa = 125 MPa$$ **Çatal uçta**

EMNİYET GERİLMESİ: GÜVENLİK KATSAYISI

Yapıların tasarım ve analizinde karşılaşılan çevresel etkiler, kullanım yükleri, malzeme özellikleri gibi çeşitli belirsizliklere karşı uygun bir güvenlik katsayısı seçilmesi önemlidir. Belirsizlik doğuran alanların başında gerilme ve şekil değiştirme kabulleri gelmektedir. Yapının imalatında ve kullanımı sırasında oluşacak gerilmeler kesin olarak bilinmediğinden güvenlik katsayısına bazen cehalet katsayısı adı verilir. Bazı durumlarda malzeme, üzerindeki yük sabit olduğu halde şekil değiştirmeye devam eder. Zamanla oluşan bu şekil değişimine **sünme** adı verilir. Diğer taraftan şekil değiştirmenin sabit olduğu hallerde gerilmedeki

azalmaya ise **gevşeme** denir. Kurşun, lastik ve bazı plastiklerde sünme normal sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Pek çok metalde sünme olayına ergime sıcaklığının yüzde 35-50'si düzeyindeki sıcaklıklarda görülmektedir. Herhangi bir malzemenin sünme hızı yalnızca sıcaklığa değil aynı zamanda gerilme düzeyi ile yük geçmişine de bağlıdır. Sünme kaynaklı deformasyonları azaltmak amacıyla gerilmelerin küçük tutulması faydalıdır.

Güvenlik katsayısı, yapı elemanına uygulanacak yükün, o elamanın taşıyabileceği en büyük yükü aşmamasını garanti eder. Güvenlik katsayısı, yapı elemanının (göçmeksizin) taşıyabileceği en büyük yükün kullanım yüküne oranıdır.

$$\text{Güvenlik Katsayısı} = \frac{\text{En Büvük Gerilme}}{\text{Kullanım Gerilmesi}} \qquad f_s = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{em}}$$

En büyük gerilme, ya akma gerilmesidir yada çekme (basınç) mukavemetidir. Güvenlik katsayısının oldukça küçük olması, emniyet gerilmesinin oldukça büyük olmasını, bu durumda da yapının kullanımı sırasında problem çıkabileceği gösterir. Diğer taraftan oldukça düşük emniyet gerilmesi ve oldukça yüksek güvenlik katsayısı ile yapı ağır ve fazla maliyetli olur. Güvenlik katsayısı, genellikle 1.5 veya üstünde seçilir. Seçim de tecrübe ve mühendislik önsezisi önemlidir. Güvenlik katsayıları pek çok ülkede standart ve yönetmeliklerle belirlenmektedir.

Örnek Çapı 1.5 m, et kalınlığı 3 mm olan çelik silindirik tankın $\sigma_{enbüyük}$ = 240 MPa, f_s = 2 olduğuna göre taşıyabileceği p basıncını hesaplayınız.

Çevresel ve Eksenel gerilmeler, emniyet gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{maks}}{f_s} = \frac{240}{2} = 120MPa;\ \sigma_c = \frac{pr}{t} \le \sigma_{em} \longrightarrow p = \frac{120 \cdot 3}{750} = 0.48MPa$$

$$\sigma_a = \frac{pr}{2t} \le \sigma_{em} \Rightarrow p = 2\frac{\sigma_{em} \cdot t}{r} = 0.96MPa$$

Bulunur. Manometre 0.48 MPa'ı aşmamalıdır.

Çekme ve Kısa Basma Çubuklarının Tasarımı

Eksenel yüklü prizmatik çubukların mukavemet yönünden boyutlandırılmasında

1. **Mümkün göçme modunun belirlenmesi:** Çoğunlukla göçmede normal gerilmenin temel bir büyüklük olduğu kabul edilir.
2. **Yük ile gerilme arasındaki bağıntının yazılması:** $\sigma = \frac{P}{A}$
3. **En Büyük Çekme mukavemetinin belirlenmesi:** Malzemenin σ-ε diyagramındaki en büyük ordinatı σ_{maks}
4. **Güvenlik katsayısının seçilmesi:** Enmiyet gerilmesinin hesaplanmasında güvenlik katsayısı f_s kullanılır.

$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{maks}}{f_s}$ Gerekli enkesit alanı $A = \frac{P}{\sigma_{em}}$

olur. Yukarıda sözü edilen işlemler çekme ve kısa basınç çubuklarının boyutlandırılmasında kullanılır. Narin basınç çubuklarının boyutlandırılması daha sonra incelenecektir. Eğer çubuk en kesitinde ani bir değiŞim varsa yukarıdaki işlemler 2. adımdaki gerilmenin hesabında gerilme yığılması katsayısı kullanılarak tekrarlanır.

BİRİM ŞEKİL DEĞİiTİRME VE MALZEME (BÜNYE) BAĞINTILARI

Bir önceki bölümde bir yapı yada makine elemanındaki gerilmeler incelendi. Şimdi gerilme kadar önemli bir konu olan şekil değiştirme konusunu ele alacağız. şekil değiştirme veya deformasyon analizi, birim şekil değiştirmelerin tanımları ile başlar. Birim şekil değiştirmeler deformasyonun şiddetinin ölçülmesinde kullanılır.

İleriki bölümlerde malzemelerin önemli karakteristik özellikleri tanımlanacaktır. Mühendislikte kullanılan malzemelerin eksenel çekme deneyi yardımıyla belirlenen mekanik özellikleri üzerinde durulacaktır. Tek eksenli, çok eksenli ve kesme kuvvetleri etkisinde gerilme ve birim şekil değiştirme arasındaki bağıntılar ele alınıp şekil değiştirme enerjisi kavramı ile tekrarlı yüklemelerin oluşturacağı kırılma olayına giriş yapılacaktır.

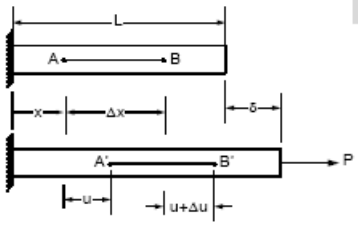
Dış kuvvetlerin etkisi altında bulunan bir cismin her noktası yer değiştirir. Herhangi bir noktanın yer değiştirmesi; şekil değiştirmeden yada rijit cisim hareketlerinden (ötelenme ve dönme) veya bu iki etkinin bileşiminden meydana gelir. Cisim içindeki noktaların birbirlerine göre olan konumlarında bir değişme varsa cisim şekil değiştirmiştir denir. Herhangi iki nokta arasındaki uzaklık yada herhangi üç nokta arasındaki açı değişmiyorsa yer değiştirmenin sebebi rijit cisim hareketleri olabilir. Bu bölümde yük etkisindeki mühendislik yapılarında, şekil değiştirme ile ortaya çıkan küçük yer değiştirmeler incelenecektir.

Şekil değiştirme sonucu cismin hacminde yada biçiminde değişme olabilir. Bir yapı elemanındaki gerçek gerilme yayılışının belirlenmesinde bu yapı elemanındaki şekil değiştirmenin dikkate alınması gerekir. Dış yükler ve sıcaklık tesiri etkisindeki hiperstatik yapıların analizinde şekil değişimi kullanılarak hiperstatik kuvvetlerin hesaplanması için gereken ilave denklemler sağlanır.

Toplam eksenel şekil değiştirme d ile gösterilecektir. Cisim içerisindeki herhangi bir noktada x, y ve z eksenleri yönündeki yer değiştirme bileşenleri u, v ve w ile tanımlanacaktır. Birim şekil değiştirmeleri 1'in yanında küçük, çarpımlarıyla karelerini ihmal edilebilecek kadar küçük kabul etmekteyiz.

BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME TANIMLARI

Normal birim şekil değiştirme prizmatik bir çubuk üzerinde tanımlanacaktır.



Birim boydaki uzunluk değişimi: Uzama oranı

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

δ: P yükü uygulandıktan sonra çubuk boyundaki toplam uzama

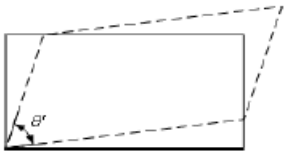
L: Çubuk başlangıç boyu

ε > 0 UZAMA

ε < 0 KISALMA

BİRİMSİZ

Kayma şekil değiştirmesi, başlangıçta dik olan iki doğru arasındaki açının şekil değiştirme sonrası diklikten saptığı değerin tanjantına denir. Açı küçük olduğundan tanjantı yerine radyan cinsinden kendisi yazılabilir.



$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \theta'$$

γ > 0 DİK AÇI KÜÇÜLÜR

γ < 0 DİK AÇI BÜYÜR

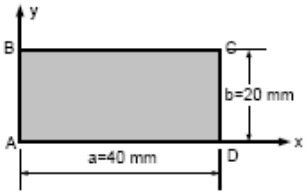
BİRİMSİZ

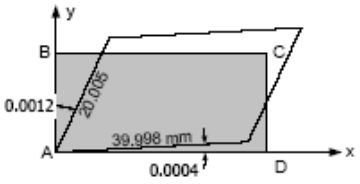
Elastik bölgede şekil değiştirmeler 0.002 veya 2000μ değerlerini pek aşmaz.

Uzunluk ve açıdaki değişimler uniform ise dikdörtgen içine aldığımız iki formül yeterli hassasiyette *sonuç* verir. Uniform olmayan bir şekil değiştirme söz konusu ise bir noktadaki birim Şekil değiŞtirmelerin tanımlanması gerekir.

Örnek

Şekilde görülen dikdörtgen levha, yüklemeden sonra bir paralel kenara dönüşmüştür. Levhanın AB ve CD kenarları 0.005 mm uzayıp 0.0012 radyan saat dönüşü yönünde dönerken AD ve BC kenarları ise 0.002 mm kısalarak 0.0004 radyan saat dönüş yönüne ters yönde dönmüştür. a=40mm, b=20mm olduğuna göre düzlem birim şekil değiştirme bileşenlerini hesaplayınız.





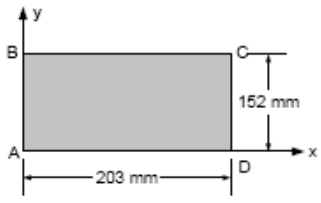
$$\varepsilon_x = \frac{-0.002}{40} = -0.00005$$

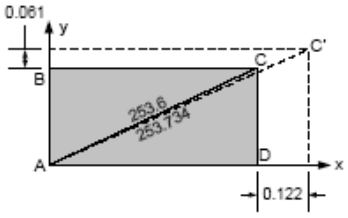
$$\varepsilon_y = \frac{0.005}{20} = 0.25\times10^{-3}$$

$$\gamma_{xy} = 0.0012 + 0.0004 = 0.0016$$

Örnek

Şekilde görülen ince dikdörtgen plak iki eksenli çekme gerilmeleri etkisinde $\varepsilon_x = 6\times10^{-4}$ $\varepsilon_y = 4\times10^{-4}$ uzama oranlarını yapmaktadır. AC köşegenindeki boy değişimini hesaplayınız.





AC köşegeninin şekil değiştirdikten sonraki ilk uzunluğu;

$$\sqrt{(152.061)^2 + (203.122)^2} = 253.734mm$$

AD kenarındaki toplam şekil değiştirme= $AD\cdot\varepsilon_x = 0.122mm$

AB kenarındaki toplam şekil değiştirme= $AB\cdot\varepsilon_y = 0.061mm$

AC köşegeninin ilk uzunluğu= $\sqrt{152^2 + 203^2} = 253.6mm$

AC köşegenindeki boy değişimi;

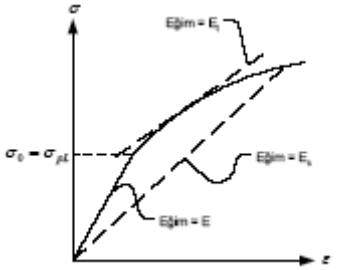
$$\Delta_{AC} = 0.1343mm$$

HOOKE YASASI VE POISSON ORANI

Yapı malzemelerinin çoğunda σ-ε diyagramları doğrusal elastik bir bölge ile başlar.

$\sigma = E.\varepsilon$ ifadesi HOOKE yasası olarak bilinir.

E : Elastisite modülü (Young Mudülü) Birimi gerilme birimi ile aynı [Pa, MPa] Başlangıç teğetinin eğimidir. Çelik için 200-210 GPa'dır.
ε : boyutsuz büyüklük
Orantı limiti üstündeki noktalardaki diyagram eğimine **teğet modülü E_t** adı verilir.



Yine orantı limiti üstünde $\left(\frac{\sigma}{\varepsilon}\right) = E_s$ oranına **Sekant modülü** adı verilir. Bu üç değer malzemenin çekme ve basınçtaki rijitliğinin ölçüsü olarak kullanılır. Elastisite özelliği kesme kuvveti taşıyan bir eleman üzerinde benzer şekilde ölçülebilir.τ-γ diyagramının doğrusal elastik olduğu kısımdan

$\tau = G.\gamma$ Kayma gerilmesi - Kayma şekil değiştirme için "**Hooke Yasası**" denir.

↓ Kayma Modülü [Pa, MPa]

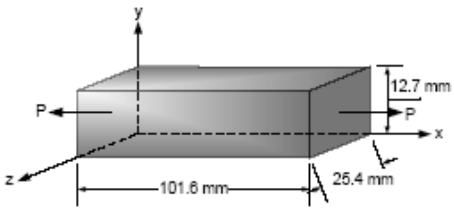
Çekme gerilmeleri uygulandığında elemanın boyu uzarken elemanın en kesit alanı azalır (enine doğrultuda büzülme olur). Elastik bölgede;

$$\nu = -\frac{\text{Enine Uzama Oranı}}{\text{Boyuna (eksenel) Uzama Oranı}}$$

ν : Poisson Oranı : 0.3 Çelik için
0.5 kauçuk
0.1 beton
genellikle 0.25-0.35 arasında değişir.

Örnek

Şekilde görülen çelik dikdörgen blok iki ucundan uygulanan çekme kuvveti etkisindedir.
P = 46706 N'luk çekme kuvveti uygulandığında δ_x = 0.07112 mm artış, δ_z = 0.005334 mm azalma ölçülmüştür. E ve ν'yü hesaplayınız.



$$\sigma_x = \frac{46706}{25.4\times12.7} = 144.79MPa$$

$$\frac{\delta_x}{L} = \varepsilon_x = \frac{144.79}{E} = \frac{0.07112}{101.6} = 7\times10^{-4}$$

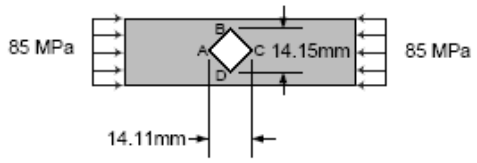
$$E = 206841MPa$$

$$\varepsilon_z = \frac{\delta_z}{25.4} = \frac{-0.005334}{25.4} = -2.1\times10^{-4}$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} = -\frac{-2.1\times10^{-4}}{7\times10^{-4}} = 0.3$$

Örnek

Şekilde görülen elemanın üzerine yüklemden önce 10x10 mm² lik ABCD karesi çizilmiştir. Yüklemeden sonra kare, eşkenar dörtgen şeklini aldığına göre Elastisite modülü ile Poisson oranını hesaplayınız.



Yüklenmeden önce köşegen uzunluğu;

$$AC = BD = \sqrt{10^2+10^2} = 14.14mm$$

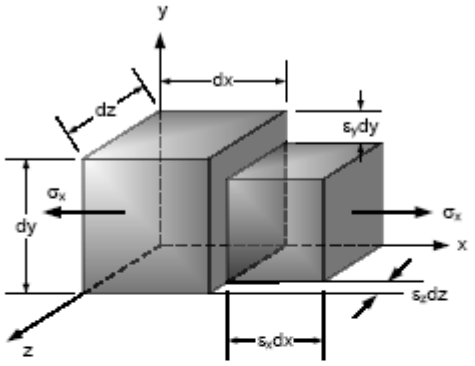
$$\sigma = E\cdot\varepsilon \qquad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{-85}{\frac{14.11-14.14}{14.14}} = 40.6*(10^3)MPa$$

$$\varepsilon_{enine} = \frac{14.15-14.14}{14.14} = 0.000707$$

$$\varepsilon_{boyuna} = \frac{14.11-14.14}{14.14} = -0.00212$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{enine}}{\varepsilon_{boyuna}} = \frac{1}{3}$$

HACİM DEĞİŞİMİ : dx.dy.dz hacimli bir küp eleman üzerine yalnızca σ_x gerilmesi uygulayalım.



$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\nu\varepsilon_x = -\nu\frac{\sigma_x}{E}$$

Kübün son hacmi $V = (1+\varepsilon_x)dx\cdot(1+\varepsilon_y)dy\cdot(1+\varepsilon_z)dz$

$$V = \left[1+(\varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z)+\underbrace{2ve3.mertebeterimler}_{ihmaledilir}\right]dx\cdot dy\cdot dz$$

$$V = V_0 + \Delta V$$

Birim Hacim Değişimi $\boxed{\frac{\Delta V}{V_0} = e}$

$$e = \frac{V-V_0}{V_0} = (\varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z) = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_x}{E}$$

$$\boxed{e = \frac{\sigma_x}{E}(1-2\nu) = \frac{(1-2\nu)}{E}\sigma_x}$$

Çekme Gerilmesi Hacmi Arttırır.

Basma Gerilmesi Hacmi Azaltır.

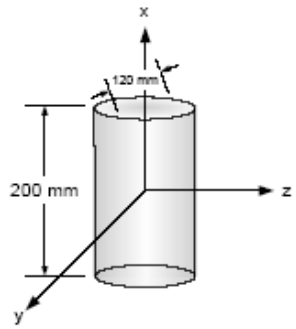
Sıkıştırılamaz cisimlerde $e = 0 \Rightarrow 1-2\nu = 0 \Rightarrow \nu = \frac{1}{2}$

Lineer elastik bölgede $\nu < 0.5$

Plastik bölgede $\nu = 0.5$ (hacim sabit kalır)

Örnek

Şekilde görülen dökme demirden yapılmış silindir, eksenel doğrultuda 40 MPa, radyal doğrultuda 10 MPa'lık basma gerilmeleri etkisindedir. E = 100 GPa, ν = 0.25 alarak silindirin boyu ve çapındaki değişimleri ve hacimdeki değişimi hesaplayınız.



$\sigma_x = -40MPa \qquad \sigma_y = \sigma_z = -10MPa$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{100\times10^3}[-40-0.25(-10-10)] = -0.35\times10^{-3}$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = \frac{1}{100\times10^3}[-10-0.25(-10-40)] = 0.025\times10^{-3}$$

$$\Delta L = -0.35\times10^{-3}\cdot200 = -0.07mm$$

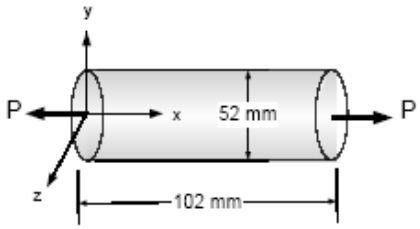
$$\Delta d = +0.025\times10^{-3}\cdot120 = +0.003mm$$

$$e = \varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z = -0.35\times10^{-3}+2\cdot0.025\times10^{-3} = -0.30\times10^{-3}$$

$\Delta V = e\cdot V_0 = -0.30\times10^{-3}\cdot\pi\cdot60^2\cdot200 = -679mm^3$ Hacim azalması

Örnek

Çapı 52 mm, boyu 102 mm olan bir çubuğun eksenel çekme kuvveti altında hacminin 125 mm^3 arttığı gözlenmiştir. Eksenel kuvveti (P) hesaplayınız E=70 GPa, Poisson Oranı=0.3



$$e = \frac{V-V_0}{V_0} = (\varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z) = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_x}{E}$$

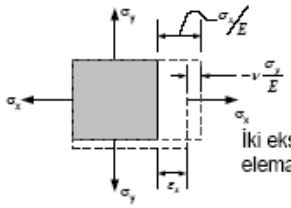
$$eV_0 = \frac{\sigma_x}{E}(1-2\nu)V_0 = \frac{(1-2\nu)}{E}\sigma_x V_0$$

$$125 = \frac{(1-2\times0.3)}{70000}\left(\frac{P}{A}\right)A\times102$$

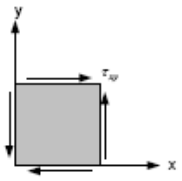
$$P = 214461\,N$$

GENELLEŞTİRİLMİŞ HOOKE YASALARI

Tek eksenli, σ-ε bağıntısı iki ve üç eksenli gerilme hali için genişletilebilir. Deney sırasında, normal gerilmelerin kayma birim şekil değiştirmesi oluşturmadığı veya kayma gerilmelerinin de normal birim Şekil değiştirmesine yol açmadığını görmekteyiz. Malzemenin lineer elastik, şekil değiştirmelerin küçük oldukların kabul edildiğinden süperpozisyon ilkesinden faydalanarak iki ve üç eksenli gerilme durumu için Hooke yasaları formüle edilebilir.



İki eksenli gerilme etkisindeki eleman



Tam kayma etkisindeki eleman

Birim kalınlıklı elemanın iki eksenli gerilme etkisinde olduğunu düşünelim. σ_x gerilmesinden x ekseni doğrultusunda σ_x/E kadar uzama oluşur. σ_y gerilmesi ise x ekseni doğrultusunda $\nu\sigma_y/E$ kadar kısalmaya neden olur. σ_x ve σ_y gerilmelerinin etkisi altında x ve y doğrultusundaki uzama oranlarını;

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E} \qquad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu\frac{\sigma_x}{E} \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

Tam kayma düşünüldüğünde ise elastik gerilme – şekil değiştirme bağıntısı $\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$ olmakta idi . τ_{xy} gerilmesi yalnızca γ_{xy} kayma birim şekil değiştirmesi oluşturmaktadır. Yukarıdaki ifadeleri gerilmeler cinsinden yazarsak;

$$E\varepsilon_x + \nu\sigma_y = \sigma_x \qquad E\varepsilon_y - \sigma_y = -\nu(E\varepsilon_x + \nu\sigma_y)$$

$$E\varepsilon_y - \sigma_y = -\nu\sigma_x \qquad \Rightarrow E\varepsilon_y + \nu E\varepsilon_x = \sigma_y(1-\nu^2)$$

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) \qquad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\nu\varepsilon_x + \varepsilon_y) \qquad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}$$

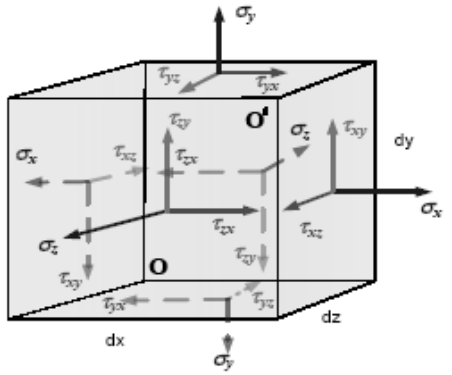
bulunur. Bu ifadelere iki boyutlu gerilme halinin **HOOKE YASALARI** denir.

Benzer şekilde üç boyutlu gerilme halinin Genelleştirilmiş Hooke Yasalarını şöyle yazabiliriz.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\right] \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)\right] \qquad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\right] \qquad \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}$$



Bu ifadeleri gerilmeler cinsinden yazarsak;

$$\sigma_x = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_x \qquad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}$$

$$\sigma_y = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_y \qquad \tau_{yz} = G\gamma_{yz}$$

$$\sigma_z = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_z \qquad \tau_{xz} = G\gamma_{xz}$$

Daha önce doğrusal ve açısal şekil değiştirmeleri incelediğimiz elemanın diyagonalindeki boy değişimi normal birim şekil değiştirme ε_x ve ε_y ile kayma birim şekil değişimi γ_{xy}'den oluşacağını görerek kayma modülü Gnin E ve ν ile ilgili olması gerektiği sonucuna varırız. Bu durum ileri bölümlerde tekrar ele alınacaktır.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Sonuç olarak izotrop malzemelerin iki bağımsız elastik sabitinin olacağını bu sabitlerin de eksenel çekme deneyi ile E ve V şeklinde bulunduğunu, Kayma modülü Gnin E ve V cinsinden ifade edilebileceğini söyleyebiliriz.

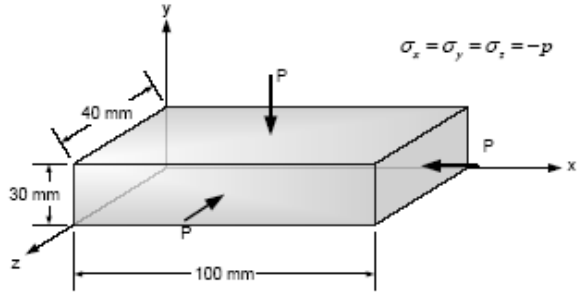
Örnek Bir noktadaki şekil değiştirme bileşenleri $\varepsilon_x = 900\mu$, $\varepsilon_y = -100\mu$ ve $\gamma_{xy} = 600\mu$ olarak biliniyor. Bu şekil değiştirme durumunu oluşturacak düzlem gerilme halini belirleyiniz. E=200 GPa Poisson oranı=0.3

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y\right) = \frac{200000}{1-0.3^2}(900 + 0.3\times(-100))\times 10^{-6} = 191.2 \quad MPa$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x\right) = \frac{200000}{1-0.3^2}(-100 + 0.3\times 900)\times 10^{-6} = 37.4 \quad MPa$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\upsilon)}\gamma_{xy} = \frac{200000}{2(1+0.3)}600\times 10^{-6} = 46.15 \quad MPa$$

Örnek Şekilde görülen blok bütün yüzeylerinden etkiyen p = 150 MPa'lık üniform basınç etkisindedir. E = 200 GPa ν = 0.3 alarak hacimdeki ve her bir kenarındaki boy değişimini hesaplayınız.



$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = -p$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}[-p - \nu(-2p)] = \frac{1-2\nu}{E}(-p)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}[-p - \nu(-2p)] = \frac{1-2\nu}{E}(-p)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[-p - \nu(-2p)] = \frac{1-2\nu}{E}(-p)$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \varepsilon = \frac{1-2\nu}{E}(-p)$$

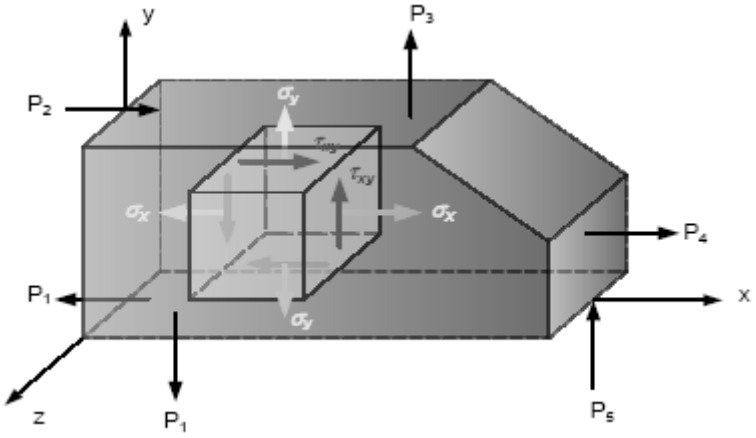
$$\varepsilon = \frac{1-2\cdot 0.3}{200\times 10^3}(-150) = -0.3\times 10^{-3} \qquad \frac{\Delta V}{V_0} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 3\varepsilon \Rightarrow \Delta V = -3\cdot 0.3\times 10^{-3} 100\cdot 40\cdot 30 = -108 mm^3$$

$$\delta_x = -0.3\times 10^{-3}\cdot 100 = -0.03 mm \qquad \delta_y = -0.3\times 10^{-3}\cdot 30 = -0.009 mm \qquad \delta_z = -0.3\times 10^{-3}\cdot 40 = -0.012 mm$$

GERİLME VE BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME ANALİZİ

Daha önceki bölümlerde ele aldığımız gerilme ve birim şekil değiştirmeleri tanımlamakta eleman eksenine dik doğrultuda alınan kesitleri kullandık. Bu bölümde ise eğik bir düzlem üzerinde bulunan bir noktadaki gerilme ve birim şekil değiştirme hali incelenecektir. Gerilme ve birim şekil değiştirme bileşenleri her zaman yük etkisindeki elemanda göz önüne alınan noktanın konumuna bağlıdır. Dolayısı ile gerilmenin noktadan noktaya değişimi de ele alınacaktır.

Bu bölümde düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme durumları üzerinde durulacaktır. Burada çıkarılacak formüller ile tanıtılacak grafik teknik çeşitli yüklere maruz elemanın bir noktasındaki gerilme ve birim şekil değişştirme dönüşümünün analizinde büyük kolaylık sağlar. Özellikle grafik tekniğin bir noktadaki gerilme değişiminin anlaşılması bakımından ayrı bir önemi vardır. İlerideki bölümlerde lineer elastik malzemelerde **E, G** ve **ν** arasındaki bağıntının bulunmasında dönüşüm yasaları kullanılmıştır.



DÜZLEM GERİLME

Gerilmeler koordinat eksenlerinin herhangi birinden bağımsız ise (burada z ekseni) iki boyutlu gerilme hali söz konusu olur. Örneğin; eksenel yüklü bir çubuğun eğik bir kesitinde oluşan gerilmeler, burulma etkisindeki bir mil, eksenine dik doğrultuda yüklenmiş bir kiriş. Bu gerilme hali

bir'den fazla yük etkisindeki elemanın herhangi bir noktasından geçen bütün düzlemlerde de oluşur.

TANIMLAR: İki boyutlu problemler düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Bu durum, kalınlığı boyunca düzgün yayılı yükler etkisindeki ince levhalarda karşımıza çıkar. Levha ince olduğundan iki boyutlu gerilme bileşenlerinin kalınlık boyunca değişmediği, ve diğer gerilme bileşenlerinin de sıfır olduğu Kabul edilebilir.

Düzlem gerilme haline bir diğer örnek, yapı ve makine elemanlarının serbest yüzeyleri verilebilir. Düzlem gerilme halinde,

$$\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad ; \quad \sigma_x ; \sigma_y ; \tau_{xy} \neq 0$$

olur. Bu gerilmelerin genelleştirilmiş Hooke yasalarında yazılmasıyla,

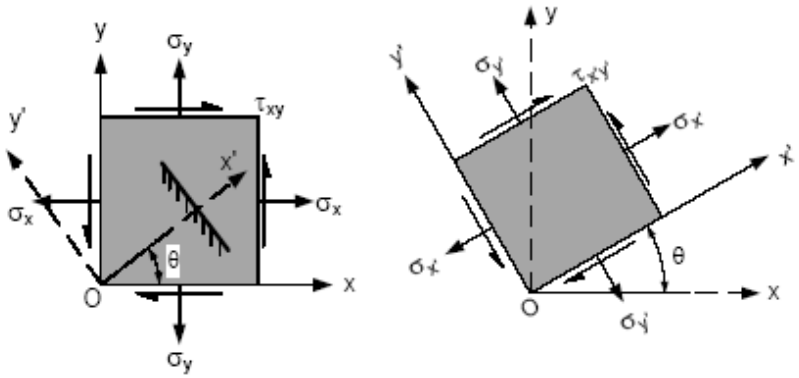
$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y)\,;\ \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x)\,;\ \varepsilon_z = -\frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y)\,;\ \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}\,;\ \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$$

bulunur. İlk iki denklemden $(\sigma_x + \sigma_y)$ çözülüp ε_z de yerine yazılırsa,

$$\varepsilon_z = -\frac{\nu}{1-\nu}(\varepsilon_x + \varepsilon_y)$$

Bu ifade düzlem dışı asal birim şekil değişimi ε_z'nin düzlem içi ε_x ve ε_y birim şekil değişimi cinsinden ifadesidir.

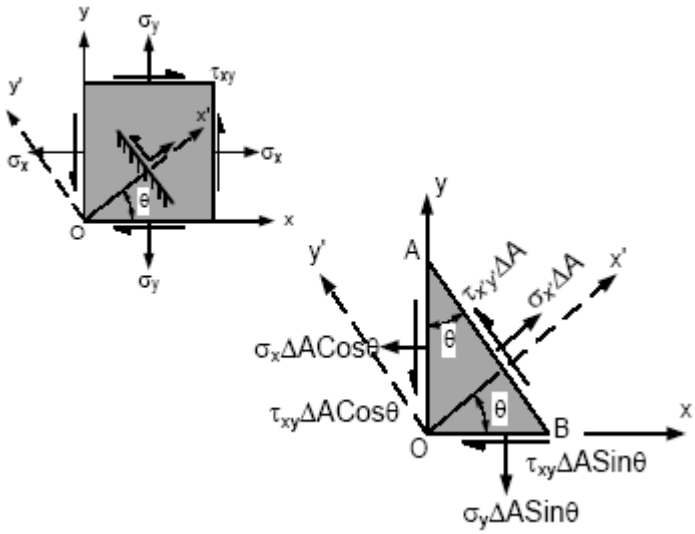
Düzlem şekil değiştirme halinde τ_{xz} veτ_{yz} benzer şekilde sıfır alınabilir. Ancak σ_z sıfır değildir ve değeri σ_x ve σ_y cinsinden hesaplanabilir. σ_x ,σ_y ve τ_{xy} sıfırdan farklı değerler alabilir. Amacımız cismin içindeki bir noktadan alınan sonsuz küçük eleman üzerindeki σ_x ,σ_y ve τ_{xy} gerilme bileşenlerinin dönüşüm denklemlerini çıkartmaktır. Aşağıdaki şekilde bir gerilme elemanı gösterilmiştir.



Şimdi elemanın x ekseni ile 0 açısı yapacak şekilde dönmesi durumunda x' ve y' dönmüş eksen takımındaki -ya da diğer bir ifade ile x' düzlemindeki-gerilme bileşenlerini bulmak istiyoruz. z doğrultusundaki gerilme sıfır olmasa bile şu anda ilgi alanımız dışındadır. Gerilme elemanın üç boyutlu görünüşü unutulmadan problemi basitleştirmek üzere elemanın düzlemsel gösterilişini vermek adettendir. Şekilden de fark edilebileceği gibi elemanın paralel yüzlerindeki gerilme bileşenlerinin şiddetleri değişmemektedir.

EĞİK DÜZLEMLERDEKİ GERİLMELER

Şimdi, gösterilen birim kalınlıklı (sayfa düzlemine dik doğrultudaki kalınlık) elemanın Şekildeki x,y eksen takımını, x referans ekseninden başlayıp saat dönüşüne ters yönde θ açısı kadar döndürerek x^1 ve y^1 dönmüş eksen takımını oluşturalım. Amacımız x□ eğik düzlemindeki a_x've x_{xy} gerilmelerini bulmaktır.



x^1 ekseninin doğrultusunu gösteren θ açısı, saat dönüş yönüne ters olduğundan pozitiftir. x^1 eksenine dik olan AB kenarına etkiyen gerilmeler, yandaki kama üzerinde pozitif yönde gösterilmiştir. AB kenarının bulunduğu yüzeyin alanı ΔA ise 0A ve 0B kenarlarının bulunduğu yüzeylerin alanları sırasıyla, A_{0A}=AAcosθ ve A_{0B}=AAsinθ olur. x^1 ve y doğrultularındaki kuvvetlerin dengesinden,

$$\Sigma F_{x'} = 0 \;:\quad \sigma_{x'}\Delta A - \sigma_x \Delta A\cos\theta\cos\theta - \tau_{xy}\Delta A\cos\theta\sin\theta - \sigma_y\Delta A\sin\theta\sin\theta - \tau_{xy}\Delta A\sin\theta\cos\theta = 0$$

$$\Sigma F_{y'} = 0 \;:\quad \tau_{x'y'}\Delta A + \sigma_x \Delta A\cos\theta\sin\theta - \tau_{xy}\Delta A\cos\theta\cos\theta - \sigma_y\Delta A\sin\theta\cos\theta + \tau_{xy}\Delta A\sin\theta\sin\theta = 0$$

Denklemleri basitleştirip yeniden düzenlersek,

$$\sigma_{x'} = \sigma_x\cos^2\theta + \sigma_y\sin^2\theta + 2\tau_{xy}\sin\theta\cos\theta \qquad \tau_{x'y'} = \tau_{xy}\left(\cos^2\theta - \sin^2\theta\right) - \left(\sigma_x - \sigma_y\right)\sin\theta\cos\theta$$

$\sigma_{y'}$ gerilmesi $\sigma_{x'}$ teriminde θ yerine θ+π/2 yazılarak hesaplanabilir. $\sigma_{y'} = \sigma_x\sin^2\theta + \sigma_y\cos^2\theta - 2\tau_{xy}\sin\theta\cos\theta$

Yukarıda çıkarılan denklemlerde $2\cos^2\theta = 1 + \cos 2\theta$ $2\sin^2\theta = 1 - \cos 2\theta$ $2\sin\theta\cos\theta = \sin 2\theta$ trigonometrik bağıntılarını kullanarak 2θ cinsinden yazabiliriz. Bu durumda gerilme dönüşüm denklemleri,

$$\sigma_{x'} = \frac{1}{2}\left(\sigma_x + \sigma_y\right) + \frac{1}{2}\left(\sigma_x - \sigma_y\right)\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{1}{2}\left(\sigma_x - \sigma_y\right)\sin 2\theta + \tau_{xy}\cos 2\theta$$

$$\sigma_{y'} = \frac{1}{2}\left(\sigma_x + \sigma_y\right) - \frac{1}{2}\left(\sigma_x - \sigma_y\right)\cos 2\theta - \tau_{xy}\sin 2\theta$$

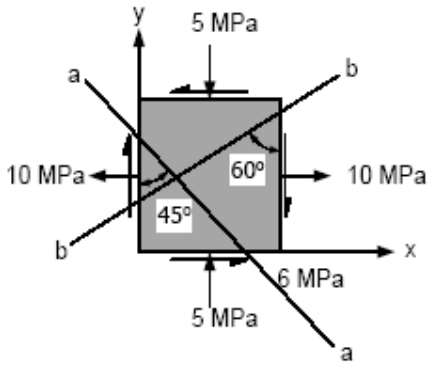
biçiminde yazılabilir. En son elde edilen bağıntılar bir noktadaki gerilme halinin yani dik iki düzlemdeki üç gerilme bileşeninin bilindiği durumda, θ açısı ile tanımlanan bütün mümkün AB yüzeylerindeki gerilmelerin hesaplanmasında kullanılabilir. Gerilme, birim şekil değiştirme ve atalet momenti gibi büyüklükler ikinci mertebeden tansörler olup yukarıdaki bağıntılarla dönüştürülürler. Daha sonra göreceğimiz MOHR dairesi, tansörel büyüklüklerin

dönüşümünde kullanılan grafik bir gösterim tarzıdır. Son elde edilen ilk iki bağıntı taraf tarafa toplanırsa;

$$\sigma_{x'} + \sigma_{y'} = \sigma_x + \sigma_{y'} = Sabit$$

ifadesi bulunur. Dolayısıyla iki dik düzlemdeki normal gerilmelerin toplamı θ açısından bağımsız olup değişmezmiş. Bu durum üç eksenli gerilme halinde de geçerlidir. Aşağıdaki problemde θ açısına bağlı olarak gerilmelerin değişimi incelenecektir.

Örnek Şekilde bir makine parçası üzerindeki bir noktadaki gerilme hali gösterilmiştir. a-a ve b-b doğrultularına paralel düzlemlerdeki normal ve kayma gerilmelerini hesaplayıp yönlenmiş bir eleman üzerinde gösteriniz.



x' doğrultusu eğik düzleme dik olarak seçilmektedir. Burada, x, y takımındaki gerilme halini x' , y' takımına dönüştürmek istiyoruz. Gerilmeler ve dönüşleri kendi işaretleri ile kullanmaya dikkat edilmelidir.

a) $\theta = 45^o \quad \sigma_x = 10MPa \quad \sigma_y = -5MPa \quad \tau_{xy} = -6MPa$

$$\sigma_{x'} = \frac{1}{2}(10+(-5)) + \frac{1}{2}(10-(-5))\cos 90 + (-6)\sin 90 = -3.5MPa$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{1}{2}(10-(-5))\sin 90 + (-6)\cos 90 = -7.5MPa$$

$$\sigma_{y'} = \frac{1}{2}(10+(-5)) - \frac{1}{2}(10-(-5))\cos 90 - (-6)\sin 90 = 8.5MPa$$

b) $\theta = 30+90 = 120^o \quad \sigma_x = 10MPa \quad \sigma_y = -5MPa \quad \tau_{xy} = -6MPa$

$$\sigma_{x'} = \frac{1}{2}(10+(-5)) + \frac{1}{2}(10-(-5))\cos 240 + (-6)\sin 240 = 3.95MPa$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{1}{2}(10-(-5))\sin 240 + (-6)\cos 240 = 9.5MPa$$

$$\sigma_{y'} = \frac{1}{2}(10+(-5)) - \frac{1}{2}(10-(-5))\cos 240 - (-6)\sin 240 = 1.05MPa$$

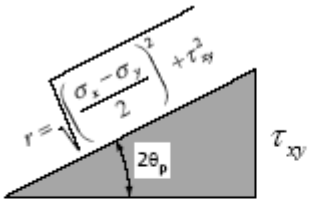
ASAL GERİLMELER: EN BÜYÜK KAYMA GERİLMESİ

Bir noktadaki gerilmelerin şiddetlerinin o noktadan geçen düzleme bağlı olduğunu daha önce belirtmiştik. En büyük gerilmeler ile bu gerilmelerin etkidiği düzlemlerin yapıdaki göçme ile ilgili olması sebebiyle bizim için ayrı bir önemi vardır. En büyük $\sigma_{x'}$gerilmesini hesaplamak üzere θ' ya göre türevini alarak sıfıra eşitleyelim.

$$\frac{d\sigma_{x'}}{d\theta} = -\frac{2}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\theta + 2\tau_{xy}\cos 2\theta = 0$$

$$\boxed{\tan(2\theta_p) = \frac{\tau_{xy}}{1/2(\sigma_x - \sigma_y)}}$$

Kutu içerisinde gösterilen bağıntıdan bulunacak θ açısı en büyük ve en küçük normal gerilmenin etkidiği düzlemi gösterdiğinden θ yerine θ_p ile yazılmıştır. tan2θ = tan(2θ+π) olduğundan birbirinden 180^o farklı $2\theta_p$ açıları yukarıdaki bağıntıyı sağlarlar. Dolayısıyla θ_p ve bundan 90^o farklı iki düzlem, normal gerilmenin en büyük ve en küçük olduğu iki dik düzlemi gösterir. Şimdi normal gerilmenin maksimum ve minimum olduğu düzlemlerdeki kayma gerilmelerini hesaplayalım.



$$\tan(2\theta_p)=\frac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x-\sigma_y)} \qquad \sin(2\theta_p)=\mp\frac{\tau_{xy}}{r} \qquad \cos(2\theta_p)=\mp\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2r}$$

$$\tau_{x'y'}=-\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\left(\frac{\tau_{xy}}{r}\right)+\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2r}(\tau_{xy})=0$$

Kayma gerilmesinin sıfır olduğu düzlemlerdeki en büyük ve en küçük normal gerilmelere **ASAL** gerilmeler adı verilir.

$$\sigma_{x'}=\sigma_{\substack{maks\\min}}=\frac{1}{2}(\sigma_x+\sigma_y)+\frac{1}{2}(\sigma_x-\sigma_y)\left(\mp\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2r}\right)+\tau_{xy}\left(\mp\frac{\tau_{xy}}{r}\right)$$

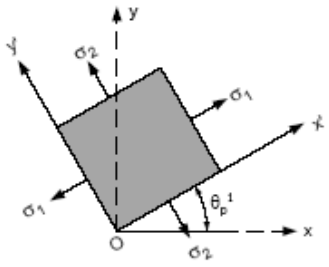
$$\sigma_{1,2}=\frac{1}{2}(\sigma_x+\sigma_y)\mp\sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}$$

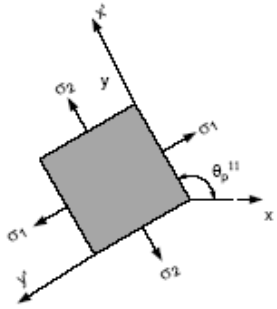
Sayısal olarak büyük olan normal gerilmeyi σ_1 ile gösterip en büyük asal gerilme adını verelim.

$$\sigma_{maks}+\sigma_{min}=\sigma_1+\sigma_2=\sigma_x+\sigma_y$$

asal gerilmelerinin doğrultularını veya etkidiği düzlemleri gösteren $\mathbf{\theta}_p$ açılarını 0_pı ve 0_p^{II} ile göstereceğiz.

σ_1 ve σ_2 asal gerilmelerinin doğrultularını veya etkidiği düzlemleri gösteren θ_p açılarını $\theta_p{}^I$ ve $\theta_p{}^{II}$ ile göstereceğiz.





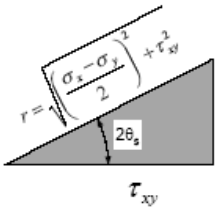
Yukarıda izlediğimize benzer işlemler yaparak en büyük kayma gerilmesiyle etkidiği düzlemleri araştıralım.

$\frac{d\tau_{x'y'}}{d\theta}=0$ bağıntısından,

$$\frac{d\tau_{x'y'}}{d\theta}=-\frac{2}{2}(\sigma_x-\sigma_y)\cos 2\theta-2\tau_{xy}\sin 2\theta=0$$

$$\tan(2\theta_s)=-\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2\tau_{xy}}$$

bulunur. Burada θ_s en büyük kayma gerilmesinin etkidiği düzlemi göstermektedir. Çerçeve içindeki bağıntıyı birbiriyle 90°'lik açı yapan iki ayrı doğrultuda sağlar. Bu doğrultuları θ_s' ve θ_s'' ile gösterelim. Asal doğrultular ile en büyük kayma gerilmesi doğrultusunun kıyaslanmasıyla aralarında 45°'lik açı bulunduğu anlaşılır. En büyük kayma gerilmesinin değerini hesaplayalım.



$$\tan(2\theta_s)=-\frac{(\sigma_x-\sigma_y)}{2\tau_{xy}} \qquad \cos(2\theta_s)=\mp\frac{\tau_{xy}}{r} \qquad \sin(2\theta_s)=\mp\left(-\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2r}\right)$$

$$\tau_{maks}=-\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\left(\mp\frac{-\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}}{r}\right)+(\tau_{xy})\left(\mp\frac{\tau_{xy}}{r}\right)$$

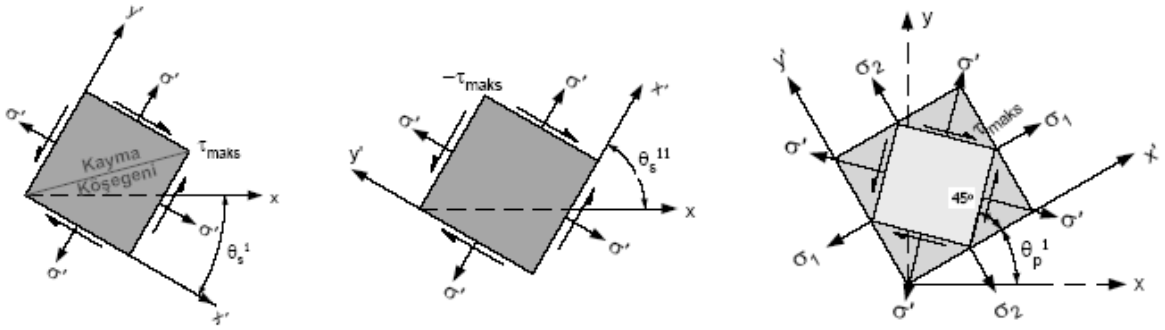
$$\tau_{\substack{maks\\min}}=\frac{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}}=\mp\sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\substack{maks\\min}}=\mp\sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}$$

Fiziksel olarak cebrik işaret anlamsız olduğundan en büyük kayma gerilmesindeki işarete dikkat etmeden maksimum kayma gerilmesi adı verilir. Eğer σ_x ve σ_y asal gerilmeler olursa $\tau_{xy}=0$ olacağından

$$\sigma_{maks}=\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}$$

bulunur.



Asal gerilmelerin etkidiği düzlemlerde kayma gerilmesi bulunmamasına karşın maksimum kayma gerilmesinin etkidiği düzlemlerde normal gerilme bulunur. Bu gerilmenin hesaplanması için $\sigma_{x'}$ bağıntısında $2\theta_s$ yazılması yeterlidir.

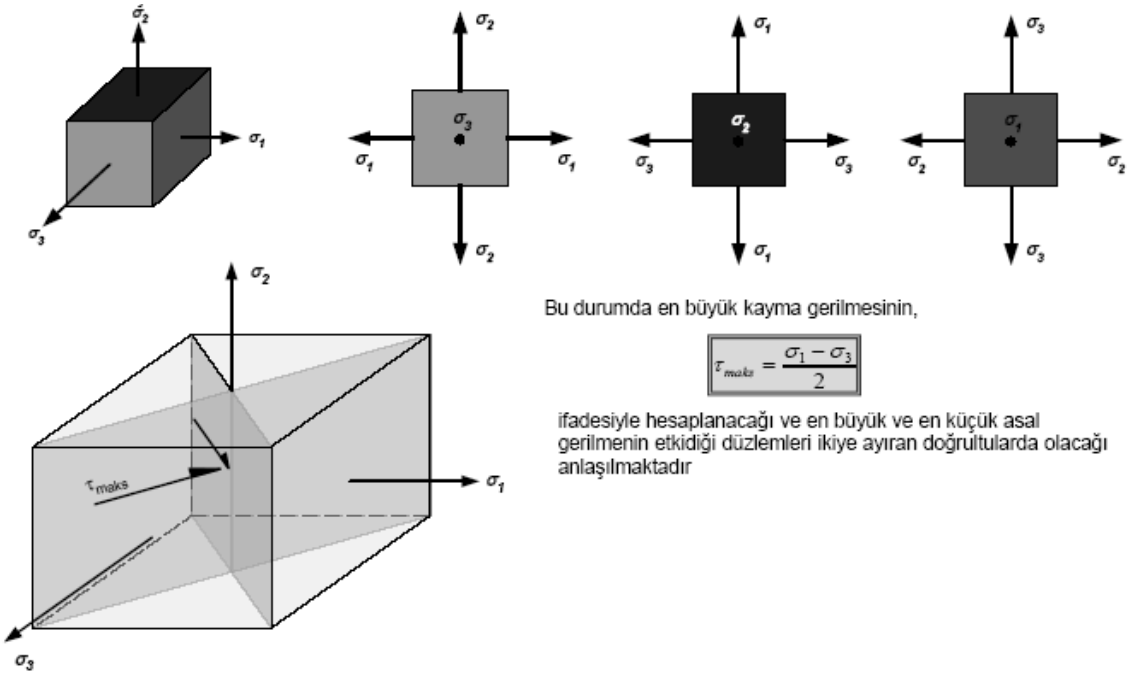
$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\left(\frac{\tau_{xy}}{r}\right) + \tau_{xy}\left(\frac{-\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}}{r}\right) \qquad \sigma_{x'} = \sigma' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

$(\sigma_x + \sigma_y)$ toplamı sıfır olmadıkça maksimum kayma gerilmesinin bulunduğu düzlemlerde normal gerilme de olur.

Gerilme etkisindeki bir elemanda en büyük kayma gerilmelerini gösteren okların buluştuğu köşeleri birleştiren diyagonale **KAYMA KÖŞEGENİ** denir. Bu diyagonal maksimum asal gerilme doğrultusundadır. Ayrıca en büyük asal gerilme, enbüyük kayma gerilmesinin yönünün belirlenmesinde de kullanılabilir.

Üçeksen doğrultusundaki σ_1, σ_2 ve σ_3 gerilmelerinin aynı noktaya etkidiğini düşünelim Aşağıdaki şekilde gerilmelerin

$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$



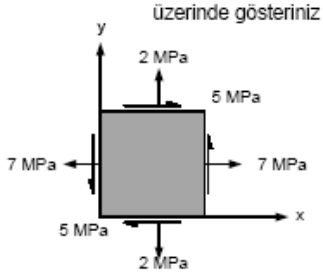
Bu durumda en büyük kayma gerilmesinin,

$$\tau_{maks} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

ifadesiyle hesaplanacağı ve en büyük ve en küçük asal gerilmenin etkidiği düzlemleri ikiye ayıran doğrultularda olacağı anlaşılmaktadır

Örnek

Şekilde bir düzlem gerilme hali gösterilmiştir. **a)** Asal gerilmeleri hesaplayınız. **b)** Maksimum kayma gerilmesini ve ilgili normal gerilmeyi bularak a ve b şıklarında bulduğunuz gerilmeleri yönlenmiş bir eleman üzerinde gösteriniz



$$\sigma_{1,2} = \frac{7+2}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{7-2}{2}\right)^2 + 5^2} = 4.5 \mp 5.59 \prec \begin{matrix}\sigma_1 = 10.09MPa \\ \sigma_2 = -1.09MPa\end{matrix} \qquad \theta_p = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2\cdot 5}{7-2}\right) = \prec \begin{matrix}\theta_p^{'} = 31.7^o \\ \theta_p^{''} = 121.7^o\end{matrix}$$

Hangi düzlemin hangi asal gerilmenin doğrultusunu gösterdiğini bulmak için dönüşüm denkleminde θ = 31.7° yazalım.

$\sigma_{x'} = \sigma_{31.7^o} = 10.09MPa$ bulunur. Sonuç olarak, $\sigma_1 = 10.09MPa \leftrightarrow \theta_p^{'} = 31.7^o$

$\sigma_2 = -1.09MPa \leftrightarrow \theta_p^{''} = 121.7^o$

$$\tau_{maks} = \mp\sqrt{\left(\frac{7-2}{2}\right)^2 + 5^2} = \mp 5.59MPa$$ ayrıca $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$ bağıntısı da aynı sonucu vermektedir.

τ_{eb} 'ın etkidiği düzlem, $\theta_s = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(-\frac{7-2}{2*5}\right) = \prec \begin{matrix}-13.3^o \\ 76.7^o\end{matrix}$ $\tau_{x'y'} = \tau_{-13.3^o} = 5.59\,MPa$

$\tau_{maks} = 5.59MPa \leftrightarrow \theta_s^{'} = -13.3^o$

$\tau_{maks} = -5.59MPa \leftrightarrow \theta_s^{''} = 76.7^o$

Söz konusu düzlemlerdeki normal gerilme, $\sigma' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{7+2}{2} = 4.5MPa$

τ_{maks} 'ın doğrultusunu bulmakta kayma diyagonali kullanılabilir.

Bu noktadaki gerilme hali matris formunda,

θ = 0°	θ = 31.7°	θ = -13.3°
$\begin{bmatrix}7 & 5\\ 5 & 2\end{bmatrix}MPa$	$\begin{bmatrix}10.09 & 0\\ 0 & -1.09\end{bmatrix}MPa$	$\begin{bmatrix}4.5 & 5.59\\ 5.59 & 4.5\end{bmatrix}MPa$

verilebilir.

DÜZLEM GERİLME HALİ İÇİN MOHR DAİRESİ

Gerilme dönüşüm denklemlerine grafik bir yorum getirmek mümkündür. Bu kısımda, bir noktadaki gerilme halinin anlaşılmasını büyük ölçüde kolaylaştıran ve düzlemlerin değişmesiyle gerilmelerdeki dönüşümlerin hızla yapılmasını sağlayan grafik bir teknik üzerinde durulacaktır. Bu amaçla

$\sigma = \sigma_{x'}, \quad \tau = \tau_{x'y'}$ ifadelerini tekrar yazalım

$$\sigma - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$$

$$\tau = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\sin 2\theta + \tau_{xy}\cos 2\theta$$

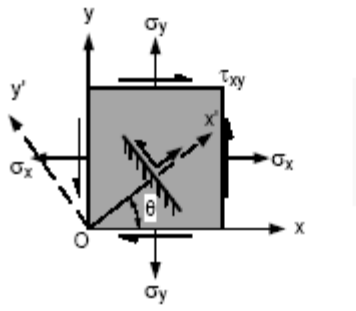
Denklemlerin kareleri alınıp toplanırsa,

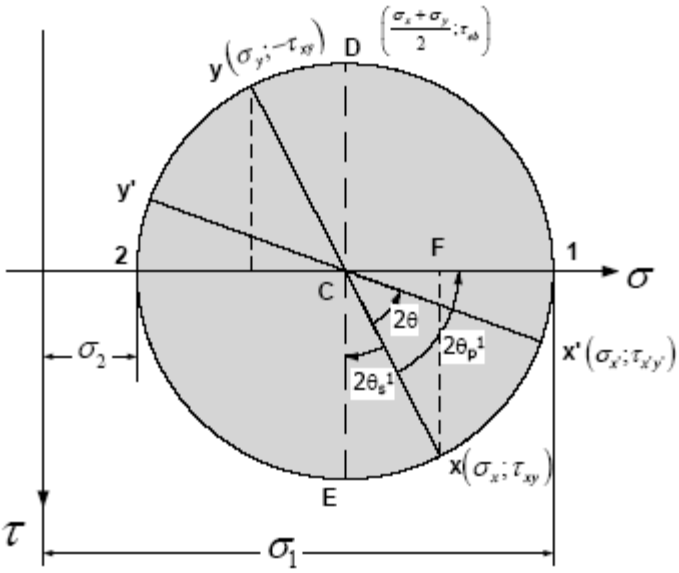
$$(\sigma - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2})^2 + \tau^2 = (\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2})^2 + \tau_{xy}^2$$

Bulunan bu bağıntı,σ - τ eksen takımında $r = \sqrt{(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2})^2 + \tau_{xy}^2}$ yarı çaplı çember denklemi olur. Çemberin merkezi $\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ 'de dir.

MOHR DAİRESİNİN ÇİZİLMESİ

Mohr dairesinin çiziminde öncelikle yatay *a* ve düşey τ kartezyen eksen takımı, gerilme ölçekleri aynı olacak şekilde çizilir. + **i** düzlemindeki gerilme hali referans alınır. Bu düzlemdeki normal gerilme ile kayma gerilmesi koordinat değerleri olarak alınıp σ - τ düzleminde bir nokta (x) işaretlenir. Benzer şekilde + **j** düzlemindeki gerilme hali yardımıyla ikinci bir nokta (y) belirlenir. Bu iki noktayı birleştiren doğrunun yatay ekseni kestiği nokta, dairenin merkezi olup C harfi ile gösterilir. C merkezli Cx yada Cy yarıçaplı daire çizilir. Gerilme elemanı ile Mohr dairesi üzerindeki dönüş yönlerinin aynı olabilmesi için τ ekseninin pozitif yönünü aşağı alıyoruz. Mohr dairesi, bütün tansörel büyüklüklere uygulanabilmektedir. Ölçekli olarak çizim yapıldığında sonuçların grafik olarak okunması mümkündür. Çoğunlukla kaba bir çizim yapılarak uzunluk ve açı değerleri trigonometri yardımı ile hesaplanır. Bu teknikle çok eksenli gerilme durumlarının pekçoğu ele alınabilir.





Mohr dairesindeki 1 ve 2 noktaları asal gerilmeleri; D ve E noktaları da en küçük ve en büyük kayma gerilmelerinin etkidiği düzlemleri göstermektedir. Mohr dairesinden, en büyük kayma gerilmelerin etkidiği düzlemlerin asal gerilmelerin bulunduğu düzlemlerle 45°'lik açı yaptığı da görülmektedir. Dairenin merkezi C, τ_{eb}'nin etkidiği düzlemlerdeki normal gerilme σ′ nü sağlamaktadır.

Mohr Dairesinin Yorumu

•Mohr dairesindeki dönüş yönü ile θ açısının dönüş yönü aynıdır.
•Daire üzerindeki 2θ' lık açı dönüşü gerilme elemanının θ kadarlık dönüşüne karşı gelir.

•Dairenin yarıçapı $CX = \sqrt{CF^2 + FX^2}$ $\qquad CX = \sqrt{(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2})^2 + \tau_{xy}^2}$

olup maksimum kayma gerilmesi τ_{maks}'ın şiddetine eşittir. x ve y düzlemlerindeki gerilmeler daire üzerinde A ve B noktalarıyla temsil edilir. AB den farklı her bir çap, orijinal eksen takımına göre θ kadar bir açıyla dönülen x′ ve y′ düzlemlerindeki gerilme halini gösterir. Daire üzerindeki A′ noktasının koordinatları gerilme dönüşüm denklemlerini vermektedir.
CX ile C1 arasındaki açı $2\theta_p^1$ olsun.olsun. Mohr dairesinden

$$\sigma_x' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + CX'\cos(2\theta_p^1 - 2\theta) \qquad \tau_{x'y'} = CX'\sin(2\theta_p^1 - 2\theta)$$

veya açı farklarının trigonometrik eşitliklerini yazarak,

$$\sigma_x' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + CX(\cos 2\theta_p^1 \cos 2\theta + \sin 2\theta_p^1 \sin 2\theta)$$

$$\tau_{x'y'} = CX(\sin 2\theta_p^1 \cos 2\theta - \cos 2\theta_p^1 \sin 2\theta)$$

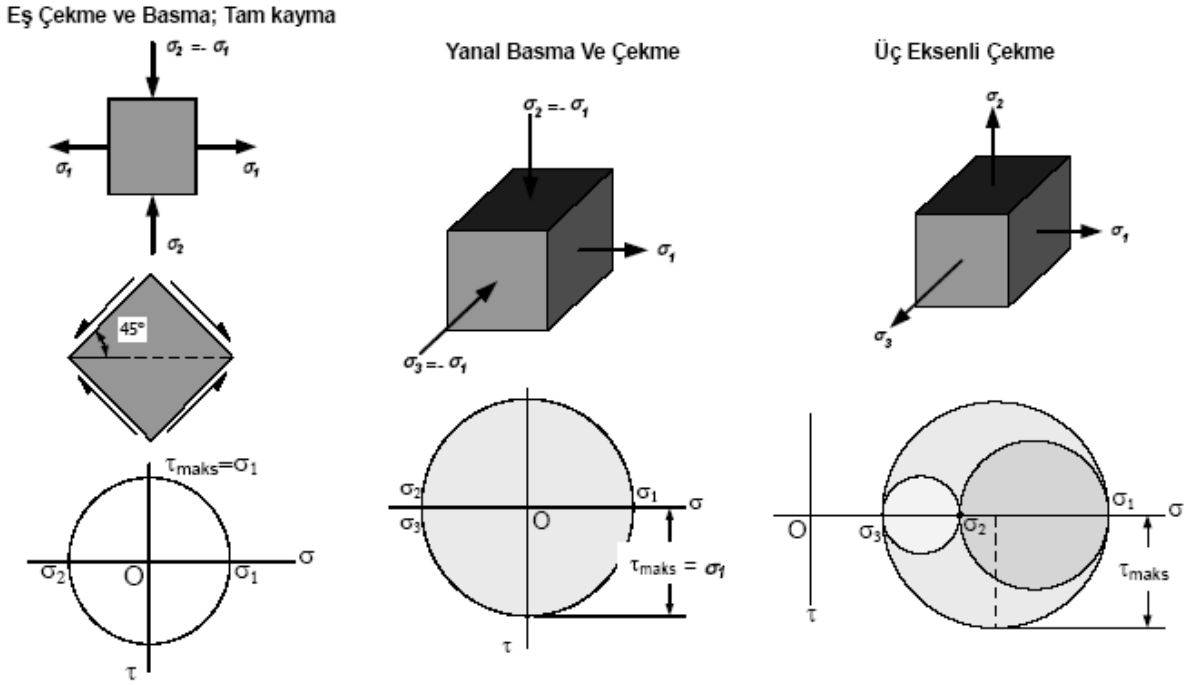
$CX \cos 2\theta_p^1 = CF$; $CX \sin 2\theta_p^1 = FX$ ifadeleri yerine yazılırsa,

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + CF \cos 2\theta + FX \sin 2\theta \; ; \qquad \tau_{x'y'} = -CF \sin 2\theta + FX \cos 2\theta$$

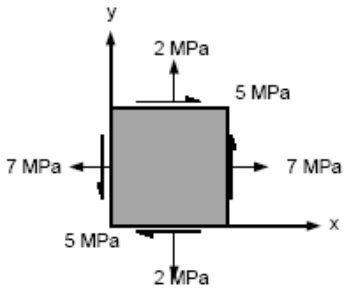
$$CF = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \; ; \; FX = \tau_{xy}$$

gerilme dönüşüm denklemleri elde edilir. Böylece daire üzerinde 2θ açısıyla belirlenen x' noktasının, gerilme elemanında θ açısıyla dönülerek bulunan x' düzlemindeki gerilme bileşenlerini gösterdiği anlaşılmaktadır.

Burada sık karşılaşılan gerilme durumlarına ait Mohr daireleri gösterilmiştir. Değişik yükleme durumlarındaki malzeme davranışını, gösterilen gerilme durumlarından elde etmek mümkündür. Aşağıda görülen eşit çekme ve basma halinde CJ_z=0 olup ayrıca s_z=0 de sıfır olmaktadır. Dolayısıyla hem düzlem gerilme hem de düzlem şekil değiştirme hali söz konusudur. Bu haldeki elemanın 45o döndürülmesiyle tam kayma hali bulunmaktadır. Üç eksenli çekme halinde Mohr dairesi çizilirken elemanın her bir yüzündeki durumun ayrı ayrı çizimi yapılmaktadır.



Örnek Önceki problem Mohr dairesi yardımıyla çözülecektir.



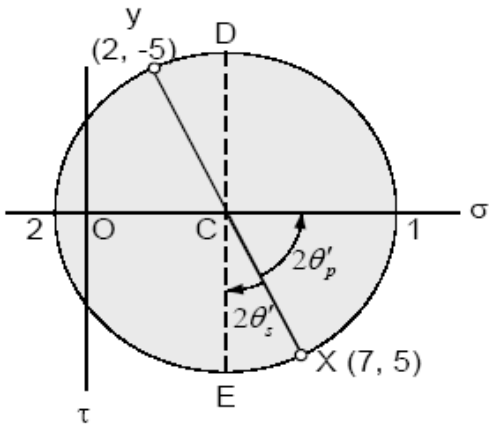
Dairenin merkezi, σ ekseni üzerinde, $C = \frac{7+2}{2} = 4.5MPa$' dadır.

Referans noktası koordinatları x(7, 5)' dir.

Asal gerilmeler, $\sigma_{1,2} = OC \pm C1 = 4.5 \pm \sqrt{\left(\frac{7-2}{2}\right)^2 + 5^2} \prec \begin{matrix} \sigma_1 = 10.09\,MPa \\ \sigma_2 = -1.09\,MPa \end{matrix}$

Asal gerilme düzlemleri,

$2\theta'_p = \tan^{-1}\left(\frac{5}{\frac{7-2}{2}}\right) = 63.4^o \qquad 2\theta''_p = 63.4 + 180 = 243.4^o$



Dolayısıyla $\theta'_p = 31.7^o \rightarrow \sigma_1 = 10.09\,MPa$

$\theta''_p = 121.7^o \rightarrow \sigma_2 = -1.09\,MPa$

b) En büyük kayma gerilmesi
D ve E noktasıyla tanımlandığından

$\tau_{eb} = \pm\sqrt{\left(\frac{7-2}{2}\right)^2 + 5^2} = \pm 5.59MPa$

Bu gerilmelerin etkidiği düzlemler,

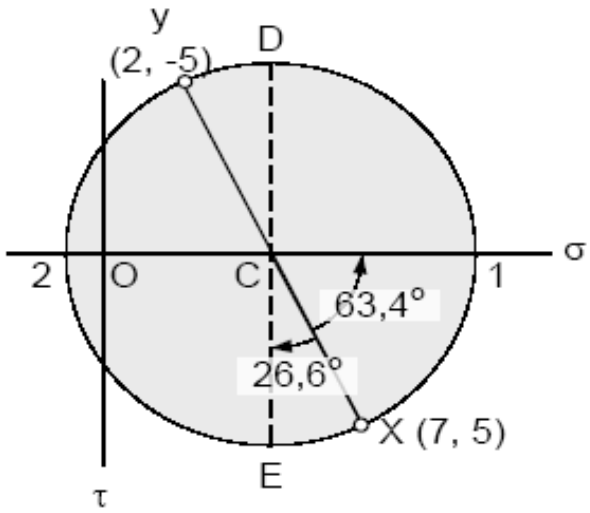
$\theta'_s = 76.7^o + 90^o = 166.7^o$ Veya -13.3^0

$\theta''_s = 31.7^o + 45^o = 76.7^o$

Yönlenmiş eleman üzerinde gerilme halinin gösterilmesi:

Asal gerilmelerin gösteriminde, Mohr dairesindeki x referans noktasından başlanarak en kısa yoldan 1 noktasına gidilir. x_{C1} açısı birinci asal doğrultunun x referans ekseni ile yaptığı açının iki katını gösterir. Bu açının yarısı x ekseninden başlanıp Mohr dairesi üzerinde gösterilen yönde alınarak birinci asal eksen çizilir. Bu asal eksene 90° eklenerek ikinci asal eksen belirlenir. Asal eksenlerin üzerine sembolik bir birim boyutlu kare eleman yerleştirilir. Asal doğrultulardaki gerilmeler elemanın yüzlerinde vektörlerle gösterilir.

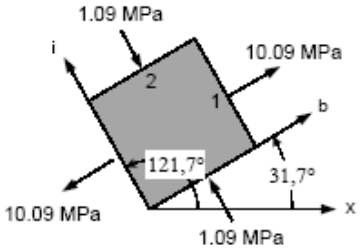
En büyük kayma gerilmelerinin gösterimi için, Mohr dairesindeki x referans noktasından başlanarak en kısa yoldan E noktasına gidilir. x_{CE} açısı en büyük pozitif kayma gerilmesinin etkidiği düzlemin normalinin x referans ekseni ile yaptığı açının iki katıdır. Bu açının yarısı x ekseninden başlanıp Mohr dairesi üzerinde gösterilen yönde alınarak birinci eksen çizilir. Bu eksene 90° eklenerek ikinci eksen belirlenir. Eksenlerin üzerine sembolik bir birim boyutlu kare eleman yerleştirilir. Kare elemanın

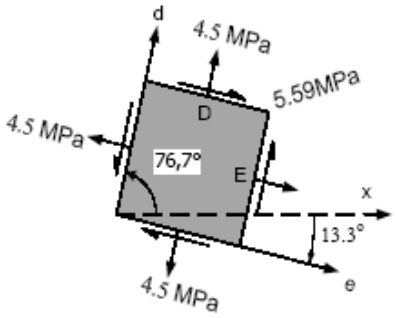


En büyük kayma Gerilmelerinin yönlenmiş eleman üzerinde gösterimi

yüzlerinde sırası ile E ve D noktalarındaki gerilme hali vektörlerle temsil edilir.

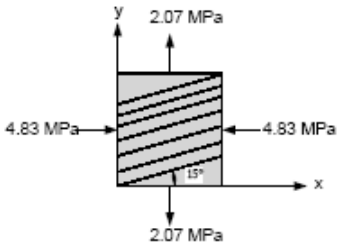
Asal Gerilmelerin yönlenmiş eleman üzerinde gösterimi

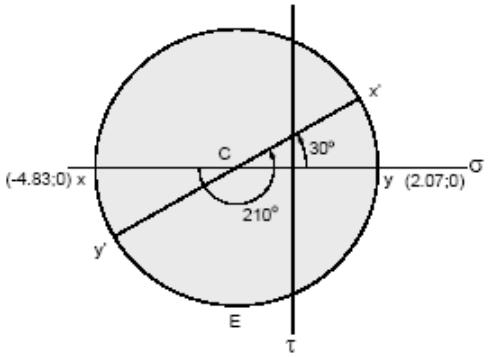




Örnek

Şekilde ahşap bir yapı elemanı üzerindeki gerilme hali verilmiştir. Ahşabın büyüme doğrultusundaki liflerine paralel düzlemlerdeki normal ve kayma gerilmesi nedir ?

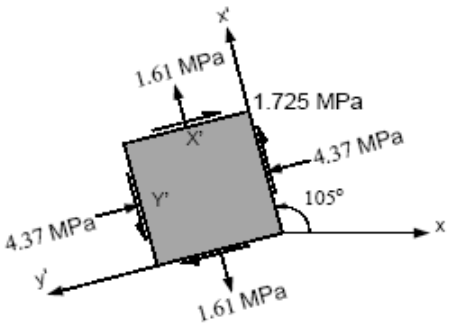




Merkez $$C = \frac{-4.83 + 2..07}{2} = -1.38 MPa$$

Yarıçap $$r = \sqrt{\left(\frac{4.83 + 2.07}{2}\right)^2 + 0^2} = 3.45 MPa$$

$$\sigma_{x'} = -1.38 + 3.45\cos 30 = 1.61 MPa$$
$$\tau_{xy'} = 3.45\sin 30 = 1.725 MPa$$
$$\sigma_{y'} = -1.38 - 3.45\cos 30 = -4.37 MPa$$



GENELLEŞTİRİLMİŞ HOOKE YASALARI

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\right] \qquad \varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)\right] \qquad \varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\right]$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \qquad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \qquad \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}$$

Bu ifadeleri gerilmeler cinsinden yazılırsa;

$$\sigma_x = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_x \qquad \sigma_y = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_y \qquad \sigma_z = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_z$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \qquad \tau_{yz} = G\gamma_{yz} \qquad \tau_{xz} = G\gamma_{xz}$$

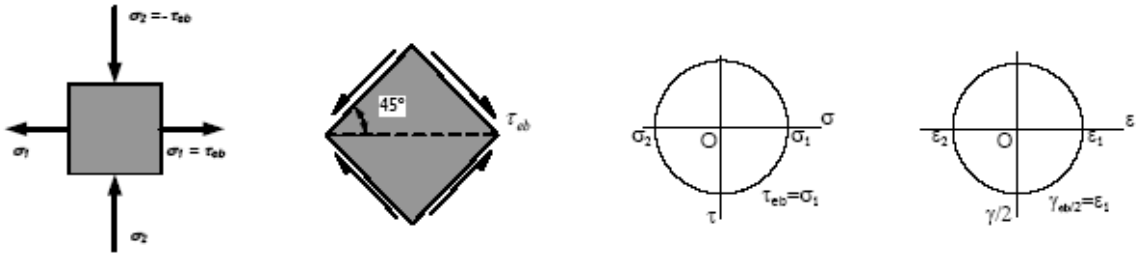
İKİ BOYUTLU HALDE GENELLEŞTİRİLMİŞ HOOKE YASALARI

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu\sigma_y\right] \qquad \varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu\sigma_x\right] \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) \qquad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\nu\varepsilon_x + \varepsilon_y) \qquad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}$$

E, ν ve G Arasındaki Bağıntı

Elastisite modülü **E**, kayma modülü **G** ve Poisson oranı **ν** arasındaki bağıntıyı çıkartmak için tam kayma etkisindeki bir elemana ait mohr dairesini düşünelim. Bu durumda $\sigma_1 = \tau_{eb}$, $\sigma_2 = -\tau_{eb}$ olup Asal düzlemlerle kayma düzlemleri arasındaki 45°lik açı bulunmaktadır.

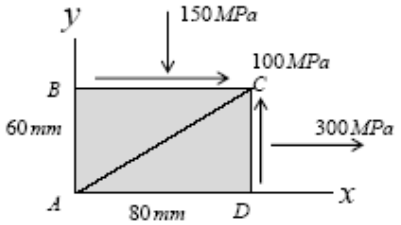


Genelleştirilmiş Hooke yasalarından birinci bağıntı

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu\sigma_2) = \frac{\tau_{eb}}{E}(1+\nu)$$

ifadesini verir. Ayrıca tam kayma halindeki Mohr dairesinden $\varepsilon_1 = \frac{\gamma_{eb}}{2}$ Hooke yasasından da $\gamma_{eb} = \frac{\gamma_{eb}}{G}$ olduğu düşünülürse $\frac{\tau_{eb}}{E}(1+\nu) = \frac{\tau_{eb}}{2G}$ yazılabilir. Buradan $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ bulunur. **x**, **y** eksen takımının başka keyfi doğrultularda seçilmesi halinde de çerçeve içerisindeki bağıntının geçerli olduğunu söyleyebiliriz. Dolayısıyla elastik izotrop malzemelerde iki ve üç boyutlu gerilme-birim şekil değiştirme bağıntılarının iki bağımsız malzeme sabitiyle yazılması mümkündür.

Örnek 60X80 mm boyutlarındaki dikdörtgen çelik plak şekilde gösterilen gerilmelerin etkisindedir. E=210 GPa, ν=0.33 olduğuna göre; a) AC ve BD diyagonalindeki boy değişimlerini hesaplayınız.



$$\varepsilon_x = \frac{1}{210*10^3}\left[300 - 0.33(-150)\right] = 1664.10^{-6}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{210*10^3}\left[-150 - 0.33(300)\right] = -1186.10^{-6}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{100}{\frac{210*10^3}{2(1+0.33)}} = \frac{100}{78.95.10^3} = 1267.10^{-6}$$

$$\angle DAC = \tan^{-1}\left(\frac{60}{80}\right) = 37°$$

$$\varepsilon_{AC} = \frac{1664+(-1186)}{2}\mu + \frac{1664+1186}{2}\mu\cos(2*37°) + \frac{1267}{2}\mu\sin(2*37°) = 1241\mu$$

$$\delta_{AC} = \varepsilon_{AC}.\overline{AC} = 100*1241\mu = 0.124\,mm. \quad uzama$$

$$\varepsilon_{BD} = \varepsilon_{143°} = 23.31*10^{-6},$$

$$\delta_{BD} = 100*23.31*10^{-6} = 2.33*10^{-3}\,mm.$$

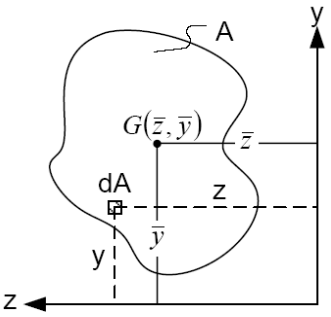
Kaynaklar -Mukavemet I

1-http://web.mst.edu/~mecmovie,http://web.mst.edu/~oci/frame1.html
2-Dr.MehmetH.OMURTAG,MukavemetCiltIveCiltIIBirsenyayınevi,2007
3-
Dr.MehmetH.OMURTAG,MukavemetÇözümlüProblemleri,CiltI,CiltII,Birsenyayınevi,2006
4-FerdinandP.BEER&E.RusselJOHNSTON,MechanicsofMaterials,McGraw-
HillBookComp.1981
5-R.C.HIBBELER,MechanicsofMaterials,PrenticeHallInternational,Inc.1997
6-
Dr.N.KADIOĞLU,Dr.H.ENGİN,Dr.M.BAKİOĞLU,MukavemetProblemleriCiltI,CiltII,Beta
BasıimYayımDağıtımA.~.1989
7Dr.UğurERSOY&Dr.TanvirWASTl,IntroductoryMechanicsofDeformableBodies.METU198
4
8-Dr.HiImiDEMĠRAY,Mukavemet,ÇağlayanKitabevi,1997

ALAN MOMENTLERİ

Çubukların gerilme analizinin yapılması sırasında çubuk kesitlerinin geometrisi ile ilgili bir takım integral ifadelere rastlanır. Bunlar arasında **Atalet Momentleri** adıyla anılan bir takım büyüklükler önemli yer tutar.

Bir Alanın Birinci Momenti (STATİK MOMENT) "S"



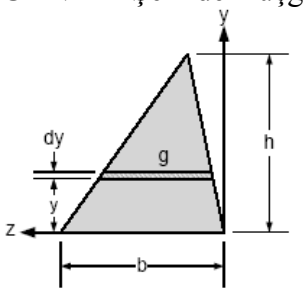
$$dS_z = y\,dA \qquad dS_y = z\,dA$$

$$S_z = \int_A y\,dA \qquad S_y = \int_A z\,dA$$

$$\bar{z} = \frac{S_y}{A} \qquad \bar{y} = \frac{S_z}{A}$$

Alanın herhangi bir simetri ekseni varsa Alan merkezi bu eksen üzerindedir. Simetri eksenine göre statik moment sıfırdır. Eksen takımları kesitin alan merkezinden geçerse bu büyüklükler sıfır olur.

ÖRNEK Şekildeki üçgenin alan merkezini bulunuz.

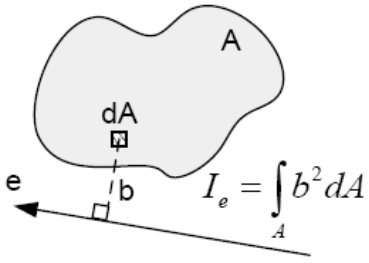


$$\frac{g}{b} = \frac{h-y}{h} \qquad g = \frac{b}{h}(h-y) \qquad \bar{y} = \frac{2}{h^2}\int_0^h (hy - y^2)dy = \left|\frac{hy^2}{2} - \frac{y^3}{3}\right|_0^h$$

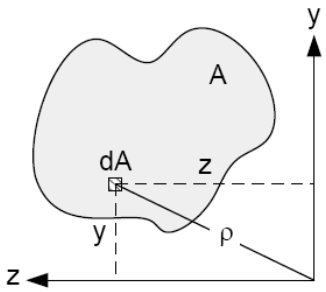
$$\bar{y} = \frac{\int_A y\,dA}{A} = \frac{\int_0^h y\frac{b}{h}(h-y)dy}{\frac{bh}{2}} \qquad \bar{y} = \frac{2}{h^2}h^3\overbrace{\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{3}\right)}^{\frac{1}{6}} = \frac{h}{3}$$

Bir Alanın İkinci Momenti (ATALET MOMENTİ) "I"

Atalet momenti, bir alanın bir eksene göre konumu hakkında fikir vermek üzere yanda tanımlanan biçimde hesaplanan pozitif bir sayıdır. Bu sayı, alan eksenden uzaklaştıkça büyür, yaklaştıkça küçülür.



1) Şeklin bir eksene göre atalet momenti, o şeklin parçalarının aynı eksene gore bulunan atalet momentlerinin toplamına eşittir.
2) Kesitte boşlukların var olması halinde ise dolu kesitin eksene göre atalet momentinden boşluğun aynı eksene göre alınmış olan atalet momentini çıkarılır.
3) Bir eksene göre atalet momenti hesaplanırken Şeklin herhangi bir parçasını ayırıp, o eksene göre paralel olarak kaydırmak atalet momentini değiştirmez.



$$dI_z = y^2 dA \qquad I_z = \int_A y^2 dA$$
$$dI_y = z^2 dA \qquad I_y = \int_A z^2 dA \quad \Big\} > 0 \text{ (Kartezyen atalet momentleri daima pozitiftir)}$$

$$dI_{zy} = z\,y\,dA \qquad I_{zy} = \int_A z\,y\,dA \quad \Big\} \begin{matrix} >0 \\ <0 \text{ (Çarpım atalet momenti her değeri alabilir)} \\ =0 \end{matrix}$$

$$dJ = \rho^2\,dA \qquad J = \int_A \rho^2\,dA \quad \Big\} > 0 \text{ (Polar atalet momenti daima pozitiftir)}$$

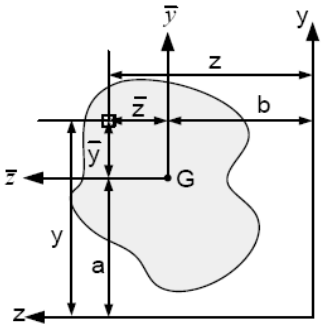
$$J = I_z + I_y$$

ATALET YARIÇAPI

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \qquad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \qquad i_p = \sqrt{\frac{J}{A}} \qquad i_p^2 = i_y^2 + i_z^2$$

PARALEL EKSENLER TEOREMİ (EKSENLERİN PARALEL KAYDIRILMASI)

I_z, **I_y** ve **I_{zy}** büyüklükleri eksenlere bağlı olduğundan eksenlerin değişmesi halinde onlar da değişecektir. Bu sebeple eksenlerin değişmesi hallerini inceleyecek olursak



$$I_z = \int_A y^2 dA = \int_A (\bar{y} + a)^2\,dA$$
$$= \int_A \bar{y}^2 dA + \int_A a^2 dA + \int_A 2a\bar{y}\,dA$$
$$= \bar{I}_z + a^2 A$$

$$I_y = \int_A z^2 dA = \int_A (\bar{z} + b)^2\,dA$$

$$I_{zy} = \int_A zy\,dA = \int_A (\bar{z} + b)(\bar{y} + a)\,dA$$

$$\boxed{I_z = \bar{I}_z + a^2 A}$$

$$\boxed{I_y = \bar{I}_y + b^2 A}$$

$$\boxed{I_{zy} = \bar{I}_{zy} + a\,b\,A}$$

$$\boxed{I_{z1} = \bar{I}_z + a_1^{\,2} A}$$

$$\boxed{I_{y1} = \bar{I}_y + b_1^{\,2} A}$$

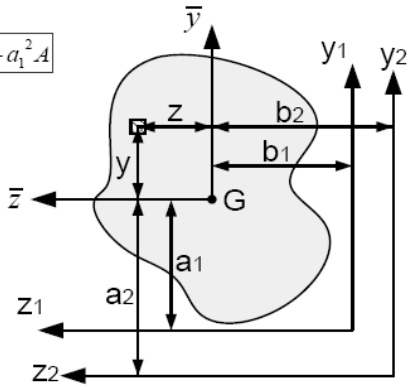
$$\boxed{I_{z1y1} = \bar{I}_{zy} + a_1 b_1 A}$$

$$\boxed{I_{z2} = \bar{I}_z + a_2^{\,2} A}$$

$$\boxed{I_{y2} = \bar{I}_y + b_2^{\,2} A}$$

$$\boxed{I_{z2y2} = \bar{I}_{zy} + a_2 b_2 A}$$

$$\boxed{\bar{I}_z = I_{z1} - a_1^{\,2} A}$$

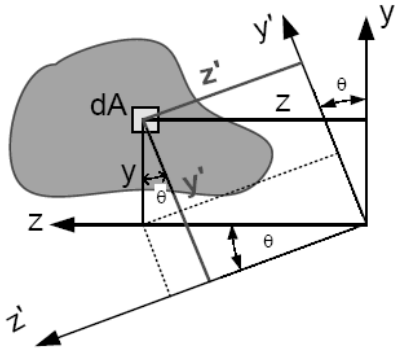


$$\boxed{I_{z2} = I_{z1} + \left(a_2^{\,2} - a_1^{\,2}\right) A}$$

$$\boxed{I_{y2} = I_{y1} + \left(b_2^{\,2} - b_1^{\,2}\right) A}$$

$$\boxed{I_{z2y2} = I_{z1y1} + (a_2 b_2 - a_1 b_1) A}$$

EKSENLERİN DÖNDÜRÜLMESİ (saat dönüşüne ters yönde)



$$z' = z\cos\theta - y\sin\theta \qquad y' = z\sin\theta + y\cos\theta$$

$$I_{z'} = \int_A y'^2 dA = \int_A \left(z\sin\theta + y\cos\theta\right)^2 dA = I_y \sin^2\theta + I_{zy} 2\sin\theta\cos\theta + I_z \cos^2\theta$$

$$I_{z'} = I_z \cos^2\theta + I_{zy} 2\sin\theta\cos\theta + I_y \sin^2\theta$$

$$I_{y'} = I_z \sin^2\theta - I_{zy} 2\sin\theta\cos\theta + I_y \cos^2\theta$$

$$I_{z'y'} = -\left(I_z - I_y\right)\sin\theta\cos\theta + I_{zy}\left(\cos^2\theta - \sin^2\theta\right)$$

Dönmüş eksen takımına göre olan Atatlet momentlerini iki açı cinsinden yazarsak;

$$I_{z'} = I_z\left(1-\sin^2\theta\right) + I_y \sin^2\theta + I_{zy}\sin 2\theta$$

$$I_{z'} = \left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)_{1-\cos 2\theta}\sin^2\theta + I_z + I_{zy}\sin 2\theta$$

$$\boxed{I_{z'} = \frac{I_z + I_y}{2} + \frac{I_z - I_y}{2}\cos 2\theta + I_{zy}\sin 2\theta}$$

$$\boxed{I_{z'y'} = -\frac{I_z - I_y}{2}\sin 2\theta + I_{zy}\cos 2\theta}$$

$$\boxed{I_{y'} = \frac{I_z + I_y}{2} - \frac{I_z - I_y}{2}\cos 2\theta - I_{zy}\sin 2\theta}$$

Çarpım atalet momentini sıfır yapan eksenlere **ASAL EKSENLER** denir.

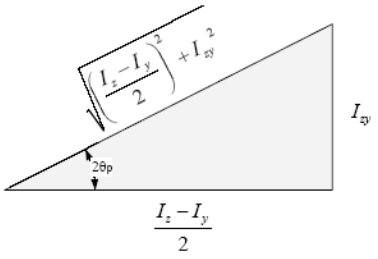
$$I_{z'y'} = -\frac{I_z - I_y}{2}\sin 2\theta + I_{zy}\cos 2\theta = 0$$

$$\boxed{\tan 2\theta = \frac{2I_{zy}}{I_z - I_y}}$$

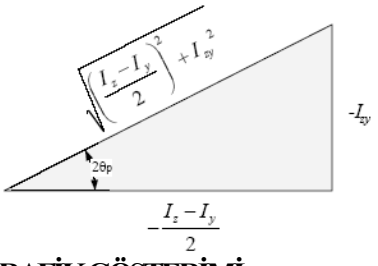
$$I_{z'}\big|_{maks} \Rightarrow \qquad \frac{\partial I_{z'}}{\partial\theta} = -2\frac{I_z - I_y}{2}\sin 2\theta + 2I_{zy}\cos 2\theta = 0$$

$$\boxed{\tan 2\theta_p = \frac{2I_{zy}}{I_z - I_y} \prec \begin{matrix}\theta_p^i \\ \theta_p^{ii} = \theta_p^i \pm \frac{\pi}{2}\end{matrix}}$$

$I_{z'}$'nün en büyük olduğu eksenler, aynı zamanda çarpım atalet momentini sıfır yapan eksenlerdir.



$$I_{z'}\big|_{\substack{maks\\min}} = \frac{I_z + I_y}{2} + \frac{I_z - I_y}{2}\underbrace{\frac{\frac{I_z - I_y}{2}}{\sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2}}}_{\cos 2\theta_p} + I_{zy}\underbrace{\frac{I_{zy}}{\sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2}}}_{\sin 2\theta_p}$$



$$I_{z'}\big|_{\substack{maks\\min}} = \frac{I_z + I_y}{2} + \frac{I_z - I_y}{2}\underbrace{\frac{-\frac{I_z - I_y}{2}}{\sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2}}}_{\cos 2\theta_p} + I_{zy}\underbrace{\frac{-I_{zy}}{\sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2}}}_{\sin 2\theta_p}$$

$$\boxed{I_{z'}\big|_{\substack{maks\\min}} = I_{1,2} = \frac{I_z + I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2}}$$

GRAFİK GÖSTERİMİ

Atalet Momenti Dönüşüm Denklemlerinin karelerini alıp taraf tarafa toplayalım;

$$I_{z'} = \frac{I_z + I_y}{2} + \frac{I_z - I_y}{2}\cos 2\theta + I_{zy}\sin 2\theta$$

$$I_{z'y'} = -\frac{I_z - I_y}{2}\sin 2\theta + I_{zy}\cos 2\theta$$

Atalet Momenti Dönüşüm Denklemlerinin karelerini alıp taraf tarafa toplayalım;

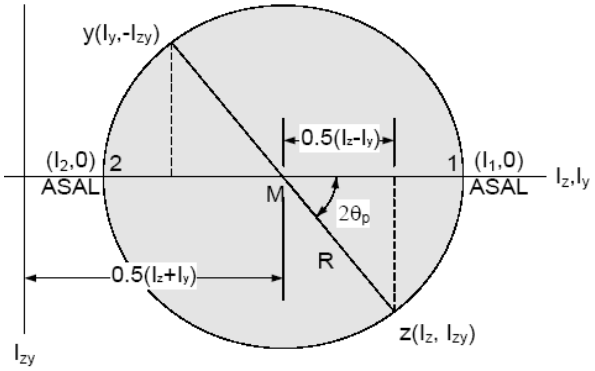
$$\left[I_{z'} - \frac{I_z + I_y}{2}\right]^2 = \left[\frac{I_z - I_y}{2}\cos 2\theta + I_{zy}\sin 2\theta\right]^2$$

$$\left[I_{z'y'}\right]^2 = \left[-\frac{I_z - I_y}{2}\sin 2\theta + I_{zy}\cos 2\theta\right]^2$$

$$\left[I_{z'} - \frac{I_z + I_y}{2}\right]^2 + \left[I_{z'y'}\right]^2 = \left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2$$

Çemberin merkezinin apsisi

R^2



Referans noktaları;

$z(I_z\ ,\ I_{zy})$

$y(I_y\ ,\ -I_{zy})$

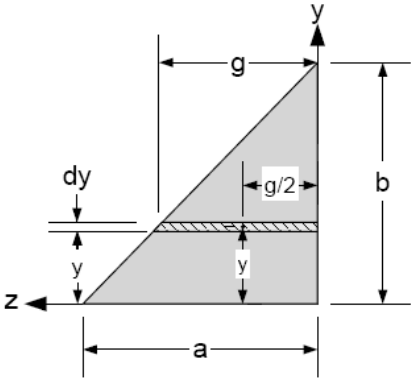
Gerçek dönüş yönü ile Mohr grafik gösterimindeki dönüş yönü aynı

Çemberin merkezi ve yarıçapı

$$M = \frac{I_z + I_y}{2} \qquad R = \sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2}$$

$$\tan 2\theta_p = \frac{2I_{zy}}{I_z - I_y} \quad \begin{matrix}\theta_p^i \\ \theta_p^{ii} = \theta_p^i + \frac{\pi}{2}\end{matrix}$$

ÖRNEK Şekilde gösterilen alanın çarpım atalet momentini hesaplayınız.



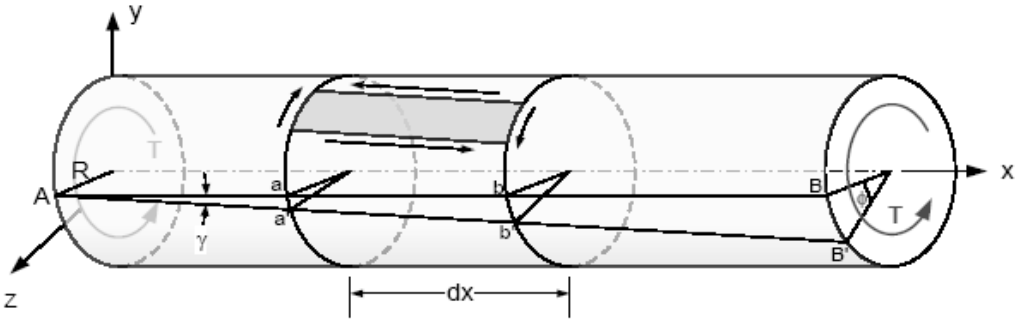
$$\frac{g}{a} = \frac{b-y}{b} \quad ; \quad g = \frac{a}{b}(b-y)$$

$$I_{zy} = \int_A zydA = \int_0^b \frac{g}{2}\cdot y \cdot g \cdot dy = \frac{1}{2}\int_0^b \frac{a^2}{b^2}(b-y)^2 y\,dy$$

$$I_{zy} = \frac{a^2}{2b^2}\int_0^b \left(b^2y - 2by^2 + y^3\right)dy = \frac{a^2}{2b^2}\left|\frac{b^2y^2}{2} - \frac{2}{3}by^3 + \frac{y^4}{4}\right|_0^b = \frac{a^2}{2b^2}\frac{b^4}{12}$$

$$I_{zy} = \frac{a^2b^2}{24}$$

BURULMA : DAİRE KESİTLİ ÇUBUKLARDA GERİLME HESABI



Üstteki şekilde burulma momenti etkisindeki bir çubukta meydana gelen şekil değiştirme gösterilmiştir. Çubuğun dış yüzünde dx uzaklıklı iki kesit arasına çizilen bir dikdörtgenin şekil değişimi sonrası bütün dik açılarının bozulduğu, yine çubuğun dış yüzeyinde eksene paralel olarak çizilen bir doğrunun helise dönüştüğü söylenebilir. Ayrıca çubuğun dış yüzüne etkiyen herhangi bir kuvvet olmadığından dış yüzeydeki kayma gerilmelerinin sıfır olması

gerektiği bilinmektedir.

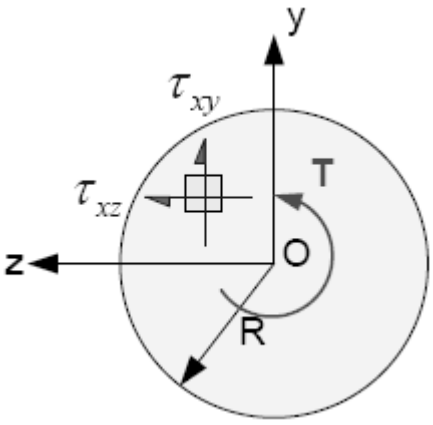
Şekil Değiştirme Hipotezi :

- Çubuk eksenine dik ve düzlem olan kesitler yer değiĢtirmeden sonra da çubuk eksenine dik ve düzlem olarak kalır ($\varepsilon_x=\varepsilon_y=\varepsilon_z=0$).

- Dik kesit rijit bir levha gibi çubuk ekseni etrafında döner.

- Kesitlerin dönme açıları x koordinatlarının doğrusal bir fonksiyonudur.

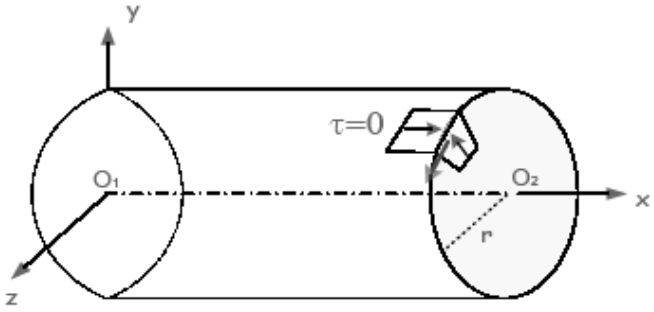
Şekil değiştirme hipotezine göre çubuk eksenine dik ve düzlem olan kesitler sadece dönmektedir. Dolayısıyla kesit üzerinde normal gerilmenin sıfır olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu durumda denge denklemlerinden ilk üçü kendiliğinden sağlanır. Kesitte yalnızca kayma gerilmeleri olacaktır. Ayrıca bu kayma gerilmeleri kesit sınırlarına teğet olmalıdır (Sınır şartı).



$$\int \sigma_x dA = 0 \qquad \int y\sigma_x dA = 0$$

$$\int z\sigma_x dA = 0 \qquad \int \tau_{xy} dA = 0$$

$$\int \tau_{xz} dA = 0 \qquad \int \left(y\tau_{xz} - z\tau_{xy}\right) dA = T$$

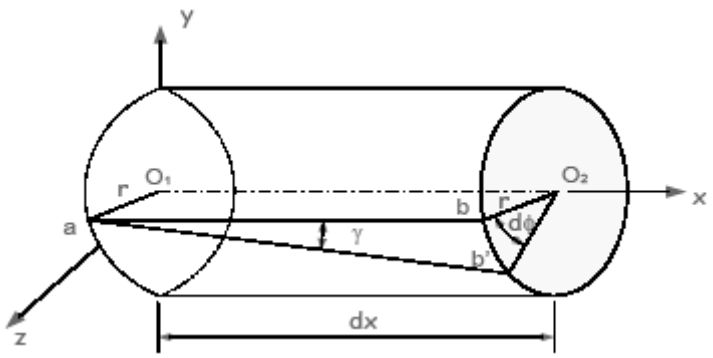


En kesit üzerinde yalnızca kayma gerilmelerinin etki ettiği daha önce ifade edilmişti. Yandaki şekilde en kesit düzleminde çubuğun sınır bölgesinde alınan bir eleman görülmektedir. Bu elemana etkiyen kayma gerilmeleri, biri sınıra teğet diğeri dik doğrultudaki iki bileşeni cinsinden verilmiştir. En kesit düzlemindeki eleman ile sınır bölgesindeki ve çubuk yüzeyinde gösterilen düzlemler birbirine diktir. Çubuk yüzeyinde herhangi bir kuvvet olmadığından yüzey üzerinde kayma gerilmesi oluşmaz. Dolayısıyla en kesit düzleminde sınıra dik doğrultudaki kayma gerilmesi de sıfır olmak zorundadır.

Şekil değiştirme hipotezinin son maddesine göre dönme açısının türevi sabit olup, birim boydaki dönmenin değişmediğini ifade etmektedir.

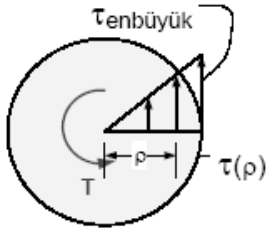
$\frac{d\phi}{dx} = \omega$ = Sabit (Birim boydaki dönme açısı)

Yandaki şekilde daha önce sözünü ettiğimiz dikdörtgen elemanın dik açısındaki bozulma miktarı γ ile gösterilmiştir. γ çok küçük olduğundan tanjantı radyan cinsinden kendisine eşit alınabilir. Şeklin sağ tarafında bulunan kesit, solda bulunan kesite göre dx kadar çubuk ekseni etrafında dönmüş olduğundan aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.



$$\tan\gamma = \gamma = \frac{bb'}{dx} = \frac{rd\phi}{dx} = r\omega \qquad \tau = G.\gamma = G\omega r$$

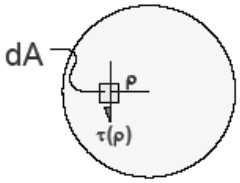
Hooke yasasında γ (=ωr) yerine konursa kayma gerilmesinin yalnızca eksenden olan uzaklıkla doğru orantılı olarak artacağı sonucu çıkar. Bu halde en kesit üzerindeki gerilme yayılışı sembolik olarak şöyle gösterilebilir.



$$\frac{\tau_{enbüyük}}{\tau(\rho)} = \frac{r}{\rho}$$

$$\tau(\rho) = \frac{\rho}{r}\tau_{enbüyük}$$

Şimdi çubuk ekseninden ρ kadar uzakta alınan bir alan elemanı ile bu alan elemanına etkiyen kayma gerilmesi çarpılarak elde edilen kuvvetin yine çubuk eksenine göre momenti tüm en kesit üzerinde integre edildiğinde kesit zoru T bulunmalıdır.



$$T = \int_A \tau(\rho).\rho.dA = \int_A \frac{\rho^2}{r}\tau_{enbüyük}dA$$

$$T = \frac{\tau_{enbüyük}}{r}J \rightarrow Polar\ At.Mom.$$

$$\boxed{\tau_{enbüyük} = \frac{Tr}{J}}$$

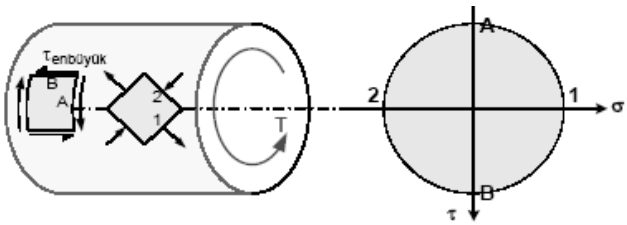
Elde edilen kayma gerilmelerinin eşitlenmesinden şekil değiştirme bağıntısı bulunur. Bu bağıntıya göre birim boydaki dönme açısı, T ile doğru, *GJ* ile ters orantılı olarak değişmektedir. Yada *GJ,* çubuğun burulma momenti etkisinde ekseni etrafında döndürülmek istendiğinde şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnci temsil ediyormuş. Toplam dönme açısı aşağıdaki integralle hesaplanabilir.

$$\boxed{\frac{Tr}{J} = G\omega r \quad \omega = \frac{T}{GJ}}$$

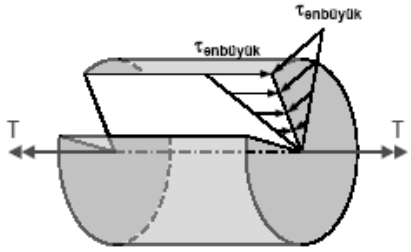
GJ:Burulma Rijitliği

$$\phi = \int_l \omega \cdot dx = \int_l \frac{T}{GJ}dx$$

Aşağıdaki şekilde burulma momentine maruz bir çubuğun dış yüzünde alınan bir eleman ve bu eleman üzerindeki gerilme hali gösterilmiştir. Bu elemanın 45° döndürülmesiyle kayma gerilmelerinin kaybolduğu asal çekme ve basma gerilmelerinin etkidiği farklı bir gerilme durumu elde edilmektedir. Dolayısıyla beton gibi çekme dayanımı düşük olan gevrek malzemelerde kırılma, asal çekme gerilmelerine dik doğrultudaki çatlaklar yoluyla gerçekleşmektedir.



Aşağıdaki şekilde ise burulma momentine maruz bir çubuktan çıkartılan bir daire sektörü sonrası durum görülmektedir. En kesit düzlemindeki kayma gerilmeleri aynı şiddetle kesim düzlemlerinde ve çubuk ekseni doğrultusunda etkimektedirler. Şimdi akla şöyle bir soru gelebilir. Madem ki çubuk ekseni doğrultusunda gerilmeler vardır, neden çubuk boyu değişmemektedir? Bu sorunun cevabı, diğer kesim düzlemindeki gerilmelerin yönce ters olduğunu hatırlatmakla verilebilir.



DAİRE KESİTLİ MİLLERİN BOYUTLANDIRILMASI

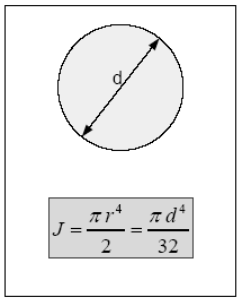
Bilinen büyüklükler (T, G, τ_{em}, ϕ_{em}) **Aranan büyüklükler (d, J)**

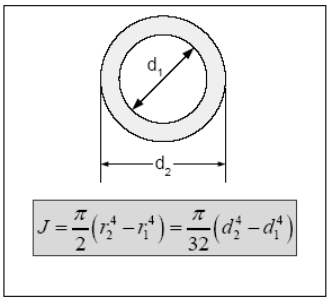
a) Emniyet gerilmesine göre;

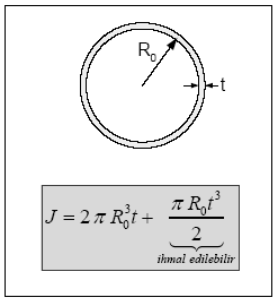
$$\tau_{enbüyük} = \frac{T\,r}{J} \le \tau_{em} \qquad \frac{T\,r}{\frac{\pi\,r^4}{2}} \le \tau_{em} \;\rightarrow\; r \ge \sqrt[3]{\frac{2\,T}{\pi\,\tau_{em}}} \quad \text{veya} \quad \frac{T\,\frac{d}{2}}{\frac{\pi\,d^4}{32}} \le \tau_{em} \;\rightarrow\; d \ge \sqrt[3]{\frac{16\,T}{\pi\,\tau_{em}}}$$

b) Emniyetli dönme açısına göre;

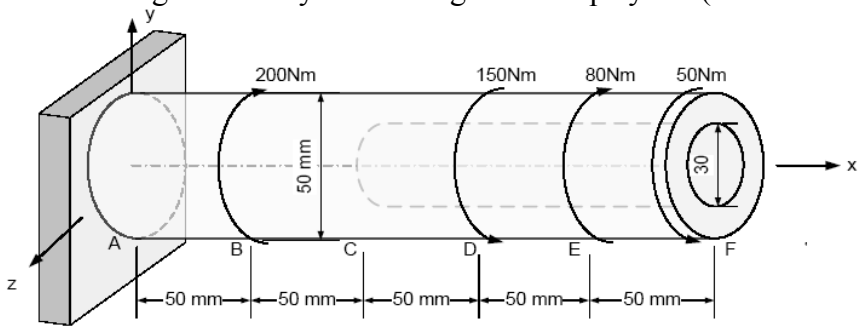
$$\omega = \frac{T}{G\,J} \qquad \phi = \int_0^L \omega\,dx \qquad \frac{T\,L}{G\,J} \le \phi_{em} \;\rightarrow\; \frac{T\,L}{G\,\frac{\pi\,d^4}{32}} \le \phi_{em} \qquad d \ge \sqrt[4]{\frac{32\,TL}{\pi\,G\phi_{em}}}$$





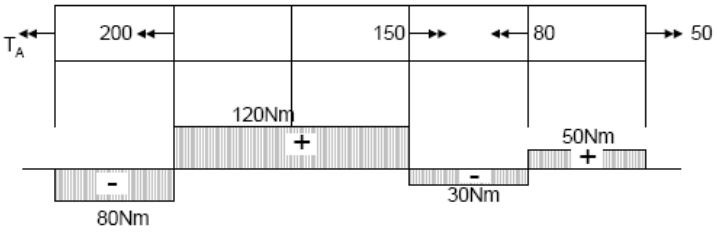


ÖRNEK Şekilde gösterilen dairesel kesitli milde AF arasında toplam dönme açısını ve maksimum gerilmenin yerini ve değerini hesaplayınız (G = 80 GPa).



$$T_A + 200 - 150 + 80 - 50 = 0 \qquad T_A = -80\ Nm$$

$$J_{dolu} = \frac{\pi}{32} 50^4 = 61.36x10^4\ \ mm^4 \qquad J_{halka} = \frac{\pi}{32}\left(50^4 - 30^4\right) = 53.407x10^4\ \ mm^4$$

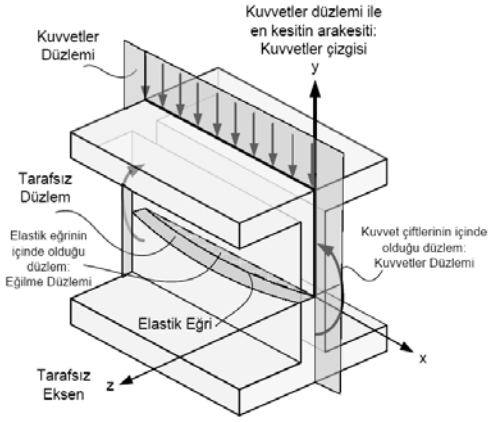


$$\phi_{F/A} = \frac{1}{G}\left[\frac{50.10^3.50}{53.407x10^4} - \frac{30.10^3.50}{53.407x10^4} + \frac{120.10^3.50}{53.407x10^4} + \frac{120.10^3.50}{61.36x10^4} - \frac{80.10^3.50}{61.36x10^4}\right]$$

$$\phi_{F/A} = \frac{1}{80x10^3}\left[\frac{5}{53.407}(140) + \frac{5}{61.36}(40)\right] = 2.046x10^{-4}\ rad$$

$$\tau_{enbüyük} = \frac{120x10^3.25}{534.07x10^3} = 5.62\ MPa \quad (C-D)$$

EĞİLME (Tanımlar)



Şekilde düşey düzlem içinde ve tesir çizgileri daima en kesitin alan merkezinden geçecek tarzda etkiyen dış yüklere maruz bir kiriş parçası görülmektedir. Alan merkezine yapıştırılan eksen takımının x ekseni çubuk ekseni ile çakıştırılmıştır. En kesit düzleminde y ekseni yukarı z ekseni ise sola yönlü alınmıştır. Bu durumda kirişi zorlayan kuvvet çiftlerinin içinde bulunduğu xy düzlemi kuvvetler düzlemi olarak isimlendirilir. Kuvvetler düzlemi ile en kesitin ara kesitine (y ekseni) kuvvetler çizgisi denir. Şekil değiştirmiş çubuk ekseninin içinde bulunduğu düzleme eğilme düzlemi adı verilir. Bir eğilme probleminde kuvvetler düzlemi ile eğilme düzlemi aynı düzlemse bu eğilme BASİT EĞİLME ya da DÜZ EĞİLME, aksi halde EĞİK EĞİLME olarak isimlendirilir. Ya da farklı bir ifadeyle kuvvetler çizgisinin en kesidin asal eksenlerinden biri ile çakışması durumunda, eğilme basit eğilme olacaktır.

BOYUTLANDIRMA

Gerilmelere göre boyutlandırmada

$$\sigma_{eb} = \frac{M_z}{I_z} y_{eb}$$

Formülünün esas alınacağı açıktır. Pratikte

$W = I_z / y$ oranına Muavemet moment denir.

Çekme ve basma emniyet gerilmeleri eşit simetrik en kesite sahip kirişlerde

$$W_z = \frac{I_z}{y_{eb}} \qquad \frac{\sigma_{ek}}{\sigma_{eb}} = \frac{M_z}{I_z} y_{eb} = \frac{M_z}{W_z} \le \sigma_{em}$$

Eğer kullanılan çubuk malzemesinin, çekme ve basma emniyet gerilmelerinin birbirinden farklı olması ve/veya en kesitin z eksenine göre simetrik olmaması durumlarında çekme ve basma için iki ayrı mukavemet momenti kullanılmalıdır.

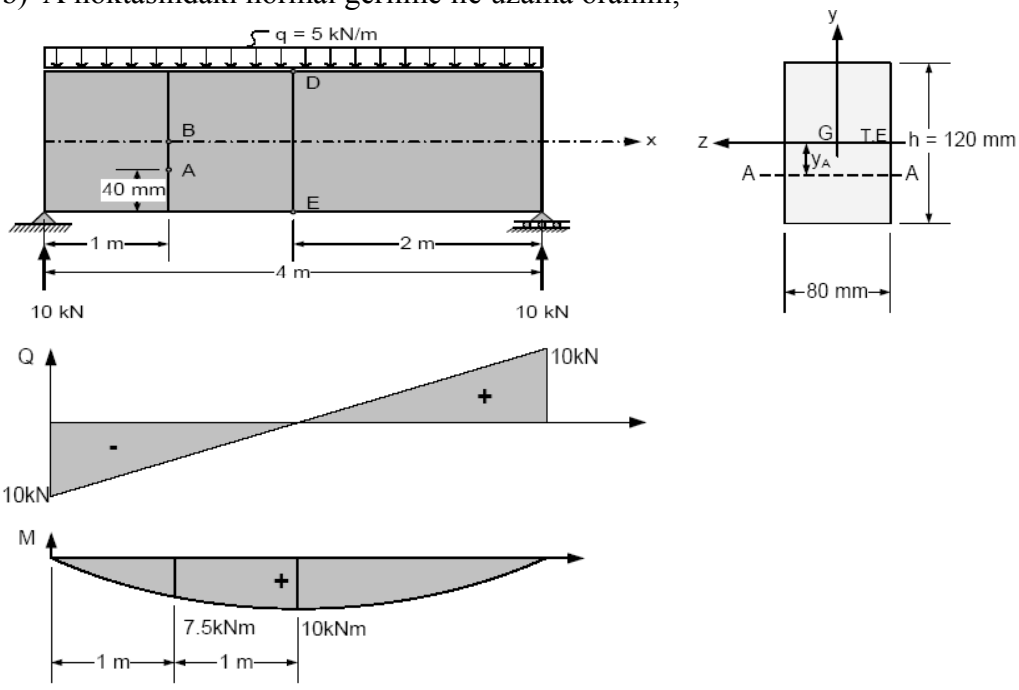
$$W_{z'} = \frac{I_z}{y'_{basma}} \qquad \sigma_{ek} = \frac{M_z}{W'_z} \le \sigma^{em}_{basma}$$

$$W_{z''} = \frac{I_z}{y''_{basma}} \qquad \sigma_{eb} = \frac{M_z}{W''_z} \le \sigma^{em}_{çekme}$$

ÖRNEK: Dökme demirden yapılmış (E =175 GPa) dikdörtgen kesitli bir kiriş 5 kN/m'lik yayılı yük taşımaktadır.

a) Açıklık ortasındaki en büyük çekme ve en büyük basma gerilmesini,

b) A noktasındaki normal gerilme ile uzama oranını,



$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{80.120^3}{12} = 11.52x10^6 \ \ mm^4$$

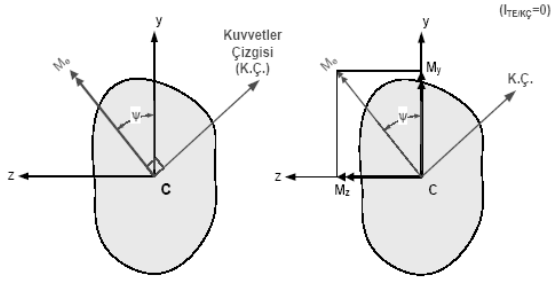
$$W = \frac{I}{h/2} = \frac{11.52x10^6}{60} = 0.192x10^6 \ \ mm^3$$

$$\sigma_{\substack{\max\\ \min}} = \frac{-}{+}\frac{10x10^6}{0.192x10^6} = \frac{-}{+}52.1\,MPa$$

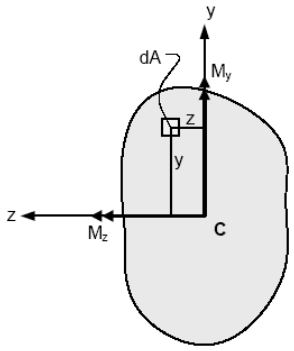
$$\sigma_A = -\frac{M_A}{I}y_A = -\frac{7.5x10^6}{11.52x10^6}(-20) = 13MPa$$

$$\varepsilon_A = \frac{\sigma_A}{E} = \frac{13}{175x10^3} = 74.3x10^{-6}$$

EĞİK EĞİLME



Şekilde, herhangi bir simetri ekseni bulunmayan kiriş en kesitine etkiyen M_e eğilme momenti gösterilmiştir. Bu moment, kuvvetler çizgisi doğrultusunda etkiyen dış yüklerden meydana gelmektedir. (z-y) eksen takımı en kesitin alan merkezi C'ye yapıştırılmıştır. Kuvvetler çizgisinin en kesidin asal eksenlerinden biri ile çakışmadığı düşünüldüğünde eğik eğilme hali söz konusu olacaktır. Diğer bir deyişle çubuğu eğilmeye zorlayan kuvvet çiftlerinin içinde bulunduğu *kuvvetler düzlemi* ile çubuğun elastik eğrisinin içinde bulunduğu *eğilme düzlemi* farklı düzlemlerdir.

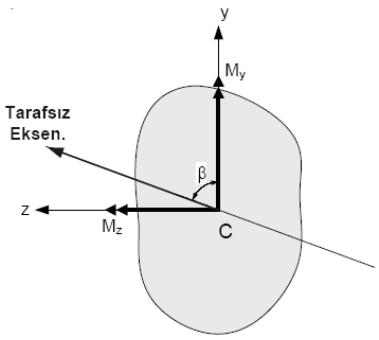


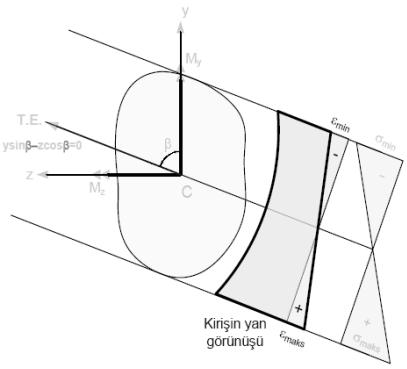
En kesit üzerinde alınan bir alan elemanı, x ekseni doğrultusundaki σ_x gerilmesi etkisinde bulunsun (τ_{xy} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin oldukça küçük olduklarını ve istenirse denge denklemlerinden bulunabileceklerini ayrıca belirtelim). Bu durumda iç kuvvetlerden oluşacak zorlamaları dış kuvvetlere eşitleyen denge denklemleri aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$\int \tau_{xy}dA = 0 \quad \int \tau_{xz}dA = 0 \quad \int \sigma_x dA = 0 \quad \int z\,\sigma_x dA = M_y \quad \int y\,\sigma_x dA = -M_z$$

Şekil değiştirmeden önce çubuk eksenine dik ve düzlem olan kesitlerin şekil değiştirmeden sonra elastik eğriye dik ve düzlem kaldıkları "Bernoulli-Navier" hipotezi eğik eğilme durumunda da geçerlidir.

Kesitin y ekseni ile β açısı yapan bir eksen etrafında dönerek şekil değiştirdiğini düşünelim. Basit eğilme konusundan da hatırlanacağı gibi uzama ve kısalmalar tarafsız eksenden olan mesafe ile artar. Tarafsız eksen üzerindeki liflerde uzama ya da kısalma söz konusu değildir. Tarafsız eksen, kesiti basma ve çekme olmak üzere iki bölgeye ayırır.

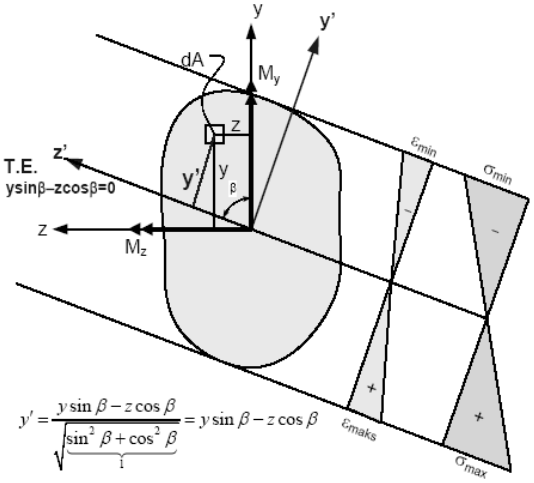


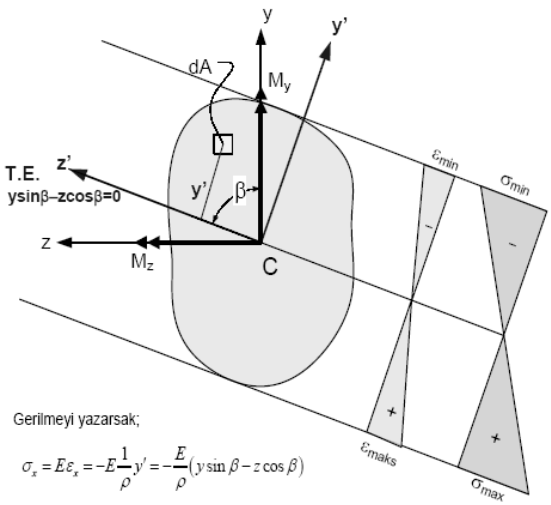


Tarafsız eksenin denklemi

$$\tan\beta = \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{z}{y} \quad y\sin\beta - z\cos\beta = 0$$

Basma ve çekme bölgelerinde tarafsız eksenden en uzak noktalar belirlenip, tarafsız eksene paraleller çizilir. Çizilen bu paralellere dik bir doğru yardımı ile normal birim şekil değiştirme ve bu şekil değiştirmelerin E katı ile gerilme diyagramları gösterilebilir.





Alan elemanının merkezinden tarafsız eksene olan y' mesafesini belirlemek için doğru (T.E.) denkleminde noktanın koordinatları yerine yazılmalı ve doğru denkleminin katsayılarının kareleri toplamının kareköküne bölünmelidir.

Basit eğilme halinde, tarafsız eksenden y kadar mesafede bulunan bir lifteki uzama oranı, eğrilik ile lifin bulunduğu o noktanın (T.E.)'e olan uzaklığının çarpımı olarak hesaplanabilmekteydi. Eğik eğilme halinde de aynı bağıntı geçerlidir.

Gerilme;

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = -E\frac{1}{\rho}y' = -\frac{E}{\rho}(y\sin\beta - z\cos\beta)$$

$$\sigma_x = -\frac{E}{\rho}\sin\beta\ y + \frac{E}{\rho}\cos\beta\ z \qquad \sigma_x = ay + bz$$

Buradaki a ve b katsayıları sabitlerdir. Meğer normal gerilme en kesit üzerindeki noktanın koordinatlarına bağlı olarak değişmekteymiş. Şimdi gerilme ifadesini denge denklemlerinde yerine yazıp her terimin fiziksel anlamından hareketle a ve b yi dış zorlamalar ve kesitin atalet momentleri cinsinden elde edebiliriz. İlk denklemdeki statik momentler, eksen takımı alan

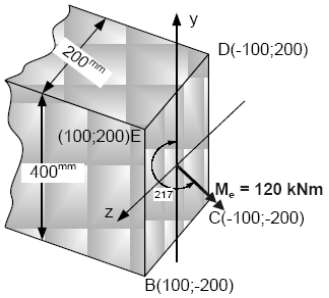
merkezine bağlandığından otomatik olarak sıfırdır. Bu durumda gerilme;

$$\sigma_x = \frac{M_z(I_{zy}z - I_y y) + M_y(I_z z - I_{zy} y)}{I_z I_y - I_{zy}^2}$$

Tarafsız eksenin yeri ise;

$$\tan\beta = \frac{M_z I_y + M_y I_{zy}}{M_z I_{zy} + M_y I_z}$$

ÖRNEK: Şekilde gösterilen dikdörtgen kesit 120 kNm'lik eğilme momenti etkisindedir. Köşelerdeki gerilmeleri ve tarafsız eksenin doğrultusunu belirleyiniz.



$I_z = 1066.67\text{x}10^6$ mm^4 $I_y = 266.67\text{x}10^6$ mm^4
$M_z = 120\text{xsin } 217° = -72.218$ kNm $M_z = 120\text{xcos } 217° = -95.836$ kNm
y ve *z asal eksenler olduğundan*

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z}y + \frac{M_y}{I_y}z \qquad \tan\beta = \frac{M_z I_y}{M_y I_z}$$

Tarafsız eksen doğrultusu için;

$$\tan\beta = \tan 217^0 \frac{266.67}{1066.67} \rightarrow \beta = 10.67^0$$

$$\sigma_x = -\frac{-72.218x10^6}{1066.67x10^6}y + \frac{-95.836x10^6}{266.67x10^6}z = 0.0677y - 0.3594z$$

$$\sigma_x(B) = \sigma_x(100;-200) = 0.0677.(-200) - 0.3594.(100) = -49.48\ MPa$$

$$\sigma_x(E) = \sigma_x(100;200) = 0.0677.(200) - 0.3594.(100) = -22.40\ MPa$$

$$\sigma_x(C) = \sigma_x(-100;-200) = 0.0677.(-200) - 0.3594.(-100) = 22.40\ MPa$$

$$\sigma_x(D) = \sigma_x(-100;200) = 0.0677.(200) - 0.3594.(-100) = 49.48\ MPa$$

T.E. Denklemi İçin

$$\sigma_x = 0.0677.y - 0.3594.z = 0 \qquad z = \frac{1}{5.308}.y$$

BİLEŞİK MUKAVEMET HALLERİ

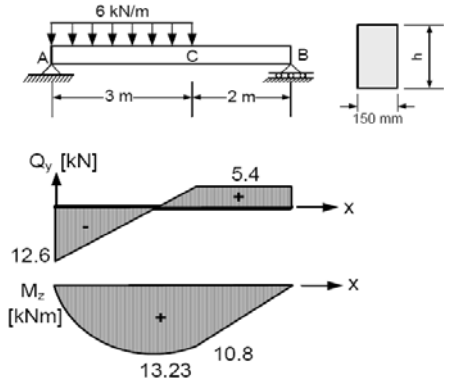
Bundan önceki bölümlerde basit mukavemet halleri (eksenel kuvvet, kesme kuvveti, burulma momenti ve eğilme momenti) ayrı ayrı incelenerek gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları elde edildi. Yapı ve makine elemanları çoğunlukla birden fazla yükleme etkisi altındadır. Örneğin burulma momenti aktaran bir şaft aynı zamanda kendi ağırlığından doğan eğilme momentleri etkisine de maruzdur. Bu bölümde bileşik yükleme halleri incelenecektir. Bileşik yükleme etkisinde gerilmelerin hesabında her bir yükten oluşan gerilmelerin ayrı ayrı hesaplanarak süperpozisyonu yapılır. Bu tarz bir hesaplamada her bir yükten oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerin diğer yüklerden oluşan gerilme ve şekil değiştirmelere etkisinin olmadığı kabul edilir. Ayrıca süperpozisyon ilkesinin ancak malzemenin lineer elastik ve şekil değiştirmelerin küçük olması durumunda geçerli olduğunu hatırlatmakta fayda vardır.

Basit mukavemet hallerinde gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları;

YÜK TİPİ	GERİLME	ŞEKİL DEĞİŞTİRME
Eksenel Kuvvet	$\sigma_x = \frac{N}{A}$	$\varepsilon_x = \frac{N}{E \cdot A}$
Kesme Kuvveti	$\tau_{xy} = \frac{Q_y}{A}$	$\gamma_{xy} = \frac{Q_y}{G \cdot A}$
Burulma Momenti	$\tau = \frac{T}{J} r$	$\omega = \frac{T}{G \cdot J}$
Eğilme Momenti	$\sigma_x = \frac{M_z}{W_z}$	$\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{M_z}{E \cdot I_z}$

ÖRNEK

Şekilde boyutları yükleme durumu ve en kesiti verilen kirişin yapıldığı malzemenin normal emniyet gerilmesi 10 MPa, kayma emniyet gerilmesi 0.6 MPa olarak bilinmektedir. h kiriş yüksekliğini hesaplayınız. (b=150 mm)



$M_{\text{enbüyük}} = 13.23$ kNm

$Q_{\text{enbüyük}} = 12.60$ kN

$$\sigma_{maks} = \frac{M}{W} = -\frac{13.23x10^6}{\frac{150xh^2}{6}} \le 10\ MPa \quad h \ge 230\ mm$$

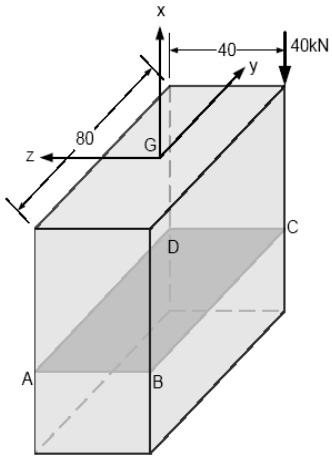
$$\tau_{maks} = \frac{12600\left(150x\frac{h^2}{8}\right)}{150x\left(150x\frac{h^3}{12}\right)} \le 0.6\ MPa \quad h \ge 210\ mm$$

EKSANTRİK NORMAL KUVVET HALİ

Bina kolonlarına üst katlardan gelen eksenel kuvvet yanında kolona bağlanan kiriŞlerden aktarılan eğilme momentleri de olur. Eksenel kuvvet artı iki eksene göre eğilme momenti Şeklindeki zorlamaya eksantrik (kolon ekseni dışında etkiyen) normal kuvvet hali adı verilir.

Eksenel normal kuvveti, z ekseninden $e_1=M_z/N$ kadar aşağı kaydırmakla M_z momentinin yapacağı etki normal kuvvetin üzerine aktarılabilir. Benzer şekilde N normal kuvvetini y ekseninden $e_2=M/N$ kadar sola kaydırmakla da M_y momentinin yapacağı etkiyi içermesi sağlanabilir. Dolayısıyla başlangıçta verilen eksenel kuvvet artı iki eksene göre eğilme momenti yerine eksantrik normal kuvvet hali elde edilmiş olur. Eksantrik normal kuvvet, alan merkezine taşınırsa eksenel kuvvet + iki eksene göre eğilme momentleri elde edilebilir. Burada e_1 ve e_2 değerlerine eksantrisite (dış merkezlilik) denir.

ÖRNEK: Şekilde gösterilen dikdörtgen blok köşesinden etkiyen 40 kN'luk kuvveti taşımaktadır. A, B, C, D noktasındaki normal gerilmeleri hesaplayınız.



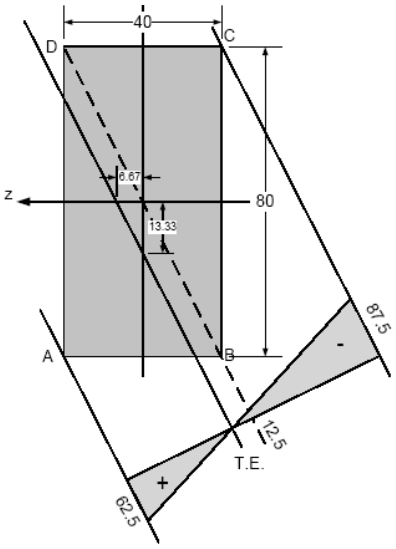
N=-40000N M_z=1.6x10^6 Nmm M_y=0.8x10^6 mm
I_z=1.7067x10^6 mm^4 I_y=0.4267x10^6 mm^4 i_z^2=533.33 mm
i_y^2=133.33 mm z ve y asal eksenlerdir

$$\sigma_x = \frac{N}{A} - \frac{M_z}{I_z} y + \frac{M_y}{I_y} z = -\frac{40000}{80x40} - \frac{1.6x10^6}{1.7067x10^6} y + \frac{0.8x10^6}{0.4267x10^6}$$

$$\sigma_x = -12.5 - 0.9375y + 1.875z$$

$$\sigma_x(A) = -12.5 - 0.9375(-40) + 1.875(20) = 62.5\ MPa$$
$$\sigma_x(B) = -12.5 - 0.9375(-40) + 1.875(-20) = -12.5\ MPa$$
$$\sigma_x(C) = -12.5 - 0.9375(40) + 1.875(-20) = -87.5\ MPa$$
$$\sigma_x(D) = -12.5 - 0.9375(40) + 1.875(20) = -12.5\ MPa$$

T.E. denklemi için $\sigma_x = 0$ *yazarsak*; $y = -13.33 + 2z$



KOLONLARIN BURKULMASI

Yapı elemanlarının gerilme ve şekil değiştirme kriterlerine göre incelenerek boyutlandırılması bundan önceki bölümlerde ele alındı. Bu bölümde yapı elemanlarının aldığı biçimi yük etkisi altında koruyup koruyamayacağı konusu araştırılacaktır. Stabilite, yapının ani biçim değişimi yapmadan verilen bir yükü taşıma kabiliyeti olarak tanımlanabilir.

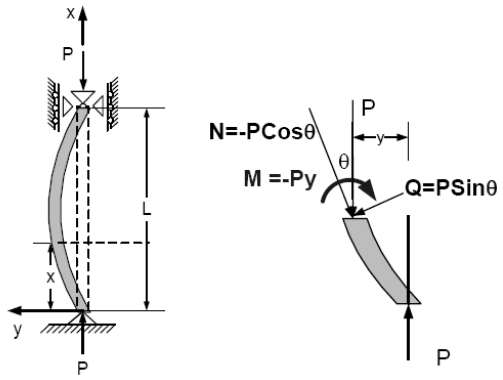
İki ucundan mafsallı eksenel basma kuvveti taşıyan bir çubuk düşünelim. Eksenel kuvvetin yavaş yavaş artması durumunda çubuk doğru eksenli başlangıç durumunu koruma eğilimindedir. Eksenel kuvvetin belirli bir değerine ulaşıldığında çubuk, doğru eksenli denge konumunu bırakıp aniden eğri eksenli başka bir denge konumuna geçer. Bu olaya burkulma adını veriyoruz. Çubuk burkulduktan sonra yüklemedeki küçük değişmelerle kendisine yine eğri eksenli başka denge konumları bulur.

Burkulma, eksenel basma kuvveti taşıyan narin çubuklarda meydana gelir. En kesit alanı küçük, boyu büyük olan narin çubukların eksenel yük taşıma kapasiteleri burkulma olayı nedeniyle azalır.

EKSENEL YÜKLÜ KOLONLAR

İki ucu mafsallı bir kolon ele alalım ve aşağıdaki şartları sağladığını kabul edelim:

a) Kolon başlangıçta doğru eksenlidir.
b) Eğilme rijitliği EI, uzunluk boyunca sabittir.
c) Malzeme lineer elastik, homojen ve izotroptur.
d) Yük tam olarak eksenseldir.
e) Yerel burkulma meydana gelmez.



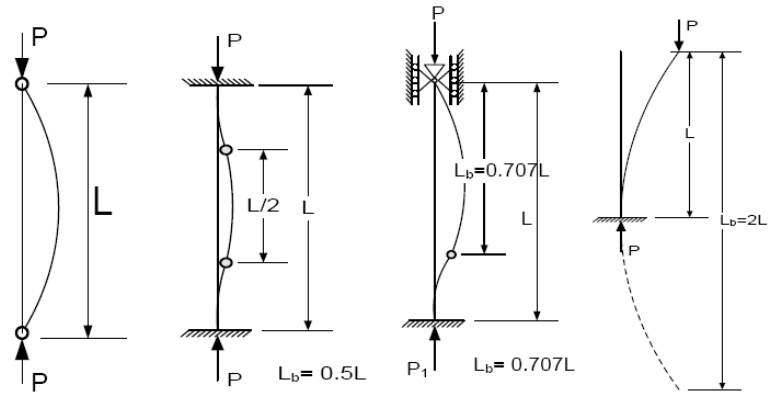
$$\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{M}{EI}=-\frac{P}{EI}y \qquad \frac{d^2y}{dx^2}+\frac{P}{EI}y=0$$

$$y=A\sin\left(\sqrt{\frac{P}{EI}}x\right)+B\cos\left(\sqrt{\frac{P}{EI}}x\right)$$

Burkulmaya yol *açan* en küçük yüke kritik yük denir. Kritik yüke ulaGıldıktan sonra ikinci mertebe momentler sebebiyle çubuktaki deformasyon hızla artarak çubuğun tahrip olmasına yol açar. Elastik eğrinin büküm noktaları arasındaki mesafe, (L_b) olarak tanımlanırsa diferansiyel denklem aşağıdaki gibi yazılır.

$$P_{kritik}=\frac{\pi^2 EI_{\min}}{L_b^2}$$

Farklı mesnetlenme koşullarına göre L_b uzunlukları aşağıda gösterilmiştir.

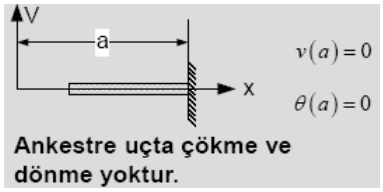


ELASTİK EĞRİNİN İNTEGRASYON YOLU İLE BULUNMASI

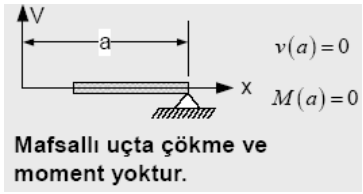
Yükleme sonrası bir eğri haline dönüşen (elastik eğri) çubuk ekseninin denklemini integrasyon yöntemi ile belirlemek istiyoruz. Burkulma konusunda da kullanıldığı üzere deplasmanın ikinci türevi eğriliğe eşitlenirse kirişin herhangi bir noktasındaki deplasman ve dönme hesaplanabilir.

$$\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{M}{EI}$$

Bu bağıntı, moment fonksiyonunun iki kere integre edilmesi yolu ile elastik eğri fonksiyonunun belirlenebileceğini ifade etmektedir. Bu denklemin integral alındıktan sonraki çözümünde integral sabitleri kullanılacaktır. Bu sabitler ise sınır koşulları kullanılarak denklemde yerine yazılacak ve elastik eğri denklemi elde edilecektir. Bazı mesnetleme koşullarına göre, sınır koşuları aşağıda verilmiştir.



Ankestre uçta çökme ve dönme yoktur.



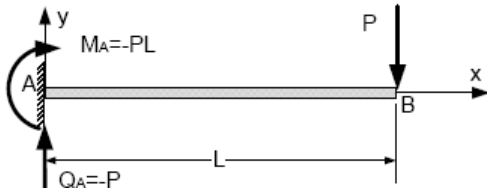
Mafsallı uçta çökme ve moment yoktur.



Serbest uçta moment ve kesme kuvveti yoktur.

ÖRNEK

Şekilde gösterilen konsol kirişin elastik eğri denklemini bulunuz. B noktasındaki eğim ve sehimi hesaplayınız.



$$M=-P(L-x) \qquad \frac{d^2y}{dx^2}=\frac{-P(L-x)}{EI} \qquad y=\frac{1}{EI}\left(\frac{Px^3}{6}-\frac{PLx^2}{2}+C_1x+C_2\right)$$

Sınır Koşulları y(x = 0) = 0, y'(x = 0) = 0 olduğundan C_1=0, C_2=0

$$y=\frac{P}{EI}\left(\frac{x^3}{6}-\frac{Lx^2}{2}\right) \qquad y'=\frac{P}{EI}\left(\frac{x^2}{2}-Lx\right)$$

$$y_B=-\frac{PL^3}{3EI} \qquad \theta_B=-\frac{PL^2}{2EI}$$

CASTIGLIANO TEOREMİ İLE YER DEĞİŞTİRME HESABI

Castigliano (1847-1884) nun 1879 yılında ortaya koyduğu teoremle doğrusal elastik davranış gösteren (süperpozisyon kuralının geçerli olduğu) yapılarda yer değiştirme ve eğim hesapları kolayca yapılabilmektedir. P_k (k=1,2,…….,m) kuvvetleri etkisinde bulunan doğrusal elastik bir cisimde depolanan şekil değiştirme enerjisi uygulanan kuvvetlerin yaptıkları işe eşittir.

$$U=W=\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{m}P_k\delta_k$$

Şimdi yüklerden birinin (P_i) dP_i gibiküçük bir miktar arttığını, bu sırada dış yüklerin değişmediğini düşünelim. Şekil değiştirme enerjisindeki artış $dU=\frac{\partial U}{\partial P_i}dP_i$ olur. Uygulanan dP_i kuvveti ile δ_i yolunu katederek iş yapmış olur. ($dU=dP_i\delta_i$)

$$\delta_i=\frac{\partial U}{\partial P}$$

Castigliano teoremine göre lineer elastik davranışa sahip bir yapıda toplam şekil değiştirme enerjisinin yüklerden birine göre türevi, yükün etkidiği noktada yük doğrultusundaki yer değiştirmeyi verir. Şekil değiştirme enerjisinin eğilme momentine göre türevi eğimi verirken burulma momentine göre türevi dönme açısını vermektedir.

$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial P_i} \qquad \theta_i = \frac{\partial U}{\partial M_i} \qquad \phi_i = \frac{\partial U}{\partial T_i}$$

P_i kuvveti doğrultusundaki y_i yer değiştirmesini hesaplamak için integral işareti altında türev almak genellikle çözümü basitleştirir.

$$y_i = \frac{\partial U}{\partial P_i} = \int \frac{M}{EI}.\frac{\partial M}{\partial P_i} dx \qquad \theta_i = \frac{\partial U}{\partial M_i} = \int \frac{M}{EI}.\frac{\partial M}{\partial M_i} dx$$

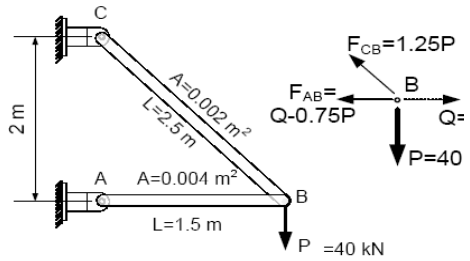
Normal kirişlerde kesme kuvvetinin yer değiştirmeye etkisi ihmal edilebilir.
Kafes kirişler:Eleman sayısı n, çubuk boyları L_i ve uzama rijitliği A_iE_i ve çubuk kuvvetleri F_i olan bir kafes kirişte depolanan şekil değiştirme enerjisi ile P_i kuvveti doğrultusundaki yer değiştirme şöyle olur.

$$U = \sum_{j=1}^{n} \frac{F_j^{\,2} L_j}{2 A_j E_j}$$

$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial P_i} = \sum_{j=1}^{n} \frac{F_j L_j}{A_j E_j} \frac{\partial F_j}{\partial P_i}$$

Yük bulunmayan bir düğümdeki deplasman hesaplanmak istenirse, o düğüme deplasman istenilen doğrultuda hayali bir kuvvet etki ettirilir. Ş.D.E. yazdıktan sonra sıfıra eşitlenir.

ÖRNEK: Şekilde gösterilen iki çubuklu kafes sistemde B düğümündeki düşey ve yatay yer değiştirmesini hesaplayınız. E=70 GPa



$$\delta_D = \frac{F_{AB}L_{AB}}{EA_{AB}}\left(\frac{\partial F_{AB}}{\partial P}\right) + \frac{F_{BC}L_{BC}}{EA_{BC}}\left(\frac{\partial F_{BC}}{\partial P}\right)$$

$$\delta_D = \frac{-30000\times 1.5}{0.004\times 70\times 10^9}(-0.75) + \frac{50000\times 2.5}{0.002\times 70\times 10^9}(1.25)$$

$$\delta_D = 1.205\times 10^{-4} + 1.116\times 10^{-3} = 1.2365\times 10^{-3} \quad m \downarrow$$

$$\delta_Y = \frac{-30000\times 1.5}{0.004\times 70\times 10^9}(1) + \frac{50000\times 2.5}{0.002\times 70\times 10^9}(0)$$

$$\delta_Y = -0.16\times 10^{-3} \quad m$$

$$\delta_Y = 0.16 \quad mm \quad \leftarrow$$

Buradaki negatif işaret, hayali kuvvet Q nun doğrultusuna ters yönde yer değiştirme olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

1-Dr.MehmetH.OMURTAG,MukavemetCiltIveCiltIIBirsenyayınevi,2007
2-Dr.MehmetH.OMURTAG,MukavemetÇözümlüProblemleri,Birsenyayınevi,2006
3-http://web.mst.edu/~mecmovie
4-FerdinandP.BEER&E.RusselJOHNSTON,MechanicsofMaterials,McGraw-HillBookComp.1981
5-R.C.HIBBELER,MechanicsofMaterials,PrenticeHallInternational,Inc.1997
6..N.KADIOĞLU,.H.ENGĠN,M.BAKĠOĞLU,MukavemetProblemleriCiltI,CiltII,BetaBasımYayımDağıtımA.~.1989
7-.UğurERSOY& TanvirWASTl,IntroductoryMechanicsofDeformableBodies.METU1984
8-Dr.HiImiDEMĠRAY,Mukavemet,ÇağlayanKitabevi,1997

Hazırlayanlar: Hakan EROL, H. Selim ŞENGEL, Yunus ÖZÇELİKÖRS

BÖLÜM 3
MALZEME

YAPI MALZEMESİ

İnşaat Malzemelerinin Sınıflandırılmaları

1. Faz Durumlarına göre

2. Kimyasal iç yapılarına göre

1.Gazlar: Hava, oksijen, CO_2

2. Sıvılar: Su, kimyasal karışımlar

3. Yarı -katılar: Harçlar, sıvalar, asfaltlar vb

4. Katılar: Metaller, Sertleşmiş beton

3. İç Yapı ve Kimyasal Sınıflara göre

1. Metaller

A. Demir , çelik

B. Aliminyum, bakır, çinko, kurşun

2. Polimerler: Kovalent bağlanma ile oluşan C,H,O,N moleküllerinden oluşan uzun incirlerle oluşur.

A. Tabi (Kauçuk, asfalt, ahşap)

B. Suni (plastikler)

3. Seramikler: (Kovalent ve iyonik karışık bağlı esasen aliminosilikat yapılı malzemelerdir.

A. Yapısal Kil Ürünleri (Tuğla, Borular)

B. Porselenler

4. Kompozit Malzemeler :

A. Suni (Portland çimento, Beton)

5. Donatılı Kompozit Malzemeler: (Demirli beton, takviyeli plastikler)

Mühendisin en önemli görevlerinden biri görevi yapılacak yapı için en uygun malzemeyi seçmektir.

Uygun Yapı Malzemesi Seçimine Etki eden faktörler

- **Dayanım , rijitlik Şartları**
  - Sürekli kalıcı yükler → Sünme
  - Tekrarlı yükler → Yorulma dayanımı
  - Çarpma , patlama yükleri → Tokluk & kırılma
  - Yüzey yükleri → Sertlik & aşınmaya dayanım
- **Çevresel şartlar**
  - Isı değişimi → ısı katsayısı
  - Nem oranı → permeabilite
  - Kimyasal etkiler→ Kimyasal konum
- **Ekonomi. Ele alınan malzemede amaca uygun ucuz malzeme seçimi**
  - İlk maliyet
  - Kullanım süresi -Bakım sıklığı
  - Bakım maliyeti
  - Konfor

Yapı malzemeleri genel özellikleri

- Fiziksel **
- Mekanik **
- Kimyasal
- Diğer
  - Isı, Akustik, Optik,

** Türk Standartları ve CE ile belirlenmiştir,

➢ **Fiziksel Özellikler (Yapının Fiziksel özellikleri)**
- Yoğunluk
- Birim hacim ağırlığı
- Porozite
- Geçirgenlikleri vb.

➢ **Mekanik özellikleri**
- Uygulanan yüklere karşı direnç
- Dayanım
- Kırılma / akma
  (gevrek / duktil)
    - Çekme
    - Basınç
    - Eğilme
    - Burulma
    - Kesme

➢ **Kimyasal Ozellikleri**

- Kimyasal durumu
  - Oksit iceriği
  - Karbonat iceriği
  - Asitlik-bazlık
  - Korozyona dayanım

İnşaat Mühendisliği Malzeme özelliklerinin Belirlenmesi
- ➢ Malzeme özellikleri
  - Laboratuvar deneyleri
  - Alan deneyleri (yerinde deneyler).
- ➢ STANDARDLAR Kullanılacak malzemelere ilişkin özellik ve deney işlemlerini belirler.

Standartların amacı
- Test numune sayısı ve numune belirleme
- Numune şekli ve boyutları

- Numune hazırlanması
- Numune süresince
- Isı nem vb durumları
- Makine tipi Yükleme oranı
- Test sonuçları değerlendirmeleri
- Rapor hazırlanması

Standardizasyon Enstitüleri

- Turkiye - Türkiye Standart Enstitüsü (TSE)
- İngiltere- British Standards Institute (BSI)
- Almanya- Deutsche Institute Norm (DIN)
- U.S. - American Society for Testing and Materials (ASTM)
- Europe - European Committee for Standardization (CEN)

Bağlayıcı Malzemeler

- Bağlayıcı maddeler agrega adı verilen mineral taneli malzemeyi birbirine bağlayarak, bir anlamda yapıştırarak, yapay taş oluşumuna olanak sağlayan malzemelere verilen addır. Genelde toz haldedir.
  - Hayvan ve bitki oluşumlu
  - Hidrokarbon kökenli (asfalt)
  - Değişik kalsiyum bileşimli: alçı, kireç, çimento

- Priz olayını sadece havada yapabilen bağlayıcılara "hava bağlayıcıları", hem havada, hem su içinde katılaşabilen bağlayıcılara ise "hidrolik bağlayıcılar' denir. Örneğin, kireç bir hava bağlayıcısı, çimento ise hidrolik bağlayıcıdır. Priz durumlarına göre
- Havada priz yapanlar (Alçı, kireç)
- Suda priz yapanlar (çimentolar)

Geçmişte toprak, toprak-kireçtaşı,kireç, alçılar, pişmiş kil, volkanik cüruf, ve küller kullanılmıştır.

Tarihte Bağlayıcılar

- İlk bağlayıcı killi çamur. Sonra kireç kullanılmıştır.
- Piramitlerde : Kalsiyum sülfat bazlı harçlar kullanılmıştır. Bileşeni: Alçı taşı, kalsit, kireçtaşı, kuvarz kumu ve anhidrittir.
- Romalılar:Puzolan-kireç karışımı kullanmışlardır.Bileşimi:Kireç içine camlaşmış volkan toprağı ilave etmişlerdir.
- Selçuklu-Osmalı: Horosan harcı kullnılmıştır. Bileşeni: pişmiş toprak tozu, kuvartz kumu, kireg, kül, değişik lifler.

AGREGALAR

- Mineral kökenli sert tanelerdir. Kum, çakıl kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit, ve uçucu külün pişirilmesiyle elde edilen uçucu kül

agregası gibi çeşitli büyüklükteki taneli malzemelerdir. Betonun yaklaşık %60-80 kısmını oluştururlar. Beton yapımında bağlayıcı olarak kullanılırlar.

- Beton hacminin ~70-75% ini agregalar oluşturur. Bu yüzden kullanılacak agrega niteliği çok önemlidir. Agregalar betonun şu özelliklerinde etkilidirler.
  - Dayanım
  - Durabilite -Yapısal Performans
  - Ekonomi

- Agregaların beton içinde üç önemli işlevi vardır.
  1. Salt çimento hamuruna göre daha iyi bir durabilite elde edilmesinde ve uygulanan yüklere karşı uygun dayanım sağlayan partikül teşekkülünde.
  2. Çimentoya göre daha ucuz bir malzeme olarak hacimsel yer doldurması.
  3. Yerleştirme bakım ve kuruma süresince oluşacak hacim değişikliklerinin önlenmesi

- Agreganın özellikleriyle beton özellikleri etkilenir.
  1. Agreganın mineral yapısı dayanım , durabilite, beton elastisitesini etkiler.
  2. Agreganın yüzey karakteristikleri sertleşmiş betonda çimento hamuru ve agrega arasındaki aderansı (bağı), taze beton da işlenebilirliği belirler.Agrega kaba ise işlenebilirlik azalır fakat aderans artar. Aşınmaya karşı dayanımı arttırır.
  3. Agrega boyutu işlenebilirlik , kimyasal dayanımı arttırır,yoğunluk ve ekonomiyi etkiler.
  4. Betonun birim hacmini etkiler.

- Yüksek agrega miktarı
  - Hacimsel sabitlik artar. Sertleşme ve yerleştirme süresince oluşacak hacimsel değişimi azaltır.
  - Dayanım ve durabilite artışı
  - Maliyette düşüş

- Pratikte beton içerisinde mümkün olduğunca çok agrega kullanımı yaygındır.

AGREGALARIN SINIFLANDIRILMASI

- Agreganın sınıflandırılması agregayı daha iyi tanımak, tarif etmek ve doğru kullanımını sağlayabilmek için yapılır.

  - **Elde ediliş şekline (kaynaklarına) göre**:

  1. Doğal Agregalar: Nehir yatakları, teraslar, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi "doğada agrega yataklarından alınarak gerektiğinde konkasörde kırılma, elenerek değişik boylarda sınıflara ayrılma ve yıkanma işlemlerinin dışında, doğadaki yapısında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmadan kullanılan agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır.

- En iyi malzemeler derelerden elde edilen malzemelerdir. Bunlar temiz ve düzgün tanelerdir. Deniz kumu temiz olmasına rağmen iç yapısında tuz vardır. Tuz korozyona sebep olur. Tuzlu kum rutubeti çektiğinden yapıların nemli olmasını sağlar. Deniz kumlarında midye istiritye kabukları vb. malzemeler düşük dayanım oluşturur. Dona karşı da dayanıksızdırlar. Çöl ve ova kumları ince taneleri dolayısıyla yapım için uygun olmayabilirler. Ocak malzemelerinde kil oranı yüksektir.

Dere agregaları;

- Doğal agregalar köşesiz ve yuvarlaktır.
- Uygun tane dağılımları vardır.
- Zayıf parçalar kısmen elenir.
- Temiz ve düzgün tanelerdir. Kompasiteleri yüksektir. Dayanım üzerinde olumlu etkileri vardır.

2. Yapay Agregalar: Yapay agregalar "beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeden üretilen agregalar veya bir malzemeye ısıl işlem uygulayarak beton yapımı için uygun duruma getirilen agregalardır". Başlıcaları şunlardır.

- yüksek fırın cürufu agregası
- uçucu kül agregası
- genleştirilmiş perlit
- genleştirilmiş kil agregası

➢ **Boyutlarına Göre Agregalar :**

İri Agregalar : 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregalardır.
çakıl:kırılmamış tanelerden oluşur
kırmataş : kırılmış tanelerden oluşur
yapay taş : yüksek fırın cüruf taşı gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agrega

İnce Agregalar : 4 mm göz açıklıklı kare gözlü veya kare delikli elekten geçen agregalardır.
kum : kırılmamış tanelerden oluşan ince agrega
kırma kum : kırılmış tanelerden oluşan ince agrega
yapay kum : yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış ince agrega

- Taşunu (Filler) : Taşunu, 0.25 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen ince malzemedir.
- Karışık Agregalar : Karışık agrega, ince ve iri agrega karışımıdır. Başlıca 3 grupta toplanır.
  - Doğal Karışık Agrega (Tuvenan Agrega): Agrega ocağından veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır.

- Hazır Karışık Agrega : İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde önceden birbirine karıştırılması ile hazırlanan agregadır.

- Yerinde Karışık Agrega : İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında birbirine karıştırılması ile elde edilen agregadır.

- **Yüzey dokusuna göre**: Düzgün, pürüzlüdürler. Kırmataşlar düz köşelidir. Yüzeyler daha pürüzlü olduğundan bileşimlerinde daha fazla çimentoya ihtiyaç olur. Bu da rötreye sebep olur. Çakılları yüzeyleri daha yuvarlaktır. Çakıl kompasitesi 0.65 iken kırmataşınki 0.6 dolaylarındadır. En uygun agrega küp ve küre şeklinde olandır. İnce ve yassı olanlar kusurlu malzemelerdir. Kusurlu taneler %15' ten fazla olmamalıdır.

➢ **Tane Şekillerine Göre**
- Yuvarlak
- Köşeli
- Yassı
- Uzun

➢ **Birim ağırlıklarına göre**

- Hafif agregalar: Birim ağırlıklan 2.4 t/m^3' ten küçüktür. Hafif beton eldesinde kullanılır. Betonun birim ağırlıklannı azaltmak, ısı ve ses ya rı tım özelliklerini arttırmak için kullanılır. Boşluklu yapısı vardır. Su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir. Sünger taşı, volkan tüfleri, yüksek fırın cürufu, genleşmiş kil, şist, perlit örneklerdir.

- Ağır agregalar: Birim ağırlıkları 2.8 t/m^3'ten büyüktür. Ağır beton eldesinde kullanılırlar. Barit ,manyetit, hematit, limonit, vb agregalar örnek gösterilebilir. Ağır agregalar nükleer santral su deposu, röntgen odaları, gibi geçirimliliği az, kompasitesi yüksek betonlarda kullanılırlar.

- Normal agregalar: Birim ağırlıkları 2.4-2.8 t/m^3 arasında olan agregalardır.

➢ **Jeolojik orijinlerine göre**

- Volkanik
- Tortul
- Metamorfik

➢ **Minerolojik Yapılarına göre**

- Silis mineralli
- Karbonat mineralli
- Mikalı agregalar

Agregalarda Aranan Özellikler

■ Sert, sağlam, aşınmaya dayanıklı, yumuşamayan, dağılmayan, dona dayanıklı, malzemeler olmalıdır.
■ Çimento bileşikleriyle zararlı bileşikleri meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.
■ Amaca uygun tane büyüklük ve dağılımı olmalıdır.
■ Şekil ve yüzey dokusu iyi olmalıdır.
■ Çakıllarda ana kaya az boşluklu olmalıdır.
■ Çakıllarda yabancı madde oranı toprak %5, kömür %1, kil ise iri agregada %0.25, ince agrega da %5'ten, silt te %1 den fazla olmamalıdır.

Standartlar
■ TS 130 Agrega karışımlarının elek analizi deneyi
■ TS 706 Beton agrega ların
■ TS 707 Beton agregalarından numune alma ve deney numunesi hazırlama yöntemleri
■ TS 1114 Beton için hafif agregalar.

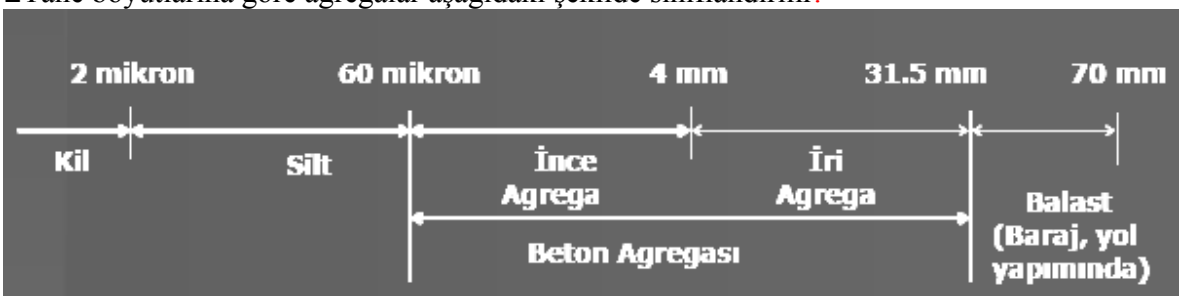
GRANÜLOMETRİ

- Granülometri, agrega içinde boyutları belirli limitler içinde kalan tanelerin hangi oranlarda olduğunu gösterir.
- Agrega granülometrisi, taze betonun kolayca karıştırılabilme, ayrışım yapmadan kolayca taşınıp yerine yerleştirilebilme ve sıkıştırılabilme özelliğini, kısacası betonun işlenebilirliğini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca, agrega granülometrisinin beton karışımında yer alacak malzemelerin oranları üzerinde de önemli etkisi bulunmaktadır.

- Agrega granülometrisi, taze betonda, işlenebilmeyi etkilediginden, istenilen kıvama sahip bir beton yapabilmek üzere kullanılacak karma suyu miktarını da etkilemektedir. Buna bağlı olarak, su/çimento oranını etkilemektedir. Su/çimento oranının ve karışım malzemelerinin oranının etkilenmesi, sertleşmiş betonun hemen hemen bütün özelliklerini etkiler.
- Özetle belirtmek gerekirse, granülometri, taze betonun işlenebilme özelliği ve sertleşmiş betonun dayanım, durabilite, birim ağırlık, büzülme gibi önemli özellikleri ve ekonomisi üzerinde etkilidir.
- Agrega taneleri arasında kalan boşluklar granülometrinin fonksiyonudur. Aynı çapta veya büyüklükte (ince veya kalın) agrega ile doldurulmuş bir kaptaki boşluk hacmi, uygun granülometride karışık boyutlardan oluşan agreganın doldurduğu aynı hacimdeki kabın içindeki boşluklardan daha fazladır. Örneğin, eşit çaplı kürelerden oluşan bir bilye yığınından sağlanabilecek en fazla doluluk %74 olabilir.

GRANÜLOMETRİ

■Tane boyutlarına göre agregalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.



- Bir agrega karışımında granülometrinin hem iri hem de ince agrega tanelerinin büyüklüklerine göre uygun bir dağılım göstermesi istenir. Ancak ince agreganın (kumun) kendi arasındaki tane dağılımı oranının beton özelliklerine etkisi, iri agreganın tane dağılımı oranının betonda yaratacağı etkiye göre daha fazladır.
- Betonda kullanılan kum (4.0 mm elekten geçen malzeme) çok ince veya çok kalın tanelerden oluşmuş ise taze betonun (ve buna bağlı olarak sertleşmiş betonun) özellikleri üzerinde önemli etkileri olur.
- Kumdaki çok ince taneler çoğunlukta ise, betonun işlenebilmesi artar fakat su ve çimento ihtiyacı çoğalır, taze betonda ayrışma olabilir. İşlenebilme artar. Yumuşak ve kolay perdahlanabilir beton elde edilir.
- Kumdaki çok iri taneler çoğunlukta ise, işlenebilme azalır, dayanım artar.
- Betonlarda, %5'ten az olmak koşuluyla, silt (veya filler) bulunmasına bazı durumlarda müsaade edilebilir. Fakat kil bulunması kesinlikle kabul edilemez.

Granülometri deneyi

- Gerekli Araçlar :
- Terazi: 2 kg çekerli 0.1 gr duyarlı ve 20 kg çekerli 1 gr duyarlı
- Etüv: Sıcaklığı $105^{o}C \pm 5^{o}C$ de tutabilen hava dolaşımlı etüv
- Elek Takımı: 0.25, 0.50, 1, 2 mm göz açıklıklı (TS1227)
- 4, 8, 16, 31.5, 63, 90 mm göz açıklıklı (TS1226'ya göre) uygun kare delikli metal veya kare gözlü tel elekler, toplama kabıve kapaktan oluşan elek takımı.
- Elek Sarsma Makinası
- Tel Fırça ve Tavalar

Örneğin (Numunenin) Alınması [TS 707]

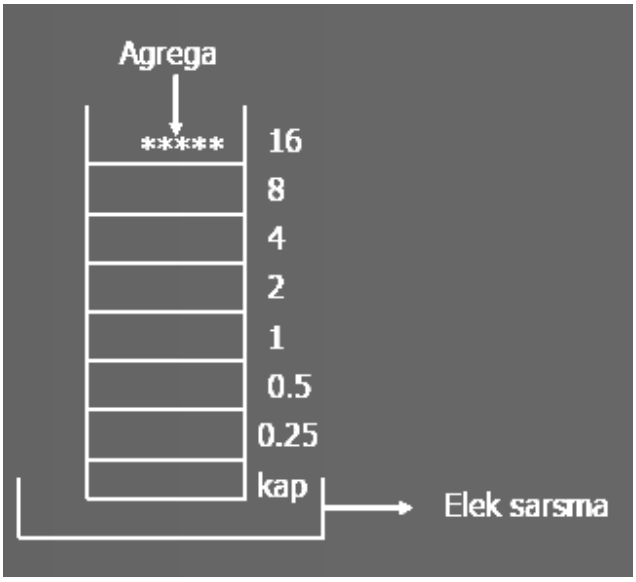
- Agrega numunelerini temsil edecek yığın koni şeklindedir. Bastırılarak silindir disk şeklinde yayılır. Dört eşit dilim işaretlenir. Karşılıklı dilimler alınır. Deney için belirlenecek bu örnek alınma yöntemine "çeyrekleme" yöntemi denir.

Eleme ve Tartma

- Deneye başlamadan önce, deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir. 24 saat 105 derecede değişmez ağırlığa getirilir.

tane büyüklüğü (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
miktarı (kg)	0.5	0.5	0.5	0.5	2	2	8	10	20	20	20

- Eleme için elekler, en alta toplama kabı konduktan sonra, büyük göz açıklıklı olanlar, küçük göz açıklıklı olanların üstüne gelecek şekilde takım halinde dizilir ve üstü kapak ile kapatılır. Tanelerin yığın içindeki oranını belirleyen bu deney de kullanılacak elekler 0.25 mm'ten başlayarak 2'şer kat artar.Yani alttan üste doğru sırayla; toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm göz, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31.5 mm, 63 mm ve 90 mm göz açıklıklı kare gözlü tel elekler ve kapak şeklindedir.



- Etüv kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi oda sıcaklığına gelince tartılır (ΣW). Numune, elek takımının en üstündeki elekten doldurulup kapak kapatıldıktan sonra elek sarsma makinası çalıştırılıp elemeye başlanır.

- Üst elekten geçenler , altta da ha küçük delikli elekler üstünde toplanır. Bu işleme en küçük elek boyutuna kadar devam edilir. Eleme işlemi 10 dakika kadar sürer.

Eleme işlemi sonunda 0.1 gr duyarlıklı terazilerde elek üstünde kalan miktar tartılır. Agregaların en büyük tane miktarı "D" ile gösterilir. Genelde Dmax=31.5 mm dir.Dmax agregann geçtiği en son eleğin ismidir. Bütün malzeme 31.5mm elekten geçip 16 mm elekte birikiyorsa Dmax 31.5 mm' dir.

Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

- Yapılan hesaplarda öncelikle sarsma sonrasında her elek üzerinde kalan miktarlar üstte kalan malzemeden başlanarak alta doğru ağırlık olarak belirlenir.Daha sonra geçen ve kalan ağırlıklarların yığılımlı (kamülatif) ağırlıkları bulunur. Yığılımlı ağırlık üst ağırlıkla alt ağırlıkların toplamıdır.

Elek No(mm)	Elek üstü kalan Ağırlık(gr)	Yığışımlı kalan Ağırlık (gr)	%Yığılımlı ağırlık	
			Kalan	Geçen
31.5	0	0	0	100
16	4000	4000	20	80
8	3200	7200	36	64
4	3800	11000	55	45
2	3800	14800	74	26
1	1800	16600	83	17
0.5	2400	19000	95	5
0.25	600	19600	98	2
Kap	400	20000	100	0
T. ağırlık	20000		461	

İncelik Modülü

- Her elek üzerinde kalan agregaların kamülatif ağırlık yüzdelerinin toplanıp yüze bölünmesiyle elde edilir.

$$m = \frac{\Sigma\ (\%\ \text{her elekteki yığılımlı kalan ağırlık})}{100}$$

$$m = \frac{461}{100} = 4.61$$

Granülometri eğrisi

- Bir agreganın tane dağılımları en iyi granülometri eğrileriyle gösterilebilir. Bu eğrilerde , elek üstünden geçen ağırlıkların kamülatif ağırlık oranları (Y ekseni) ve ona karşı gelen elek numaralarına (x ekseni) göre çizilir.

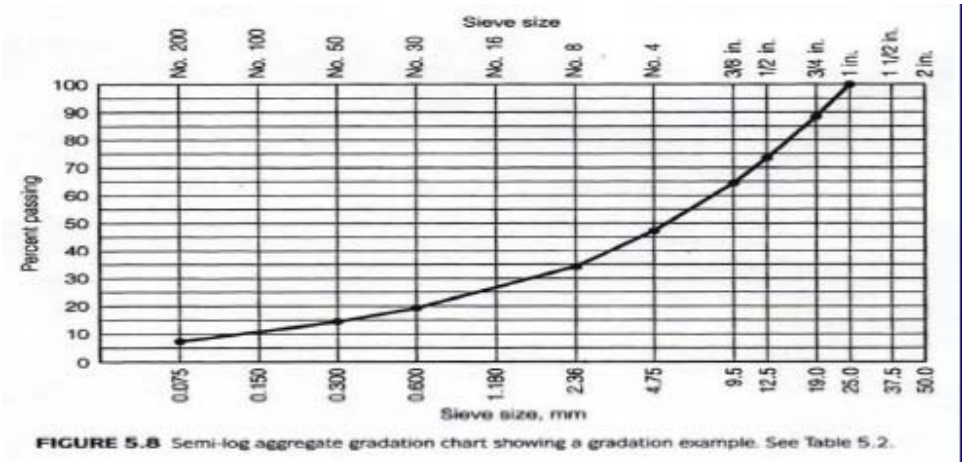


FIGURE 5.8 Semi-log aggregate gradation chart showing a gradation example. See Table 5.2.

1. Granülometri eğrileri daima artan eğrilerdir. Ancak yatay olabilirler. Eğrinin ordinatları 0 ile 100(%) arasında değişir.
2. Granülometri eğrisi P=100 doğrusuna ne kadar yakın ise ince agrega o kadar fazladır.
3. Alınan bir P noktasının altındaki değerler bu noktada olan değere eşittir.

Karışımın standart hale getirilmesi

- Yığındaki agregalarda uygunluk sağlanmadığında yığına farklı agrega katılması gerekebilir. Karışım standartlara uygun hale incelik modülü yöntemiyle getirilebilir.

İncelik modülü yöntemi

- Dmax seçilerek sınır değerler alınır.Sınır değerlerin incelik modülleri hesaplanır. Daha sonra sınırlar arasında kalacak şekilde karışım incelik modülü seçilir.Seçilen incelik modülü için karışım oranları belirlenir.

Betonda kullanılacak en büyük agrega boyutu

- Ayrışma olmadan donatı çubukları arasından geçecek şekilde yerleştirilecek agrega Dmax genişliğini aşmamalıdır.

1) Kalıbın en dar boyutunun 1/5 den küçük olmalıdır.
2) Döşeme derinliğinin 1/3 den küçük olmalıdır.
3) Donatılar arası mesafenin ¾ ten küçük olmalı
4) Dmax < 40mm

AGREGANIN FİZİKSEL DURUMU

■Betonun teknik özelliklerini etkileyen en önemli parametre su/çimento oranıdır.. Bu nedenle agreganın su içeriği ve granülometrik bileşimi önemlidir. Agreganın çimento hamuruna yapışabilmesi, agrega tanelerinin viskoz hamur ortamında hareket edebilmesi için tane yüzeylerinin çok ince bir su şeridi ile sarılması gerekir. Islatma suyunun bir

bölümü beton sertleştikten sonra buharlaşıp, kaybolacak ve yerini hava boşluğu alacaktır. Bu boşluk, betonun dayanımının düşmesine ve betonun geçirimli olmasına neden olacaktır. Bu nedenle agrega ıslatma suyunun en alt düzeyde tutulması gerekir.

- Su agrega tanelerinde ;
  - Tamamen kuru
  - Kuru yüzeyli
  - Kuru yüzeyli doygun
  - Islak

  olarak bulunur



- Tamamen kuru taneler: Bu durumda agrega tanelerinde hiç su bulunmamaktadır. Böyle bir durum, agrega numuneleri etüvde 100-110 ^{o}C'de tutularak elde edilir.
- Kuru yüzeyli taneler: Bu durumda tanelerin yüzeyi kurudur. Ancak tanelerin içindeki boşlukların bir kısmı su ile doludur.
- Kuru yüzeyli doygun taneler: Bu durumdaki agregaların yüzeyleri kuru, iç boşlukları ise tamamen su ile doludur.
- Islak taneler: Bu halde, tanelerin tüm boşlukları ve yüzeyi sui le kaplıdır.

Agregalarda nem

- Beton üretiminde kullanılacak agrega, kuru yüzeyli-doygun durumda olmalıdır. Eğer agrega tamamen kuru veya kuru yüzeyli ise, kullanılan suyun bir kısmı taneler tarafından emilecek, betonda gereğinden az miktarda su kalacaktır. Bu sakıncalı durumu ortadan kaldırmak için, önemli inşaatlarda agreganın emebileceği su miktarını hesaplayıp, agregaların kuru yüzeyli-doygun duruma getirilinceye kadar ıslatılması gerekir.

- Agrega numunelerini kuru yüzeyli-doygun duruma getirebilmek amacıyla numuneler önce su içerisinde 24 saat bekletilip "doygun" duruma getirilir.

- Doygun duruma getirilen numunelerin kuru yüzeyli-doygun duruma getirilme işlemleri iri ve ince agrega numunelerinde farklı yöntemlerle yapılmaktadır.

- İri agrega taneleri doygun olarak sudan çıkartıldıklarında tanelerin üzerinde gözle görülebilen su tabakası (film) kalmayıncaya kadar kurutulur. İri agrega tanelerinin yüzeyleri, gerekirse bir havlu ile teker teker kurutulur.

- İnce agrega taneleri, doygun olarak sudan çıkartıldıklarında tane yüzeylerinin kuru olmasını sağlayabilmek için numune bir tava içine yayılarak tablalı ısıtıcı üzerinde kurutulur. Gerekli görülürse, vantilatör ile hava akımı oluşturularak ve sürekli karıştırılarak daha çabuk kuruma sağlanır. İnce agreganın kuru yüzeyli-doygun hali, koyu (ıslak) renkten açık (kuru) renge değişmeye başladığının hemen sonrasıdır. Agreganın kuru yüzeyli-doygun hale eriştiğine gözle karar verilemiyor ise koni veya kesme yöntemlerinde birisi uygulanır.

- Koni yönteminde, ince agrega kesik koni biçimli 'metal kalıba (üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm, yüksekliği 73 mm olan bir kalıp) gevşek olarak yerleştirilir ve üst yüzü 25 mm çapında bir sıkıştırma çubuğu ile hafifçe tokmaklanır. Daha sonra kalıp yukarıya doğru düşey olarak hareket ettirilerek çıkartılır. Kalıp çıkartıldığında numune konikliğini devam ettiriyor ise serbest nem var demektir; kurutmaya devam edilir ve tekrar koni uygulamasına geçilir. Numunenin konikliğinin serbestçe bozulduğunun görülmesi halinde kuru yüzeyli-doygun durumun sağlandığına karar verilir.

- Kesme yönteminde, kuru yüzeyli-doygun duruma geldiği sanılan ince agrega numunesi ile yaklaşık yarım küre biçiminde bir yığın yapılır. Yığın mala ile düşey olarak ikiye bölündüğünde ortaya çıkan yüzey düzlemliğini koruyabiliyor ise kurutmaya devam edilir. Düşey yüzeyin kendini tutamayıp yıkıldı ü ının saptandığı an agreganın kuru yuzeyli-doygun duruma geçtiği andır.

- Malzeme ıslak ise, beton karışım suyu da betona eklenince gereğinden fazla su kullanılmış olacaktır, Bu durumda betonun dayanımı düşecektir.

- Pratik olarak iri agregada ıslatma suyu, ağırlığın %1-2'si, ince agregada ise %5-9'u arasında alınabilir.

- Islatma suyunun hesabında yararlanılan bir diğer bağıntı ise incelik modülü-su formülüdür. TS 706 elek takımına göre agreganın incelik modülü (i_k) hesaplanır. Agrega yığınını ıslatmak için gerekli su miktarı;

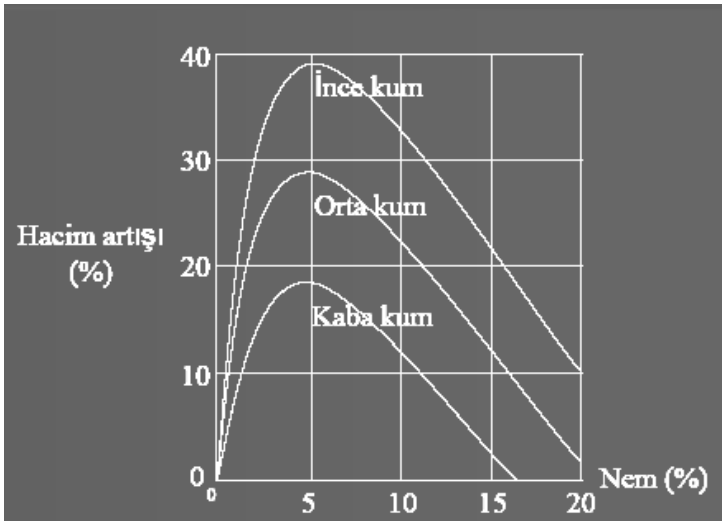
$$S = \alpha(10 - i_k)$$

Beton Kıvamı	Dere kumu ve çakıl	Dere kumu ve mıcır	Deniz kumu ve mıcır
Kuru	28-30	33	37
Plastik	31-33	37	40
Akıcı	36-40	43	47

AGREGADA RUTUBET-HACİM İLİŞKİSİ

- Agreganın rutubeti denilince ıslak tanelerin, kuru yüzey-doygun durumundaki tanelere göre, yüzde cinsinden ağırlığındaki artışı anlaşılır. P_2 ağırlığındaki ıslak taneler, kuru yüzey-doygun hale getirilince ağırlığı P_1 oluyorsa, agreganın rutubeti;

$$m = \frac{P_2 - P_1}{P_1}$$



Agreganın rutubetli olması beton üretiminde iki bakımdan göz önünde tutulmalıdır.

- Betona konulacak su miktarı agregada bulunan su miktarı kadar azaltılmalıdır.
- Örneğin $1m^3$ beton yapımında 170 litre su kullanılması gerekiyorsa ve agregada kuru yüzey doygun konumdan %2 fazla rutubet içeren 600 kg ince agrega varsa, kullanılacak suyu 170-0.02x600=158 litreye düşürmek gerekir.

- Rutubet hacim kabarmasına neden olur. Sadece kumlarda görülen bu olay hesaba katılmazsa, gerekli miktardan daha az kum kullanılmış olur. Bunun sonucunda boşluk miktarı fazla olan bir beton elde edilir veya daha az miktarda beton üretilmiş olur. Kumun inceliği arttıkça kabarma olayı daha fazla olmaktadır.

AGREGALARIN POROZİTESİ

- Agrega tanelerinde bulunan boşlukların oranının ve kuru yüzey-doygun konuma gelinceye kadar emdiği su miktarının bilinmesinde yarar vardır. Bu amaçla agrega taneleri üzerinde su emme deneyi yapılır.
- Kuru yüzeyli-doygun durumdaki agregalardan P_1 ağırlığında malzeme alınarak etüvde kurutulur. Kurutulan malzemenin P_0 ağırlığı bulunur. Buna göre agreganın su emme miktarı; $(P_1-P_0)/P_0$ olarak yüzde cinsinden bulunur. Agreganın porozitesi p ise şu şekilde hesaplanır:

$$p = \frac{P_1 - P_0}{P_0} x\delta$$

- İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması bu tanelerin dayanımlarının yüksek değerler almasına neden olabilir. Bu yüzden beton üretiminde kullanılacak olan agregalarda p değerinin belirli bir değerden büyük olmaması (örneğin %5-%10) istenir.

AGREGALARIN BİRİM AĞIRLIĞI

- Agregalar, aralarında boşluklar bulunan taneler yığınından oluşur. Birim ağırlık, belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığıdır.
- Belirli hacim V olsun. Bu agreganın gerçek hacmi V_g, boşluk hacmi de V_b olsun. Bu durumda $V=V_g+V_b$ olur. V hacimli agreganın ağırlığı W_a ise birim ağırlık

$$B = \frac{W_a}{V}$$

Tuvenan malzeme için birim ağırlık 1.50-1.85 gr/cm^3, kırmataş için ise 1.35-1.50 gr/cm^3 arasındadır.

AGREGALARIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI

Agraganın özgül ağırlık değeri, betonda yer alabilecek malzeme miktarlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Betonda kullanılan çimentonun, suyun ve agregaların özgül ağırlıkları bilindiği taktirde, bu malzemelerin 1 m^3 içerisindeki hacimleri hesaplanabilmektedir.

Örnek
1 m^3 betonda 178 kg su, 315 kg çimento ve %1.0 hava yer alacaktır. Agregalar doygun-yuzey kuru durumdadır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.15, ince ve iri agrega karışımının doygun-yüzey kuru özgül ağırlığı (S_{dyk}), 2.60'tır.
1m^3 betonda yer alacak agrega ağırlığının hesaplanması istenmektedir.

Cevap
1 m^3 betondaki malzemelerin mutlak hacimleri:

Su 0.178/1.0	0.178 m^3
Çimento 0.315/3.15	0.100 m^3
Hava	0.010 m^3
	0.288 m^3

Agrega hacmi (1.000 - 0.288) 0.712 m^3
Agreganm toplam ağırlığı: W=(0.712)(2.6) = 1.851 ton, veya 1851 kg'dır.

KOMPASİTE

- Agreganın içindeki katıların gerçek hacminin toplam hacme oranına kompasite (sıkılık oranı) denir. Sıkıştırılmamış agrega için bu değer 0.45-0.70 arasındadır

(çakıllarda ≅0.65, kırma taşlarda ≅0.60). Kompasite değerini 1'e tamamlayan sayı agreganın birim boşluğudur.

- Düşük kompasiteli agrega ile üretilen betonun kompasitesi ve dayanımı düşük olur.
- Beton boşluklu olup, fazla çimento gerektireceğinden betonun maliyeti yükselir.
- Kompasitesi düşük agregada genellikle kusurlu tane yüzdesi fazladır. Bu nedenle betonun dayanımı düşük olur.
- Betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı azalır.

TANE ŞEKLİ

- Agrega tanelerinin şekli, olabildiği kadar toparlak (küresel, kübik) olmalıdır. Tanelerin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı, 3'ten büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8mm'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den fazla olmamalıdır.

- Kusurlu taneler, kompasiteyi düşürür, betonun işlenebilme özelliğini azaltır. Ayrıca bu tip agregalar genellikle kolay kırılır.

AŞINMA DAYANIMI

- Bilyalı tamburla yapılan aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde 100 dönüş sonunda ağırlıkça %10'dan, 500 dönüş sonunda %50'den az kayıp bulunmuş ise, agrega yeterli olarak kabul edilebilir. (TS3694)

DONA DAYANIKLILIK (TS 3655)

- Agregayı, kristalleşince hacmi artan Na_2SO4 veya $MgSO_4$ eriyiği içinde bırakarak yapılan deneydir. Deney örneğine, hazırlanan tuzlu eriyik emdirilir, sonra kurutulur. Kuruma sırasında kristalleşme olur. Bu işlem 5 defa tekrarlanır. Na_2SO_4 eriyiğinin içinde belirli koşullarda, belirli süre tutulan agrega tanelerinin, eleme sonucu parçalanıp ayrılan tane ağırlığının tüm malzeme tane ağırlığına oranı aşağıdaki tabloda verilen değerleri aşmamalıdır.

ZARARLI MADDELER

- Zararlı maddeler, betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompasitesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir.

Dağılış ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır.

- Yıkanabilir maddeler
- Organik kökenli maddeler
- Sertleşmeye zarar veren maddeler

- Kükürtlü bileşikler
- Çeliğe zarar veren maddeler
- Alkali agrega reaktivitesine neden olan faktörler

Yıkanabilir Maddeler :
Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

- Agregada bulunan yıkanabilir maddeler çok miktarda veya agrega tanelerine yapışık olup kolaylıkla ayrılmaz durumda veya topaklar beton yapım sırasında yumuşayarak kolaylıkla dağılmayacak şekildeyse, bu maddeler zararlı etki yapar.

Yıkanabilir Maddeler :Agregalarda kil ve silt bulunması

- Aderans zayıflar
- Yoğurma suyu miktarı artar
- Çimento hidratasyonunu geçiktirir.
- Betonda büzülmeyi (rötreyi) arttırır.
- Kil ve silt beton işlenmesine ve su geçirimsizliğine katkısı olmasına rağmen betonda istenmezler. Beton içinde boşluk gibi davranırlar.

Belli bir miktar numune alınıp kurutulup, tartılır. Ağırlık P_0 dır. Hacmi belli olan kap içinde numune bırakılır.

Üzeri suyla doldurulur. Sallanır. Su boşaltılır. Su berraklaşıncaya kadar bu işlem tekrarlanır. Sonra numune 110 ^oC de kurutulur bulunan ağırlık P_1 dir. $[P_0-P_1]/P_0$ kil ve silt oranıdır. 63 mikron elekten geçirilerekte bu oran elde edilebilir.

Organik Kökenli Maddeler

- Organik malzemeler priz ve sertleşme üzerinde olumsuz etki yapar. Organik malzemeler şişerek betonu patlatabilir.Dayanım ve renk değişimi oluştururlar. Organik madde varlığı renklendirme deneyi ile saptanır. 1lt suya 30 gr NaOH konarak eriyik hazırlanır. Agrega içine eriyik konulur.24 saat beklenir. Renksiz veya çok hafif sarı ise organik madde miktarı azdır. Beton yapımı için uygundur.

- Safran sarısı az miktarda organik maddenin olduğunu gösterir. Agrega normal beton yapımında kullanılabilir. Belirgin kırmızı organik maddenin varlığına işaret eder. Önemsiz işlerde agrega kullanımına izin verilebilir.Belirgin kahve renginde çok organik madde vardır.Agrega beton yapımında kullanılmamalıdır.

- TS3820 ye göre kumlarda organik madde şu şekilde belirlenir. İki kum örneği alınır. Birinci kum örneğine %3 eriği ilave edilerek sarı renk alıncaya kadar işlem yapılır. Sonra yıkanır. Birinci ve ikinci kumlarla harçlar hazırlanır. 7 günlük dayanımları belirlenir. İşlem görmeyen harç dayanımlarının yıkanan kumdan yapılan harç dayanımlarına oranının en az %85 olması istenir.

Sertleşmeye Zarar Veren Maddeler

- Sertleşmeye zarar veren maddelerin, az miktarda bulunmaları bile betonun prizini ve sertleşmesini değiştiren veya bunlara zarar veren, örneğin şeker ve benzeri

maddelerin veya çözünen tuzların bulunduğundan kuşku duyuluyorsa, karşılaştırmalı beton deneyleri ile incelenmelidir. İncelenen agrega ile yapılan betonun basınç dayanımı, karşılaştırma betonu basınç dayanımının %85'inden daha düşükse, incelenen agregada betonun sertleşmesine zarar veren maddelerin bulunduğu varsayılır.

Kükürtlü Bileşikler

- İyi sıkıştırılmamış betonlarda, hava akımı ve rutubet nedeniyle oksitlenen sülfatlar sülfo-alüminat tuzları oluştururlar. Sülfatlar, betondaki kireç ve alüminyum bileşikleri ile reaksiyona girerler ve zamanla büyüyen kristaller meydana getirerek betonun parçalanmasına neden olabilirler. Bununla birlikte Barit ($BaSO_4$), rutubetli ortamda bile yapısı değişmediğinden, beton agregası olarak kullanılabilir. Bu nedenle sülfat miktarı ağırlıkça %1'den çok olmamalıdır.

Çeliğe Zarar Veren Maddeler

- Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin Nitratlar, Halojenürler (florürler hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır. Beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, klor olarak hesaplandığında ağırlıkça %0.1'den fazla bulunmamalıdır.

Alkali Agrega Reaktivitesine Neden Olan Faktörler

- Bazı çimentolarda Na_2O , K_2O gibi alkali oksitler bulunur. Alkali oksitler aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girip silikat jeli oluştururlar. Sodyum potasyum ve kalsiyum içeren bu jel betonun hacim sabitliğini bozar. Betonda ağ şeklinde çatlaklar oluşur.

- Dolomit ve kalker karışımı taşlarla yapılmış betonda hacim genleşmesi olayına rastlanır. Bu olay alkali agrega reaksiyonu değildir. Dolomitin esas maddesi $MgCO_3$ su etkisiyle $Mg(OH)_2$'e dönüşmesi ile malzeme şişmekte ve patlama oluşmaktadır.

ÇİMENTOLAR

Tarihçe

- 1824 yılında, Đngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra da öğüterek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir, Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme olduğunda, ortaya malzemenin Đngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırdığını gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için "portland çimentosu" adı altında patent almıştır.

- Joseph Aspdin tarafından üretilen bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugün kullanılmakta olan portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Kil ve kalker karışımlı hammaddenin yeterince yüksek sıcaklıklara kadar pişirilip öğütülmesi sonucu çimento elde edilmesi ilk olarak 1835 yılında Isaac Charles Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir.

- Yüksek sıcaklıklarda pişirilmeleri gerektiği için, başlangıçta portland çimentoları pahalı idiler. 1885 yılında Frederic Ramsone döner fırını bularak bu sorunu çözmüştür.

- 1824 yılında Joseph Aspdin'in "portland çimentosu" adı altında patent aldı ü ı hidrolik baglayıcı, daha sonraki yıllarda buyük gelişmeler göstermekle birlikte "portland" ismi aynen korunmuştur ve Türkiye dahil bütün ülkelerde bu isim kullanılmaktadır

Portland Çimentosu Üretimi

- Portland çimentosu, killi ve kalkerli hammaddelerin uygun oranlarda (~%20-%30 kil, %70- %80 kalker) karıştırılıp döner fırınlarda 1400^{o}C pişirilmesiyle oluşan klinkere az miktarda (~%3-%6) alçıtaşı katılıp öğütülerek elde edilen suda erimeyip katılaşan hidrolik bir baglayıcıdır. Çimento su ve kumla karıştırılırsa harç, kum-su çakıl veya mıcırla karıştırılırsa beton elde edilmektedir.

Portland Çimentosunun Üretim Aşamaları

- Ana madde analizleri
- Karışım sağlanması
- Karışımın pişirilip klinker eldesi
- Klinkerlerin soğutulma ve depolanması
- Paketlenme, piyasaya sürüm

Ana Maddelerin Analizi

- Birbirine karıştırılacak kil ve kalker miktarları belirlenir. Kalkerli malzemeler ağırlıklarının büyük bir kısmını kaybederler. 1 ton PÇ (Portland çimento) elde edebilmek için yaklaşık 1.6 ton hammadde kullanılmalıdır. Belirlenen oranlarda kil ve kalker karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir.

Karışımın sağlanması

- Homojen karışım eldesinde başlıca iki metot vardır. Yaş metot (kil su havuzlarında bekletilir, kalkerle birlikte ıslak değirmenlerde öğütülür). Kuru metot (kalker ve kil kuru öğütücülerde toz haline getirilir). Ana malzeme yumuşaksa yaş metot, sert ise kuru metot kullanılması uygundur. Yaş metotlu karışımın kontrolü daha kolaydır. Ancak karışımın içerisinde %35 oranında su bulunduğu için, pişirme işlemi için daha çok enerji gerekmekte ve daha pahalı olmaktadır. Günümüzde bu yüzden daha çok kuru yöntemler tercih edilmektedir. Yaş metodun yakıt sarfiyatı, kuru metodun yaklaşık iki katı kadardır. Kuru

metotta karışımın istenen homojenlikte yapılması güçtür. Oluşacak toz nedeniyle çevreye daha çok zarar verir. Fakat yakıt tasarrufu sağlar.

Karışımın Pişirilmesi

- Homojen karışım (farin), klinker üretimi için hammaddelerin pişirildiği, eğik olarak yerleştirilmiş içi boş bir silindir şeklinde olan döner fırına gönderilir. Yaklaşık %3-%4 eğime sahip çelik fırının içi ateş tuğlası ile kaplıdır. Kendi ekseni etrafında saatte 60-180 devir yapar. Fırınlar yaş yöntemlerde 80-100 m, kuru yöntemde 40-50m uzunluğundadır. Fırın iç çapları 2-4 m arasındadır.

- Fırına girecek hammadde karışımı, fırının üst ucundan konmaktadır. Fırındaki sıcaklık fırının alt ucundan püskürtülen yakıtla sağlanır. Yakıt olarak fuel-oil ve doğalgaz kullanılabilmekle beraber, son yıllarda ekonomik nedenlerle, daha çok toz kömürden yararlanılmaktadır.

Fırındaki Reaksiyonlar

- Önce, fırının üst kısmında 100 ^{o}C civarında hammaddelerde bulunan serbest su buharlaşır.
- 500-600^{o}C sıcaklıkta killi maddeler oksitlere ayrışır.
- Hammaddelerin içerisinde bir miktar$MgCO_3$ (magnezyum karbonat) bulunduğu taktirde 600-700^{o}C'de bu madde ayrışarak MgO (magnezyum oksit) haline dönüşür
- 900^{o}C civarında kalker taşı ($CaCO_3$) da içerisindeki CO_2'den kurtularak kireç (CaO) haline dönüşür.

- 900-1200^{o}C arasında kireç, silis ve alümin arasında kimyasal reaksiyonlar başlar.
- 1250-1280^{o}C arasında, oksitlerin eriyik haline dönüşmeye başlamasından sonra, 1280 ^{o}C ve daha yüksek sıcaklıklarda çimento bileşenleri meydana gelir.
- Yaklaşık olarak 1350-1450 ^{o}C sıcaklıkta pişirildikten sonra çimentoyu oluşturan bileşenlerle, başlı başına değişik bir ürün olan klinker elde edilir.

Karışımın pişirilmesi

- Kireç, alümin, demir oksit ve silis bileşimli hammaddelerin uygun oranda karıştırılıp yüksek sıcaklıkta (1350-1450^{o}C) pişirilmeleri sonucunda elde edilen ürüne klinker denir. Klinker, yaklaşık olarak 15-50 mm çapında, pürüzlü ve gözenekli yüzeye sahip, sert ve yuvarlak şekildedir. Karakteristik olarak, parlak ve yeşilimsi-koyu gri (veya gri-siyah) renktedir. 1 kg klinker üretmek için yaş sistem fırınlarında 1450-1650 Kcal enerji gerekirken, bu miktar kuru sistem fırınlarında 700-900 Kcal seviyesine düşmektedir.

Klinkerin soğutulma ve öğütülmesi

- Klinker hava akımı olan döner soğutuculara gönderilir. Klinker suyla reaksiyon yapmaz ve bağlayıcı özelliği yoktur. Klinker ancak ince şekilde öğütüldükten sonra bağlayıcılık kazanır.Öğütülme işlemi esnasında klinkere bir miktar (%3-%6 oranında) alçıtaşı katılır. Bunun nedeni; çimentonun katılaşmasında (prizinde) alçıtaşının geciktirici rol oynamasıdır.

- Alçıtaşı, çimentonun su ile birleşmesi sonucunda göstereceği hızlı katılaşmayı yavaşlatarak kontrol eder. Aksi halde, çimento çok hızlı katılaşır ve betonu rahatça yerine yerleştirme olanağı ortadan kalkar. Ayrıca bu çok hızlı katılaşma, çimentonun kimyasal reaksiyonları sonucunda bağlayıcı özellik sağlayan kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) ürünlerinin sağlıklı gelişmelerini önler. Alçıtaşı ve klinker birlikte çelik bilyelerle öğütülerek, boyutları 1-200 μm arasında olan çimento elde edilir. Çimento tanelerinin büyük çoğunluğu 20-30 μm çapındadır. (μ: mikron, μm: mikrometre)

Depolanma

- Öğütülen çimento silolara gönderilir. Silolarda açık olarak veya 50 kg'lık kağıt torbalar halinde piyasaya sunulur.
- Portland çimentosu torbalı olarak ambalajlanmış halde veya dökme çimento olarak taşımada, çimento özelliğini bozmayan ve kaybına neden olmayan özel çimento araçları ile taşınmalıdır.
- Kullanım yerine giden çimento en fazla 75^{o}C olmalıdır.
- Portland çimentosu nem almayacak, dağılmayacak, özelliklerini değiştirip bozabilecek maddelerle karışıp kirlenmeyecek biçimde uygun yerlerde depolanmalı, üst üste en fazla 12 sıra dizilmelidir.
- Çimentoların 4 aydan fazla bekletilmemeleri gerekmektedir.

Çimentoyu oluşturan Oksitler

Oksitler	isimler	Gösterim	Miktar(%)
CaO	Sönmemiş kireç	C	63-67
SiO_2	Silika	S	20-25
Al_2O_3	Alumina	A	5-9
Fe_2O_3	Demir oksit	F	2-6
MgO	Magnezyum oksit	M	0.5-4
Na_2O	Soda	N	0.2-1.3
K_2O	Potasyum oksit	K	
SO_3	Sülfirik anhidridi	Ś	1-3

- $CaO \rightarrow$Kireç taşından
- SiO_2-$Al_2O_3 \rightarrow$Kilden
- $Fe_2O_3 \rightarrow$Kilde saf olmayan bileşimden
- $SO_3 \rightarrow$Alçıdan

Çimentonun ana bileşenleri

- Kilin ve kalkerin ayrışmasıyla oluşan oksitler asit ve bazik durumlarına göre birbiriyle birleşerek Portland çimentosunun ana bileşenlerini oluştururlar.

İsim	Kimyasal Formül	Gösterim
Tri Kalcium Silikat	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Di Kalcium Silikat	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tri Kalcium Aluminat	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetra Kalcium Alumino Ferrit	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Çimentonun Anabileşen Özellikleri

	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
(hidratasyon) hızı	İlk hafta hızlı sonra yavaş	İlk hafta yavaş Sonra hızlı	Hızlı	Hızlı
Bağlayıcılık	Kuvvetli	Kuvvetli	Zayıf	Zayıf
Hidratasyon ısısı	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek
Kimyasal dayanıklılık	Düşük	iyi	Kötü	İyi

- Çimento ana bileşenleri oranlarının çimento özellikleri üzerine çok büyük etkileri vardır. Çimento içerisindeki olası bileşen oranlarının tayininde başlıca 3 yöntem kullanılmaktadır.

1. X-ışını kırılma yöntemi
2. Optik ve elektron mikroskopla inceleme yöntemi
3. Hesap yöntemi

Kullanılan Varsayımlar

"Hesap yöntemi" en çok ve en kolay şekilde kullanılır. Çimentodaki bileşenlerin oranı Bogue denklemleri ile elde edilebilmektedir. Basit ve popüler olan bu yöntem ancak bazı varsayımlar ile kullanılabilmektedir. Bu varsayımlar şunlardır.

1. Ana bileşen oluşumuna yol açan kimyasal reaksiyonlar denge halindedir.
2. Kalsiyum silikat bileşenleri (C_3S ve C_2S gibi) saf haldedir. Hammadde içerisinde az miktarda bulunan maddeler ihmal edilmektedir.
3. Tüm oksitler ana bileşim oluşumunda yer almaktadır.

Çimento Türleri

- Portland Çimentoları normal ve katkılı olarak ikiye ayrılır. Dayanımlarına göre bu çimentolar

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)				Priz başlama süresi (dakika)	Genleşme (mm)
	Erken Dayanım		Standard Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

Portland Çimentosu

- Portland çimentoları, klinkerle az miktarda (%3-%6) alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen katkısız çimentolardır. Bu çimentolar 28 günlük basınç dayanımlarına göre PÇ 32.5, PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 olmak üzere 3 tiptir.

Portland Cüruflu Çimento

Portland Cüruflu Çimento, klinkerle cüruf ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesiyle elde edilen çimentolardır. Bu çimentolar içerdikleri katkı miktarlarına göre 2 sınıfa ayrılırlar.

- Kütlece %6-%20 arasında cüruf içerenler A sınıfı,
- Kütlece %21-%35 arasında cüruf içerenler B sınıfıdır.
- Portland Cüruflu Çimentolar 28 günlük basınç dayanımlarına göre PCÇ 32.5, PCÇ 32.5R, PCÇ 42.5, PCÇ 42.5R, PCÇ 52.5 ve PCÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir.
- Çimento üretiminde kil yerine kullanıldığı gibi, beton üretiminde de agrega yerine kullanılabilir.Özellikleri

    - İlk günlerde mekanik dayanımları PÇ göre düşüktür.
    - Soğuk havalarda kullanılmaya elverişli değildir.
    - Kimyasal etkilere dayanıklılığı fazladır.
    - Düşük hidratasyon ısıları vardır. Baraj inşaatları için uygundur.
    - Maliyetleri düşüktür.
    - Geçirimsiz beton yapımına uygundur.

Portland Silika Füme Çimento

- Portland silika füme çimento, klinkerle kütlece en fazla %10 oranında silika fume ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur.
- Bu çimento Avrupa standardlarından yeni alınan bir çimento çeşididir. Tek bir sınıfı vardır. Portland silika füme çimento 28 günlük basınç dayanımına göre PSFÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.

Katkılı Çimento

- Katkılı çimento, klinkerle en fazla %19 oranında puzolanik maddenin ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur. Katkılı çimento 28 günlük basınç dayanımına göre KÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.
- Katkılı çimento ile traslı çimento arasındaki fark klinkere katılacak puzolan miktarının farklı olmasıdır.
- Katkılı çimento, normal portland çimentosunun kullanıldığı amaçlarla kullanılabilir. Aslında bu çimentoyu "puzolan takviyeli portland çimentosu" olarak da tanımlayabilmek mümkündür. Katkı olarak kullanılan puzolan miktarı %10-%15 (en çok %19) olduğundan puzolanik madde etkisi ile ilk günlerde dayanım ; azanma hızındaki yavaşlık ve hidratasyon ısısındaki azalma çok belirgin bir şekilde kendisini göstermemektedir.

Traslı Çimento

- Traslı çimento, klinkerle %20-%40 arasında trasın ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Bu çimentonun tek bir sınıfı mevcuttur. Traslı çimento 28 günlük basınç dayanımına göre TÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.

Traslı çimentoların normal Portland çimentolarına göre üstünlükleri

Traslı Çimento

- Kimyasal mukavemette önemli bir artış vardır,
- Traslı ç imentolarda hidratasyon sırasında agiç a çıkan ısı miktarı daha azdır. Bu yüzden, bu çiimentolar baraj inşaatında ve benzeri kütle beton işlerinde kullanılmaya elverişlidir.
- Traslı çimentoların kullanılması halinde geçirimliliği daha az olan harç ve beton imal edilebilir.
- Puzolanların çimentoya katılması ile bağlayıcı maddelerin maliyetinde önemli bir azalma sağlanır.

Traslı çimentoların normal portland çimentolarına göre olumsuz yanları

- Trash çimentolar soğuk havada kullanılmaya elverişli değildir.
- Traslı çimento kullanılarak imal edilen betonlarda gerekli muhafaza şartlarının daha uzun süre uygulanması gerekir.
- Puzolanların çimentoya karıştırılmasıyla, ilk günlerde mekanik mukavemette artış yavaş olmaktadır. Ancak nihai mukavemet bakımından önemli bir fark yoktur.

Uçucu Küllü Çimento

- Uçucu küllü çimento, klinkerle kütlece %10-%30 arasında uçucu külün az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesi sonucunda elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur. Uçucu küllü çimento 28 günlük basınç dayanımına göre UKÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.Sülfata dayanıklılık, geçirimsizlik, düşük hidratasyon,ısısı gibi olumlu özellikleri vardır.

Portland Kalkerli Çimento

- Portland kalkerli çimento, klinkerle kalkerin ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İçerdigi kalker miktarına göre 2 sınıfa ayrılır.
- Kütlece %6-%20 arasında kalker içerenler A sınıfı,
- Kütlece %21-%35 arasında kalker içerenler B sınıfıdır.
- Portland kalkerli çimento 28 günlük basınç dayanımına göre PLÇ 32.5, PLÇ 32.5R, PLÇ 42.5, PLÇ 42.5R, PLÇ 52.5, PLÇ52.5R olmak üzere 6 tiptir.

Portland Kompoze Çimento

- Portland Kompoze Çimento, klinkerle puzolanik veya hidrolik maddelerin ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İçerdiği toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılır.
- Kütlece %6-%20 arasında katkı maddesi içerenler A sınıfı,
- Kütlece %21-%35 arasında katkı maddesi içerenler B sınıfıdır.
- Portland kompoze çimento 28 günlük basınç dayanımına göre PKÇ 32.5, PKÇ 32.5R, PKÇ 42.5, PKÇ 42.5R, PKÇ 52.5, PKg 52.5R olmak üzere 6 tiptir.

Cüruflu Çimento (Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu)

- Cüruflu çimento, klinkerle kütlece %20-%80 arasında granüle yüksek fırın cürufu ve az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur.
- Cüruflu çimento 28 günlük basınç dayanımına göre CÇ 32.5 ve CÇ 42.5 olmak üzere iki tiptir.
- Yüksek fırın cüruf çimentoları ile aynı incelikteki portland çimentosunun özellikleri arasındaki fark, yüksek fırın cüruf çimentosunun üretiminde kullanılan katkı malzemesinin (cürufun) miktarına bağlıdır. Yüksek fırın cüruf çimentoları, içerisindeki cüruf miktarına bağlı olarak, aşağıdaki özellikleri gösterirler.
- Deniz suyu ve diğer sülfatlı ortamlara karşı portland çimentosundan daha dayanıklıdır.
- İlk günlerdeki dayanım kazanma hızı portland çimentosuna göre daha azdır.
- Hidratasyon ısısı portland çimentosundan daha azdır.

Puzolanik Çimento

- Puzolanik çimento, klinkerle puzolanik maddelerin ve az miktarda alçıtaşının birlikte
- Öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İçerdiği toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılır.
- Kütlece %11-%35 arasında puzolanik madde içerenler A sınıfı,

- Kütlece %36-%55 arasında puzolanik madde içerenler B sınıfıdır.
- Puzolanik çimento 28 günlük basınç dayanımına göre PZÇ 32.5, PZÇ 32.5R, PZÇ 42.5, PZÇ 42.5R, PZÇ 52.5, PZÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir.

Kompoze Çimento

- Kompoze çimento klinkerle, curuf ve puzolanik maddelerin az miktarda alçıtaşı katılarak birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen çimentodur. İçerdiği toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılır.
- Kütlece toplam katkı miktarı %36-%60 arasında olanlar A sınıfı,
- Kütlece toplam katkı miktarı %61-%80 arasında olanlar B sınıfıdır.
- Kompoze çimento 28 günlük basınç dayanımına göre KZÇ 32.5, KZÇ 32.5R, KZÇ 42.5, KZÇ 42.5R, KZÇ 52.5, KZÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir.

Beyaz Çimento

- Renk verici oksitler içermeyen ya da çok az oranda icjeren hammaddeler kullanılarak ü retilen katkısız çimentodur. Basınç dayanımları, Turk Standardlarında portland çimentosunun basınç dayanımları ile aynı değerlerle sınırlandırılmıştır.
- Beyaz portland çimentosu daha çok, dekoratif amaçlı beton işleri, trafikteki ışık yansımasının daha iyi olabilmesi için beyaz renkli beton işleri ve değişik renkler katılarak elde edilen renkli beton işlerinde kullanılır.
- Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre BPÇ 32.5 ve BPÇ 42.5 olmak üzere iki sınıftır.

- Beyaz portland çimentosu ile normal portland çimentosu arasında, basınç dayanımı, hacim genleşmesi ve incelik (özgül yüzey) gibi fiziksel özellikler bakımından hiçbir fark yoktur.

Sülfatlara Dayanıklı Çimento

- Sülfatlara dayanıklı çimento, C_3A miktarı en fazla %5 olan ve C_4AF+2C_3A miktarı en fazla %25 olan klinkerle az miktarda alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Sülfatlara dayanıklı çimento ile yapılan betonlar, portland çimentosu ile yapılan betonlara göre, deniz suyu, sülfatlı suların bulundu ü u zeminler ve diger sülfatlı ortamlarda daha buyük dayanıklılık göstermektedir.

- Süper sülfat çimentosu, kütlece en az %65 oranında yüksek fırın cürufu ile kalsiyum sülfat ve az miktarda portland çimentosu klinkeri veya portland çimentosunun birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Süper sülfat çimentosu tek bir sınıftır.

- Bu çimento 28 günlük basınç dayanımına göre SSÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.

- Süper sülfat çimentosu sertleşmiş betonda genleşmelere ve dolayısıyla yıpranmalara yol açabilecek sodyum sülfat ve kalsiyum sülfat etkilerine karşı oldukça dayanıklıdır. Yüksek fırın cüruflu çimentolara göre daha az hidratasyon ısısına ve daha yüksek sülfat dayanıklılığına sahiptir. Süper sülfat çimentosu ile

yapılan betonlarda su/çimento oranı 0.5'ten az olmamalıdır. Bu çimentoların inceliği 4000 cm^2/gr'dır.

- Süper sülfat çimentosu, deniz yapıları, sülfatlı ortamlara maruz temeller, kanalizasyonlar gibi yerlerde kullanılacak betonlar ile kütle betonlarında kullanılmaktadır.

Harç Çimentosu

- Harç çimentosu, ağırlıkça en az %40 portland çimentosu klinkeri ile en çok %60 puzolanik madde karışımının küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir Bu çimento 28 günlük basınç dayanımına göre HÇ 16 olmak üzere tek tiptir.
- Diğer çimentolarda priz başlama ve sona erme sureleri 1 ve 10 saat iken har ç çimentosunda bu süreler 1 ve 24 saattir. Harç gimentosunun dayanım kazanma hızı yavaştır. TS 22 Harç Çimentosu Standardı'na göre 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, sırasıyla, 10 N/mm^2 (100 kg/cm^2) ve 16 N/mm^2 (160 kg/cm^2) olmalıdır.

DİĞER ÇİMENTO ÇEŞİTLERİ

- Alüminli Çimentolar :
- İlkel maddesi boksit ve kalkerdir. Bu iki malzeme fırında ergiyinceye kadar pişirilir. Boksitin içerisinde %50'den fazla alümin (Al_2O_3) bulunduğu için bu çimentoların alümin yüzdesi %30'dan fazladır.

Alüminli çimentoların özellikleri

1. Mekanik mukavemetleri çok hızlı artar. Normal şartlar altında 1 günlük mukavemeti, normal portland çimentosunun 8 aylık mukavemetine eşittir.
2. Gerek priz ve gerekse sertleşme esnasında çok büyük hidratasyon ısısı oluşur. Bu yüzden baraj ve kütle beton inşaatlarında kullanılmamalıdır.
3. $Ca(OH)_2$'nin oluşmaması ve diğer bazı nedenlerden dolayı kimyasal etkilere karşı son derece dayanıklıdır.
4. Alüminli çimentolar hidratasyon için ağırlıklarının %40'ı kadar suya ihtiyaç duyarlar
5. Priz başlama ve priz sona erme süreleri bakımından portland çimentosu ile aralarında bir fark yoktur.
6. Başka bağlayıcı maddelerle karıştırıldığında kendi özelliklerinin büyük bir kısmını kaybeder.
7. Genellikle kimyasal etkilerin çok olduğu ve kütle betonu gerektirmeyen, çok çabuk yapılması gereken inşaatlarda kullanılır. Normal betonarme inşaatlarda kullanılmaz.

Renkli Çimentolar:

- Beyaz çimentoya %1-%5 arasında daha çok metal oksitlerden oluşan katkı maddelerinin eklenmesiyle elde edilir. Bu amaçla şu oksitler kullanılır.
  - Kırmızı için : Demir oksit
  - Yeşil için : Krom oksit

- Siyah için : Magnetik demir oksit
- Beyaz için : Titan oksit
- Mavi için : Lazurite ($Na_4Al_3Si_3O_{12}S$)
- Sarı için : Demir oksit hidrate

Genişleyen Çimentolar

- Genişleyen malzeme jips, boksit ve tebeşirin oluşturduğu kanç mın pişirilmesiyle elde edilir. Su ile temasa gecince bu bileşenler sülfo alüminat hidrat meydana getirirler. Bu madde çimento hamurunun geni ın emesine neden olur, Stablizer olarak yüksek fırm ciirufu kullanılır. Yüksek fırın cürufu yavaşça sülfatı alarak genleşmeyi durdurur.
- Genellikle 8-20 kısım sülfo alüminat klinkeri, 100 kısım portland çimentosu ve 15 kısım stablizer kullanılır. Bu çimentolarda genleşme, rötreyi dengeler.Daha çok dolgu işlerinde ve makine ankrajı gibi işlerde kullanılır.

Hidrofob (su sevmez) Çimentolar

- Bu çimentolar, rutubete karşı dayanıklı olması amacıyla, klinkere hidrofob bir eleman eklenip öğütülmesi ile elde edilir. Bu amaçla stearik asit kullanılmaktadır. Suyla kolay ıslanmadıkların bu çimentoları uzun süre karıştırmak gerekir.

ÇİMENTOLARIN KULLANILDIKLARI YERLER

- PÇ 32.5 ve KÇ 32.5: Hidratasyon ısısının ve sülfat etkisinin özel dikkat gerektirmediği her türlü beton yapımında; genel amaç için.
- PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 : Yüksek dayanımlı beton istenildiği veya ilk dayanımı yüksek beton yapımında.
- CÇ 32.5 ve CÇ 42.5 : Kütle beton işlerindeki inşaatlarda, deniz suyu ve zararlı sulara maruz sahalarda.
- BPÇ 32.5 ve BPÇ 42.5 : BPÇ 32.5 tipi çimento PÇ 32.5 ve KÇ 32.5 tip çimentoların kullanıldıkları her yerde kullanılabilir ise de daha çok suni taş, sıva, mozaik ve renk olarak mimari dekorasyonun gerektirdiği beton işlerinde veya renk verici katkı maddeleriyle elde edilen renkli beton yapımında kullanılır. BPÇ 42.5 ve PÇ 42.5 arasında da benzer yorum yapılabilir.
- TÇ 32.5 ve UKÇ 32.5 : Temeller, istinat duvarları, barajlar gibi hidratasyon ısısı hızının az olması gerekli kütle betonu işlerinde.
- SSÇ 32.5 ve SDÇ 32.5 : Aşırı sülfatlara maruz beton işlerinde.
- HÇ 16 : Harç yapımında veya çimento dayanımının diğer çimento tiplerinde olduğu kadar ön planda olmadığı işlerde.

Çimentonun Özellikleri

- Çimento İnceliği
  - Çimento inceliği, toz çimento tanelerinin ortalama boyutunu ifade eder. İnceliğin yüksek olması, çimento tanelerinin daha küçük boyutlara sahip olacak şekilde üretildiğini gösterir.

- Toz çimento tanelerinin çapı 1-200 am arasında değişiklik gösterir. Büyük çoğunluk 20-30 μm arasındadır.

- Hidratasyon olayının gelişebilmesine bağlayıcılık özelliğinin artması için çimentolarda inceliğin saptanması gerekir.

- Çimento inceliği başlıca 2 değişik şekilde ifade edilmektedir

1. Özgül yüzey (cm^2/gr olarak): Blaine aleti kullanarak ve hava geçirgenliği prensibine göre 1 gr çimento numunesindeki tanelerin toplam yüzeyi cm^2 cinsinden belirlenir. Blaine aleti ile özgül yüzey tayini diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiğinden incelik tayininde en çok kullanılan yöntemdir.

2. Elek üstünde kalan miktar (%) : Çimento Istandartlarında belirtilen büyüklükte göz açıklıklı eleklerden elendikten sonra, bu elekler üzerinde kalan miktar (ağırlık olarak %) bulunur.

- 100 gramlık numune ilk olarak 900'lük elekten elenir ve üzerinde kalan miktar belirlenir. Daha sonra 4700 lik elekte eleme yapılır ve üzerine kalan miktar belirlenir. 1. elekte kalan malzeme miktarı çimentonun 0.11` den , 2. elekte kalan malzeme miktarı da çimentonun 0.14 ünden küçük olması aranır.
  - Türkiye'de üretilen değişik tip çimentolarda, özgül yüzey olarak aranan en düşük incelik 2800-4000 cm^2/gr'dır.

  - İncelik beton dayanımını artırır.

  - Çimentoyu ıslatmak için gerekli su artar

  - Taneler inceldikçe daha büyük ısı artar.

Çimentonun Prizi

- Priz, bağlayıcı maddelerin katılaşması veya plastik şekil degişimi yapma yeteneğini kaybetmesidir.
- Priz başlama süresi, çimento ve suyun birleştirildiği zaman ile, çimento hamurunun fiziksel degişiklik göstererek katılaşmaya (plastikliğini kaybetmeye) başladığı zaman arasında geçen süredir.
- Prizin sona erme süresi, çimento ve suyun birleştirildiği zaman ile, çimento hamurunun katılaştığı (sertleşmenin başladığı) zaman arasındaki süredir.

Çimentoların Priz Sürelerine Etki Eden Faktörler Şunlardır:

1. Sıcaklık : Sıcak ortamlarda hidratasyon arttığından priz süresi kısalır. Sıcaklığın düşmesi ile priz süresi uzar.
2. Karıştırma Suyu Miktarı : Mentonun fazla su ile yoğrulması, priz süresini uzatır. Çimentonun mekanik ve fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkiler.
3. Rutubet : Prizin başlamasını geciktirir. Priz süresini uzatır.

- Normal portland çimentolarında prizin 1 saatten önce baslamaması, 10 saatten önce tamamlanması istenir.
- Çimentoların priz süreleri "Vicat iğnesi" yöntemiyle belirlenir. Bu deneyin esası şöyle özetlenebilir. Özel hazırlanmış standart çimento harcı, standart bir kap içine düzgün bir şekilde yerleştirildikten sonra Vicat iğnesi denilen standart bir iğne belirli yükseklikten üzerine düşürülür.

Vicat İğnesi

- Batma miktarları ölçülür. Önceleri çok batan iğne, sonraları çok az batar ve belirli süre sonra hiç batmaz, İğne ucunun kalıbın tabanından 35 mm uzaklıkta olması halinde, priz başlamış demektir. İğne 1 mm battığı zaman ise priz sona ermiştir.

Yalancı Priz

- Çimentonun su ile birleşmesiyle bazen ortaya çıkan anormal ve vaktinden önce, ani katılaşma olayına yalancı priz denir. Yalancı priz, betonun karılma işleminden birkaç dakika sonra (yaklaşık 5 dakika içerisinde) meydana gelmektedir. Bu olay esnasında çimentoda önemli miktarda hidratasyon ısısı ortaya çıkmaz. Betonun karılma işlemine devam edildiği taktirde bu priz giderilerek beton karışımı normal duruma getirilir; dayanım kaybı olmaz.

Yalancı prizin nedenleri

1. Alçıtaşı : Klinkerin öğütülmesi aşamasında eklenen alçıtaşının ($CaSO_4.2H_2O$), suyunun bir kısmını veya tamamını kaybederek piyasa alçı haline geçmesidir. Çimento su ile birleştiğinde çimentonun erken katılaşmasına neden olur.
2. Alkaliler (Na_2O, K_2O) : Çimento içerisinde içerisinde bulunan alkalilerin havadan CO_2 alarak karbonatlaşması ve daha sonra çimentonun hidratasyonu sırasında açığa çıkan söndürülmüş kireç ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonatlara dönüşmesi ve katılaşma yaratmasıdır.

Çimentonun yalancı priz yapmasının sakıncaları

1.) Pompa ile nakledilen betonlar yalancı priz yaptığı taktirde pompayı tıkayabilir.
2.) Karıştırıldıktan kısa bir süre sonra meydana gelen katılaşma, betonda kıvamın çok çabuk azalması şeklinde kendini gösterir. Eğer olayın yalancı priz olduğu fark edilmez ve kıvamdaki azalma su eklenerek giderilecek olursa, suyun artması betonun mukavemetinin düşmesine neden olur.

Ani Priz

- C_3A bileşeni alçı taşıyla dengelenmemişse suyun reaksiyonundan büyük miktarda hidratasyon ısısı açığa çıkar.
- Ani priz ile yalancı priz arasındaki fark; çimentonun ani priz yaptığı bir beton karışımının, dayanım kaybına uğramaksızın plastik durumuna dönebilmesi mümkün değildir. Ancak yalancı prizde, betonun karılma işlemine devam edilerek bu priz giderilir ve beton karışımı normal duruma getirilir. Yani dayanım kaybı olmaz.

Çimentonun Hidratasyonu

- Çimentoyu çimento ana bileşenlerinin su ile yapmış olduğu kimyasal reaksiyona hidratasyon denir. Hidratasyon olayının iki önemli özelliği vardır.

1. Çimento, klinker halinde iken hiçbir reaksiyon yapmaz. Çimentonun hidratasyon yapabilmesi için çok ince bir şekilde (ortalama 20-30 mikron) öğütülmesi gerekir.
2. Hidratasyon zamanın bir fonksiyonudur. Yani hidratasyon zamanla artar. Bu nedenle mukavemet zamana bağlı olarak değişir. Çimento için esas mukavemet değeri 28 gunlük iken ulaşmış olduğu mukavemet değeridir.

Cisimlerdeki su

1. Serbest su : Cismin boşluklarında yerleşmiş olan sudur. Cismi kuru bir yerde tutmak veya ısıtmak suretiyle cisimden uzaklaştırılabilir.
2. Adsorpsiyon suyu : Cismin yüzeyi tarafından tutulan sudur. Bu suyun cisimle kimyasal bir bağı yoktur.
3. Hidratasyon veya kristalleşme suyu : Su molekülü cismin molekülünün teşkilinde yer alır. Herhangi bir şekilde suyun cisimden ayrılması ile cismin fiziksel yapısı tamamen bozulur. Çimento ana bileşenlerin su ile yaptıkları reaksiyon sonunda meydana gelen hidrate elemanlarda su bu şekilde bulunmaktadır.

4. Bünye (teşekkül) suyu : Bu halde su, cisim içinde molekül halinde yani H_2O halinde bulunmaktadır. Su cismin bünyesine girmiştir. Bu suyun cisimden uzaklaştırılması halinde cismin bünyesi tamamen değişir. Buna en iyi örnek kaolinitin durumudur. Kaolinit [$Al_2Si_2O_5(OH)_4$] 500 ^oC'de suyunu kaybettiğinde, kaolinit molekülü ayrışım yaparak alümin ve silis birbirinden ayrılır.

Hidratasyon ısısı

- Çimentonun hidratasyon ısısı, çimentonun belirli bir sıcaklık koşulunda hidratasyona başlayıp, hidratasyon sonuna kadar açığa çıkardığı ısı miktarıdır.
- Hidratasyon ısısı kalori/gram (cal/g) veya Joule/gram (J/g) birimleriyle ifade edilir. (1 cal/gr = 4.187 J/g)
- Portland çimentolarının hidratasyon ısısı yaklaşık olarak 90-110 cal/g arasındadır.

- Hidratasyon ekzotermik (dışarıya ısı veren) davranışı pek çok sakıncalı durum yaratabilir. Özellikle barajlar gibi büyük kütle betonlarının dökümünde, iş gereği hızlı beton üretmek gerekmektedir. Buda sorun olmaktadır. Büyük kütle betonlarında iç sıcaklık yükselir, hava ile temasta bulunan dış kısım soğur ve büzülür. Büyük kütle ise dış kısmın büzülmesini önler, sonuçta beton çatlar. Hidratasyon ısısının yol açtığı bu olayların nedeni "termik rötre" denilen olaydır.

Çimento özgül ağırlığı

- Flesk içerisine hacmi ölçülüp benzin konur. Benzin çimentoda priz yapmaz. 10 gramlık çimento numunesi yavaş bir şekilde Fleskin içine doldurulur. 1-2 saat dinlendirilir. Iyice dibe çökmesi beklenir. Benzinin ilk hacmi V_1, çimento konduktan sonra okunan hacim V_2 olsun.

$\delta = 10/(V_2-V_1)$

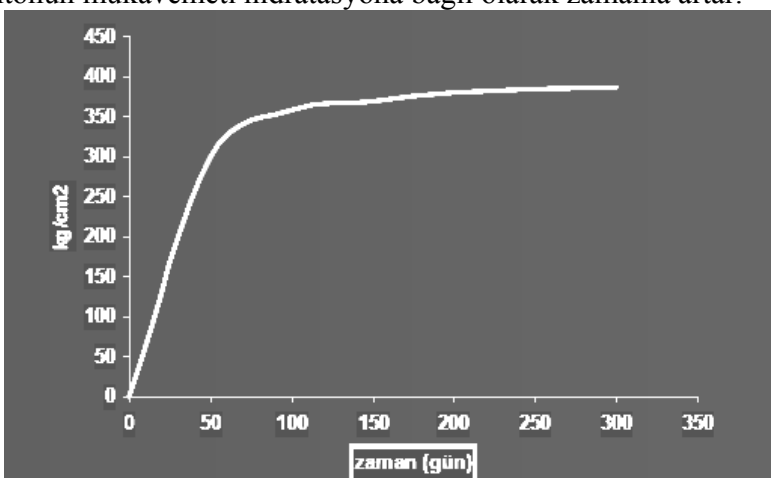
Çimentoların Mekanik Dayanımları

- Çimento ve su karışımına çimento hamuru denir. Çimento, su ve kumun oluşturduğu karşım "çimento harcı" dır.
- MEKANİK DAYANIM
- ve 28 günlük çimento numuneleri üzerinde yapılan deneyler çimento kalitesini belirler. Çimento torbaları üzerinde yazılan (PÇ 32.5, PÇ 42.5 , PÇ 52.5) değerleri çimento harcının 28 günlük basınç dayanımlarıdır.

Çimentoların Mekanik Mukavemeti
a) zamana,
b) çimento özelliklerine ve
c) ortam şartlarına bağlı olarak değişir.

Zaman

- Çimentonun mukavemeti hidratasyona bağlı olarak zamanla artar.



Çimento Özellikleri

1. İncelik : Çimentonun inceliğinin artması ile mukavemet kazanması hızlanır. Çünkü hidratasyon daha hızlı olur. Ancak, inceligin artması pratik olarak çimentoların nihai mukavemetlerinde bir artış meydana getirmez.
2. Çimentonun kimyasal bileşimi : C_3S ve C_3A bileşenleri su ile daha hızlı reaksiyona girerler. Bu da mukavemetin hızlı artmasına neden olur. C_2S'in hidratasyonu ise oldukça yavaştır.

Ortam Şartları (Sıcaklık)

- Sıcaklık artışı ile mukavemet daha hızlı artar. Sıcaklığın düşmesi halinde mukavemet kazanma hızı da düşer. Yeterince ince öğütülmemiş, C_3S ve C_3A gibi hidratasyon hızı yüksek bileşenleri az olan bir çimento, mukavemet bakımından sıcaklık düşmesinde fazla zarar görür. Düşük sıcaklıktan (soğuktan) zarar görme sırasına göre çimentolar

- Alüminli çimento (soğuktan en az zarar gören çimento)
- Yüksek mukavemetli portland çimentosu
- İlk mukavemeti yüksek portland çimentosu
- Normal portland çimentosu
- Letiye çimentoları (soğuktan en fazla zarar gören çimento)

Ortam Koşulları (Rutubet)

- Betonun üretildiği ortamda havanın rutubetinin düşük olması buharlaşmayı hızlandırır. Buharlaşmanın hızlanması ile sürekli su kaybından dolayı hidratasyon için gerekli su bulunamaz ve böylece mukavemet artış hızı yavaşlar veya durur.
- Havada rutubet derecesi düşüklüğü betonun ayrışmasına da neden olur.Beton yaklaşık 2 hafta süreyle rutubetli tutulmalıdır. İyi muhafaza edilen beton, normal betondan iki kat daha yüksek mukavemet kazanabilir.

Çimento Dayanımları

Direk ÇEKME (ÇEKME DAYANIMI):

Çimentoların basınç dayanımlarını saptamak için 1 birim çimento, 3 birim kum, 0.5 birim su karıştırılır.

Eğilme Dayanımı (Eğilmede Çekme dayanımı):

Eğilme dayanımında 4x4x16 cm ayrıtlı prizma şekinde hazırlanan örnekler iki mesnet üzerinde yerleştirilerek ortadan P yükü etkisinde kırılır.

Basınç Deneyi

Eğilme dayanımında kırılan numuneler kullanılabilir. 4x4 cm boyutlar gereklidir. Tek eksenli dayanım ile gerilme belirlenir.

$\sigma_c = P/A$

Çimentoların Rötresi (büzülmesi)

- Çimento su ile karıştırıldıktan sonra, hidratasyonun başlaması ile çimento hamuru hacminde bir azalma meydana gelir. Harç içine konan suyun buharlaşması sonucu rötre oluşur.
- Rötreye Etki Eden Faktörler

1. Çimento ile ilgili faktörler
   a.) İncelik : İnceliğin artması rötreyi artırır.
   b.) Çimentonun kimyasal bileşimi : CaO, MgO ve SO_3 gibi genişletici maddelerin fazla miktarlarda bulunması halinde rötre azalır. Diğer taraftan, içerisinde az miktarda alçıtaşı ($CaSO_4$. $2H_2O$) bulunan çimentolar fazla miktarda rötre yaparlar.
2. Ortam şartlarının etkisi
   a.) Rutubet : Havanın rutubetinin düşük olması buharlaşmayı kolaylaştırdığından rötreyi artırır.

b.) Sıcaklık : Sıcaklığın yüksek olması halinde fazla miktarda buharlaşma olur. Bunun sonucunda da rötre artar.

3. Çimentonun dozajı arttıkça rötre artar.
4. Buharlaşmayı kolaylaştıran her sebep rötreyi artırır.

Rötre Çeşitleri

1. **Hidrolik Rötre (Kuruma Rötresi)** : Üretimi izleyen gün başlar ve 5-6 ay süreyle yavaşlayarak devam edebilir. Sertleşmiş çimento hamuru jel yapıdadır. Kılcal boşlukları dolduran jelin buharlaşmasıyla ü acimsel azalım görülmektedir. İlginç olan, büzulmenin herhangi bir dış yük altında olmamasıdır.
2. **Termik Rötre** : Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda, hidratasyon ısısının tüm kütleyi ısıtmaya yetecek şekilde artmaması sonucu kütle soğumakta ve termik rötre adı verilen olay meydana gelmektedir. Bir iki gün içinde ortaya çıkan bu olay, özellikle baraj gibi kütle betonlarında önemli sorunlar yaratabilir. İç kısımdaki beton yavaş, dış kısımdaki beton hızlı soğur. Betonda çekme gerilmeleri oluşur, beton çatlar. Termik rötre çatlakları geniş ve derin olur.
3. **Bünyesel Rötre** : Kaçınılmaz bir olaydır. Hidratasyon sonucu toplam mutlak hacimde meydana gelen büzülmedir. Örneğin c m^3 çimentoya e m^3 su katılıp karıştırılırsa, kimyasal reaksiyon sonucu elde edilecek hidrate ürünün hacmi h ise; $h < (c + e)$ olacaktır. Burada c, e ve h mutlak hacimdir.
4. **Erken Rötre (Plastik Rötre)** : Plastik rötre çatlakları geniş yüzey alanlı tüm betonlarda özellikle yazın çok sık rastlanan değişik boy ve derinlikteki rasgele dağılmış çatlaklardır. Genelde çatlak yapı güvenliği açısından önemli sorun çıkarmaz. Betonların iri agrega taneleri dibe çökmeye, çimentonun floküleşmesi (bir araya toplanması) sonucu kusulan su ise yüzeye çıkmaya başlar. Yüzeyde biriken su hızla buharlaştığı taktirde şiddetli bir büzülme meydana gelir. İç kısımlar ise bu büzülmeyi takip edemeyince yüzeyde oluşan çekme gerilmeleri yüzeysel çatlaklara yol açar. Plastik rötre nedeniyle donatıların ve iri agregaların alt yüzeylerinde aderans yeteneği azalır.
5. **Karbonatlaşma Rötresi** : Priz ve sertleşme aşamasında ortamda mevcut CO_2 gazlarının beton bünyesine difüzyon yapmaları sonucu, iç yapıda bazı karbo-alüminatların oluştuğu saptanmıştır. Bu olayın sonucu bir büzülme meydana geldiği gözlenmiştir.Rutubetin çok yüksek olduğu ortamlarda CO_2 difüzyonu oluşmaz.

Çimento Rötresinin Ölçülmesi

- Boyutları 4x4x16 cm olan prizma şeklindeki kalıba, hazırlanan çimento hamuru yerleştirilir. Rutubetli bir ortamda 24 saat bekletilir. Daha sonra prizini tamamen yapmış olan ve böylelikle katılaşmış prizma şeklindeki numune kalıptan çıkarılır. L_0 boyu hassas bir şekilde ölçülür. Daha sonra rutubeti daha düşük bir yere göturülerek burada t gün bekletilir. (Genel olarak %50 rutubet, 20 ^oC sıcaklık) t gün bekletilen numunenin boyu L_t olarak hassas bir şekilde ölçülür. Buna göre t günün sonunda rötre; $[L_0-L_t]/ L_0$ olarak hesaplanır.

Rötrenin Zararları

1. Betonda çatlakların oluşması : sakıncalar şunlardır.
   a.) Betonun, başta çekme olmak üzere mekanik mukavemeti azalır.

b.) Betonun geçirimliliği artar. Bunun sonucunda betonun, kimyasal etkilere ve dona dayanıklılığı azalır. Donatının paslanması kolaylaşır.

2. Donatıda ek gerilmelerin oluşması : Bu ek gerilmeleri karşılamak için donatı kesitinin artırılması gerekir.

Rötrenin Etkilerini Azaltmak İçin Alınacak Önlemler

1.) Betonda gereğinden fazla çimento kullanılmamalıdır.
2.) Çok ince çimento kullanılmamalıdır.
3.) Rötresi az olan çimento kullanılmalıdır.
4.) Gereğinden fazla su kullanılmamalıdır.
5.) Beton, döküldükten sonra bir veya iki hafta süreyle sürekli nemli tutulmalıdır.
6.) Betonarme yapılarda gereğinden fazla donatı bulundurulmamalı (donatı miktarı artarsa, rötreden dolayı betondaki çekme gerilmeleri artar) ve donatı mümkün olduğu kadar simetrik yerleştirilmelidir.
7.) Prizi çabuklaştırmak için kullanılan katkı maddeleri genellikle rötreyi artırır. Bu yüzden, beton katkı maddelerini kullanmadan önce bunların rötreyi hangi oranda artırdığı ve meydana gelecek rötrenin ne gibi zararlar verebileceği incelenmelidir.

Hacim Genleşmesi Deneyi (TS 24) :

- Çimentoların içinde bulunan zararlı maddeler doğrudan doğruya hacim sabitliğini bozan, sönmemiş kireç (CaO) ve magnezyum oksit (MgO) ve kükürt trioksit (SO_3)'tir. Bunların su ile yaptıkları reaksiyon sonucu önemli bir hacim artışı meydana gelir. Bu hacim artışı yıllarca sürüp, yapıda çatlaklar ve hasar oluşturabilir.

Çimentoların kimyasal dayanıklılığı

Çimento içindeki zararlı maddeleri Le Chatelier deneyi ile saptayabiliriz. Bu deneyde 30 mm çaplı yarık bir silindir ve kenarlara bağlı 150 mm uzunluğundaki iğnelerden ibarettir. Pirinç silindir bir cam üzerine konulup, içine normal harç doldurulur. Üst yüzey düzeltildikten sonra, cam levha ile kapatılır ve üstüne bir ağırlık konur. Bu durumda iğnenin iki ucu arasındaki uzaklık ölçülür. Kalıp, 24 saat su içinde tutulduktan sonra, aynı uzaklık tekrar ölçülür. Aradaki fark CaO varlığını gösterir.

Le Chatelier

4 saat kaynar su içinde kalan kalıp çıkarılarak, tekrar iğne uçları arası uzaklık ölçülür. Aradaki fark MgO varlığını gösterir. Ölçülen uzaklıklar sırasıyla a, b ve c ise,

- $(b-a) < 4$ mm (CaO için),
- $(c-a) \leq 10$ mm (MgO için) olmalıdır,

BETON KULLANIM ALANLARI

- Yaşadığımız evler, çalıştığımız iş yerleri, eğitim gördüğümüz okullar, spor yaptığımız tesisler, arabalarımızı park ettiğimiz park tesisleri,

- İçme suyunun , atık suların depolandığı tanklar ve bu suların taşındığı borular betondan yapılmaktadır.
- Enerji üretimi için kurulan barajlar , atom reaktörleri, enerji nakil direklerinde yine beton kullanılmaktadır.
- Kaldırımlarda, karayollarında , limanlarda, hava alanlarında beton kullanılmaktadır.

Beton nedir?

- Beton en yaygın inşaat malzemelerinden biridir.
- Beton, değişik boyutlardaki agrega adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu zamanla sertleşip dayanım kazanmasıyla elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir.
- Beton, içerisinde donatı bulunması halinde "betonarme" adını alır.

Beton bileşimi

- **AGREGALAR**; %70-75'ini oluşturmakla beraber bağlayıcılığı yoktur. Dolgu malzemesidir. Kum iri agregalar arasını doldurarak kompasiteyi arttırır.
- **ÇİMENTOLAR**; kum ve iri taneleri birbirine bağlar.
- **SU**; Çimentonun diğer bileşimlerle hidratasyon sağlayabilmesi ve agregaların ıslatılması için karışıma katılır.

Betonda aranan özellikler

1. Beton taze halde iken işlenebilir olmalıdır. Taze beton kolay karıştırılmalı, kolay yerleştirilmeli, karışırken, taşınırken ve yerleştirilirken ayrışmamalı ve homojenliğini kaybetmemelidir.
2. Sertleşmiş beton, dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Hava, su veya kimyasal etkiler nedeniyle oluşabilecek reaksiyonlara karşı betonun direnç göstermesi gerekir.
3. İstenilen özelliklere sahip olacak betonun maliyeti minimum düzeyde olmalıdır.

Avantajları

- İşlenebilme özelliği fazladır (istenilen kalıba hazırlanan beton kolayca karıştırılır, taşınır ve yerleştirilir, üzeri düzeltilir)
- Dayanımı fazladır.
- Ekonomiktir
- Çevreye karşı dayanıklıdır.
- Ateşe dayanıklıdır
- Yapımında çok fazla enerji kullanılmaz
- Fabrikada üretilen beton elemanlar da kullanılabilmektedir. (ön yapımlı beton)

Dezavantajları

- Çekme dayanımı düşüktür. Bu yüzden çekme bölgelerinde çelik donatı kullanılır.
- Düşük düktilitesi vardır. Çarpmaya karşı toklukları diğer malzemelere karşı düşüktür.

- Hacim değişimi. Taze betonlarda hacim değişimi gözlenir. Yol, hava alanı vb gibi uygulama anında dökerken betonlar ano adı verilen genleşme derzleri bırakılarak dökülür.
- "Dayanım /ağırlık" değerleri diğer (metal) gibi malzemelere göre daha kötüdür. Üzerine gelen yükleri karşılayacakları boyutlar diğer malzeme boyutlarına göre fazla çıkmaktadır.

TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON

- **TAZE BETON**; Betonun plastikliğini koruduğu (şekil değiştirme özelliğini kaybetme) ana kadar ki halidir.
- **SERTLEŞMİŞ BETON**; Betonun katılaşma anından sonraki durumudur,

TAZE BETON ÖZELLİKLERİ

Taze betonun performansını belirleyen özellikler şöyle sıralanabilir

- İşlenebilirlik
- Kıvam
- Ayrışma
- Kusma (terleme)
- Priz süresi
- Birim ağırlık
- Homojenlik

İŞLENEBİLİRLİK

Kompasitesi ve dayanımı yüksek olacak şekilde hazırlanmış taze beton, karıştırıldıktan sonra kalıba kadar taşınır. Kalıbın içine dökülen beton, vibratör ve benzeri aletler kullanılarak sıkıştırılır. Bu işlemler sonucunda, taze betonun homojenliğini, kompasitesini ve dolayısıyla dayanımını kaybetmemesi istenir. Ayrıca kalıpları, kolaylıkla yayılarak en az boşluk bırakacak şekilde doldurması gerekir. Betonun bu özelliklerine işlenebilirlik adı verilir.

İşlenebilirliğe etki eden faktörler

- Çimento miktarı
- Çimento özellikleri
- Karma suyu miktarı
- Agrega dağılımı, en büyük agrega boyutu
- İnce agrega miktarı, tane dağılım oranı,
- Agreganın tane şekli,
- Puzolanlar
- Katkı malzemeleri
- Sıcaklık Süre

Çimento miktarı; Çok az olduğu zaman betonun karılabilmesi, ayrışma olmadan yerleşebilmesi, sıkıştırılabilmesi, ve yüzeyinin istenilen şekilde düzeltilebilmesi kolay

olmamaktadır. Çok fazla kullanıldığında karma, yerleştirme işlemleri kolay olmakta fakat beton yüzeyi yapışmadan dolayı zor düzlenebilmektedir.

Çimento özellikleri; İnceliği yüksek olan çimento ile yapılan betonlar daha çabuk kohezyon göstermektedir. Katılaşmada daha kısa sürede olmaktadır. C_3S (tri kalsiyum silikat) olan çimentolar daha erken priz almaktadırlar.

Su miktarı; su miktarı fazla olduğunda betonun kıvamı artmakta yerleştirme ve sıkıştırma kolaylaşmaktadır. Çok fazla suyun olması durumunda ayrışma hızlanır, üst kısım beton kabarcık şeklinde gözeneklenir. Terleme hızlı olur. Beton yüzeyini düzeltme zorlaşır. Az miktarda suyun olması yerleştirme ve sıklaştırmayı güçleştirir. Ayrışmada iri taneler alta inmekte. Yüzey düzeltme işleminde ince tanelerin üste olması problem oluşturmaktadır.

Uygun granülometri ve en büyük agrega boyutu; aynı çökme değerini veren granülometri değerlerinden uygun olmayanı kullanıldığında daha fazla karma suyuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da işlenebilme ve dolayısıyla ayrışmaya etki etmektedir.

Karma suyu sabitken daha büyük agrega tane boyutuna sahip uygun granülometrideki agregalar kullanıldığında beton kıvamı artmakta işlenebilirlik kolaylaşmaktadır.

İnce agreganın miktarı ve inceliği; Sabit su çimento oranı kullanarak elde edilen beton karışımlarında, agrega /çimento oranı yükseldikçe, beton daha az işlenebilir olmaktadır. Sabit bir çökme değerinde ince agrega miktarı (kum) fazla olan malzeme daha fazla karma suyu ihtiyacı oluşmaktadır.

Agregaların tane şekli; Yassı ve uzun şekilli agregaların kıvam ve işlenebilmesi daha düşük olmaktadır. Ayrıca daha fazla karma suyuna ihtiyaç göstermektedirler.

Kırma taş veya kırma kum gibi köşeli agregalar düz yüzeyli ve yuvarlak dere agregalarına göre daha az işlenebilirlerdir.

Puzolanlar; Puzolanlar kullanılması durumunda sabit bir çökme değeri için kullanılacak karma suyu çok az miktarda artmaktadır. Betonun daha akışkan ve işlenebilir olmasına katkı sağlamaktadır.

Kimyasal katkılar; Su azaltıcı katkı maddeleri kullanılarak olması gereken çökme miktarı daha az su kullanılarak elde edilmektedir. İşlenebilme azalmadan daha dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir. Priz geciktirici katkı malzemeleri kullanıldığı taktirde, betonun karılmasından katılaşmasına kadar geçen süre uzamakta, daha rahat taşınabilme ve sıkışması mümkün olabilmektedir.

Sıcak hava koşulları; Sıcak hava koşullarında, hızlı buharlaşma nedeniyle betonun içindeki suyun azalması, hidratasyonun daha hızlı yer alması nedeniyle daha katı bir karışım elde edilmektedir. Betonun kıvamını da sıcaklık düşürmektedir. Kıvamı arttırmak

için ilave edilecek karma suyu ile betonun terlemesi fazlalaşmakta, beton yüzeyinde gelişi güzel çatlaklar oluşmakta, dayanım azalmaktadır.

Betonun karıldığı an ile kıvamının ölçüleceği an arası geçen süre; Karılma anındaki kıvam, bir süre sonra su kıvamı farklı olmaktadır. Gerek betondaki su miktarının azalması, gerekse agregaların su emmesi nedeniyle kıvam azalmaktadır.

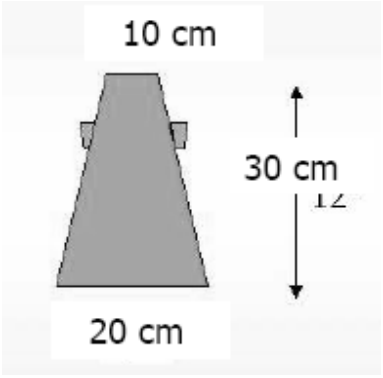
- İşlenebilirlik taze betonun en önemli özelliğidir.
- Betonun işlenebilme özelliği kıvamıyla belirlenir. Kıvam betonun akıcılığını, kendi ağırlığı altında hareket yeteneğini gösterir.

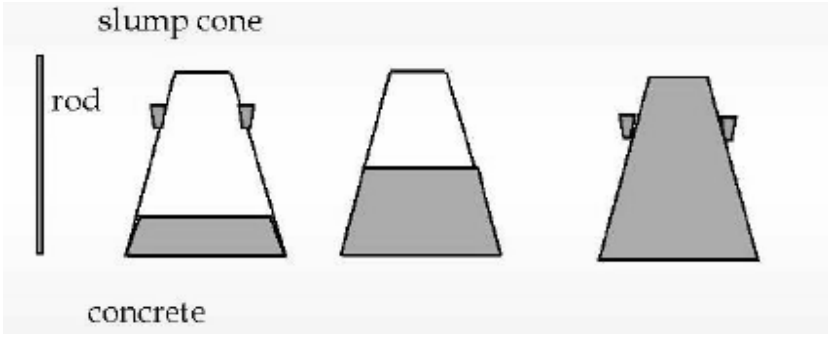
KIVAM-SLUMP

- Kıvam betonun kendi ağırlığı altındaki hareket yeteneğidir. Ağırlığa karşı gösterilen malzemenin direncidir. Betonun akıcılığını ifade eder. Kıvamda en önemli özellik karma suyunun miktarıdır. Taze betonun işlenebilirliğini belirleyen en önemli göstergedir. Beton kıvamının belirlene bilmesi için çökme hunisi (slamp) deneyi yapılır.

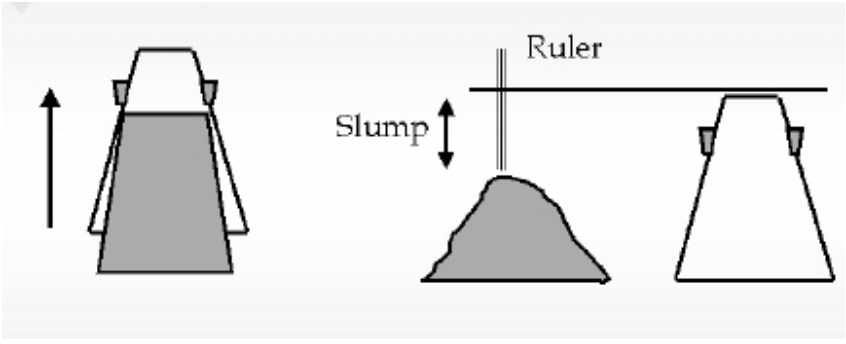
ÇÖKME DENEYİ (SLUMP)

- Abrams konisi adı verilen, 20 cm alt çaplı, 10 cm üst çaplı ve 30 cm yükseklikli, çelik saçtan yapılmış bir koni kullanılır. Alt ve üstü açık olan bu kesik koni düz bir zemin üzerine yerleştirilip, üstünden üç aşamada betonla doldurulur. Her bir doldurma aşamasından sonra 16 mm çapında bir çubukla, 25 darbe vurularak sıkıştırma işlemi yapılır. Kalıp tamamen dolunca taze betonun üstü mala ile düzeltilir. Hemen sonra, hiç bekletilmeden koni, yukarıya doğru yavaşça kaldırılır. Açıkta kalan taze beton, kendi ağırlığı altında çöker. Bu çökme miktarı betonun işlenebilirliği hakkında bir fikir verir. Çökme miktarının fazlalığı işlenebilme özelliğinin de yüksek olduğunu gösterir.





Koni üç tabak halinde doldurulur
Her tabaka 25 kez sıkıştırılır



Konşi tepe noktasıyla yığın tepe noktası arasındaki fark çökme (slump)miktarını verir

Çökme şekilleri
"Hakiki çökme" kütlenin şeklinde fazla bozulma ve kırılma olmadan meydana gelen, beton üst kesitinde aşağı yukarı eşit miktarda yer alan çökmedir. Bu durum, betonun yeterli kohezyona sahip olduğunu göstermektedir.
"Tamamen çökme" beton karışımının sulu olduğunu, betonda az miktarda çimento kullanıldığını işaret etmektedir.

"Kayma çökmesi" bir yanında çok az, diğer yanında çok fazla çökmenin yer aldığı tarzdır. Bu durumdaki çökme beton kütlenin yeterli kohezyona sahip olmadığını göstermektedir. Betonun yerleşebilirlik özelliğinin iyi olmadığına işaret etmektedir.

KIVAM-VEBE

- Diğer bir kıvam deneyi de Vebe deneyidir. Vebe deneyinde vibrasyon masası üzerinde iç çapı 24 cm yüksekliği 20 cm olan altı kapalı silindir bir kap titreşim masasına vidalanır. Kabın içine de abrams konisi yerleştirilir. Çökme deneyindeki gibi koni doldurulur. Sarsma başlar. Koni çekildikten sonra serbest kalan beton üzerine disk yerleştirilir. Sarsma devam eder. Bu disk tabana oturunca sarsılma süresi ölçülür.

KIVAM-WALZ

- Diğer bir kıvam deneyi de Walz' deneyidir. Taban kenar uzunlukları 20x 20 olan 40 cm yükseklikli çelik bir kap beton ile doldurulur. Sıkıştırılmadan mala ile düzeltilir. Bir dalıcı vibratör kaba daldırılır. Dibe değdikten sonra yavaşça çıkarılır. Betondaki çökme miktarı "s" cm cinsinden ölçülür. Walz sıkışma oranı=40/[40-s] ile değerlendirilir. Kuru betonlar için 1.16-1.45, plastik betonlar için 1.11-1.15, akıcı betonlar için 1-1.1 arası değerler kullanılır.

AYRIŞMA(SEGREGASYON)

- İşlenebilir bir betonun niteliklerinin başında kohezyon gelir. Kohezyonu iyi olan taze betonun içinde iri agrega taneleri; karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri sırasında kütleden ayrılmazlar. İri agregaların bu işlemler sırasında beton kütlesinden ayrılması olayına betonun çözülmesi (segragasyon) denir. Segragasyon yapan betonun bünyesi homojen olmaz; iri agregalar bir yanda, harç bir yanda birikir. Betonun dayanımı olumsuz yönde etkilenir.

AYRIŞMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Ayrışmaya etki eden faktörlerden bazıları şunlardır
- Agrega büyüklüğünün fazla olması
- Kaba agrega birim ağırlığının büyüklüğü

- İnce agrega miktarının azalması
- Agrega tipi ve yüzey şekli
- Su çimento oranı (çok sulu ve çok kuru betonlarda ayrışma fazla görülür)

TERLEME

- Taze betonda suyun yüzeye çıkması, kütleden ayrılması durumuna terleme (kusma) adı verilir
- Terlemenin diğer bir nedeni çimentonun bir araya toplanmasıdır. Suyla temas eden çimento taneleri tek tek ıslanmak yerine bir araya gelerek ıslanırlar ve hidratasyon için gerekenden daha fazla su tutarlar. Karıştırma sırasında, bir süre sonra bu suyu kusarlar.

Terleme sonucu oluşan istenmeyen şu etkiler oluşur:

- Suyun yukarı doğru çıkışıyla, betonun donmaya karşı göstereceği direnç azalır.
- İnce tanelerin yukarıda toplanmasından dolayı aşınmaya karşı beton dayanımı zayıflık gösterir.
- Kaba taneler ve donatı alttadır. Su ve ince taneler üsttedir. Parçalar arası aderans zayıflamıştır.

Terlemenin düşük olması için şu özellikler terlemeyi azaltır.

- Çimento inceliğinin artması
- Hidratasyonun artması (C_3S, C_3A)
- Puzolan ilavesi
- Su içeriğinin azalması

PRİZ SÜRESİ

- Betonun plastik halden katı hale geçmesine priz adı verilir. Zaman ilerledikçe beton sert bir malzeme durumunu almaktadır. Priz betonun sertleşmesini ifade ederken sertleşme betonun zamanla ölçülebilir dayanım kazanmasını da ifade etmektedir. "Priz başlama süresi" betonun karılması ve katılaşması arasındaki süredir. "Priz sona erme süresi" ise katılaşma ile sertleşme arası geçen süredir.

- Priz başlama süresi betonun işlenebilirliği açısından önemlidir. Betonun taşınabilmesine, kalıplara yerleştirilmesine, sıkıştırılabilmesine ve yüzeyinin düzeltilebilmesine yetecek uzunlukta olmalıdır. Genel olarak bir saatten az olmaması istenir. Bu sürenin azalması veya uzatılması istendiğinde priz hızlandırıcı veya geciktirici katkı malzemeleri katılabilir.

- **Priz süresine etki eden faktörler**, çimento özellikleri ve miktarı, katkı malzemeleri türü ve miktarı, çevre sıcaklığı

BİRİM AĞIRLIK

- **" Birim ağırlık",** bir birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığıdır. Agrega granülometrisinin iyi olmaması, maksimum agrega boyutunun küçük olması, taze beton sıkıştırılma işleminin yeterince yapılmamış olması, beton

içerisindeki boşlukların miktarını arttıran dolayısıyla birim hacmi düşüren başlıca faktörlerdir.

- Taze beton birim hacminin bulunabilmesi için 7.5 cm veya daha yüksek çökme değerine sahip taze beton, hacmi bilinen bir kap içinde üç eşit kademede 1.6 cm çaph gubuklarla 25 kez sıkıştırılır. 7.5 cm'den az çökme değeri varsa vibratör kullanılarak aynı işlem yapılır. Hacmi bilinen kaptaki beton ağırlığı yüzey düzeltildikten sonra tartılır.

- Birim ağırlık= Beton ağırlığı / Kabın iç hacmi

ÜNİFORMİTE

- Hazırlanan bir beton harmanı içerisinde, malzemelerin uygun dağılım göstermiş olmaları, iri agregaların harman içinde bir bölgede yoğunlaşmamış olamamaları gerekir. Beton harmanı içerisinde yer alan bir betonun işlenebilme, birim ağırlık, dayanım ve diğer özellikleri, harmanın diğer bölgelerindeki betonun işlenebilme, birim ağırlık, dayanım ve diğer özellikleriyle tamamen bezer olmalarına "üniformite (üniformluk)" diyoruz. Aynı beton harmanı içerisinde üniformiteyi mikserin içerisinde aşınmış palet kullanımı, karılma süresinin gereğinden uzun veya kısa tutulması, mikserin aşırı yüklenmiş olması etkiler.

İŞ DERZLERİ (RÖPRİZ)

- Beton döküm süresinin çalışma saatleri, hava koşulları ve teknik zorunluluklar nedeniyle sınırlı olması durumunda, iş derzleri yapmak zorunlu hale gelir. İş derzlerinin yerleri, beton yerleştirme işlemi başlamadan önce, tercihen projelendirme aşamasında, statik esaslara bağlı olarak saptanmalıdır. Derz yüzeyleri Yeni beton yerleştirilmeye başlanmadan önce her türlü harç kalıntılarından, toz, kir, yağ ve tahta parçası vs'den temizlenmeli, kaynaşmayı kolaylaştıracak şekilde, örneğin 1/1 eğimli olarak işlenmelidir.

- Temizleme işlemi basın üh kum püskürtülerek, basın üh hava püskürtülerek veya basınçlı su püskurtülerek yapılmalıdır. Bunların mümkün olmaması halinde yüzeyler tel fırça ile de temizlenebilir. Bu şekilde temizlenemeyen yerler keski ile kazınarak yok edilmeli, bu da olmaz ise kırılarak kaldırılmalıdır. Gevşek kısım bırakılmamalıdır.

Betonun Yerleştirilip Sıkıştırılması

- Usulüne uygun olarak hazırlanmış olan taze beton, priz yapmaya başlamadan önce kalıplara yerleştirilip sıkıştırılmalıdır. Kalıp olarak genellikle ahşaptan yararlanılır.
- Ahşaba, istenilen şekil kolayca verilebilir.
- Ahşap termik açıdan betonu donmaya karşı korur.
- Ahşabın birkaç defadan fazla kullanılamaz. Kontrplaklardan da özellikle yuvarlak kenarlı yapı elemanlarının kalıplanmasında yararlanılır. Bu çeşit kalıplarla çok düzgün yüzeyler elde edilebildiğinden, beton yüzeyi sıva gerektirmeyebilir. Bu tip betonlara brüt beton denir.

- Kalıba dökülen betonların yerleştirilip, sıkıştırılması gerekir. Bu işlemin iki amacı vardır. İlki, betonun kalıbın her yanına yayılmasını sağlayarak, donatıların beton tarafından tam olarak kaplanmasını temin etmek. İkincisi ise, betonu sıkıştırarak hava boşluklarını dışarı atmak ve bu şekilde kompasiteyi, buna bağlı olarak betonun dayanımını artırmak. Sıkıştırma çubuk ve vibratörlerle yapılabilir.

- Kuru ve plastik kıvamdaki betonlar için yerleştirme yöntemlerinin en pratiği ve yararlı sonuçlar vereni vibrasyon yöntemidir. Bu yöntemde, vibratör denilen özel aletlerle taze beton titreşim etkisinde bırakılır. Beton kütlesine uygulanan vibrasyon, kütle içinde yayılan basınç ve kayma dalgaları oluşturur. Taze beton belirli viskozitede sıvı kıvamda olduğundan, titreşim etkisiyle akarak kalıbı doldurur. Aynı zamanda betonu oluşturan taneler, kütle içinde hareket ederek, kompasiteyi artıracak şekilde, en uygun konumlarını alır.

BETON KÜRÜ

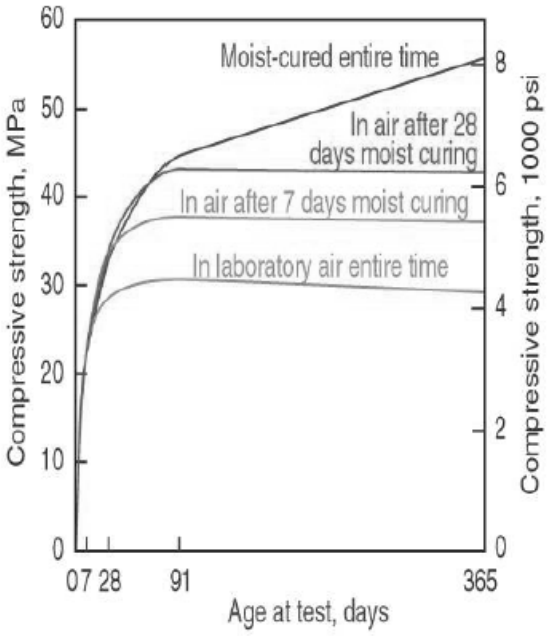
- Yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun su içeriği çimentonun hidratasyonunu tamamlayabilmesi için yeterlidir. Ancak, bu suyun buharlaşarak kaybolması hidratasyonu güçleştirir ve hatta bozar. Bu nedenle betonun bakımı, su kaybını (kurumayı) önlemek ve zararsız düzeyde tutmak, bu suretle hidratasyonun hatasız şekilde tamamlanabilmesini sağlayabilmek için dökümünü izleyerek başlatılmalıdır.

- Yeni yerleşmiş betonun sürekli suyunu kaybetmesi çimento hidratasyonunu olumsuz etkiler. Su kaybı betonda büzülmeye neden olur. Kuruyan yüzeylerde çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmelerin beton dayanımı oluşmadan meydana gelmesi yüzey çatlaklarına neden olur.

- Basınç dayanımı, donma, çözülme, su geçirimsizliği, aşınma direnci, hacim sabitliği özellikleri çimento hidratasyonunun uygun koşullarda bekletilmesiyle gelişir. Başlangıçta hızlı olan bu gelişme daha sonra yavaşlar. Kalitedeki bu gecikme iki faktörden etkilenir.
  - Nem (rutubet)
  - Sıcaklık

- Betonun bu amaçla bakımı için uygulanacak kür; ıslak çuvallar sarmak, örtü veya püskürtme membran uygulamak veya su püskürtmek metotlarından birisi veya bir kaçı ile birlikte olabilir. Hangi kür metodu kullanılırsa kullanılsın, kalıpların su emmesinin önüne geçilmelidir. Bunu sağlamak için kalıp yağları kullanılabilir. Yağlar kalıp iç yüzeyine ince bir tabaka halinde sürülmelidir. Ahşap kalıplar dıştan ıslatılarak, özellikle sıcak havalarda kuruyup açılmaları önlenmelidir. Kuruyan kalıplar beton yüzeyinden su alacağından, kalıpların ıslatılması bu sakıncayı da ortadan kaldıracaktır.

- Beton kürü nemin muhafazasıyla mümkündür. Hidratasyon suya doymuş nemli ortamlarda gerçekleşir. Bu ortamın muhafazası gerekir.



SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ

- Sertleşmiş betonda aranacak beton özellikleri:
  1. Dayanım
  2. Dayanıklılık
  3. Büzülme ve sünme

Betonun dayanımı bu özelliklerin en önemlilerindendir.

BETONUN BASINÇ DAYANIMI

- Betonun tüm mekanik özellikleri arasında en önemli ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Betonun çekme dayanımı ise oldukça düşük olup, yaklaşık olarak basınç dayanımının %10'u mertebesindedir. Ancak, betonarme hesabında betonun çekme dayanımı dikkate alınmaz ve betonun sadece basınca çalıştığı kabul edilir.

- Betonarme yapılar, kesit içindeki basınç gerilmelerinin beton, çekme gerilmelerinin ise çelik tarafından taşındığı, bu iki malzemenin ortaklaşa çalışma ilkesine göre düzenlenir.

- Basınç dayanımı betonun tüm olumlu nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımına sahip bir betonun; kompasitesi fazladır, serttir, geçirimsizdir, dış etkilere karşı dayanıklıdır ve aşınması zordur. Bu nedenle basınç dayanımını saptamak suretiyle betonun kalitesini genel olarak değerlendirmek mümkündür.

- Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı, TS 3068'e göre hazırlanan, çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan standart silindir deney numunelerinin 28 gün sonunda, TS 3114'e uygun biçimde denenmesiyle elde edilir. Betonun karakteristik basınç dayanımı f_{ck}, denenecek silindirlerden elde edilecek basınç dayanımlarının bu değerden düşük olma olasılığı belirli bir oran (genellikle %10) olan değerdir.

- Gerektiğinde basınç dayanımı, deneylerinden de elde edilebilir. Böyle durumlarda, karakteristik basınç dayanımı f_{ck}, geçerliliği deneylerle kanıtlanmış katsayılarla dönüştürülür. Boyutları 15 cm olan küp için f_{ck} değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Boyutları 15 cm'den farklı küp numunelerinden elde edilen basınç dayanımları gereken düzeltme yapılarak dikkate alınmalıdır.

BETONUN BASINÇ DAYANIMI ve ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- **TS 3068** : Beton deneyleri - Deney Numuneleri: Dayanım Deneyleri için Deney Numunelerinim Yapımı ve Kürü
- **TS 3114** : Beton Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini
- Betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarını veren TS 500 standardına göre, beton sınıfları aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır. C16, C18, C20 ve C25 normal beton, diğerleri yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanır.

- Beton numunelerin hazırlanması ve denenmesi işlemi şartnamelere bağlanmıştır.

- İyi bir şekilde yağlanan beton kalıplarına, taze beton, üç kademede serbest düşürülerek doldurulur. Her kademe, ucu yuvarlatılmış, 16 mm'lik çelik çubuk ile 25 defa şişlenir. Kalıbın üstü tesviye edilir. Beton numunelerinin aşırı sıcaktan, soğuktan ve sarsıntıdan etkilenmemesine dikkat edilmelidir. Bir gün sonra kalıptan çıkarılan numuneler, 20 ^{o}C sıcaklıktaki suyun igerisinde kırılacagı güne kadar bekletilir. Kırılacağı gün sudan çıkarılan numuneler kurulanır ve basınç deneyine tabi tutulur.

- Beton zamana bağlı şekil değişimi gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı önemlidir. Yavaş yüklenen numunelerin dayanımlarının, hızlı yüklenen numunelerin dayanımlarından daha düşük çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, yükleme hızında standartlaşmaya gidilmesi gerekmektedir. Türk şartnamelerinde bu hız yaklaşık olarak saniyede 1.5-3.5 kg/cm^2 olarak verilmektedir.

- Aynı malzemelerle yapılmış, aynı koşullarda saklanmış betonun değişik yaşlardaki basınç dayanımları büyük ölçüde çimento tipine bağlıdır. Örneğin traslı çimento kullanılarak üretilen bir betonun 7 günlük dayanımı, 28 günlük dayanımının yaklaşık %65'i kadardır. Buna karşılık, yüksek dayanımlı çimento kullanılarak aynı agregalarla aynı koşullarda üretilen bir betonun 7 günlük dayanımı 28 günlük dayanımının yaklaşık %80'i kadardır.

- Laboratuarda, standart numuneler üzerinde yapılan basınç deneylerinden elde edilen beton basınç dayanımları ile şantiyedeki betonun basınç dayanımlarının

eşit olmayacağı açıktır. Yapıda; çevre, kür ve sıkıştırma koşulları farklıdır. Standart numuneler üzerinde yapılan deneyler daha çok beton karışımının, üretiminin kalite kontrolüdür.

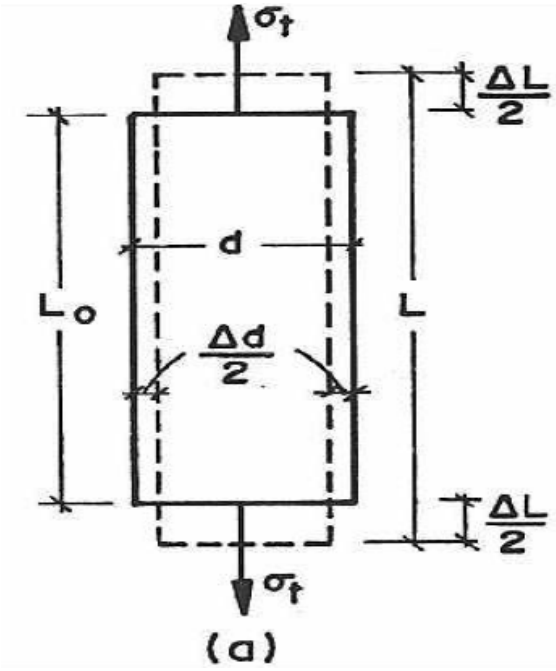
- Kuşkulu durumların ortaya çıkması halinde yapılardaki beton kalitesinin yerinde incelenmesi gerekir. Yapılardaki beton kalitesinin kontrolü tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki yolla gerçekleştirilir.

- En güvenilir deney yöntemi; yapı elemanlarından "karot" adı verilen silindir şeklinde numuneler çıkarıp, bunları tek eksenli basınç deneyine tabi tutmaktır. En sağlıklı sonuçları veren bu deney yöntemine, yapı elemanında tahribat yaptığından ve yapımı zahmetli olduğundan ancak zorunluluk halinde başvurulur. Ayrıca, karot numunenin alınacağı yerin belirlenmesi uzmanlık gerektirir.

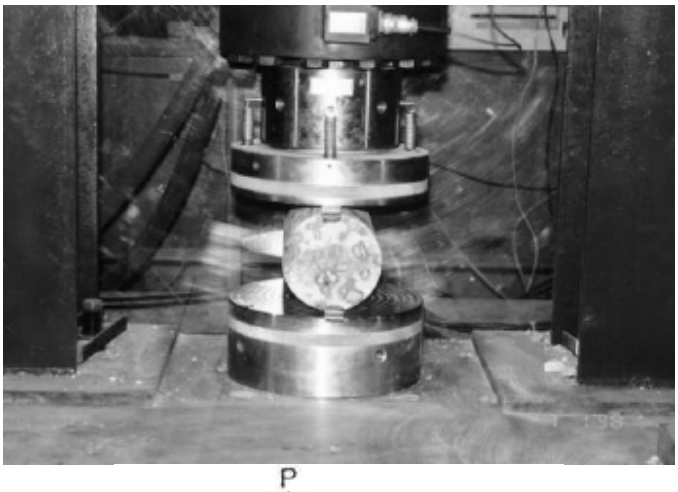
Beton bileşimi ve dayanımı arasındaki ilişkiyi etkileyen faktörler

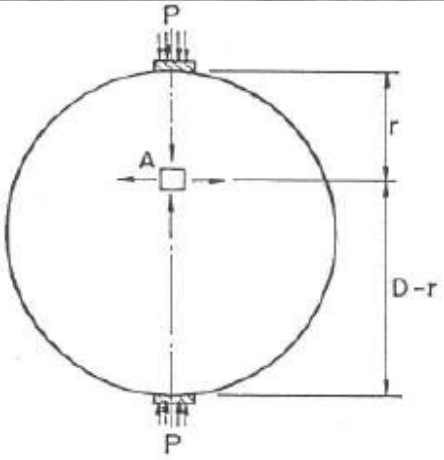
- Günümüzde en çok kullanılan, tahribatsız ve çabuk sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilen deney yöntemi ise beton çekici (tabancası) deneyidir. Ernst Schmidt tarafından bulunan bu aygıtlar betonun yüzey sertliği değerinden yararlanarak, basınç dayanımı degerini verirler. Deney sonuçlarının güvenilirlik derecesi; beton tabancasının kalibrasyonu, deney yerinin seçimi, beton yüzeyi ile iç bünyesinin farklılığı gibi bir takım faktörlere bağlıdır. Ancak bunlar sertleşmiş betonu tahrip etmeden, basınç dayanımı ve üniformluğu hakkında iyi bir fikir verdiklerinden çok yararlı olabilmektedir.

DİREK ÇEKME DAYANIMI



YARMA ÇEKME DAYANIMI

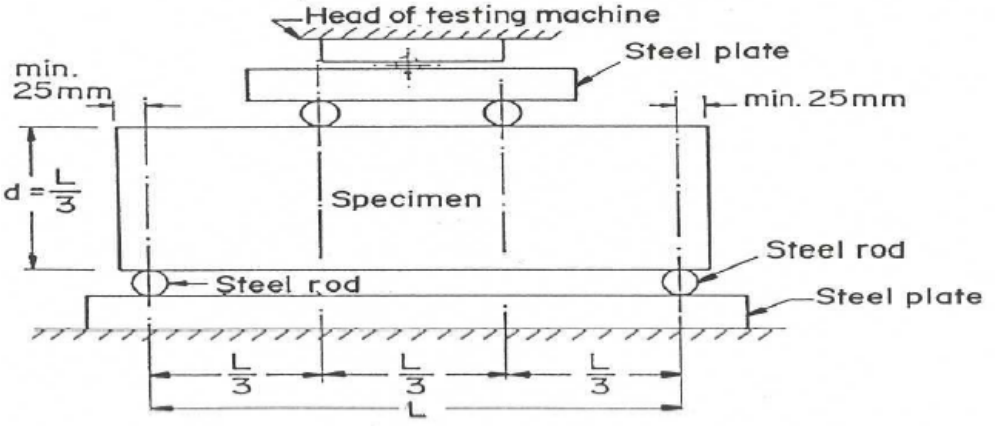


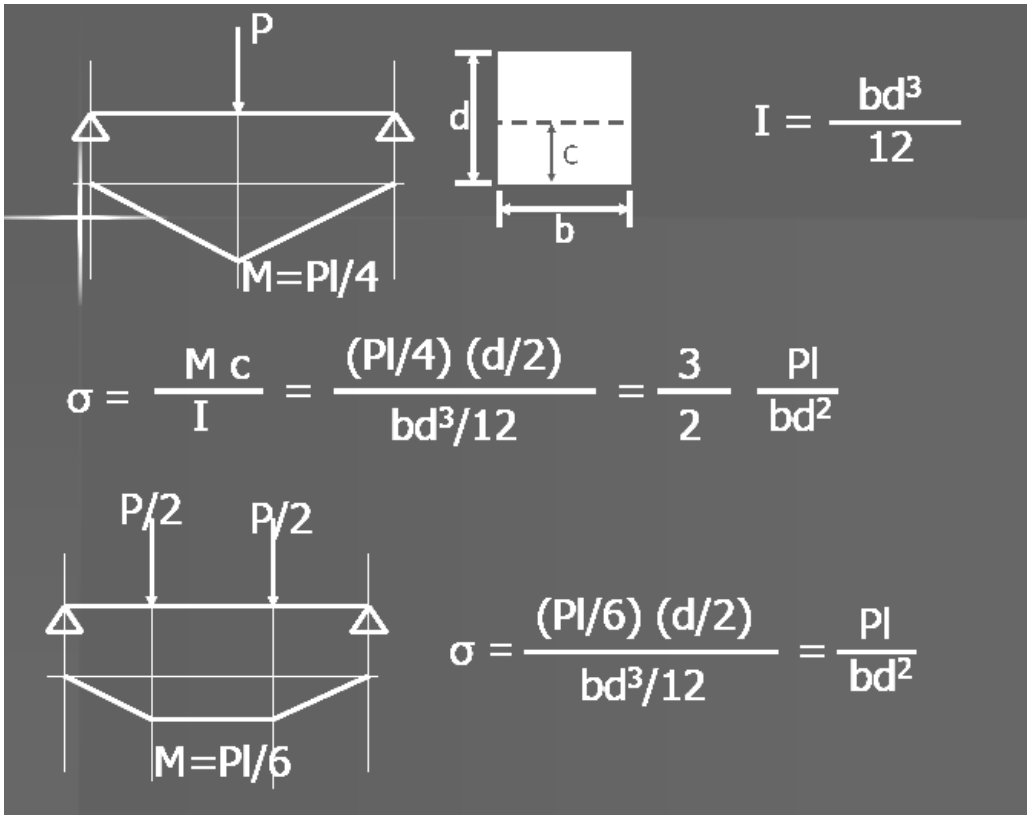


- Diğer çekme deneylerine gore daha uniform sonuçlar verir ve gerçekleştirimi basittir.

EĞİLME DAYANIMI

- Eğilme dayanımı prizmatik kiriş örneğinde saptanır.





Beton bileşimi ve dayanımı arasındaki ilişkiyi etkileyen faktörler

1. Çimento ile ilgili faktörler
2. Su miktarı
3. Betonun kompasitesi (sıkılığı)
4. Dış etkiler - kür koşulları
5. Deney koşulları - numune şekli ve boyutları

- **Çimento ile ilgili faktörle** :Çimento dayanımını kaybettiği zaman betonun da dayanımı sona erer. Çünkü çimentonun dayanımı agrega dayanımından daha düşüktür. Çimento betonun dayanımını iki şekilde etkiler.

    a. **Çimentonun dozajı** : Çimento dozajının artması ile çimento hamurunun hacmi artar. Bu şekilde beton kesitinde herhangi bir zorlama altında, çiimento hamurunda oluşan gerilmeler daha düşük degerlerde kalır. Bu durum betonun daha yüksek dayanım kazanmasına neden olur. Ancak çimento miktarının artması rötrenin artmasına neden olacağından, çimento dozajı belirli bir değeri geçtikten sonra özellikle betonun çekme dayanımı azalmaktadır. Çimento dozajı, agreganın granülometrik bileşimi ile yakından ilgilidir. Eğer agrega karışımında ince taneler çoğunluktaysa, kaplanması gereken özgül yüzey daha fazla olacağından çimento

dozajı da fazla olmalıdır. Buna gore, agreganın en büyük boyutu D büyüdükçe, D'nin büyümesine baglı olarak dozaj azalacaktır. Çimento dozajı için önerilen en az değer aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$C_{\min} = \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$$

b. **Çimento tipi** : Dayanımı yüksek olan çimentolarla üretilen betonların dayanımları da yüksektir. Ayrıca çimentoların hidratasyon hızlarına bağlı olarak, betonların da dayanımları zamanla artar.

- **Su Miktarı**: Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyunun iki işlevi vardır.
- Bağlayıcı maddelerin hidratasyon yapmasını sağlar.
- Agrega tanelerini ıslatarak, betonun işlenebilme özelliğine sahip olmasını sağlar.

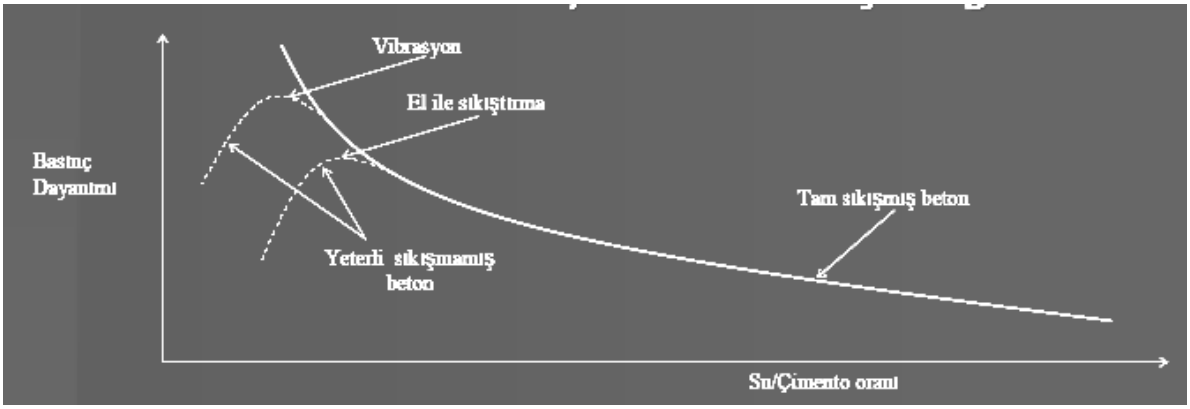
- Beton üretiminde kullanılacak su optimum miktarda olmalıdır. Su miktarının optimum değerden daha az olması halinde, hidratasyonun sağlıklı bir şekilde gelişememesi ve işlenebilirliğin azalması nedenleriyle, daha fazla olması halinde ise, betonda fazla boşluk oluşacağından beton mukavemeti düşecektir.

  - Su miktarının beton dayanımına etkisi

Suyun en uygun değerden sapması	Dayanımda azalma
%20 eksik	%60
% 10 eksik	%10
%20 fazla	%30
%30 fazla	%50
% 100 fazla	%80

- Hidratasyon için gerekli su çimento ağırlığının %14'ü kadardır. Hidrate çimento taneleri arasında kalacak jel suyu da hesaba katılırsa, gerekli su, ancak %25 değerine varmaktadır. Ancak bu değer işlenebilme gereği yüzünden betona katılan ek su nedeniyle, su/çimento oranı nadiren %40'ın altına düşer. Uygulamada su/çimento oranı çoğunlukla %50 ile %65 arasında alınır. Hidratasyon ve jel yapı için gerekli suyun üstündeki fazla su beton sertleştikten sonra buharlaşarak, beton içinde, çoğunluğu kılcal olan boşlukların oluşmasına neden olur. Bu boşluklar nedeniyle betonun basınç dayanımı düşer.

- su/çimento oranının düşmesi ile beton dayanımı artar, bu oranın artması ile beton dayanımı azalır. Ancak, suyun azlığı nedeniyle beton yeterince sıkıştırılamadığı taktirde, düşük su/çimento oranlarında da beton dayanımında düşme görülebilir.



- Betonun yüksek bir basınç dayanımına sahip olabilmesi, su/çimento oranının kritik değerleri; yerleştirme araçlarının kabiliyeti, betonun kıvamı, katkı maddesi eklenmesi, en büyük agrega tane boyutu (D) gibi çeşitli şartlara bağlıdır. D=31.5 mm için ve betonun yerleştirilmesinde vibratörler kullanılması halinde, yüksek dayanımlı beton elde edilmesi için su/çimento oranının 0.5'ten küçük olması istenir.

- **Betonun Kompasitesi (sıkılığı)**: Kompasitenin düşük olması betondaki boşlukların (bu boşluklar su ve hava ile doludur) fazla olması demektir. Boşluk oranının (porozitenin) büyük olması, betonun elastisite modülünün ve dayanımının düşmesine neden olur. Ayrıca betondaki boşluklar çoğunlukla iri agrega ile çimento hamuru arasında oluşur. Bu durum çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansı azaltır ve dayanımın daha da düşmesine yol açar.

- **Dış Etkiler - Kür Koşulları**: Kür koşulları, sıcaklık etkisi ve rutubet olarak düşünülebilir. Sıcaklık derecesinin ve rutubet oranının yüksekliği, hidratasyonu hızlandırması nedeniyle, betonun dayanım kazanma hızını artırır.

- **Sıcaklık** : Rutubeti yüksek tutmak, hatta ortamı doygun rutubette tutmak kaydıyla sıcaklık 60°C'nin üzerine çıkarılarak (70°C-90°C) dayanım kazanma hızı artırılabilir. Bu işleme; ısıl işlem, atmosfer basıncında buhar kürü, etüvleme gibi adlar verilmektedir. Bu yöntemlerde beton çok kısa sürede (1-2 gün) istenen dayanıma ulaşır. Prefabrike beton yapı elemanlarının üretiminde bu yöntemlerden yararlanılır.

- **Rutubet** : Bağıl nem %50'nin altına düştüğünde betondaki su buharlaşmaya başlar. Bu durumda hidratasyon için gerekli su kalmayabilir. Özellikle taze betonlarda hidratasyonun gelişimi çok hızlı olduğundan daha önem taşır. Buharlaşmanın fazlalığı, erken rötreyi (plastik rötre) önemli ölçüde artırır ve çatlaklı bir yapının oluşmasına neden olur. Yetersiz hidratasyon yapmış ve çatlak bir betonun mekanik özellikleri de zayıf olur. Bu nedenlerle standartlar, rutubet ve sıcaklık faktörlerini dikkate alarak, numune örneklerinin deney gününe kadar 20°C sıcaklıkta, su içinde saklanmasını öngörmüştür.

- **Deney Koşulları - Numune Şekli ve Boyutları**: Numune şekli ve boyutları basınç dayanımlarını önemli şekilde etkilemektedir. Daha güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle silindir numunelerin kullanımı tercih edilmektedir. Standart küp (kenar uzunluğu 20 cm) ile standart silindir (15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde) dayanımları arasındaki ilişkiyi kurabilmek amacıyla yapılan çalışmalar sonucu, aynı karışımdan hazırlanmış numunelerin silindir dayanımlarının, küp dayanımlarının yaklaşık %80-%85'i kadar olduğu saptanmıştır. Ancak, yüksek kaliteli betonlar için bu oran %90-%95 mertebesindedir.

- Değişik şekil ve boyuttaki numunelerin basınç dayanımlarının standart 20 cm kenar uzunluklu küp şeklindeki deney numunesine göre değişimi ve silindir numuneler için narinlik (yükseklik/çap) etkisinin basınç dayanımına etkisi aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Çizelgede, silindirler için, Amerikan (ASTM) ve İngiliz (BS) standartlarında verilen dayanım düzeltme katsayıları görülmektedir.Teknik literatüre ve ASTM standardına göre silindir numuneler için yükseklik/çap oranının 0.95'e düşmesi halinde deney yapılamaz.

Boyut Etkisi	Küp kenarı (cm)	10-15	20	30
	Bağıl dayanım(%)	105-120	100	90
Şekil Etkisi	Şekil	plak	küp	Prizma
	Narinlik(h/a)	0.5	1.0	2.0
	Bağıl dayanım(%)	140-200	100	75-95

Narinlik Etkisi - Basınç Dayanımı Đlişkisi

	h/d	Dayanım Düzeltme Katsayısı	
		ASTM C42-68'e göre	BS 1881-1970'e göre
Silindir Narinlik Etkisi	2.00	1.00	1.00
	1.75	0.99	0.98
	1.50	0.97	0.96
	1.25	0.94	0.94
	1.00	0.91	0.92

- Boyutun dayanıma etkisi, büyük numunelerde çatlak ve benzeri kusurların daha fazla olma olasılığıdır. Şeklin dayanıma etkisi ise, narin numunelerin yanal şekil değiştirmesinin daha kolay olması sonucudur. Kurallarına uygun olarak yapılmış bir tek eksenli basınç deneyinde beton, kuvvet yönünde gelişen düşey çatlakların oluşması sonucu kırılır. Pres tablası ile numune arasındaki sürtünme yanal genişlemeyi engeller, basık numunelerde bu engelleme daha çok olduğundan dayanım daha yüksek çıkar.

BETONDA KARIŞIM HESAPLARI

- Beton karışım hesabı, istenen kıvam, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli agrega, çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını tespit edebilmek için yapılan hesaptır.

- 1 m^3 betonu oluşturacak çimento, agrega ve su miktarının doğru olarak saptanması gerekir. Beton, işlenebilme özelliğini yerine getirmek koşuluyla, agrega çapını mümkün olan en büyük değerde alarak, en fazla miktarda iri agrega ve en az miktarda ince agrega kullanarak kompasitesi yüksek olacak şekilde üretilmelidir.

- Beton karışımının saptanmasında iki aşama vardır. Birinci aşamada beton bileşimlerinin miktarları teorik yollardan veya tablolardan yararlanarak hesaplanır. İkinci aşamada, saptanan değerlerle örnek betonlar üretilir. Taze betonun işlenebilirliği, sertleşmiş betonun istenen dayanımı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. İstenen sonuç elde edilmemişse gerekli düzeltmeler yapılır ve üretim için kesin değerler bulunur.

Slamp seçimi

Table 14.5 Recommended Slumps for Various Types of Construction

Type of Construction	Slump, mm	
	Maximum	Minimum
Reinforced foundation walls	75	25
Reinforced footings	75	25
Plain footings	75	25
Substructure walls	75	25
Pavement and slabs	75	25
Mass concrete	50	25
Building columns	100	25
Beams	100	25
Reinforced walls	100	25

KARIŞIM TASARIMINDA İŞLEMLER

Maksimum agrega seçimi :

- Kalıbın en küçük boyutunun 1/5'i
- Döşeme derinliğinin 1/3'ü
- Donatı arası mesafenin ¾'i
- Dmax < 40mm

Su – hava miktarı

Table 14.6 Approximate Amounts of Mixing Water and Air Content Requirements for Non-Air Entrained Concrete

Slump, mm	Water Content kg/m^3						
	(Maximum Aggregate Size, mm)						
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75
25-50	207	199	190	179	166	154	130
75-100	228	216	205	193	181	169	145
150-175	243	228	216	202	190	178	160
Entrapped Air(%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3

Su- hava miktarı

Table 14.7 Approximate Mixing Water and Air Content Requirements for Air- Entrained Concrete

Slump, mm	Water Content kg/m³ (Maximum Aggregate Size, mm)						
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75
25 - 50	181	175	168	160	150	142	122
75 - 100	202	193	184	175	165	157	133
150 - 175	216	205	197	184	174	166	154
Recommended total air content for level of exposure (%):							
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
Severe exposure	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5

Su-çimento oranı seçimi

Table 14.9 Maximum Permissible "Water/Cement" Ratios for Concretes in Severe Exposure

Type of Structure	Structures that will be wet continuously and exposed to freezing and thawing	Structures exposed to seawater or sulfates
Thin sections and sections with less than 25 mm cover over steel	0.45	0.40
All other structures	0.50	0.45

BETON KARIŞIM HESABI

- Su miktarı bellidir.Seçilen su/çimento oranına göre çimento miktarı bulunur.
- Kaba agrega miktarı

Table 14.10 Volume of Coarse Aggregate per Unit Volume of Concrete

Maximum size of aggregate, mm	Volume of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete			
	Fineness Moduli of Fine Aggregate			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0	0.82	0.80	0.78	0.76

- Hava, çimento, su, kaba agrega bilinmektedir.İnce agreganın hesabı yapılmalıdır.

- Beton karışımının saptanmasında iki aşama vardır. Birinci aşamada beton bileşimlerinin miktarları teorik yollardan veya tablolardan yararlanarak hesaplanır. İkinci aşamada, saptanan değerlerle örnek betonla r üretilir. Taze betonun işlenebilirliği, sertleşmiş betonun istenen dayanımı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. İstenen sonuç elde edilmemişse gerekli düzeltmeler yapılır ve üretim için kesin değerler bulunur.

Örnek:

- Slump → 75-100 mm
- D_{max} → 25 mm
- $f'_{c,28}$ = 25 MPa
- Çimento birim ağırlığı = 3.15
- Hava katkısız beton

	Kaba agrega	İnce.
Suya doygun birim ağırlık	2.68	2.62
Su emme	0.5%	1.0%
Toplam nem miktarı	2.0%	5.0%
Kuru doygun birim ağırlık	1600 kg/m^3	–
İncelik modülü	–	2.6

1. Verilen Slump 75-100mm'dir
2. D_{max} 25 mm'dir
3. Su ve hava miktarı

Table 14.6 Approximate Amounts of Mixing Water and Air Content Requirements for Non-Air Entrained Concrete

Slump, mm	Water Content kg/m^3 (Maximum Aggregate Size, mm)						
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75
25-50	207	199	190	179	166	154	130
75-100	228	216	205	193	181	169	145
150-175	243	228	216	202	190	178	160
Entrapped Air(%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3

Slump ve D_{max} →su =193 kg/m^3
Hava →1.5%

4. Su/çimento oranı

Table 14.8 Relationship between the "Water/Cement" Ratio and Compressive Strength of Concrete

Compressive Strength at 28 days, MPa	"Water/Cement" Ratio, by weight	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Su/çimento=0.61

5. Çimento miktarı
   Su =193 kg/m^3 ve Su/çimento=0.61

   Çimento=193/0.61=316 kg/m^3

6. Kaba agrega miktarı (hacimce)
   D_{max} ve incelik modülü $\rightarrow V_{K.A}=0.69m^3$

Table 14.10 Volume of Coarse Aggregate per Unit Volume of Concrete

Maximum size of aggregate, mm	Volume of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete			
	Fineness Moduli of Fine Aggregate			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
[illegible]	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
[illegible]	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0	0.82	0.80	0.78	0.76

Kuru $W_{K.A.}=1600*0.69=1104$ kg/m^3
Suya doygun $W_{K.A.}=1104*(1+0.005)=1110$ kg/m^3

7. İnce agrega ve diğer bileşenlerin hacimce miktarı

$$V=\frac{M}{Sp.Gr.*\rho_w}$$

$$V_{su}=\frac{193}{1.0*1000}=0.193\,m^3$$

$$V_{çimento}=\frac{316}{3.15*1000}=0.100\,m^3$$

$$V_{k.Agg.}=\frac{1110}{2.68*1000}=0..414m^3$$

$$V_{hava}=0.015\,m^3\ (1.5\%1)$$

$$\sum V=0.722\,m^3\ \rightarrow V_{i.Agg}=1-0.722=0.278\ m^3$$

$$W_{i.Agg}=0.278*2.62*1000=728\ kg/m^3$$

Hesaplanan Karışım

- Suya doygun olarak

	Sp. Gr.	Weight (kg/m^3)	Volume (m^3)
Cement	3.15	316	0.100
Water	1	193	0.193
Coarse Agg.	2.68	1110	0.414
Fine Agg.	2.62	728	0.278
Air		-	0.015
Total		2347	1.000

8. Agregalardaki nem

$$W_{kuru} = W_{doygun} * (1 - a)$$
$$W_{nemli} = W_{kuru} / (1 - m)$$

Aggregates	Absorption	Moisture	Weight (kg/m^3)		
			SSD	Dry	Field
Coarse	0.005	0.02	1110	1104	1127
Fine	0.01	0.05	728	721	759

Kaba agregalarda: 1127-1110 = 17 48 kg
İnce agregalarda : 759-728 = 31 fazla
Gerçek su miktarı: 193 – 48 = 145 kg

Karışım Hesabı Özeti

Ingredient amount	Weight (kg/m^3)	
	SSD	Field
Cement	316	316
Water	193	145
Coarse Agg.	1110	1127
Fine Agg.	728	759
Total	2347	2347

BETONDA KARIŞIM HESAPLARI

- Beton karışımının saptanmasında iki aşama vardır. Birinci aşamada beton bileşimlerinin miktarları teorik yollardan veya tablolardan yararlanarak

hesaplanır. Đkinci aşamada, saptanan değerlerle örnek betonla r üretilir. Taze betonun işlenebilirliği, sertleşmiş betonun istenen dayanımı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Đstenen sonuç elde edilmemişse gerekli düzeltmeler yapılır ve üretim için kesin değerler bulunur.

Slamp seçimi

Table 14.5 Recommended Slumps for Various Types of Construction

Type of Construction	Slump, mm	
	Maximum	Minimum
Reinforced foundation walls	75	25
Reinforced footings	75	25
Plain footings	75	25
Substructure walls	75	25
Pavement and slabs	75	25
Mass concrete	50	25
Building columns	100	25
Beams	100	25
Reinforced walls	100	25

Örnek

Sık sık ıslanarak , çok soğuk hava koşullarına maruz kalacak bir beton için, 28 günlük basınç dayanımının 30 MPa. ve çökme değerinin 75 - 100 mm olması hedeflenmektedir.

PÇ 32.5 tip çimento kullanılacaktır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.15 tir.

Beton yapımı için kullanılacak agrega üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

	İri Agrega	İnce Agrega
Maksimum agrega tane boyutu	25 mm	-
Özgül ağırlık, (doygun, yüzey-kuru)	2.65	2.55
Su emme	%1.5	%1.5
Mevcut su miktarı	%1.0	%4.5

Standardlara uygun gradasyondaki agregada, ince agrega ağırlığı (doygun, yüzey-kuru) / toplam agrega ağırlığı (doygun, yüzey-kuru) = 0.4 olarak bulunmuştur.

Çözüm

Malzeme Oranlarının Hesaplanması

1) Çökme değeri

75 - 100 mm (yukarıda verilmiştir)

2) En büyük agrega tane boyutu

25 mm (yukarıda verilmiştir)

3) Su ve hava miktarı

Sık sık ıslanma ve donma koşullarına (şiddetli ortam'a) maruz kalacak betonların, "hava sürüklenmiş beton" olarak üretilmesi gerekmektedir.

Hava sürüklenmiş beton için,

Çizelge 9.4 Hava Sürüklenmiş Beton Karışımlarda Karma Suyu İhtiyacı ve Hava Miktarı

Çökme, mm	Su Miktarı, kg/m³ (Maksimum Agrega Tane Boyutu, mm)						
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75
~~25-50~~	181	175	168	~~160~~	150	142	122
75-100	202	193	184	175	165	157	133
~~150-175~~	216	205	197	~~184~~	174	166	154
Betonun kullanılacağı ortama göre Toplam Hava Miktarı, %							
Hafif Şiddetteki Ortam*	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
Orta Şiddetteki Ortam**	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
Şiddetli Ortam***	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5

* **Hafif Şiddetteki Ortam**-- Bu ortam, hava sürüklenmiş betonun ıslanma ve soğuk havaya maruz kalmayacağı, betonun, daha ziyade yapının iç kısımlarında kullanılacağı ortamdır. Böyle bir beton için gereken sürüklenmiş hava, dayanıklılık sağlamak için değil, işlenebilmeyi artırmak için kullanılmaktadır.

** **Orta Şiddetteki Ortam**-- Bu ortam, betonun zaman zaman ıslanarak doygun hale geldiği soğuk hava ortamı veya, zaman zaman buz çözücülere maruz kaldığı ortamdır. Yapının dış yüzündeki kirişler, kolonlar veya ıslak zemin ile daimi temasta olmayan döşemelerdeki betonlar böyle bir ortama maruz kalabilecek betonlardır.

*** **Şiddetli Ortam** -- Bu ortam, betonun sık sık ıslanarak doygun hale geldiği ve soğuk hava koşullarına maruz kaldığı, veya beton yüzeyindeki buzların çözülebilmesi için buz çözücü kimyasal tuzların uygulanmasını zoruniu kılan ortamdır. Yol betonları, köprüler,kaldırımlar, kanal astarları veya su tanklarının dış yüzeyleri için kullanılan betonlar böyle bir ortama maruz kalabilecek betonlardır.

Su = 175 kg/m³

Hava = %6

Çizelge 9.5 Su/Çimento Oranları İle Beton Basınç Dayanımları Arasındaki İlişki

28. Gündeki Basınç Dayanımı, MPa	Su/Çimento Oranı (ağırlıkça)	
	Hava Sürüklenmemiş Beton	Hava Sürüklenmiş Beton
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

S/Ç = 0.45

5) Çimento miktarı

S/Ç = 0.45 ve S = 175 kg/m³ olduğuna göre,

Çimento miktarı = 175/0.45 = 389 kg/m³

6 ve 7) Agrega ağırlıkları

Agregalar dışındaki hacimler,

Su	(0.175/1) ...	0.175 m³
Çimento	(0.389/3.15) ...	0.123 m³
Hava	.....	0.060 m³
Toplam		0.358 m³

Toplam agrega hacmi 1 - 0.358 = 0.642 m³

Toplam agrega hacmi 1 - 0.358 = 0.642 m³

Toplam agrega ağırlığı = W_T

İnce agrega ağırlığı = 0.40 W_T

İri agrega ağırlığı = 0.60 W_T

Doygun, yüzey kuru (dyk) durumdaki hacimler ve ağırlıklar:

İnce agrega hacmi (dyk) $0.40\ W_T / 2.55 = 0.1569\ W_T$

İri agrega hacmi (dyk) $0.60\ W_T / 2.65 = 0.2264\ W_T$

$0.1569\ W_T + 0.2264\ W_T = 0.642$
$W_T = 1.675\ ton/m^3$
$W_T = 1675\ kg/m^3$

İri agrega ağırlığı (dyk) = $1675 \times 0.60 = 1005\ kg/m^3$

İnce agrega ağırlığı (dyk) = $1675 \times 0.40 = 670\ kg/m^3$

Malzeme ağırlıkları

Su	175 kg/m³
Çimento	389 kg/m³
İri agrega (dyk)	1005 kg/m³
İnce agrega (dyk)	670 kg/m³
	2239 kg/m³

İri agrega hava kurusu durumdadır. Doygun, yüzey-kuru duruma gelebilmesi için, ağırlığının % 0.5' i kadar suyu karma suyundan emecektir.

İnce agrega ıslak durumdadır. %3 fazla (serbest) su içermektedir.

Bu durumda, doygun yüzey-kuru durum için,

İri agreganın su ihtiyacı = $0.005 \times 1005 = 5\ kg/m^3$

İnce agregadaki serbest (fazla) su = $0.03 \times 670 = 20\ kg/m^3$

Mevcut su durumlarına göre agrega ağırlıkları,

Hava kurusu durumdaki iri agrega ağırlığı 1005-5=1000 kg/m^3

Islak durumdaki ince agrega ağırlığı 670+20 = 690 kg/m^3

Karma suyu (net) miktarı,

175 + 5 - 20 = 160 kg/m^3

Karma suyu (net)	160 kg/m^3
Çimento	389 kg/m^3
İri agrega (hava kurusu)	1000 kg/m^3
İnce agrega (ıslak)	690 kg/m^3
Toplam	2239 kg/m^3

Beton Test Çekici

Beton test çekicinin uygulanmasında, aletini içerisinde yer alan bir kütle vasıtasıyla sertleşmiş betonun yüzeyine darbe vurulmaktadır. Yaylı bir sisteme bağlı olan kütle, geri sıçramaktadır. Kütlenin ne kadar geri sıçradığı, alet üzerindeki bir göstergeden sayısal olarak ölçülebilmektedir. Dogal olarak, daha sert yüzeylere sahip olan betonlarda, kütlenin geri sıçraması daha çok olmaktadır.

Beton yüzeyinin sertliği ile betonun basınç dayanımı arasmdaki ilişkiyi ilk olarak araştıran E, Schmidt, deneylerinde 700 adet 20 cm boyutlu beton küp numune kullanmıştır. Değişik şantiyelerdeki betonlardan elde edilen küp numuneler, değişik su/çimento oranlanyla, değişik özeliklerdeki agregalarla üretilmiş ve yaşları 7 ile 90 gün arasmda olan numuneler olarak seçilmiştir. Önce, bu numunelerin herbirinin yüzeyindeki değişik bölgelere beton test çekici ile 20'şer darbe vurularak her numune üzerinde elde edilen geri sıçrama değerlerinin ortalaması bulunmuştur.Daha sonra, her numune, deney presi vasıtasıyla kırılma deneyine tabi tutulmuş ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Daha sonra da, deney presi kullanarak bulunan basınç dayanımları ile beton test çekici uygulamalarından elde edilen ortalama geri sıçrama değerleri arasında korelasyon kurulmuştur.

Sertleşmiş beton yüzeyine beton test gekiciyle darbe uygulayarak geri sıçrama değerleri elde edildiği takdirde, bu değerlerin ortalaması kullanılarak, betonun sahip olduğu basınç dayanımı değerini yaklaşık olarak tahmin edebilmek mümkün olmaktadır.

Beton test çekici ile ölçüm yapabilmek için belirli boyutlardaki numunelerin kullanılması şart değildir. Bir başka değişle, beton test çekici ile yapıdaki betonun yüzey sertliği, ve buna bağlı olarak basınç dayanımı ölçülebilmektedir.

Beton test çekicinin uygulanmasıyla betonda çatlama veya kırılma oluşmamaktadır. Yani, bu yöntem "hasarsız deney yöntemi"dir.

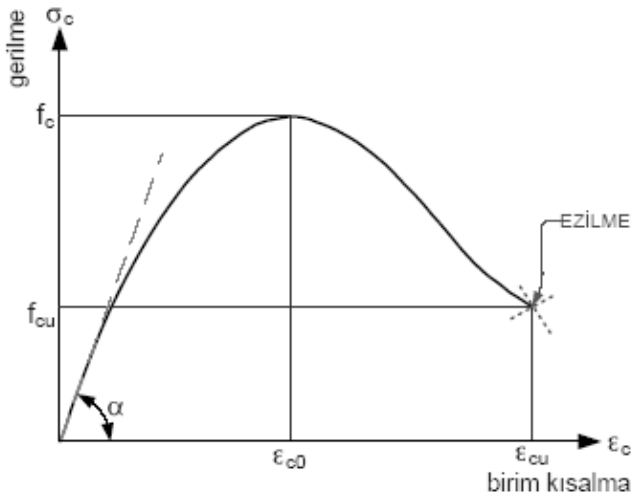
TS 3260 ve ASTM C 805 no.lu standardlar, beton test çekici ile geri sıçrama sayılarının nasıl elde edildiklerini açıklamaktadır [263,264].

Kaynak Kitaplar

1.) Yapı Malzemesi-II (Bülent BARADAN) DEÜ
2.) Yapı Malzemesi ve Beton (M. Selçuk GÜNER, Veli SÜME)
3.) Yapı Malzemesi (Bekir POSTACIOĞLU)
4.) Yapı Malzemesi Problemleri (Bekir POSTACIOĞLU)
5.) Betonu Oluşturan Malzemeler ÇİMENTOLAR (Turhan Y. ERDOĞAN)
6.) Betonu Oluşturan Malzemeler AGREGALAR (Turhan Y. ERDOĞAN)
7.) Betonu Oluşturan Malzemeler KARIŞIM ve BAKIM SULARI (Turhan Y. ERDOĞAN)
8.) Yapı Malzemesi (Süheyl AKMAN)
9.) Beton :Cilt 1 - Çimento, Cilt 2 - Agrega, Beton (Bekir POSTACIOĞLU)
10.) Her Yönüyle Hazır Beton (Set Beton)
11.) İlgili Standartlar, TSE
12.) http://ekutup.dpt.gov.tr/

BÖLÜM 4
BETONARME

Betonun Basinç Gerilmesi-Şekil Değiştirme (σ_C-ε_C) Eğrisi



f_c : max gerilme (dayanım)
f_{cu} :kırılma (ezilme) gerilmesi
c_o :max gerilmeye karQlik gelen birim kısalma
ε_{cu} :kırılma anındaki birim kısalma
E_c =tan α: (betonun elastisite modülü)

Standart bir beton numunenin (çap: 150 mm, yükseklik: 300 mm) basınç deneyi sonucunda elde edilen gerilme-birim kısalma eğrisi yukarıda verilmişir. Betonun ulaşabildiği en büyük f_c gerilmesine kadar gerilme arttıkça birim kısalma da artmaktadır. Sonra gerilme düşmeğe fakat birim kısalma hızla artmaya devam etmektedir. Birim kısalma ε_{cu}'ya ulaşınca beton ezilmektedir (kırılma). Kırılma anındaki gerilme f_{cu} en büyük f_c gerilmesinden küçüktür. f_c'ye betonun dayanımı, ε_{cu}'ya betonun kırılma birim kısalması denir. ε_{cu} büyükse beton sünek (çok deformasyon), küçükse gevrek (az deformasyon) anlamındadır.
$\varepsilon_{co}\approx$ 0.002-0.0025, $\varepsilon_{c}u\approx$ 0.0025-0.007 arasında değişir ve $\varepsilon_{co} < \varepsilon_{cu}$'dur. Genelde $\varepsilon_{co}\approx$ 0.002, $\varepsilon_{cu}\approx$ 0.003 alınır.

Beton f_c ile gösterilen en büyük gerilmeye ulaştığında kırılmaz, ε_{cu} ile gösterilen belli bir deformasyona ulaşınca kırılır. Demek ki beton gerilmenin büyük olması nedeniyle değil, deformasyonun büyük olması nedeniyle kırılır.

Betonun en büyük f_c gerilmesi altında kırılmaması şöyle açıklanır:
f_c max gerilmesine ulaşıldığında bazı lifler ε_{co} kısalmasına uğrar. Ancak, bu sırada daha az zorlanan lifler devreye girerek gerilme almaya başlarlar. Max gerilmeye ulaşmış liflerde gerilme düşer fakat kısalma devam eder, yapabileceği en büyük ε_{cu} birim kısalmasına ulaşnca ezilir. Bu davranışa betonda uyum veya gerilme uyumu adı verilir. Az zorlanan lifler çok zorlanan ve gücü tükenmek üzere olan liflerin yardımına koşar şeklinde yorumlanabilir.
Grafikten görüldüğü gibi, σ_c-ε_c eğrisi doğrusal değildir. Bu da betonun lineer elastik bir malzeme olmadığı, HOOKE kanununun geçersiz olduğu anlamına gelir.

BETON-MEKANİK ÖZELLİKLER

Tanımlar:
f_c :beton basınç dayanımı
f_{ck} :beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk} :beton karakteristik çekme dayanımı
E_c :beton elastisite modülü
G_c :beton kayma modülü
μ_c :poisson oranı
α_c :sıcaklık birim şekil değiştirme (genleşme) katsayısı
f_{ckj} :j günlük betonun karakteristik basınç dayanımı

E_{ci} :j günlük betonun elastisite modülü
G_{ci} :j günlük betonun kayma modülü

Karakteristik dayanım ?

TS500/2000' e göre:

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \text{ N/mm}^2$$

$$G_{cj} = \frac{E_{cj}}{2(1+\mu_c)}$$

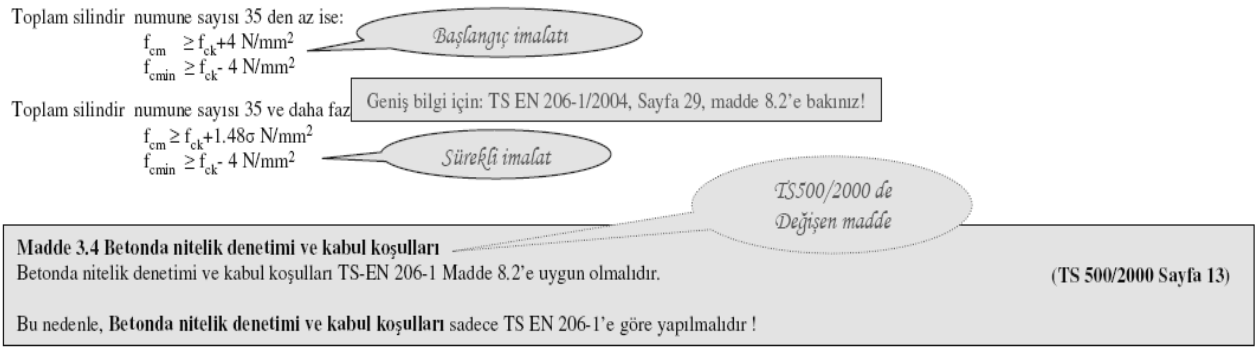
$$\mu_c = 0.2 \quad sabit$$
$$\alpha_c = 10^{-5} \quad 1/^0C \quad sabit$$
$$G_{cj} = \frac{E_{cj}}{2(1+0.2)} = 0.417\ E_{cj} \approx 0.40\ E_{cj}$$

KARAKTERİSTİK DAYANIM

Projede öngörülen betonun basınç dayanımına karakteristik basınç dayanımı denir. Ancak, üretilen betonun gerçek basınç dayanımının öngörülenden daha düşük olma olasılığı (riski) vardır. Bu olasılık TS500/2000'e göre enfazla %10 olmalıdır. TS EN 206-1/2004'e göre ise bu olasılık daha düşük olmalıdır!

T500/2000 için daha basit bir anlatım yolu seçelim: Diyelim ki dayanımı 20 N/mm^2 olan beton yapmak için karışım hazırladık ve 100 adet numune aldık. 28. gün sonunda yapılan basınç deneyinde en az 90 numunenin dayanımı en az 20 N/mm^2 olmalıdır. Dayanımı 20 N/mm^2'nin altında olan numune sayısı en fazla 10 olmalıdır.

Üretilmiş betonda nitelik denetimi ve kabul koşulları:
Betonun uygun olup olmadığı TS-EN 206-1 Madde 8.2'e göre yapılır. Projede öngörülen betonun karakteristik dayanımı f_{ck}, üretilen betondan alınan numunelerin basınç deneyi sonucunda bulunan ortalama dayanımı f_{cm}, en değişik dayanım f_{cmin} ve standard sapma σ olsun.



Üretilecek ve hazır betonun temin edilemediği inşaatlarda:
Üretilecek betonun f_{ck} değeri önceden bilinir (projeden). Ancak, standard sapma σ üretim öncesi bilinmez. Bu durumda, üretilecek betonun ortalama dayanımı
C16-C20 betonları için $f_{cm} \geq f_{ck}$+5 N/mm^2 (olasılık % 10)
C25-C35 betonları için $f_{cm} \geq f_{ck}$+8 N/mm^2 (olasılık % 5)

C40-C50 betonları için $f_{cm} \geq f_{ck}+10\ N/mm^2$ (olasılık % 2.5)

olacak şekilde karışım hazırlanması yoluna gidilebilir (ERSOY/ÖZCEBE S.164).

TS 500/2000 de tanımlı betonların mekanik özellikleri (28 günlük standart değerler)
(TS 500/2000, S. 11 Benzeri: ERSOY/ÖZCEBE, Sayfa 50)

BETON SINIFLARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ (28 GÜNLÜK BETON)

Beton Sınıfı	f_{ck} N/mm²		f_{ctk} N/mm²	E_c N/mm²	$G_c \approx 0.4E_c$ N/mm²	μ_c	α_c 1/C°
	Silindir	Küp (15x15x15)					
C16	16	20	1.4	27000	10800	0.20	10^{-5}
C18	18	22	1.5	27789	11116	0.20	10^{-5}
C20	20	25	1.6	28534	11414	0.20	10^{-5}
C25	25	30	1.8	30250	12100	0.20	10^{-5}
C30	30	37	1.9	31800	12720	0.20	10^{-5}
C35	35	45	2.1	33227	13291	0.20	10^{-5}
C40	40	50	2.2	34555	13822	0.20	10^{-5}
C45	45	55	2.3	35802	14321	0.20	10^{-5}
C50	50	60	2.5	36981	14792	0.20	10^{-5}

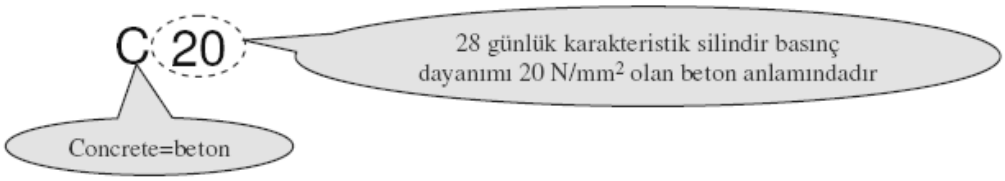
$E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000$ Bağıntısından hesaplanmıştır. TS 500/200 de bu değerler yuvarlatılmıştır. Her iki değer de kullanılabilir.

Kullanımı giderek azalan betonlar

Uygulamada yaygın kullanılan betonlar

Nadiren kullanılan betonlar

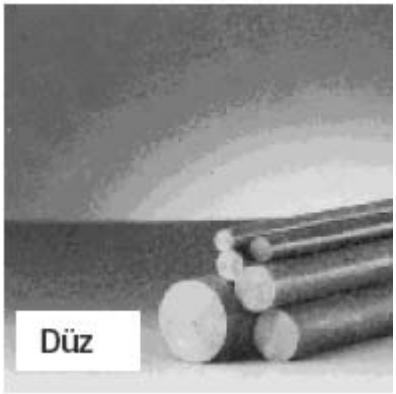
Hemen hiç kullanılmayan betonlar



•Betonun basınç dayanımı yüksektir.
•Betonun çekme dayanımı çok düşüktür, çoğu kez sıfır kabul edilir.
•C20-C35 betonları uygulamada yaygın olarak kullanılırlar.
•C40-C50 betonları özel şartlarda üretilirler ve nadiren (örneğin: yüksek yapı, gökdelen, köprü imalatında) kullanılırlar.
•Deprem Bölgelerinde C20'den daha düşük kalitede beton kullanılmaz.
•C20'den daha düşük dayanımlı betonların taşıyıcı elemanlarda (kiriş kolon, döşeme) artık kullanılmaması gerekir.
•Büyük şehirlerde C25, C30 ve C35 betonlarının kullanımı giderek artmaktadır.

ÇELİK

Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan çekme bölgelerindeki çekme kuvvetlerini almak ve çatlakları sınırlamak amacıyla bu bölgelere çelik çubuklar konur. Ayrıca, sargı donatısı olarak ve bazen basınç kuvveti almak için de kullanılır. "İnşaat çeliği", "betonarme çeliği" denildiği gibi beton içindeki çeliği "donatı" da denir.

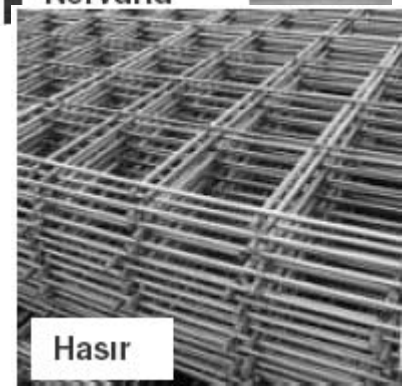


Betonu "donatmak" fikri 1850 yılında dönüşür. İlk uygulamaları demir teller ile donatılı beton kayık, saksı ve borulardır. Demir tel yerini zamanla demir çubuklara bıraktı. 1900 yıllarına kadar çelik değil demir çubuklar kullanıldı. Günümüzde sadece çelik kullanılmasına rağmen, uygulamada "Demir" ve "Demirci" kelimesi hala yaygın olarak kullanılmaktadır.



Çelik çubuklar dairesel kesitlidir. Yüzeyi düz veya pürüzlü (girintili-çıkıntılı) üretilirler. Pürüzlü olanlara "nervürlü" veya "Profilli" çelik denir.

Nervürlü çeliğin dayanımı yüksektir ve beton ile daha iyi kenetlenir. Nervürler bir olta gibi davranır, çeliğin beton içinden sıyrılması zorlaşır. Günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.



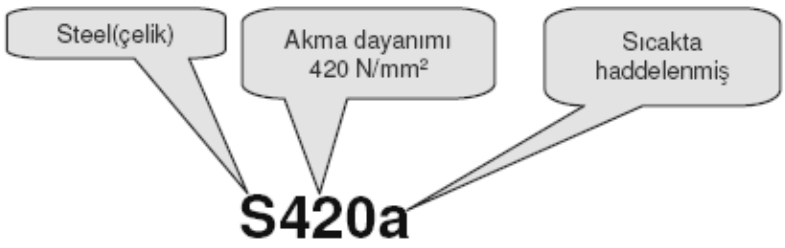
Düz yüzeyli çeliğin dayanımı düşüktür ve beton ile kenetlenmesi iyi değildir, kolayca sıyrılır. Bu nedenle kullanımı giderek azalmaktadır, 2007 deprem yönetmeliği kullanımını kısıtlamıştır. Uygulamada da artık çok nadir görülmektedir.

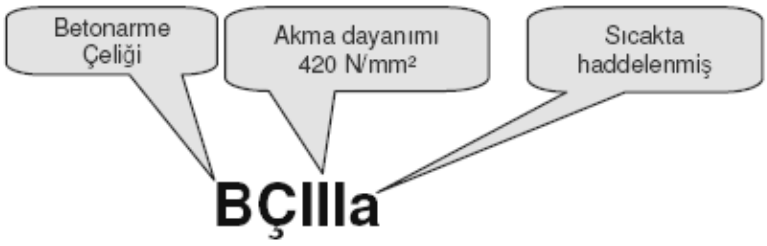
Nervürlü çelik çubukların ağ şeklinde birbirine kaynaklanmasıyla fabrikada üretilen çeliklere "hasır çelik" denir. Döşeme, tünel kaplaması, beton yol gibi büyük yüzeyli elemanlarda kullanılır, işçilik azdır.

ÇELIK SINIFI TANIMI (TS708/1996)

Üretim yöntemine göre sınıflandırma:
•Sıcak haddeleme[1] işlemi ile üretilen, simgesi: **a**
•Sıcak haddeleme esnasında ısıl işlem uygulanarak üretilen, simgesi: **a**
•Soğuk mekanik işlem (soğuk haddeleme, burma) uygulanarak üretilen, simgesi: **b**
En küçük akma sınırı gerilmesine göre sınıflandırma:
•En küçük akma sınırı 220 N/mm^2 olan çelik, simgesi: **I**
•En küçük akma sınırı 420 N/mm^2 olan çelik, simgesi: **III**
•En küçük akma sınırı 500 N/mm^2 olan çelik, simgesi: **IV**
Yüzey özelliklerine göre:
•Düz yüzeyli çelik, simgesi: **D**
•Nervü[1]rlü çelik, simgesi: **N**
•Profilli çelik, simgesi: **P**

[1] Hadde: Madenleri tel durumuna getirmek için kullanılan ve türlüç çapta delikleri olan çelik araç.
Haddelemek: Madenleri haddeden geçirerek birtakım işlemler sonucu, istenilen biçime getirmek (Türk Dil Kurumu).

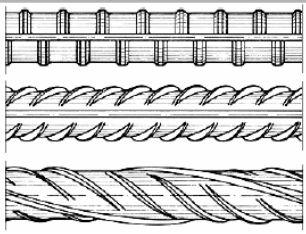


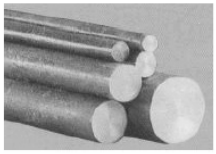


Türkiye'de üretilen nervürlü ve düz yüzeyli çelikler



Nervürlü olarak S420a, S420b, S500a, S500b çelikleri üretilmektedir. 220 N/mm² dayanımlı nervürlü çelik yoktur.





Düz yüzeyli olarak sadece S220a çeliği üretilmektedir.



Hasır çelik TS 4559/1985



Kullanıldığı yerler:
- Döşemelerde
- Perdelerin gövdelerinde ve istinat duvarlarında
- Tünel kaplamalarında
- Yol ve saha kaplama betonlarında

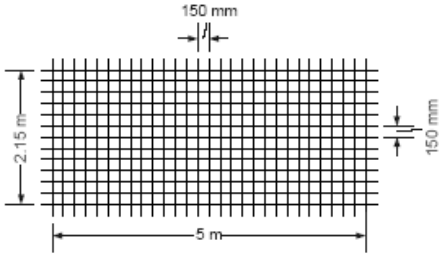
Projede gösterilişi:



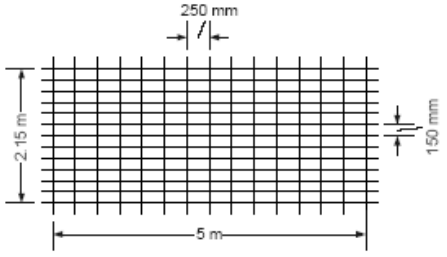
Standart Hasır Boyutları:

Kare (Q) veya dikdörtgen (R) gözenekli olarak, S500bs veya S500bk çelik çubukları kaynaklanarak üretilirler.

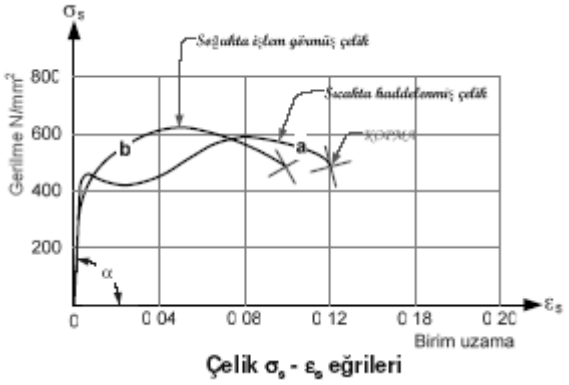
Q TİPİ HASIR (150x150 mmxmm kare gözenekli):



R TİPİ HASIR (150x250 mmxmm dikdörtgen gözenekli):



BETONARME ÇELİĞİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ



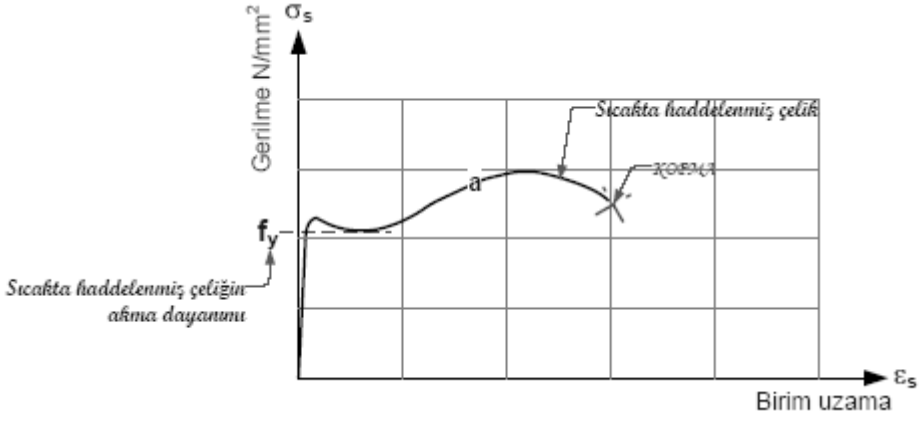
Çelik σ_s - ε_s eğrileri

Tanımlar:
f_y : çelik akma dayanımı
f_{yk} : çelik karakteristik dayanımı
f_{su} : çelik kopma dayanımı
ε_{sy} : çelik akma deformasyonu
ε_{su} : çelik kopma deformasyonu
μ_c : çelik birim deformasyonu
σ_s : çelikteki gerilme
ε_s : çelik birim deformasyonu
E_s : çelik elastisite modülü

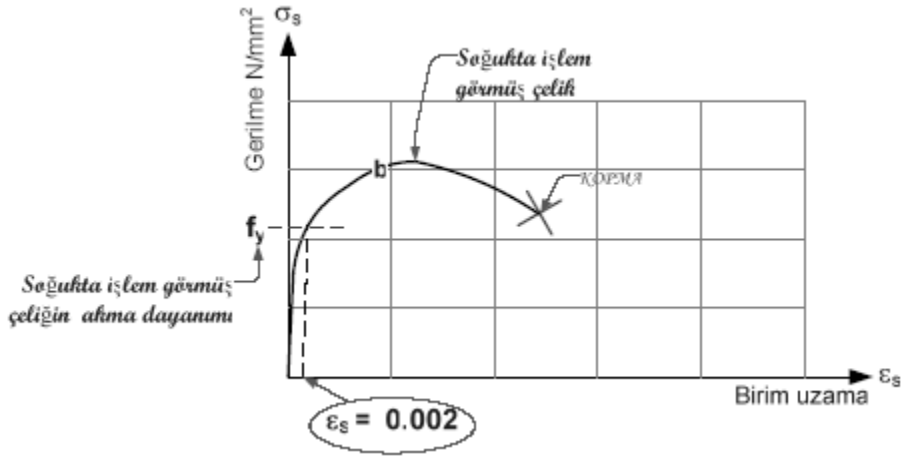
- Sıcakta haddelenmiş çelik (a) daha sünektir.
- Soğukta işlem görmş çelik (b) gevrektir.
- Sıcakta haddelenmiş çeliğn akma eşiği belirgindir. Soğukta işlem görmüş çelikte ise akma sınırı gözlenemez.
- Her iki tür çelik de akma dayanımına kadar lineer-elastik davranır. Bu bölgede HOOKE kanunu geçerlidir: $\sigma_s = E_s . \varepsilon_s$
- Çelik aktıktan sonra, HOOKE geçersizdir. Gerilme ile birim deformasyon arasında hiçbir bağıntı yoktur.
- Tan $\alpha = E_s$ çeliğin elastisite modülüdür.

Soğukta işlem görmüş çelik (b) gevrektir, deprem bölgelerindeki yapıların kiriş, kolon ve perdelerinde kullanılmamalıdır.

AKMA DAYANIMININ TANIMI

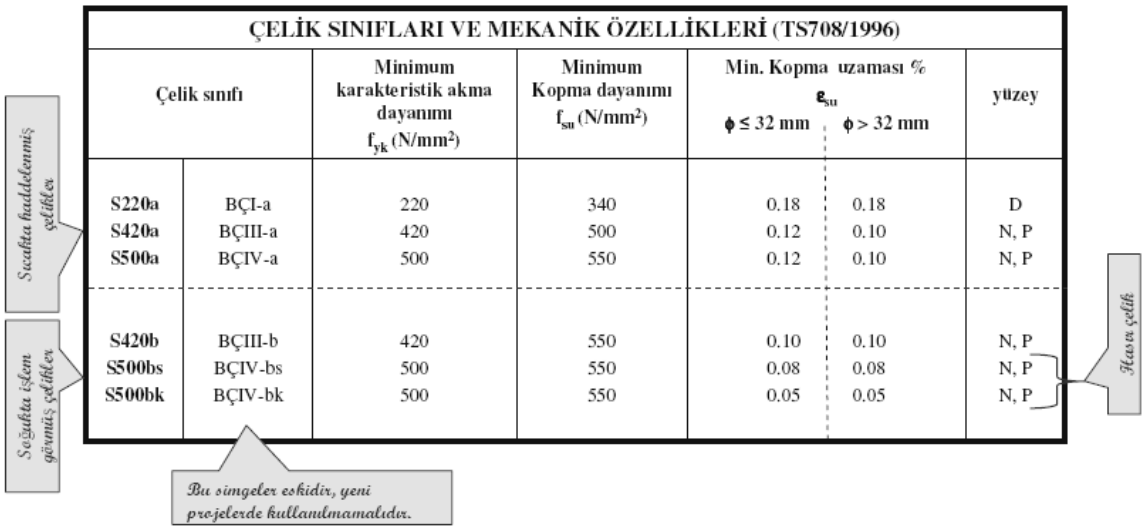


Akma dayanımı tanımı:
Sıcakta haddelenmiş gelişen akma eşiğine karşılık gelen gerilme akma dayanımı olarak alınır.



Soğukta haddelenmiş çeliğin, belirgin bir akma noktası olmadığından, akma dayanımı şöyle belirlenir:
Çekme deneyi yapılır, σ_s - ε_s eğrisi çizilir. 0.002 kalıcı deformasyonundan çıkış doğrusuna paralel çizilir. Paralelin b eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen gerilme soğukta işlem görmüş çeliğin akma dayanımı olarak alınır.

Betonarme Çeliği Siniflari (TS 708/1996, TS 500/2000)



ÇELİK SINIFLARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ (TS708/1996)

Çelik sınıfı		Minimum karakteristik akma dayanımı f_{yk} (N/mm²)	Minimum Kopma dayanımı f_{su} (N/mm²)	Min. Kopma uzaması % ε_{su} $\phi \le 32$ mm	$\phi > 32$ mm	yüzey
S220a	BÇI-a	220	340	0.18	0.18	D
S420a	BÇIII-a	420	500	0.12	0.10	N, P
S500a	BÇIV-a	500	550	0.12	0.10	N, P
S420b	BÇIII-b	420	550	0.10	0.10	N, P
S500bs	BÇIV-bs	500	550	0.08	0.08	N, P
S500bk	BÇIV-bk	500	550	0.05	0.05	N, P

- Etriye, çiroz ve döşme donatısı dışında, nervürsüz donatı kullanımı yasaktır. (DY-2007 , Madde 3.2.5.3).
- Kolon, kiriş ve perdelerin uçlarındaki kolon kısmında dayanımı 420 N/mm^2'den yüksek çelik kullanılamaz (DY-2007, Madde 3.2.5.3).
- S220'a dayanımı ve aderansı en düşük olan çeliktir. Kiriş, kolon ve perdelerde boyuna donatı olarak kullanılmaz.
- Deprem bölgelerinde soğukta işlem görmüş çelik (b) kullanılmamalıdır.
- Süneklik ve dayanım dikkate alındığında, S420a en uygun çelik olarak gözükmektedir.
- S420a ve S500a çeliklerinde ϕ>32 mm çaplı çubukların kullanımından kaçınılmalıdır (gevrek !).
- Kalın çaplı çelik ince çaplı çelikten daha gevrektir.

Çelik – Diğer Bilgiler

Mekanik özellikler:
Elastisite modülü: $E_s=2x10^5$ N/mm^2
Poisson oranı ν=0.30
Birim sıcaklık genleşme katsayısı: $\alpha_s=10^{-5}$ 1/c°
Kütle : ρ=7850 kg/m^3

Piyasaya arz:
Sıcakta işlem görmüş a sınıfı çelikler: Çapları 12 mm'den küçük olanlar kangal, firkete veya çubuklar halinde, 12 mm ve daha kalın olanlar firkete veya çubuk olarak pazarlanır.

Soğukta işlem görmüş b sınıfı çelikler: Sadece çubuklar halinde pazarlanırlar.

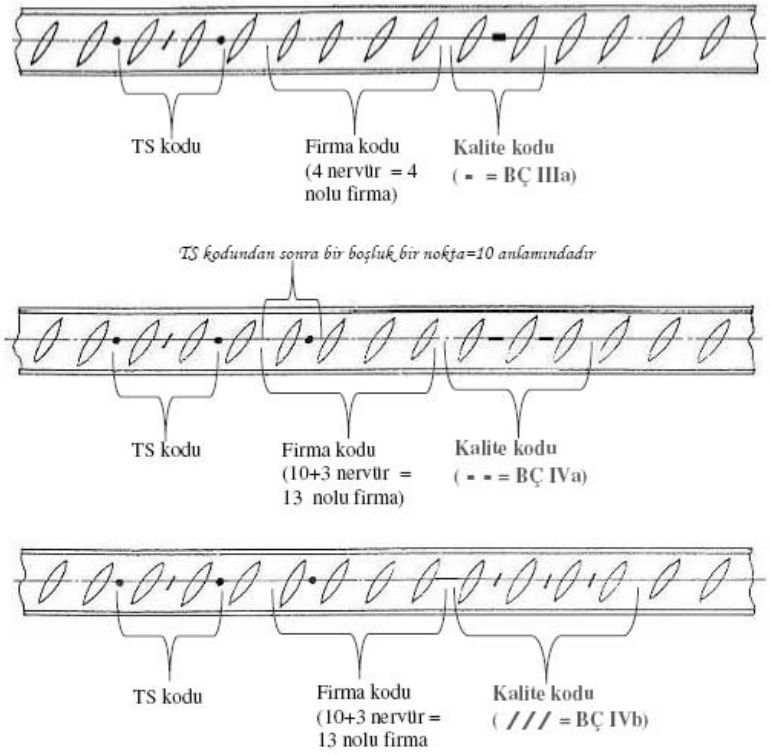
Boy:
Standardlarla belirlenmiş bir boy yoktur. Çubuklar yaygın olarak 12 m boyunda piyasaya arz edilir.

Çap:
BÇI-a : 6, 8,...,22, 24, 25, 26, 28 mm
BÇIII-a, BÇIII-b ve BÇIV-a: 6, 8,..., 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 40, 50 mm
BÇIV -b: 4, 4.5, 5, 5.5,..., 11, 11.5, 12, 14, 16 mm

Depolama:
Paslanmayı önlemek için, üstü kapalı sundurma altında saklanmalıdır. Zorunlu hallerde 1 yıl kadar açıkta da depolanabilir.
Kabuk atacak kadar paslı çelik kullanılmamalıdır (düşük aderans !)
Paslanmayı önlemek amacıyla çelik kesinlikle boyanmamalı ve yağlanmamalıdır (düşük aderans !)

İşaretleme:
Düz yüzeyli çelik **BÇ Ia** (**S220a**) dır. TS 708/1996 ya göre, nervürlü çelik çubuklar üzerinde, her iki metrede bir, çelik kalitesini (Çelik sınıfını) gösteren işretleme olmak zorundadır. Bir yatay çizgi - BÇ IIIa (S420a) çeliğini, birbirini izleyen iki yatay çizgi -- BÇ IVa (S500a) çeliğini ve birbirini izleyen üç eğik bölü çizgisi /// BÇ IVb (S500b) çeliğini simgeler. Üzerinde TS ve firma kodu bulunan fakat kalite kodu olmayan nervürlü çubuklar BÇ IIIb (S420b) çeliğidir.

Üzerinde hiçbir kod olmayan çelikler muhtemelen korsan üretimdir ve genelde çok gevrektirler. Kullanımından şiddetle kaçınılmalıdır.

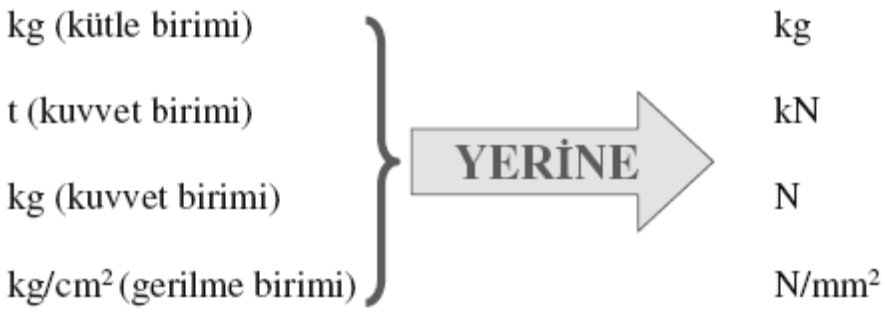


Geniş bilgi için TS 708/19
Sayfa 20 ve 21 e bakınız.

Projelerinizde:
- Beton sınıfını küp dayanımı ile birlikte veriniz.
- Çelik sınıfında a veya b simgesini mutlaka yazınız. b sınıfı çelikten şiddetle kaçınınız.
- BÇ simgesi eskidir, kullanmayınız.
- SI biriminde çalışınız.

ÖRNEK:





BETONARME

Beton+çelik+iyi mühendislik+iyi işçilik+iyi bakım→Betonarme

Betonarme, çoğu kez, beton ile çeliğin beraber kullanımı olarak tanımlanır. Bu tanım çok basittir ve betonarme malzemeyi tanımlamaya yetmez. Betonarme mühendislik bilgisi gerektirir. Bir malzemeye betonarme diyebilmek için çeliğin gerektiği kadar, doğru yere, doğru biçimde konulması, özenli işçilik ve bakım gerekir.

Bilindiği gibi; betonun basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise çok düşüktür. Çekme kuvvetleri betonu çatlatır. Betonarme elemanlarda çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine çelik çubuklar (donatı) konur. Betonarmede beton ile çeliğin birbirine kaynaşmış olarak birlikte çalışması şarttır. Buna kenetlenme (aderans) denir. Kenetlenme betonarmenin temel koşuludur. Mühendis kenetlenmeyi sağlamakla yükümlüdür. Kenetlenmenin sağlanmadığı durumda, hesap ve çizimler ne kadar özenli yapılırsa yapılsın, sonuç felakettir. Çünkü; çelik betondan sıyrılacak, çekme kuvveti alamayacak, beton çatlayacak ve göçme olacaktır.

Betonarmenin kullanıldığı yerler

•Çok katlı yapı
•Her tür yapı için temel
•Köprü
•Baraj
•İstinat duvarı
•Tünel

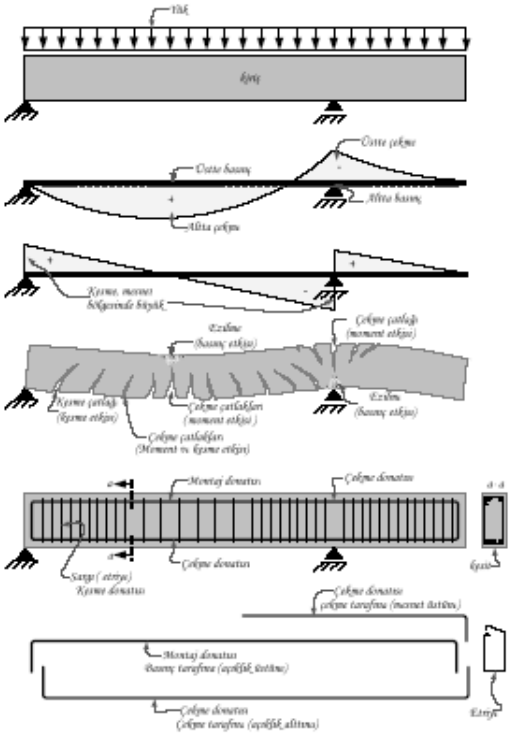
•Viyadük
•Yol, hava alanı kaplaması
•Bordür ve parke taşı
•Elektrik direği
•Kazık, keson (temel)
•Bacalar (fabrika, termik santral)
•Çit
•Travers
•Temiz ve atık su borusu (büz)
•Su deposu
•Arıtma tesisi
•Su kanalı
•Bot, gemi
•Silo
•Nükleer reaktör zırhı
•Nükleer atık depoları
•Sanat eserleri (heykel)

Betonarmenin avantajları

•Kolay işlenip şekillendirilebilir.
•Ekonomiktir. Ana malzemesi (agrega, su) yerel olarak bulunur. Az enerji gerektirir.
•İnşasında diğer yapılara nazaran (ahşap, çelik) büyük özen gerekmez.
•Kalifiye eleman gerektirmez.
•Basınç dayanımı yığma yapı elemanlarına (ahşap, tuğla, gazbeton) nazaran yüksektir.
•Çelik ve ahşaba nazaran, yangına daha dayanıklıdır.
•Çelik yapıya nazaran daha rijit olduğundan büyük yer değiştirmeler olmaz.
•Korozyon tehlikesi azdır.
•Bakımı kolay ve yok denecek kadar azdır.
•Kullanım ömrü uzundur.
•Ani göçme olmaz, göçme olacağını haber verir.

Betonarmenin dezavantajları
•Çekme dayanımı düşüktür, çelik kullanılması gerekir.
•Çeliğin zayıf tarafları (yangına, pasa dayanıksız) betonarmeye yansır.
•Kalıp ve iskele pahalıdır, kalıp yapımı özen ister.
•Ağır yapılar oluşur (depremde sakıncalı). Taşıyıcı sistem faydalı yükten çok, öz ağırlığını taşımak zorundadır.
•Yeterli dayanım kazanıncaya kadar özenli bakım (kür) gerekir (ilk 7-14 gün).
•Gökdelen gibi çok yüksek yapılar in inşa edilemez.
•Prefabrik inşa imkanları kısıtlıdır.
•Şantiyede beton imalatı zordur ve büyük özen gerektirir.
•Her tür hava şartında beton dökülemez, inşaat mevsimi kısadır.
•Hasar onarımı zor, pahalı ve çoğu kez imkansızdır.
•Mevcut yapının donatı miktarı, dayanımı kesin belirlenemez.
•Kullanım ömrünü tamamlayan yapının yıkılması pahalıdır, çıkan malzeme tekrar değerlendirilemez ve çevre kirliliği yaratır.

Donatının Gereği



Deformasyondan önce

Moment

Kesme

Deformasyondan sonra:
- Çekme bölgeleri çatlar
- Basınç bölgeleri ezilir
- Kiriş göçer

Önlem:

- Çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine **boyuna donatı** konur.
- Kesme çatlaklarını sınırlamak için **sargı donatısı (etriye)** konur. Etriye mesnetlere yakın bölgelerde ve konsollarda sıklaştırılır.
- Basınç bölgelerine teorik olarak donatı gerekmez. Ancak, etriyeyi sarabilmek için, **montaj donatısı** konur.
- Mesnetlere, açıklıklardan gelen donatılar yeterli olmazsa, **ek donatı** konur.
- ***Oluşması beklenen çatlaklar donatı ile önceden "dikilmektedir" denilebilir.***

Yapı güvenliği-malzeme katsayıları, yük birleşimleri

Betonarme bir elemanın güvenli olması için onun dayanımı (taşıma gücü) en az o elemandaki yük etkisi kadar olmalıdır:

$$R_d \geq F_d$$

R_d: Tasarım(hesap) dayanımı.
Moment, kesme kuvveti, eksenel kuvvet v.b. etkilere karQ elemanin gösterebildiği taQma gücüdür.

F_d: Tasarım (hesap) yükü etkisi.
Moment, kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve/veya bunların birleQmlerinden elemanda oluEan zorlamalardır.

Örnek: Bir kirişin tüm yüklerinden oluşan tasarım momenti M_d , kesme tasarım kuvveti V_d, kirişin moment taşıma gücü M_r, kesme taşıma gücü de V_r olarak hesaplanmış olsun.

$M_r \geq M_d$ olması durumunda kiriş momente karşı güvenli, aksi halde güvensizdir deriz.
$V_r \geq V_d$ olması durumunda kiriş kesmeye karşı güvenli, aksi halde güvensizdir deriz.
Kirişin güvenli olması için her iki kuvvete karşı da güvenli olması gerekir. Birine karşı güvenli, diğerine karşı güvensiz olması halinde kiriş güvensizdir. Çünkü o kuvvet kirişi kırıyor anlamındadır.

Yük Tipleri

Kalıcı (sabit, zati, ölü) yükler: Yapı elemanlarının öz yükleridir.
Döşeme ağırlığı, kiriş ağırlığı, duvar ağırlığı, kolon ağırlığı gibi, yeri ve ağırlığı zamanla değişmeyen yüklerdir.

Hareketli yükler: Yapı elemanına zaman zaman etkiyen statik yüklerdir.
•Eşya yükleri, insan yükleri, kar yükü gibi, yeri ve değeri zamanla değişen, bazen olan bazen olmayan yüklerdir.

Düşey yükler

Yatay yükler: Yapıya yatay olarak etkidiği varsayılan statik veya dinamik yüklerdir.
•Deprem yükü, rüzgâr yükü, toprak itkisi, sıvı yükü.

Diğer yükler: Sıcaklık farkından oluşan yük, büzülme ve sünmeden oluşan yük, farklı oturmalardan oluşan yük, buz yükü.

Yük etkileri

Karakteristik yük etkisi simgeleri:

G :Kalıcı yük etkisi
Q :Hareketli yük etkisi
→ *Düşey yük etkileri*

E :Deprem etkisi
W :Rüzgâr etkisi
H :Toprak etkisi
Sıvı etkisi(simgesi yok!)
→ *Yatay yük etkileri*

T : Sıcaklık etkisi, büzülme, sünme, farklı oturma vb. → *Diğer yük etkileri*

Yapılara etkiyen yüklerin hiçbirinin kesin değeri bilinemez. Yük değerleri istatistiksel yollarla belirlenmişlerdir, yani karakteristik yüklerdir. Karakteristik yükler yönetmeliklerde verilmiştir:

TS 498/1997 , TS ISO 9194/1997 : Kalıcı yükler, hareketli yükler, rüzgâr, kar ve buz yükü.
Deprem yönetmeliği/2007 : Deprem yükleri.

Malzeme Katsayıları, Tasarım (Hesap) Dayanımları

Malzeme (beton, çelik) için TS500/2000 de verilen karakteristik dayanımlar yerine hesaplarda Tasarım (Hesap) dayanımları kullanılır. Tasarım dayanımları karakteristik dayanımların malzeme katsayılarına bölünmesi ile bulunurlar. Malzeme katsayıları 1 (bir) den büyük değerler olduğundan daha küçük dayanımlar ile hesap yapılarak güvenlik sağlanır.

Beton tasarım dayanımı:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}}$$

f_{ck}: betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{cd}: betonun basınç tasarım dayanımı
f_{ctk}: betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{ctd}: betonun çekme tasarım dayanımı
γ_{mc}:betonun malzeme katsayısı

γ_{mc}=1.5 yerinde dökülen ve iyi denetilen betonlar için
γ_{mc}=1.4 öndöküm (prefabrik) betonlar için
γ_{mc}=1.7 denetimi iyi yapılamayan betonlar için

Çelik tasarım dayanımı:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}}$$

f_{yk}: çelik karakteristik dayanımı
f_{yd}: çelik tasarım dayanımı
γ_{ms}:çelik malzeme katsayısı

γ_{ms}=1.15 (her tür çelik için)

Çelik betona göre daha homojen bir malzeme olduğundan ve fabrikada üretildiğinden dayanımının karakteristik dayanımdan farklı olma olasılığı (riski) betona nazaran daha düşüktür. Bu nedenle yönetmelikte, çeliğin malzeme katsayısı γ_{ms} betonun malzeme katsayısı γ_{mc} den daha küçük tutulmuştur.

Yük Katsayıları ve Yük Birleşimleri (TS500/2000)

TS498/1997, TS ISO 9194/1997 ve Deprem Yönetmeliği-2007 de verilen yükler karakteristik yüklerdir. Bu yüklerden oluşan yük etkileri (iç kuvvetler) de karakteristik olur. Yük etkilerinin karakteristik değerleri yerine; hesaplarda Tasarım etkileri ve birleşimleri kullanılır. Tasarım etkileri; karakteristik etkilerin yük katsayıları ile artırılması ve uygun birleştirilmesi ile belirlenirler. Bu yolla güvenlik sağlanır. TS500/2000 de tanımlı yük katsayıları ve birleşimleri aşağıda verilmiştir.

Yalnız düşey yükler için (deprem ve rüzgarın etkin olmadığı durumlarda):

F_d=1.4G + 1.6Q
F_d=1.0G + 1.2Q + 1.2T

Deprem etkin ise:

F_d=1.4G + 1.6Q
F_d=1.0G + 1.2Q + 1.2T
F_d=1.0G + 1.0Q + 1.0E
F_d=1.0G + 1.0Q - 1.0E
F_d=0.9G + 1.0E
F_d=0.9G - 1.0E

Rüzgâr etkin ise:

F_d=1.4G + 1.6Q
F_d=1.0G + 1.2Q + 1.2T
F_d=1.0G + 1.3Q +1.3W
F_d=1.0G + 1.3Q - 1.3W
F_d=0.9G + 1.3W
F_d=0.9G - 1.3W

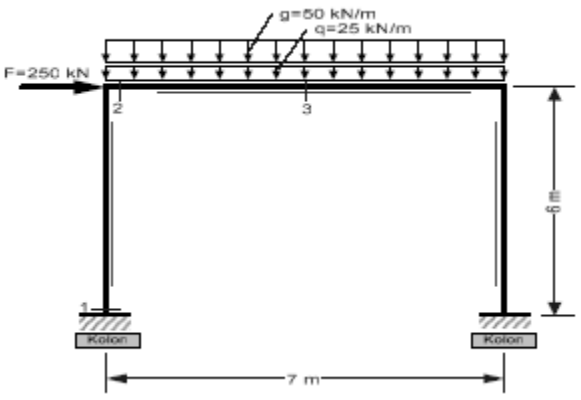
NOT: Sıvı basıncı etkisinin bulunması durumunda , bu etki 1.4 ile çarpılır ve içinde Q etkisi görülen tüm birleşimlere eklenir.

Deprem ve rüzgar yüklerinden hangisi daha elverişsiz ise o dikkate alınır. Bir yapıya aynı anda hem depremin hem de rüzgarın etkimeyeceği varsayılır (Deprem Yönetmeliği-2007, Madde 2.2.2.4). Türkiye'de genelde deprem etkin olur.

Yük Katsayıları ve Yük Birleşimleri-ÖRNEK

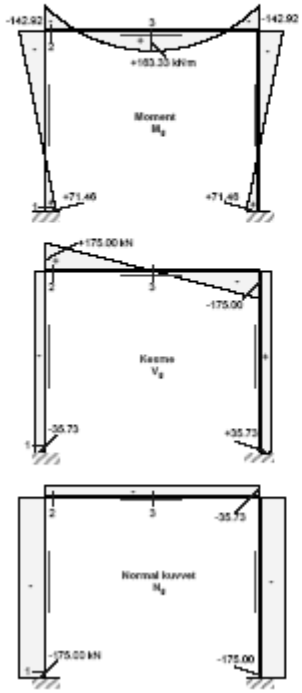
Aşağıda verilen çerçeve C30/37 betonu ile inşa edilecektir. Kolon ve kirişler 30/70 cm/cm boyutundadır. Yükler karakteristiktir. g kalıcı, q hareketli ve F deprem yüküdür. Her yüke ait moment, kesme ve normal kuvvet diyagramı verilmiştir. Statik hesaplarda kiriş ve kolonların çekme olduğu varsayılan tarafları kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Kesme kuvveti deformasyonları ve kirişin boyuna deformasyonu ihmal edilmiştir.

a) Çerçevenin 1, 2 ve 3 noktalarındaki tasarım momentlerini bulunuz.
b) 1 ve 2 noktalarındaki tasarım kesme kuvvetlerini bulunuz.
c) 1 noktasındaki tasarım normal kuvvetlerini bulunuz.
d) 2 ve 3 noktalarında hesaplanan tasarım momentlerinden hangileri betonarme hesaba (boyuna donatı hesabına) esas alınmalı ve bunları hesaplanan donatı kirişin hangi tarafına konmalıdır?
e) 2 noktasında hesaplanan tasarım kesme kuvvetlerinden hangisi betonarme hesaba (sargı donatısı hesabına) esas alınmalıdır ?

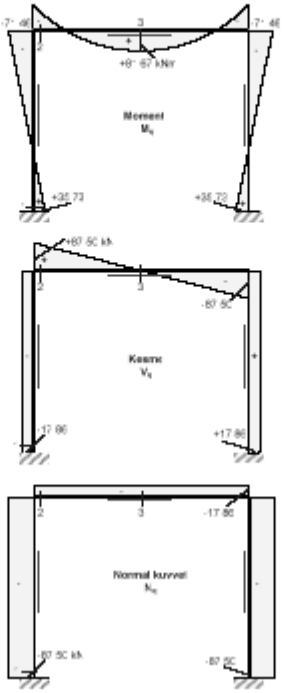


Karakteristik yüklerden oluşan karakteristik iç kuvvetler (yük etkileri):

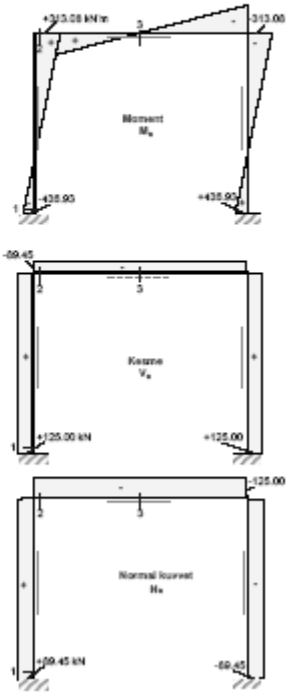
g=50 kN/m kalıcı yükünden



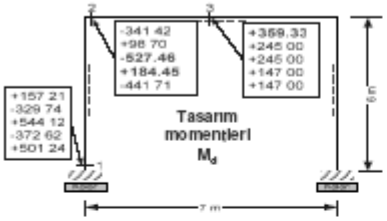
q=25 kN/m hareketli yükünden



F=250 kN deprem yükünden



d) 2 ve 3 noktasında betonarme (boyuna donatı) hesabına esas alınacak tasarım momentleri:



Pozitif momentler, etkidiği noktada, kirişin kesik çizgili tarafına, negatif momentler de diğer tarafına çekme uygulamaktadır.

Kirişin *pozitif* momentlerinden mutlak değerce en büyük olanı kirişin *alt tarafına* konulacak boyuna donatının hesabına; *negatif* momentlerden mutlak değerce en büyüğü de kirişin *üst tarafına* konulacak boyuna donatının hesabına esas alınmalıdır.

2 noktasında: Bu noktada M_d= +184.45 kN·m momenti için hesaplanan boyuna donatı kirişin *alt tarafına;* M_d=-527.46 kN·m için hesaplanan donatı da kirişin *üst tarafına* konmalıdır.

3 noktasında: Bu noktada M_d=+359.33 kN·m momenti için hesaplanan donatı kirişin *alt tarafına* konmalıdır. Bu noktada negatif moment olmadığından *üst tarafa donatı gerekmez*, momentin oluşturacağı basınç kuvvetini beton alır. Ancak, yönetmeliklerin ön gördüğü kadar *minimum montaj donatısı konulmalıdır*.

e) 2 noktasında kesme (sargı donatısı) hesabına esas alınacak tasarım kesme kuvveti



Kesme kuvvetinin işareti betonarme hesabın sonucunu değiştirmez. Mutlak değerce en büyük kesme kuvveti betonarme hesaba esas alınır.

2 noktasında: V_d= +385.00 kN kesme kuvveti betonarme hesaba (sargı donatısı hesabına) esas alınmalıdır.

Sistemde sadece G (sabit), Q (hareketli) ve E (deprem) etkileri vardır. T (diğer) ve W (rüzgar) etkiler yoktur. Bu nedenle; depremin etkin olması durumuna ait

Fd=1.4G + 1.6Q
Fd=1.0G + 1.0Q + 1.0E
Fd=1.0G + 1.0Q - 1.0E
Fd=0.9G + 1.0E
Fd=0.9G - 1.0E

yük birleşimleri kullanılarak tasarım kuvvetleri bulunacaktır.

a) Tasarım momentleri:

1 noktasında tasarım momentleri:		2 noktasında tasarım momentleri:		3 noktasında tasarım momentleri:	
M_d=1.4•71.46+1.6•35.73	= +157.21 kN•m	M_d=1.4•(-142.92)+1.6•(-71.46)	= -314.42 kN•m	M_d=1.4•163.33+1.6•81.67	= +359.33 kN•m
M_d=71.46+35.73+(-436.93)	= -329.74 "	M_d=-142.92-71.46+313.08	= + 98.70 "	M_d=163.33+81.67+0	= +245.00 "
M_d=71.46+35.73-(-436.93)	= +544.12 "	M_d=-142.92-71.46-313.08	= -527.46 "	M_d=163.33+81.67-0	= +245.00 "
M_d=0.9•71.46+(-436.93)	= -372.62 "	M_d=0.9•(-142.92)+313.08	= +184.45 "	M_d=0.9•163.33+0	= +147.00 "
M_d=0.9•71.46-(-436.93)	= + 501.24 "	M_d=0.9•(-142.92)-313.08	= -441.71 "	M_d=0.9•163.33-0	= +147.00 "

b) Tasarım kesme kuvvetleri:

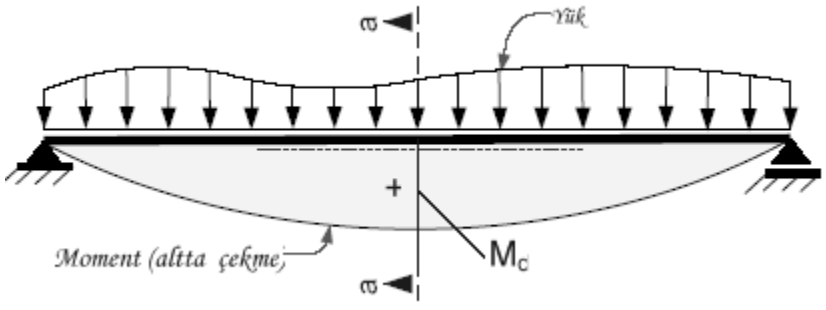
1 noktasında tasarım kesme kuvvetleri:		2 noktasında tasarım kesme kuvvetleri:	
V_d=1.4•(-35.73)+1.6•(-17.86)	= - 78.60 kN	V_d=1.4•175.00+1.6•87.50	= +385.00 kN
V_d=-35.73-17.86+125.00	= + 71.41 "	V_d=175.00+87.50+(-89.45)	= +173.05 "
V_d=-35.73-17.86-125.00	= -178.59 "	V_d=175.00+87.5-(-89.45)	= +351.95 "
V_d=0.9•(-35.73)+125.00	= + 92.84 "	V_d=0.9•175.00+(-89.45)	= +68.05 "
V_d=0.9•(-35.73)-125.00	= -157.16 "	V_d=0.9•175.00-(-89.45)	= +246.95 "

c) Tasarım normal kuvvetleri:

1 noktasında tasarım normal kuvvetleri:	
N_d=1.4•(-175.00)+1.6•(-87.50)	= -385.00 kN
N_d=-175.00-87.50+89.45	= -173.05 "
N_d=-175.00-87.50-89.45	= -351.95 "
N_d=0.9•(-175)+89.45	= - 68.05 "
N_d=0.9•(-175)-89.45	= -247.00 "

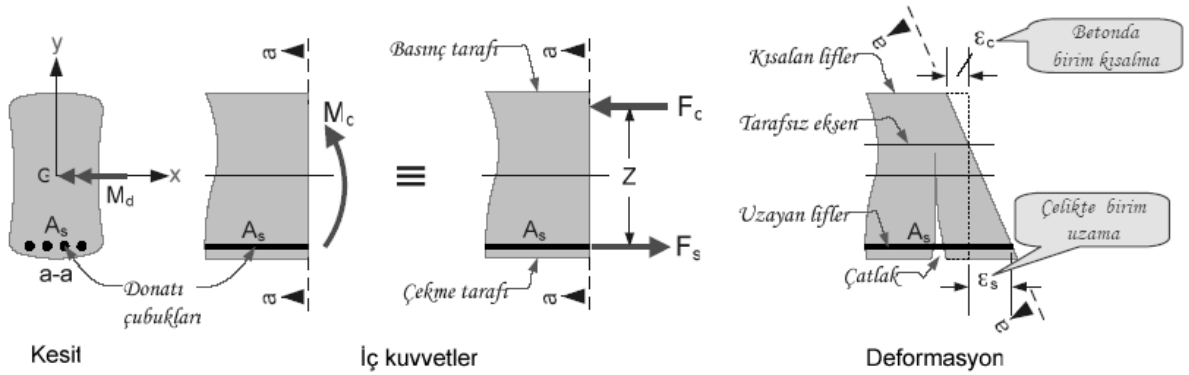
NOT: 1 noktasında hesaplanan tasarım kuvvetleri burada yorumlanmamıştır. Bunun nedeni kolonların davranışının henüz incelenmemiş olmasıdır. Kolonlarda durum daha da karmaşıktır. Kolonların davranışı ele alındıktan sonra konuya dönülecektir.

Kesitte moment ≡ kuvvet çifti →Çekme ve basınç kuvveti → Deformasyon →Kesitte dönme



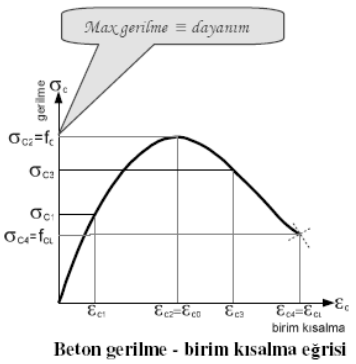
A_s: Kesitteki toplam çekme donatısı
F_s: Çelikteki toplam çekme kuvveti
F_c: Betondaki basınç kuvveti
z : Moment kolu
ε_s: Çelik birim uzaması
ε_c: Betonun en çok zorlanan lifindeki birim kısalma

Yatay denge:
$F_s = F_c$ (kuvvet çifti)
Moment:
$Md = F_s.z = F_c.z$



Kirişe etkiyen M_d momenti F_c ve F_s den oluşan kuvvet çiftine eşdeğerdir, $F_c=F_s$'dir ve z moment koludur. Kirişin üst lifleri F_c basınç kuvvetinin, alt lifleri F_s çekme kuvvetinin etkisindedir. Betonun basınç dayanımı yüksek olduğundan F_c kuvvetini taşıyabilir. Çekme kuvvetini beton taşıyamaz, çatlar. F_s çekme kuvvetinin tamamını toplam alanı A_s olan donatı karşılamak zorundadır. Betonun üst lifleri ε_c birim kısalmasına, çelik çubuklar ε_s birim uzamasına uğrar, kesit döner. Kesitin döndükten sonra da düzlem kaldığı varsayılır (BERNOILLI/NAVIER hipotezi). Bu varsayım, deformasyon diyagramının kesit yüksekliğince doğrusal (lineer) değiştiği anlamındadır.

Kesitte deformasyon-gerilme dağılımı aşamaları

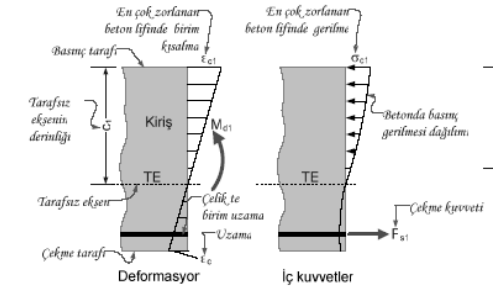


Beton gerilme - birim kısalma eğrisi

Kiriş kesitindeki moment

$M_{d1} < M_{d2} < M_{d3} < M_{d4}$ olacak şekilde, beton ezilinceye kadar, yavaş yavaş artırılırsa kesitteki deformasyon ve iç kuvvetler 1, 2, 3 ve 4 nolu şekillerde gösterildiği gibi olur.

Deformasyon diyagramında kısalmalar sağa uzamalar sola doğru çizilmiştir.

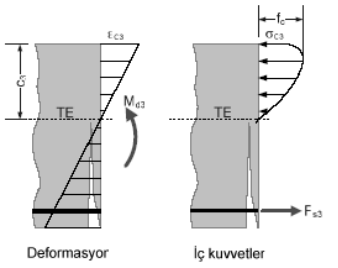


1

$\varepsilon_{c1} < \varepsilon_{c0}$, $\varepsilon_c < \varepsilon_{ct}$
$\sigma_{c1} < f_c$
Max gerilmeye ulaşılmamış, beton çatlamamış ve ezilmemiş. F_{s1} Beton ve çelikte oluşan kuvvettir.

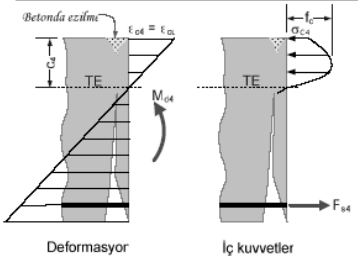
2

$\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{c0}$
$\sigma_{c2} = f_c$
Max gerilmeye ulaşılmış, beton çatlamış fakat ezilmemiş. Beton çatladığından çekme kuvveti alamaz, F_{s2} çelikte oluşan kuvvettir.



3

$\varepsilon_{c0} < \varepsilon_{c3} < \varepsilon_{cu}$
$\sigma_{c3} < f_c$
Deformasyon artmış, dış lifte gerilme azalmış.
Max gerilme alt komşu liflere kaymış (betonarmede uyum). Çatlak genişlemiş ve yükselmiş, ancak beton ezilmemiş.

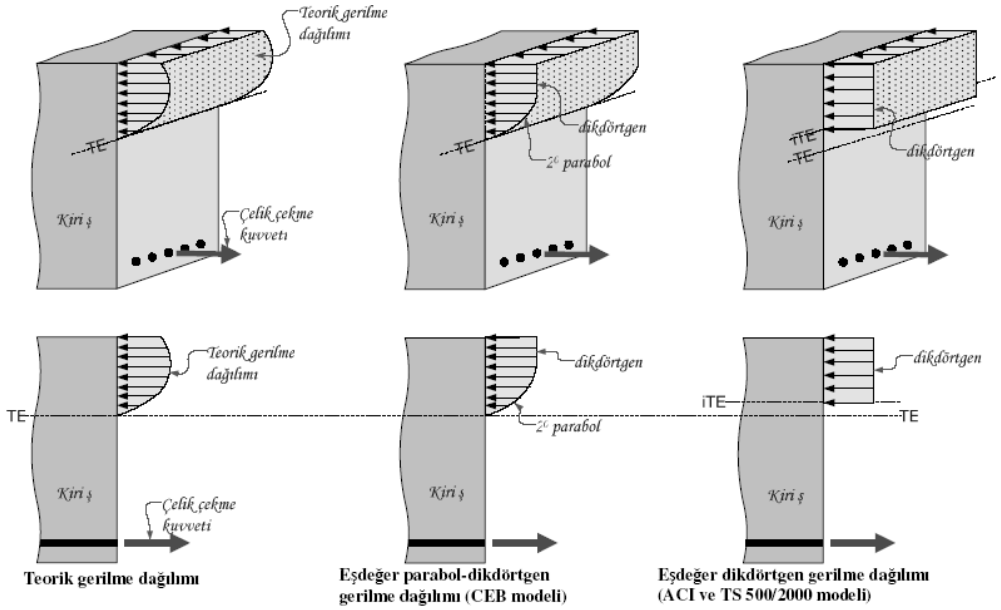


4

$\varepsilon_{c4} = \varepsilon_{cu}$
$\sigma_{c4} = f_{cu} << f_c$
Max gerilme daha da aşağıdaki liflere kaymış. Dış lif ezilme (kırılma) deformasyonuna ulaşmış. Kesit taşıma gücüne erişmiş.
Daha fazla moment taşıyamaz. Gerilme dağılımı kırılma anındaki nihai dağılımı göstermektedir.

GÖÇME ANI

Teorik gerilme dağılımının basitleştirilmiş eşdeğer modelleri

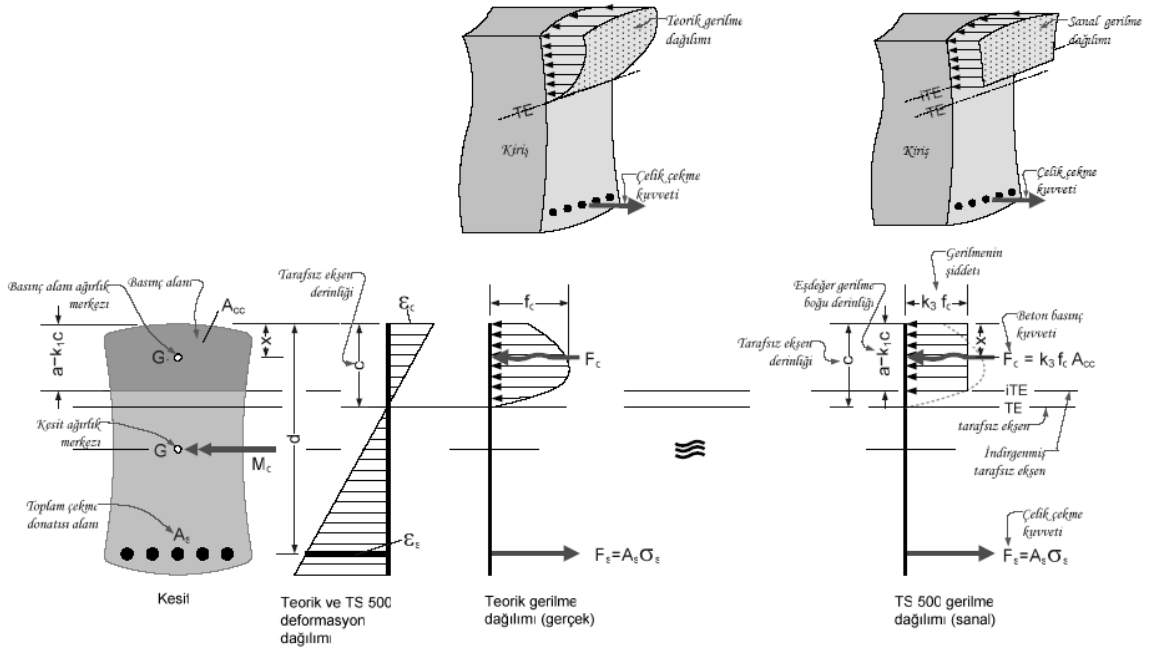


Teorik gerilme dağılımı, kırılma anındaki dağılımdır. Betonun yaşına, yükleme hızına, sargı donatısına, kesit geometrisine ve diğer bir çok nedene bağlı olarak az yada çok değişir. Her bir durum için farklı bir gerilme dağılımı vermek imkansızdır. Bu nedenle, doğruluğu deneysel olarak kanıtlanmış eşdeğer gerilme dağılımı kullanılır. Hesaplar açısından dağılımın şeklinden çok, gerilmenin bileşke kuvvetinin değeri ve etkidiği yer önemlidir. Çünkü, momentin değeri bu kuvvetin değerine ve yerine bağlıdır. Hesapları basitleştirmek açısından, yaklaşık olarak aynı momenti veren (eşdeğer kuvveti ve bu kuvvetin etkime noktası yaklaşık aynı olan), daha basit bir gerilme dağılımı kullanılabilir.

Yukarıdaki şekillerde teorik gerilme dağılımı ve yaygın olarak kullanılan basitleşirilmiş eşdeğer modelleri (sanal gerilme dağılımı) hem perspektif hem de düzlem olarak verilmiitir. CEB modelinin bir kısmı parabolik bir kısmı da dikdörtgendir, eşdeğer parabol-dikdörtgen gerilme dağılımı olarak adlandırılır ve Avrupa Birliğ ülkelerinde kullanılmaktadır. Amerikan yönetmeliklerinde yer alan ACI modeli daha basit ve dikdörtgendir, gerilmenin değeri her noktada aynıdır. Bu iki farklı modelin sonuçları arasındaki fark önemsenmeyecek kadar azdır (%4 civarında).

TS 500/2000 doğruluğu kanitlanmiDherhangi bir eşdeğer gerilme dağılımı ile hesap yapılmasına izin vermektedir. Bu nedenle her iki model ile de hesap yapılabilir. Daha basit olan eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı modeli çoğunlukla tercih edilmektedir.

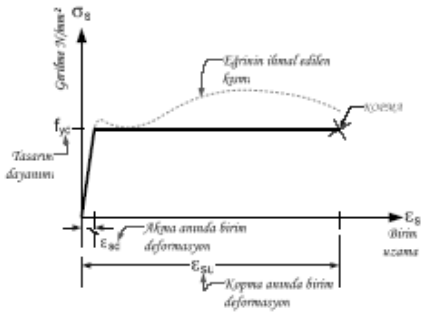
Deformasyon diyagramı ve teorik gerilme bloğu
Endener dikdörtgen gerilme bloğu (TS 500 /2000)



- Deformasyon diyagramı kesit yüksekliğince doğrusal (lineer) dir.
- Beton basınç kuvveti F_c gerilme bloğunun hacmine eşittir.
- F_c kuvveti gerilmenin yayıldığı A_{cc} basınç alanının ağırlık merkezi olan G_1 noktasına etkir.
- Teorik gerilme dağılımını kullanarak F_c kuvvetini ve etkidiği noktayı belirlemek zorluk yaratır.
- Hesapları basitleşirmek için teorik gerilme dağılımı yerine eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı kullanılabilir (TS 500 /2000).
- Eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımında gerilmenin Qddeti sabit ve k3fcddir. Gerilme bloğunun derinliği k_{1c} dir.
- Fc ve etkidiği nokta G1 yaklaQk olarak aynı kalacak şekilde k_1 ve k_3 sabitleri deneysel araştırmalar ile belirlenmiştir.
- k_1 ve k_3 sabitleri beton kalitesine bağlıdır ve değerleri birden küçüktür. Bu değerler TS 500 / 2000 de verilmiştir.
- Önemli olan gerilme bloğunun şekli değil; F_c kuvvetinin ve etkidiği G_1 noktasının yaklaşık olarak aynı kalmasıdır. Eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı yerine, kanıtlanmış başka bir dağılım da (örnek: Parabol-dikdörtgen dağılım) kullanılabilir.

Taşıma Gücü Varsayımları (TS 500 /2000)

1. Birim şekil değiştirme dağılımı doğrusaldır (şekil değiştirmeden önce düzlem olan kesit şekil değiştirmeden sonra da düzlem kalır (BERNOULLI/NAVIER hipotezi).
2. Betonun çekme dayanımı ihmal edilir (≈0).
3. Beton ve donatı tam kaynaşır, tam kenetlenme (aderans) vardır. Bu koşulu mühendis sağlamak zorundadır.
4. Donatı çeliğinin gerilme-birim deformasyon (σ_s-ε_s) eğrisi elasto-plastiktir. Eğrinin akma dayanımı üstünde kalan kısmı ihmal edilebilir:



Çelik modeli

•**Çelik akmamış ise HOOKE kanunu geçerlidir:**

$\sigma_s = E_s \varepsilon_s$ ($\varepsilon_s < \varepsilon_{sd}$, *çelik akmamış, HOOKE geçerlidir*)

•**Akmış çeliğin gerilmesi sabittir:**

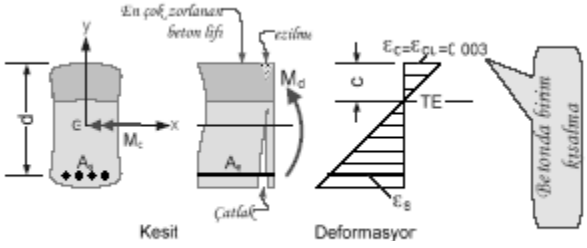
$\sigma_s = f_{yd}$ ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sd}$, *çelik akmış, HOOKE geçersizdir*)

Anlamı: $\sigma_s = E_s \varepsilon_s \leq f_{yd}$

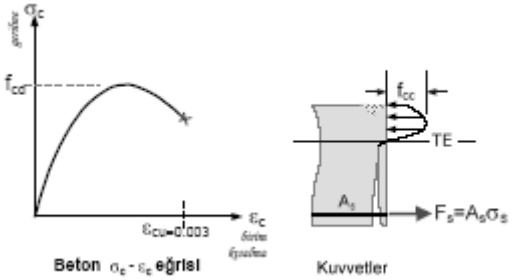
Çelik tasarım dayanımları ve akma anındaki deformasyonlar:

Çelik sınıfı	f_{yk} N/mm²	γ_{ms}	E_s N/mm²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{ms}$ N/mm²	$\varepsilon_{sd} = f_{yd}/E_s$
S220a	220	1.15	$2x10^5$	191.30	0.000957
S420a	420	1.15	$2x10^5$	365.22	0.001826
S420b	420	1.15	$2x10^5$	365.22	0.001826
S500a	500	1.15	$2x10^5$	434.78	0.002174

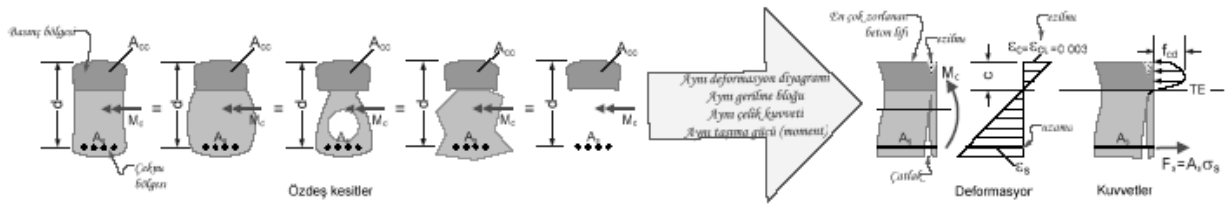
5. Taşıma gücüne erişildiğinde (beton kırıldığında) basınç bölgesinin en çok zorlanan lifindeki birim kısalma $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ tür.



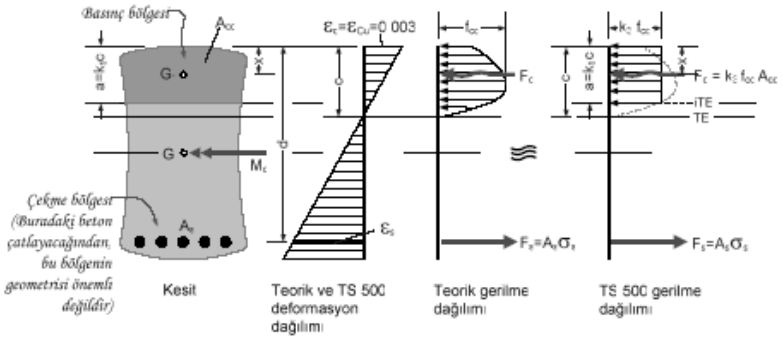
6. Taşıma gücüne erişildiğinde basınç bölgesindeki teorik beton gerilme dağılımı beton σ_c - ε_c eğrisi gibidir.



7. Çekme bölgesinin geometrisi önemli değildir. Bu bölgedeki beton çatlayacağından hiçbir çekme kuvvet alamaz. Buradaki betonun görevi çelik ile kenetlenmeyi (aderans) sağlamak ve kesme-burulma etkilerini karşılamaktır. Çekme kuvvetinin tamamını donatı alır. Çekme bölgesinin geometrisi farklı olan ve aşağıda görülen her beş kesit, hesap açısından, özdeştir. Önemli olan, momentin aynı kalmasıdır. Basınç bölgesinin toplam alanı, bu alanın ağırlık merkezi, faydalı yükseklik d ve donatı alanı A_s aynı olan kesitler, çekme bölgesinin geometrisi nasıl olursa olsun, moment kuvveti açısından özdeştir. Bunun anlamı şudur: Özdeş kesitlerde deformasyon diyagramı, çelik çekme kuvveti, beton basınç kuvveti ve moment aynıdır. Bu özellikten ilerideki konularda yararlanılacaktır.



8. Teorik gerilme dağılımı yerine TS500-2000 de tanımlanan eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu modeli kullanılabilir.



TE : Tarafsız eksen
iTE : İndirgenmiş Tarafsız Eksen
c : Tarafsız eksenin derinliği
ε_c : Beton birim kısalması
ε_{cu} : Betonun ezilme anındaki birim kısalması = 0.003
ε_s : Çelik birim uzaması
$a=k_1 c$: Eşdeğer basınç bloğu derinliği
f_{cd} : Beton tasarım dayanımı
$k_3 f_{cd}$: Beton eşdeğer gerilmesinin şiddeti
F_s : Çelik çekme kuvveti
F_c : Beton basınç kuvveti
A_s : Toplam donatı alanı
A_{cc} : Basınç alanı
G : Kesit ağırlık merkezi
G_1 : F_c kuvvetinin etkidiği nokta = basınç alanı ağırlık merkezi
x : G_1 noktasının derinliği
d : Faydalı yükseklik

k_1 : Eşdeğer basınç bloğu derinliği katsayısı
k_3 : Eşdeğer basınç bloğu gerilme katsayısı

$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \le f_{yd}$
$k_3 = 0.85$ (tüm beton sınıflarında)

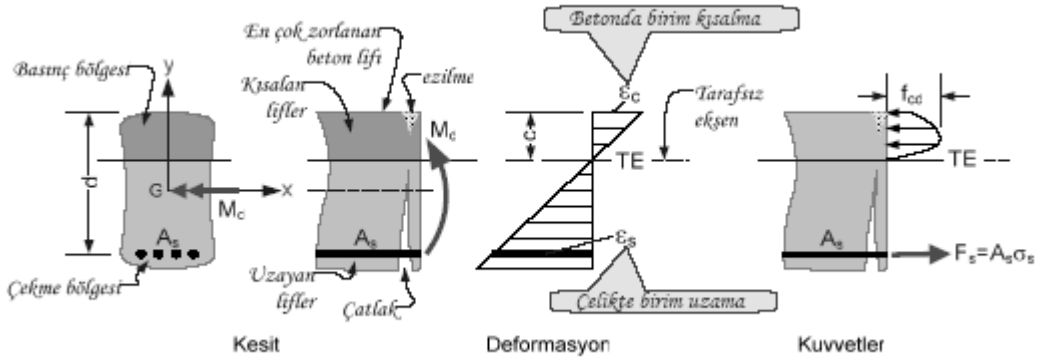
$0.70 \le k_1 \le 0.85$
$k_1 = 0.85$ (C16-C25 betonlarında)
$k_1 = 1 - 0.006 f_{ck}$ (C30-C50 betonlarında)

f_{ck} nın birimi N/mm² dir, f_{ck} yerine f_{cd} kullanılmaz!

k_1 Katsayısı değişimi

Beton	k_1
C16-C25	0.85
C30	0.82
C35	0.79
C40	0.76
C45	0.73
C50	0.70

Kırılma Türleri



Deformasyon Kuvvetler

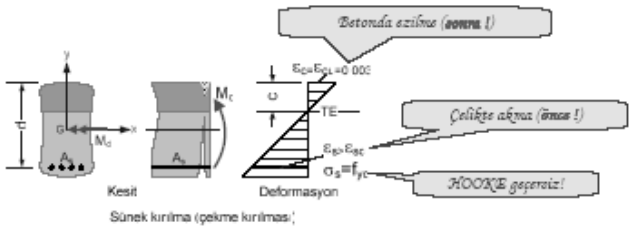
Betonarme elemanların iflas etmesi (yükünü taşıyamaması, kırılması, taşıma gücüne erişmesi) daima betonun ezilmesi sonucu olur. Fakat, ezilmenin nedeni farklı olabilir:

1. Çelik yoktur veya çok yetersizdir: Çelik uzar, kopar beton ezilir.
2. Çelik aşırı çoktur çok az uzar, çelik kuvveti ve beton basınç kuvveti betonun dayanamayacağı kadar yüksektir, beton ezilir.
3. Çelik kopmaz fakat aQn uzar, beton lifleri çok kısalır, beton ezilir.

Betonun en çok zorlanan lifi $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ birim kısalmasına ulaştığınında eleman moment taşıma kapasitesine erişir, beton ezilir. Bu konumda donatının akıp akmadığına bağlı olarak üç değişik kırılma türü tanımlanır:

1. Sünek kırılma (çekme kırılması)
2. Gevrek kırılma (basınç kırılması)
3. Dengeli kırılma (gevrek)

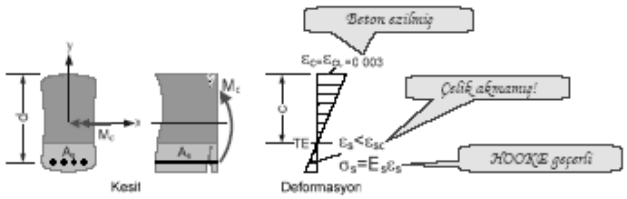
1. Sünek Kırılma ≡ Çekme kırılması



Sünek kırılma (çekme kırılması)

Sünek kırılma (Çekme kırılması):
Betondaki birim kısalma $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ değerine ulaşmadan önce çelik akmışsa, yani $\varepsilon_s > \varepsilon_{sd}$ olmuşsa, çekme kırılması olur. Çünkü önce çelik akmakta, uzamaya devam etmekte ve betondaki birim kısalma da giderek artarak $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ sınır birim kısalmasına erişerek ezilme olmaktadır. Kırılma sünektir.

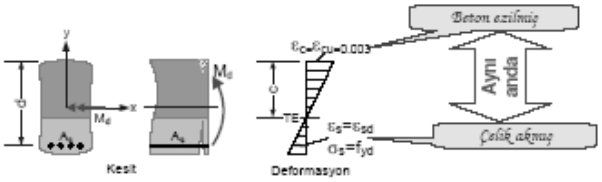
2. Gevrek Kırılma ≡ Basınç kırılması



Gevrek kırılma (basınç kırılması)

Gevrek kırılma (Basınç kırılması):
$\varepsilon_s < \varepsilon_{sd}$ iken, yani çelik akmadan, beton $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ birim kısalmasına ulaşırsa basınç kırılması olur. Çünkü beton ezilir fakat çelik akmaz. Kırılma gevrektir.

3. Dengeli Kırılma ≡ Gevrek Kırılma



Dengeli kırılma (gevrek kırılma)

Dengeli kırılma(gevrek kırılma):
Çekme kırılması ile basınç kırılması arasında bir kırılma türüdür. Çelikteki uzama $\varepsilon_s = \varepsilon_{sd}$ olduğu an (çelik aktığı an), betondaki birim kısalma da $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ olmaktadır. Çelik daha fazla uzama imkanı bulamamaktadır. Betonun ezilmesi ve çeliğin akması aynı anda olmaktadır. Kırılma gevrektir.

Kirişler

Kirişler genelde duvarların altına yapılan, duvar, döşeme ve kendi yüklerini taşıyan çoğunlukla yatay betonarme elemanlardır. Üzerindeki yükleri oturduğu düşey elemanlara (kolonlara) aktarır. Kirişlerin bir diğer önemli işlevi de deprem veya rüzgâr gibi yatay yükleri, döşeme ile bir bütün davranarak, kolonlara aktarmaktır.

Uygulamada yatay elemanlara KİRİŞ, düşey elemanlara da KOLON denilmektedir. Ne yatay ne de düşey olan, EĞİK elemanlara ne denilecektir? Yapı statiği derslerinden bilindiği gibi, çubuk eleman ister yatay ister düşey ister eğik olsun, kolon kiriş ayırımı yapılmaz. Elemanın konumu nasıl olursa olsun, en genel halde, çubuk elemanda altı adet iç kuvvet oluşur: Bir eksenel kuvvet, iki eğilme momenti, iki kesme kuvveti ve bir burulma momenti. Yatay elemanlarda sadece bir eğilme momenti ve bir kesme kuvveti etkin olurken diğer iç kuvvetler çoğu kez önemsenmeyecek düzeyde kalırlar. Düşey elemanlarda altı adet iç kuvvetin genelde hepsi de etkin olmakla birlikte eksenel kuvvet önem arz eder. Bu nedenle yatay elemanlar ile düşey elemanların davranışları da çok farklıdır. İç kuvvet açısından eğik elemanlar, eğimin büyüklüğüne-küçüklüğüne bağlı olarak, bu iki durum arasındadırlar.

TS 500-2000 ve Deprem Yönetmeliği-2007 bir elemanın kiriş olarak boyutlandinlabilmesi için N_d eksenel tasarım kuvvetinin

$$N_d \leq 0.1\, f_{ck} A_c$$

koşulunu sağlaması gerektiğini yazmaktadırlar. Bu koşulu sağlamayan, yani eksenel kuvvet düzeyi yüksek olan elemanlar, ister yatay, ister düşey veya eğik olsunlar, kolon olarak boyutlandırılmak zorundadırlar. Bu bağıntıda f_{ck} betonun karakteristik dayanımı ve A_c elemanın kesit alanıdır.

O halde; elemanın eğimine bakılmaksızın, $N_d \leq 0.1\ f_{ck}A_c$ koşulunu sağlayan elemanlara "Kiriş, sağlamayanlara "Kolon" denilecektir.

Kesit tipleri

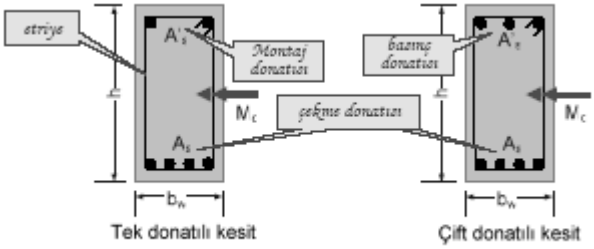
Kiriş kesitleri çoğunlukla dikdörtgen ve tablalı; nadiren trapez, kutu ve üçgen olur.



Kirişler öncelikle moment ve kesme kuvveti etkisindedir. Normal kuvvet etkisi genelde düşüktür. Burulma momenti nadiren dikkate alınacak düzeye varır. Moment (kuvvet çifti) kirişin bir tarafına çekme, diğer tarafına da basınç kuvveti uygular. Çekme kuvveti kirişe dik çatlaklar oluşturur. Bu kuvveti karşılamak ve oluşturacağı çatlakları sınırlamak için kirişin çekme bölgelerine boyuna donatı konur. Kesme kuvveti mesnet bölgelerinde eğik çekme kuvvetleri oluşturur ve eğik çatlaklara ($\approx 45°$) neden olur. Kesme kuvvetini karşılamak ve oluşturacağı çatlakları sınırlamak amacıyla, açıklıklarda seyrek mesnet bölgelerinde daha sık etriye ile sarılır.

Dikdörtgen Kesit

Boyuna donatının kesitteki yerine göre farklı kesit tipi vardır:
Tek donatılı kesit: Momenti karşılayacak ve hesapla belirlenen donatı kesitin çekme tarafına konur. Basınç bölgesine hesap dışı (konstrüktif) montaj donatısı konur.

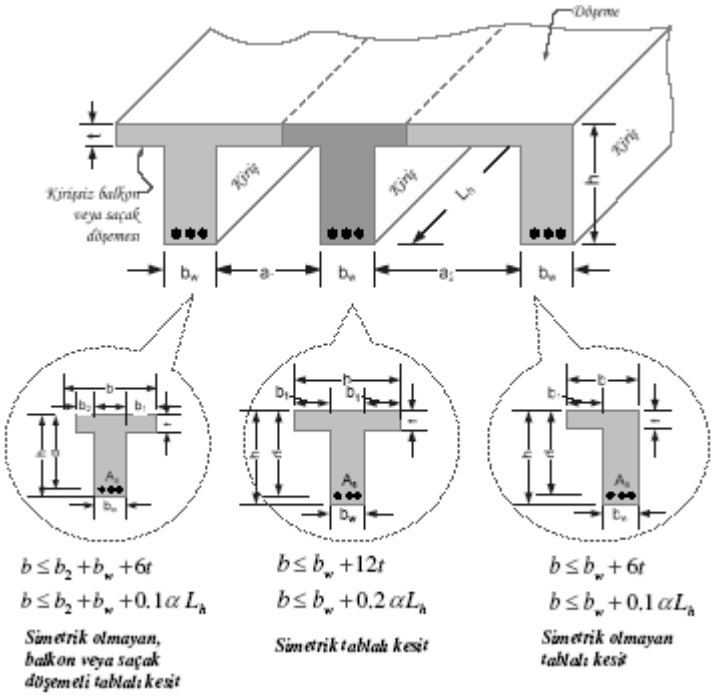


Çift donatılı kesit: Bazen mevcut kesit momenti taşımaz. Bu durumda ya kesit büyütülür yada hem çekme hem de basınç bölgesine hesapla belirlenen donatı konur. Montaj donatısına gerek kalmaz. Basınç bölgesine konan donatı çekme değil, basınç etkisindedir. Basınç donatısı kesitin dayanımını ve sünekliğini artırır.

Çift sıra donatılı kesit : Momenti karşılayacak ve hesapla belirlenen donatı genişliği az kirişlere sığmayabilir. Bu durumda ya kesit genişletilir ya da donatı çift sıra yerleştirilir.
b_w :genişik
h : yükseklik
A_s: çekme donatısının toplam alanı
A'_s :montaj veya basınç donatısının toplam alanı

Tablalı Kesit : Kalıp kiriş gövdesinin bir veya iki tarafında kulaklar oluşacak şekilde hazırlanır ve beton dökülürse tablalı kesit oluşur. Köprü kirişleri genelde bu yöntemle hazırlanır. Tabla betonu basınç alanının büyümesine katkı sağlar.

Döşeme ve kiriş betonu bir bütün dökülmüş ise ve döşeme betonu kirişin basınç bölgesinde ise, döşemenin b genişliğindeki bir parçası hesaplarda kirişin basınca çalışan tablası olarak dikkate alınır. b ye etkili tabla genişliği veya çalışan tabla genişliği denir. Tablası dikkate alınan kirişler T, L ve I kesitli olabilirler. Tabla beton basınç alanının büyümesine neden olur. Döşeme plağının büyük olması durumunda tablanın tamamı basınca çalışmaz. Tabladaki basınç gerilmeleri kiriş gövdesinden uzaklaştıkça hızla azalır. Yapılan araştırmalar sonucunda b çalışan tabla genişliği sınırlandırılmış ve yönetmeliklerde verilmiştir.

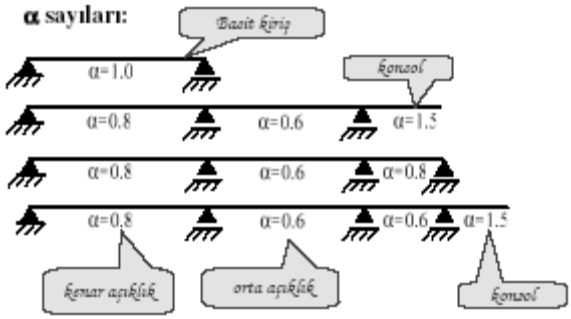


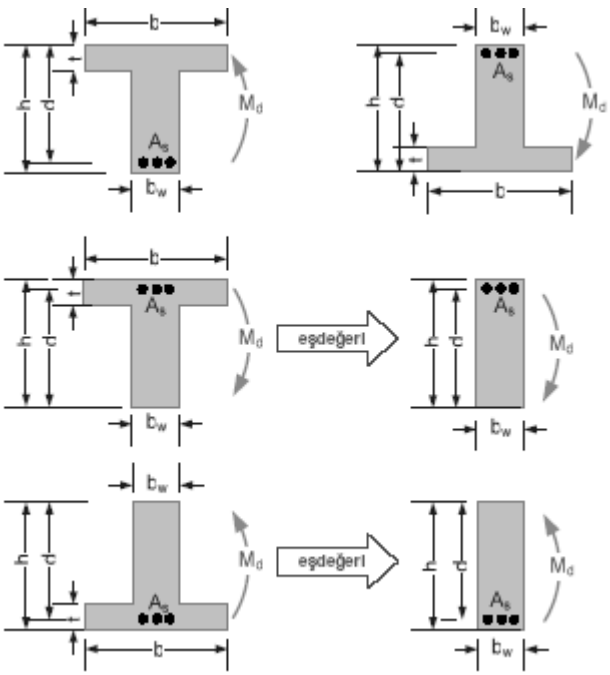
Her açıklıkta hesaplanan b değerlerinden en küçüğü o açıklığın tabla genişliği üst sınırıdır. Hesaplarda daha da küçük alınabilir. Dikkat edilirse, Kiriş boyunca her açıklıkta tabla genişliği farklı olmaktadır. İstenirse, bunlardan en küçüğü kullanılarak, her açıklığın tabla genişliği eşit alınabilir. Hatta tabla tamamen ihmal edilerek dikdörtgen kesit (bw.h) olarak hesap yapılabilir. Ancak bu, gerçekte var olan, basınç bölgesinin bir kısmının veya tamamının ihmal edilmesi anlamına gelir ve kirişe daha fazla donatı koymak zorunda kalınır. Büyük açıklıklı kirişlerde, dişli döşeme dişlerinde, köprü kirişlerinde ve prefabrik yapılarda tablanın ihmali, ekonomik açıdan, doğru olmaz.

Çalışan Tabla Genişliğinin Sınırlandırılması

$b_1 \le 6t \quad , \quad b_1 \le \frac{1}{2} a_1 \quad , \quad b_1 \le \frac{1}{2} a_2$

Tabla kulağı b_1 döşeme kalınlığının 6 katını ve komşu kiriş yüzüne olan net uzaklığın yarısını aşamaz. Kirişn, balkon veya saçak döşemeli kenar kiriş iç kiriş ve kenar kiriş olma durumuna ait sınırlamalar şekil üzerinde gösterilmiştir. L_h kirişin hesap açıklığıdır.





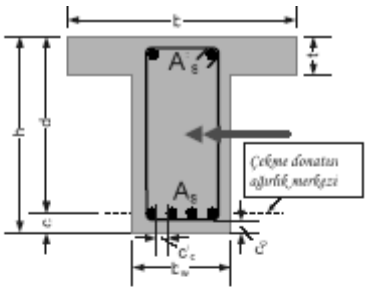
Tablalı Kesit - Eşdeğer kesit

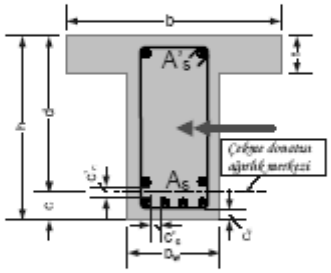
Soldaki her iki kesit için tabla dikkate alınır. Çünkü tabla basınç bölgesindedir, basınç gerilmeleri alır. Her iki kesit de tablalı olarak hesaplanır.

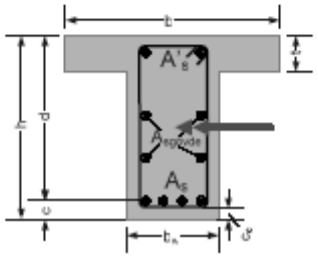
Soldaki kesitin tablası çekme bölgesindedir. Fiziksel olarak var olmasına rağmen, hesaplarda tabla dikkate alınmaz. Çünkü çekme bölgesinde olan tabla çatlayacaktır. Kiriş sağdaki dikdörtgen kesit olarak hesaplanır.

Soldaki kesitin tablası çekme bölgesindedir. Hesaplarda tabla dikkate alınmaz. Kiriş sağaki dikdörtgen kesit olarak hesaplanır.

- Tabla basınç bölgesinde ise hesaplarda dikkate alınır.
- Çekme bölgesindeki tabla hesaplarda dikkate alınmaz. Çünkü; çekme bölgesindeki tabla betonu çatlar, çekme bölgesinin geometrisiönemli değildir. Bu durumda kesit, bw.h boyutlu eşdeğer dikdörtgen kesit imiş gibi düşünülür.
- Eşdeğer dikdörtgen kesit sadece hesapları basitleştirir, gerçek değil sanal bir kesittir. Hesap sonucu bulunan donatılar gerçek olan tablalı kesite yerleştirilir.







Tanımlar

Yükseklik: Kiriş alt yüzünden üst yüzüne olan mesafedir. Şekilde h ile gösterilmiştir.

Genişlik: Kirişin, kulaklar hariç, gövde genişliğidir. b_w ile gösterilir.

Tabla Kalınlığı: Tablanın et kalınlığıdır, şekilde t ile gösterilmiştir.

Tabla Genişliği: Basınca çalışan tabla genişliğidir, şekilde b ile gösterilmiştir. Fiziksel olarak tabla daha geniş olsa bile hesaplarda yönetmelikte verilen b kadarı dikkate alınır.

Faydalı Yükseklik: Çekme donatısının ağırlık merkezinin en dış basınç lifine uzaklığıdır, şekillerde d ile gösterilmiştir.

Beton Örtüsü: Kiriş yüzüne en yakın olan boyuna donatının merkezinin kiriş yüzüne mesafesidir. Beton örtüsüne uygulamada pas payı da denilmektedir. Şekilde c ile gösterilmiştir.

Net Beton Örtüsü: En dıştaki donatının (çoğunlukla etriyenin) dış yüzeyinin beton yüzüne olan mesafesidir. Kenetlenmeyi sağlamak, paslanmayı önlemek ve yangına dayanımı artırmak gibi amaçları vardır. Şekilde c_c ile gösterilmiştir.

Donatı Net Aralığı: Donatı çubuklarının yüzleri arasındaki mesafedir. Şekilde c'c ile gösterilmiştir. Agreganın geçebilmesi, betonun sıkıştırılabilmesilmesi ve kenetlenmenin sağlanabilmesi için yeterli net aralık bırakılmalıdır.

Çekme Donatısı: Çekme kuvvetini karşılamak amacıyla kirişin çekme tarafına konulan donatıdır. Donatı çubuklarının kiriş genişliğine sığmaması durumunda çift sıra olarak da yerleştirilebilir.Şekilde çekme donatısının toplam alanı A_s ile gösterilmiştir.

Montaj Donatısı: Kirişn basınç tarafına konulan fakat basınç kuvveti almadığı varsayılan donatıdır. En az iki çubuk konur. Donatı çubuklarının kiriş gövde genişliğine sığmaması durumunda çift sıra veya tabla (varsa) içine de yerleştirilebilir. Montaj donatısının toplam alanı A'_s ile gösterilmiştir.

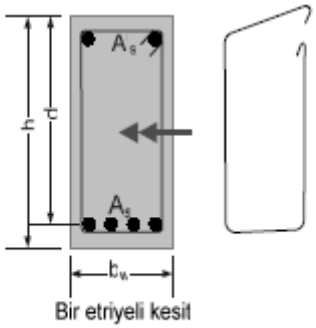
Basınç Donatısı: Dikdörtgen kesitli kirişlerin basınç tarafına bazen konulan ve basınç kuvveti alan donatıdır. Ayrıca montaj donatısı konulmaz. Donatı çubuklarının kiriş genişliğine sığmaması durumunda çift sıra olarak da yerleştirilebilir. Basınç donatısının toplam alanı A'_s ile gösterilmiştir.

Gövde Donatısı: Yüksekliği fazla olan kirişlerin yan yüzlerine konulan donatıdır. Şekilde gövde donatısınının toplam alanı $A_{sgövde}$ olarak gösterilmiştir.

Boyuna Donatı: Kiriş eksenine paralel olan çekme, montaj (veya basınç) donatılarına verilen addır. Bu donatılar kiriş genişiliğine sığmalı ve aralarında, kenetlenmeyi sağlamak için, yeterli mesafe olmalıdır. Donatıların kiriş gövde genişliğine sığmaması durumunda; 1) kiriş genişliğini artırmak 2) aynı A_s alanınını sağlayan daha kalın fakat daha az sayıda çubuk koymak 3) çubukların bazılarını tabla içine yerleştirmek 4) çift sıra donatı düzenlemek gibi tedbirler alınır.

Enine Donatı: Boyuna donatılara dik olarak yerleştirilen ve boyuna donatıları saran donatıya verilen addır. Sargı donatısı veya etriye de denir. Açıklıklarda seyrek, mesnet bölgelerinde ve konsollarda sık yerleştirilir. Kesme, burulma kuvvetlerini karşılamak ve betonun şişmesini önlemek gibi çok önemli görevleri vardır.

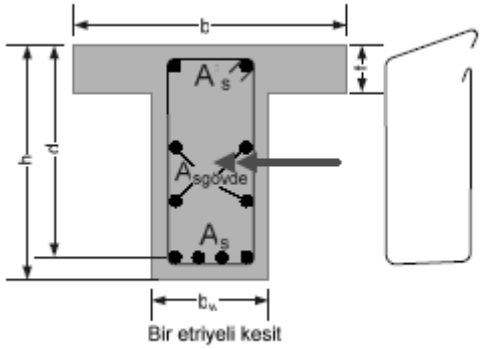
Tanımlar-Donatı oranları



Donatı Oranı: Donatı kesit alanının brüt beton alanına oranıdır. Brüt beton alanı hesabında yükseklik olarak h değil d alınır. Donatı alanı beton alanından düşülmez. Kesitin sadece gövde alanı dikkate alınır, tabla kulakları gibi çıkıntılar dikkate alınmaz. Çekme donatısı, montaj (veya basınç) donatısı, gövde donatısı ve etriye için ayrı ayrı donatı oranı tanımlanır. Donatı oranını simgesi için ρ karakteri kullanılır:

Çekme Donatısının Oranı: Çekme bölgesine konulmuş olan çubukların toplam alanının brüt beton alanına oranıdır:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$$



Montaj Veya Basınç Donatısının Oranı: Montaj veya basınç kuvveti almak amacıyla basınç bölgesine konulmuş olan çubukların toplam alanının brüt beton alanına oranıdır:

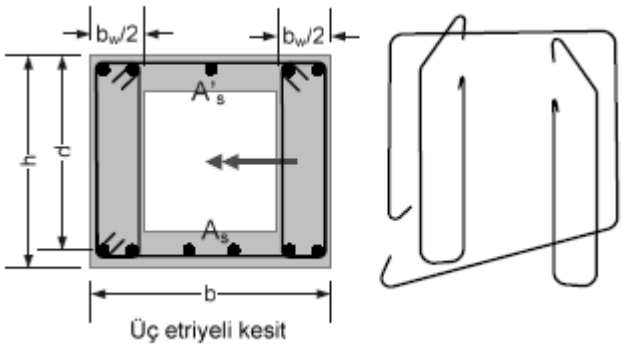
$$\rho' = \frac{A_s}{b_w d}$$

Gövde Donatısının Oranı: Yüksekliği fazla olan kirişlerin yan yüzlerine konulmuş olan çubukların toplam alanının brüt beton alanına oranıdır:

$$\rho_{gövde} = \frac{A_{gövde}}{b_w d}$$

Etriye Donatısının Oranı:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w}$$

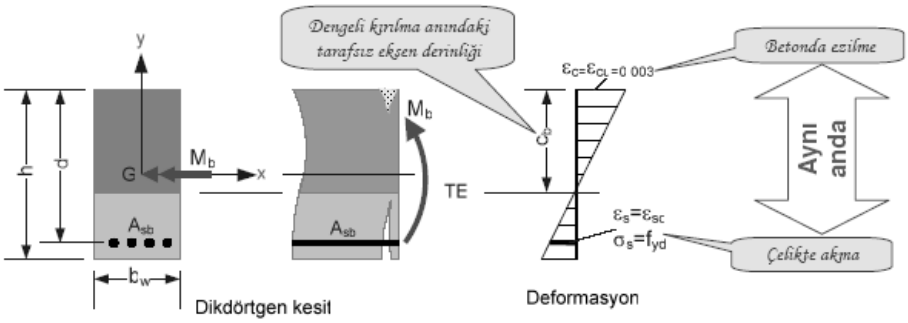


ile tanımlanır. Burada s etriye adımı (aralığı), A_{sw} etriye düşey kollarının toplam kesit alanıdır. Kirişler genellikle iki düşey kolu olan bir etriye ile sarılırlar. Ancak, bazı durumlarda (örneğin geniş kirişlerde) dört, altı veya daha fazla kollu da olabilir. Şekildeki dikdörtgen ve tablalı kesitte bir etriye (iki kollu), kutu kesitte ise üç etriye (altı kollu) vardır. A_{sw} etriye alanı, bir kolun kesit alanı ile düşey kol sayısının çarpımıdır. Kesme kuvvetini sadece düşey kollar karşılar. Bu nedenle yatay kolların alanı hesaba katılmaz.

Dengeli donatı oranı tanımı

Dengeli kırılan kesitin donatı oranına dengeli donatı oranı adı verilir ve ρ_b ile gösterilir. Dengeli kırılmada donatının akması ve betonun ezilmesi aynı anda olur. Donatıdaki deformasyon ε_{sd} akma deformasyonuna ulaştığı an betonun deformasyonu da ε_{cu}=0.003 e ulaşır, beton ezilir ve ani göçme olur. Çelik aktığı için $\sigma_s = f_{yd}$ olacaktır.

Dengeli kırılma donatı oranı, sünek kırılma ile gevrek kırılma arasındaki bir sınır değer olduğundan, önemlidir. ρ_b sünek kırılma donatı oranının üst sınırı, gevrek kırılma oranının alt sınırıdır. b indisi dengeli (balanced) anlamındadır. Bu oran bilindiği taktirde kiriş bu oranın altında donatılarak gevrek kırılma önlenir.



Dengeli kırılma (gevrek kırılma)

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d}$$

A_{sb} :dengeli kırılmaya neden olan toplam donatı alanı

ρ_b :dengeli kırılmaya neden olan donatı oranı

Dengeli, denge üstü ve denge altı donatılı kesit tanımı

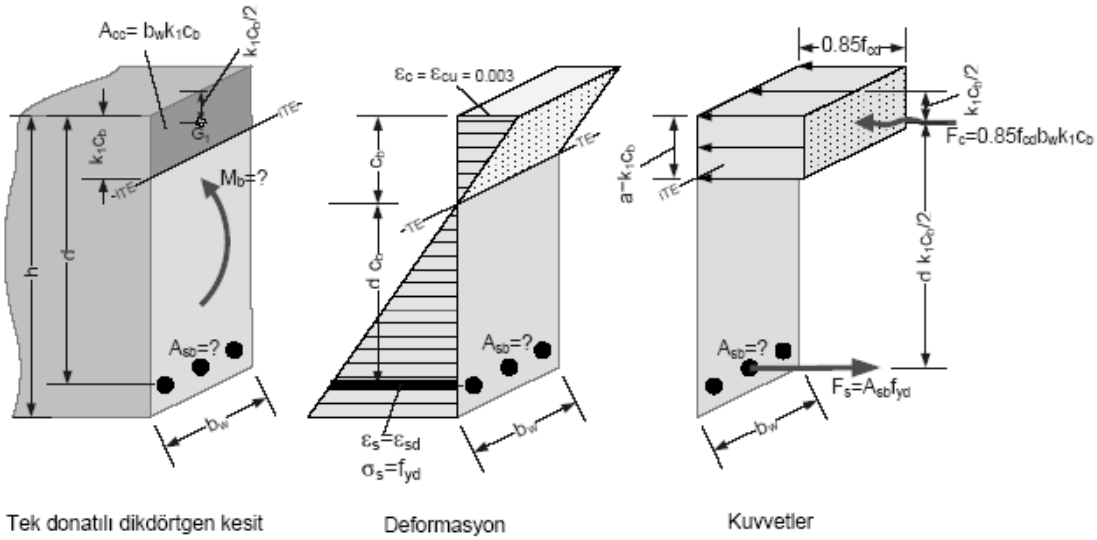
Dengeli donatılı kesit: Donatı oranı dengeli kırılmaya neden olacak kadar olan kesite denir: $\rho = \rho_b$.
Denge üstü donatılı kesit: Donatı oranı dengeli donatı oranından fazla olan kesite denir: $\rho > \rho_b$.
Denge altı donatılı kesit: Donatı oranı dengeli donatı oranından az olan kesite denir: $\rho < \rho_b$.

Kırılma türleri donatı oranlarına göre de sınıflandırılabilir:

1. Dengeli donatılı kesit ($\rho = \rho_b$) gevrek kırılır. — Tehlikeli !
2. Denge üstü donatılı kesit ($\rho > \rho_b$) gevrek kırılır. — Tehlikeli !
3. Denge altı donatılı kesit ($\rho < \rho_b$) sünek kırılır.

- Sünek kırılma arzu edilen kırılma şeklidir!
- Gevrek kırılma tehlikelidir!
- Dengeli kırılma (gevrek) tehlikelidir!
- Dengeli donatı oranı ρ_b sünek kırılma donatı oranının üst sınırıdır.
- Kirişler denge altı donatılmalı, yani daima $\rho < \rho_b$ olmalıdır. Bu bakımdan, ρ_b dengeli donatı oranının bilinmesi önemlidir.

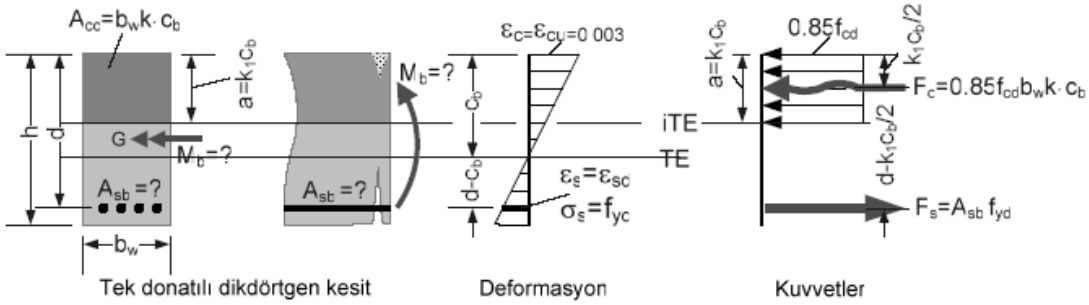
Tek Donatılı Ve Dikdörtgen Kesitli Bir Kirişin Dengeli Kırılmasına Neden Olan Donatı Alanı, Donatı Oranı Ve Bu Kirişin Moment Taşıma Gücünün Hesabı



Dengeli kırılma (gevrek kırılma)

Kesit boyutları (b_w, h, d) ve malzeme (beton/çelik sınıfı) bilinmektedir.
Dengeli kırılmaya neden olacak toplam çekme donatısı alanı A_{sb} ve donatı oranı ρ_b nedir?
Kesitin moment kapasitesi M_b (moment taşıma gücü) ne kadardır?

Çözüm:
Dengeli kırılmaya ait deformasyon diyagramı ve iç kuvvet durumu şekildeki gibi olacaktır. Donatı ε_{sd} akma birim uzamasına ulaştığı an beton da ε_{cu} =0.003 kırılma birim kısalmasına ulaşcak ve beton ezilecektir. Çelik aktığı için gerilmesi f_{yd} olacaktır. Kırılma anına ait iç kuvvet durumu şekilde görülmektedir. Kesit boyutları ile beton ve çelik sınıfı bilindiğinden d, b_w, ε_{sd}, f_{yd}, f_{cd}, k_1 bellidir. Tarafsız eksenin derinliği c_b deformasyon diyagramından orantı ile bulunabilir. Bu değer F_c beton basınç kuvvetinde yerine yazılarak ve F_c=F_s kullanılarak A_{sb} belirlenebilir.



Dengeli kırılma (gevrek kırılma)

Dengeli donatı oranı (tanım):

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d}$$

Uygunluk (süreklilik) koşulu (deformasyon diyagramından orantı ile):

$$\frac{0.003}{\varepsilon_{sd}} = \frac{c_b}{d - c_b}$$

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sd}} d$$

Çelik akma deformasyonları

Çelik sınıfı	$\varepsilon_{sd}= f_{yd}/ E_s$
S220a	0.000957
S420a	0.001826
S420b	0.001826
S500a	0.002174

Tarafsız eksenin yeri (derinliği) bulunur. Burada ε_{sd}=f_{yd}/E_s dir ve çelik sınıfına bağlı değerler tabloda verilmiştir.

Eksenel denge koşulu :

F_c-F_s= 0 → $0.85 f_{cd} b_w k_1 c_b$-$A_{sb} f_{yd}$= 0 → $A_{sb} = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w k_1 c_b$ (dengeli kırılmaya neden olan çekme donatısı alanı)

Her iki taraf b_wd ye bölünür ve c_b yerine konursa:

$$\frac{A_{sb}}{b_w d} = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} k_1 \frac{c_b}{d}$$

$$\rho_b = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} k_1 \frac{c_b}{d}$$

$$\rho_b = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} k_1 \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sd}}$$

Dengeli donatı oranı bulunur. Bu oran sadece malzemeye bağlıdır (f_{cd}, k_1 betona; f_d, ε_{sd} çeliğe ait sabit değerler). Değişik malzeme için ρ_b değeri hesaplanabilir.

Moment Kapasitesi (Moment Taşıma Gücü):

$$M_b = A_{sb} f_{yd} (d - \frac{k_1 c_b}{2})$$

Kırılma anındaki moment çelik kuvveti ile moment kolunun çarpımına eşittir. Beton basınç kuvveti ile moment kolunun çarpımı da aynı sonucu verir. Çelik kuvvetinden hesaplamak daha basittir. Görüldüğü gibi dengeli donatı oranını ρ_b kesit boyutlarından bağımsızdır. Bu oranın bilinmesi çok önemlidir, çünkü:

- Bir kiriş dengeli veya denge üstü donatılmışsa gevrek kırılır (TEHLİKELİ!).
- Bir kiriş denge altı donatılmışsa sünek kırılır (İSTENEN KIRILMA TÜRÜ!).

Donatı Oranı Üst Ve Alt Sınırları

Dengeli donatı oranı ρ_b teorik üst sınır değerdir. Güvenlik nedeniyle, uygulamada kirişin donatı oranı bu üst sınırdan bir miktar daha uzak (küçük) kalmalıdır. Donatı oranı sıfır olamaz. O halde donatı oranının alt sınırı da olmalıdır.

TS500-2000 ve Deprem yönetmeliği-2007 donatı oranını aşağıdaki gibi sınırlandırmıştır. Mühendis kesite koyduğu donatının oranını kontrol etmek, yönetmelik sınırlarına uymak zorundadır.

Tek donatılı kirişlerde donatı oranının üst sınırı:

$$\rho \le 0.85 \rho_b$$
$$\rho \le 0.02$$

Tek donatılı kirişlerde donatı oranının alt sınırı:

$$\rho \ge 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

Çift donatılı kirişlerde donatı oranının üst sınırı:

$$\rho - \rho' \le 0.85 \rho_b$$

$$\rho \le 0.02$$

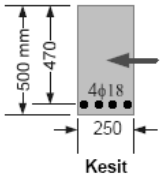
Çift donatılı kirişlerde donatı oranının alt sınırı:

$$\rho \ge 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

ρ: Çekme donatısının oranı
ρ' : basınç donatısının oranı

ÖRNEK

Verilenler:
İyi denetimli bir şantiyede yapılmış bir kirişin açıklık kesiti.
Malzeme: C20/25/S420a.



İstenen:
Kesit dengeli mi, denge altı mı, denge üstü mü donatılmıştır?
Kırılma nasıl olur? Belirleyiniz.
Mevcut donatı yönetmeliklere uygun mu? Kontrol ediniz.

ÇÖZÜM:
Mevcut donatı alanı ve oranı: $A_s = 1018$ mm², $\rho = 1018/(250 \cdot 470) = 0.0087$ ← $\rho = \frac{A_s}{b_w d}$
Malzeme katsayıları: $\gamma_{mc} = 1.5$, $\gamma_{ms} = 1.15$
Malzeme tasarım dayanımları: $f_{cd} = 20/1.5 = 13.33$ N/mm² ← $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}$
$f_{ctd} = 1.6/1.5 = 1.07$ N/mm², $f_{yd} = 420/1.15 = 365.22$ N/mm² ← $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}}$
Diğer: $k_1 = 0.85$, $E_s = 2 \cdot 10^5$ N/mm²
$\varepsilon_{sd} = 365.22/ 2 \cdot 10^5 = 0.001826$ (akma anında çelik deformasyonu) ← $\varepsilon_{sd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$

Dengeli kırılma halinde tarafsız eksenin derinliği: $c_b = 0.003 \cdot 470/(0.003+0.001826) = 292$ mm ← $c_b = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sd}} d$
Dengeli kırılmaya neden olan donatı oranı:
$\rho_b = 0.85 \cdot 13.33 \cdot 0.85 \cdot 292/(365.22 \cdot 470) = 0.0164$ (bu değer doğrudan tablodan da alınabilirdi). ← $\rho_b = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} k_1 \frac{c_b}{d}$

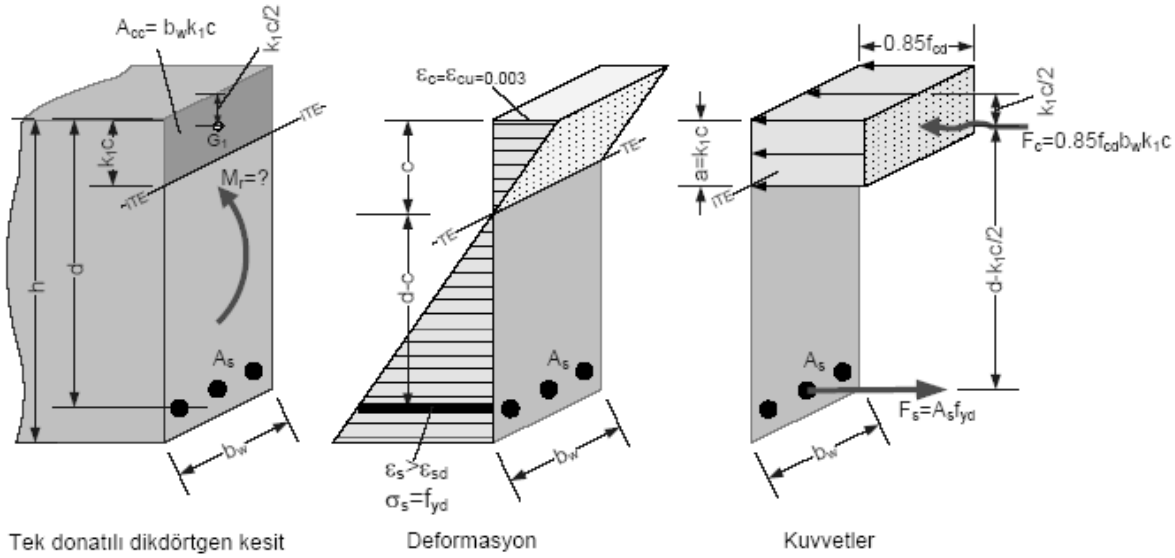
Kiriş denge altı mı? Kontrol:
$\rho = 0.0087 < 0.85\ \rho_b = 0.85 \cdot 0.0164 = 0.0139$

olduğundan kiriş denge altı donatılmıştır, kırılma sünek olur.

Donatı sınırları kontrolü:

$\rho = 0.0087 < 0.85\ \rho_b = 0.0139$ ✓
$\rho = 0.0087 < 0.02$ ✓
$\rho = 0.0087 > 0.8 \cdot 1.07/365.22 = 0.0023$ ✓ ← $\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$
olduğundan donatı oranı yönetmeliklere uygundur.

Tek Donatılı, Dikdörtgen Kesitli, Denge Altı Donatılmış Kirişin Taşıma Gücü

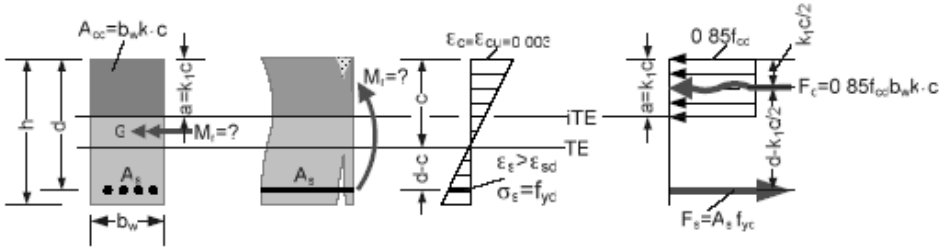


Çekme kırılması (sünek kırılma)

Kesit boyutları (b_w, d, h), donatı alanı (A_s) ve malzeme (beton/çelik sınıfı) bilinmektedir. Denge altı donatılı olduğu varsayılan kesitin moment taşıma gücü (M_r) ne kadardır?

Denge altı donatılı kesitlerde önce çelik akar, $\varepsilon_s > \varepsilon_{sd}$, $\sigma_s = f_{yd}$ olur. Çelik uzamaya devam ederken betondaki birim kısalma da giderek artar, $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$ olur ve beton ezilir. Kırılma sünektir (çekme kırılması). Yönetmelikler sadece denge altı donatılı kesitlere izin verirler:

$\rho = A_s /(b_w d) \le 0.85\rho_b$ olmak zorundadır.



Eksenel kuvvet dengesi:

$$F_c = F_s \rightarrow 0.85\, f_{cd}\, b_w k_1 c = A_s f_{yd}$$

Tarafsız eksenin yeri:

$$c = \rho \frac{d}{0.85\, k_1} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Kirişin moment taşıma gücü:

F_s=F_c kuvvet çiftinin momenti kirişin kırılma anındaki momentini, yani moment taşıma gücünü verir.

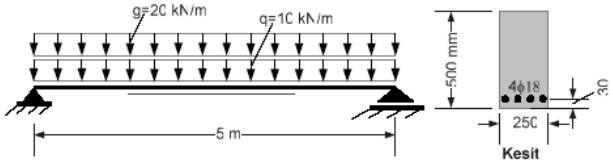
$M_r = F_s\,(d\text{-}k_1c/2) = F_c\,(d\text{-}k_1c/2)$ olur. M_r yi çelik kuvvetinden hesaplamak daha basittir:

$$M_r = A_s f_{yd}(d - \frac{k_1 c}{2})$$

Tek donatılı, dikdörtgen kesitli, denge altı donatılı kiritln talma gücü- ÖRNEK

Verilenler:
İyi denetimli bir şantiyede yapılmış kirişin boyutları, donatısı, g (sabit) ve q (hareketli) karakteristik yükleri , malzemesi: C20/25/S420a.

İstenen:
Kiriş verilen yükleri güvenle taşıyabilir mi?



ÇÖZÜM:
Kirişin güvenli olması için,
1) Gevrek kırılma önlenmiş, yani kiriş denge altı donatılı olmalı, donatı oranı aşağıdaki koşulları sağlamalı:

$\rho \le 0.85\,\rho_b$, $\rho \le 0.02$ (max donatı oranı)
$\rho \ge 0.8\, f_{ctd}/f_{yd}$ (min donatı oranı)

2) Kirişin taşıma gücü, yüklerden oluşan tasarım momentinden büyük veya eşit olmalı:

$M_r \ge M_d$

C20/25/S420a malzemesi için:

γ_{mc}=1.5, γ_{ms}=1.15

f_{ck}=20 N/mm^2, f_{ctk}=1.6 N/mm^2, f_{yk}=420 N/mm^2

k_1=0.85, E_s=2·0^5 N/mm^2

f_{cd}=20/1.5=13.33 N/mm^2, f_{ctd}=1.6/1.5=1.07 N/mm^2

f_{yd}=420/1.15=365.22 N/mm^2

ρ_b=0.0164 (tablodan. ERSOY/ÖZCEBE, S. 235 den de ρ_b=0.0160 alınabilir)

Donatı oranı kontrolü:

$A_s = 1018\ mm^2$, $\rho = 1018/(250 \cdot 470) = 0.0087$

$\rho = 0.0087 < 0.85\rho_b = 0.85 \cdot 0.0164 = 0.0139$ (denge altı donatılı) ✓

$\rho = 0.0087 < 0.02$ ✓

$\rho = 0.0087 > 0.8 \cdot 1.07/365.22 = 0.0023$ ✓

Tarafsız eksenin yeri ve moment kapasitesi:

$$c = \rho \frac{d}{0.85\ k_1} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$c = 0.0087 \cdot 470 \cdot 365.22/(0.85 \cdot 0.85 \cdot 13.33) = 155$ mm

$$M_r = A_s F_{yd} (d - \frac{k_1 c}{2})$$

$M_r = 1018 \cdot 365.22(470 - 0.85 \cdot 155/2) = 150251234$ N·mm

$M_r = 150.25$ kN·m (moment taşıma gücü)

Tasarım momenti:

$M_g = 20 \cdot 5^2/8 = 62.5$ kN·m (sabit yükten)

$M_q = q \cdot 5^2/8 = 3.125q$ kN·m (hareketli yükten)

$M_d = 1.4 \cdot 62.5 + 1.6 \cdot 3.125q = 87.5 + 5.0q$ (tasarım momenti)

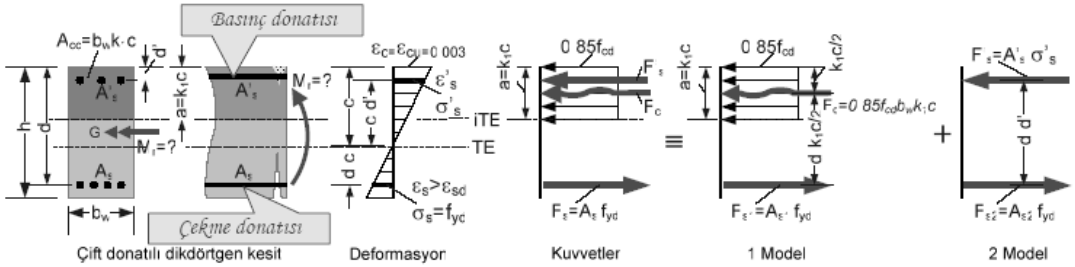
Kirişin güvenle taşıyabileceği maksimum q karakteristik yükü:

$M_d \le M_r$ olmalı.

$87.5 + 5.0q \le 150.25$

$q = 12.55$ kN/m bulunur.

Çift donatılı, dikdörtgen kesitli, denge altı donatılı kirişin taşıma gücü



$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$$ (çekme donatısı oranı)

$$\rho' = \frac{A'_s}{b_w d}$$ (basınç donatısı oranı)

Tek donatılı kirişin moment kapasitesi yetersiz kaldığında, kapasiteyi artırmak için ya kiriş kesiti (b_w. d) büyütülür yada basınç bölgesine de donatı konur. Şekilde basınç donatısı A'_s ile çekme donatısı da A_s ile gosterilmiştir. Montaj donatısı basınç donatısı olarak algılanmaz!

İç kuvvetler 1.modelin ve 2.modelin toplamı olarak düşünülebilir. $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ dir. Dengeli donatı

durumunda A'_s akar, öyleyse $\sigma'_s = f_{yd}$, $F'_s = F_{s2}$, $A'_s = A_{s2}$, $A_{s1} = A_s - A'_s$ olur. Dengeli kırılma A_{s1} donatısının akması, uzaması ve daha sonra da betonun ezilmesi ile olur. Çünkü, ikinci modelde beton kuvveti yoktur, sadece çelik çubuklarda kuvvetler vardır. A_{s2} ve A'_s sünek malzemelerdir; aksalar dahi, beton olmadığı için, ikinci modelde gevrek kırılma olmaz. O halde kırılmanın türünü tek donatılı olan birinci model belirleyecektir. Bu nedenle, A_{s1} donatısının oranı, tek donatılı kesite ait ρ_b den küçük olmalıdır.

1. Modeldeki A_{s1} donatısının oranı:

$$\frac{A_{s1}}{b_w d} \le \rho_b \Rightarrow \frac{A_s - A_s'}{b_w d} = \frac{A_s}{b_w d} - \frac{A_s'}{b_w d} \Rightarrow \rho - \rho' \le \rho_b$$

TS500-2000, güvenlik ve süneklik nedeniyle, $\rho - \rho'$ ve ρ oranlarını aşağıdaki gibi sınırlamaktadır:

$$\rho - \rho' \le 0.85\rho_b$$
$$\rho \le 0.02$$

TS500-2000, S. 23
Deprem Yönetmeliği-2007, Madde 3.4.2.1
ERSOY/ÖZCEBE, S. 261

Eksenel denge : $F_c + F'_s - F_s = 0$
Moment taşıma gücü: $M_r = F_c(d - k_1 c/2) + F'_s(d - d')$

Beton bileşke kuvveti : $F_c = 0.85 f_{cd} b_w k_1 c$
Basınç donatısı kuvveti : $F'_s = A'_s \sigma'_s \quad (\sigma'_s = E_s \varepsilon'_s \le f_{yd})$
Çekme donatısı kuvveti : $F_s = A_s f_{yd}$

Eksenel denge : $0.85 f_{cd} b_w k_1 c + A'_s \sigma'_s - A_s f_{yd} = 0 \quad (1)$

Moment taşıma gücü : $M_r = 0.85 f_{cd} b_w k_1 c\left(d - \frac{k_1 c}{2}\right) + A'_s \sigma'_s (d - d') \quad (2)$

(1) Ve (2) bağıntılarında sadece c ve σ'_s bilinmiyor!

Uygunluk koşulu : $\frac{\varepsilon'_s}{0.003} = \frac{c - d'}{c} \Rightarrow \varepsilon'_s = 0.003 \frac{c - d'}{c} \quad (3)$

Basınç donatısı gerilmesi : $\sigma'_s = E_s \varepsilon'_s \le f_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = E_s \cdot 0.003 \frac{c - d'}{c} \le f_{yd} \quad (4)$

Çözüm, basınç donatısının akıp akmadığına bağlıdır! Akmışa $\sigma'_s = f_{yd}$ alınacaktır, akmamışsa $\sigma'_s = E_s \varepsilon_s$ den hesaplanacaktır. Basınç donatısı, en çok zorlanan beton lifine yakın olduğundan, uygulamada genellikle akar. Moment kapasitesinin hesabı için aşağıdaki yol izlenir.

Hesap sırası:

1. Kesit denge altı mı? bak; $\rho - \rho' \le 0.85\,\rho_b$ olmalı! ρ nun alt ve üst sınırlarını kontrol et.
2. A'_s basınç donatısının aktığını varsay, $\sigma'_s = f_{yd}$ al, (1) de yerine koy c yi hesapla:

$$c = \frac{(A_s - A'_s) f_{yd}}{0.85\, f_{cd}\, b_w k_1}$$

3. σ'_s değerini hesapla:

$$\sigma'_s = 0.003\, E_s \frac{c - d'}{c}$$

a) $\sigma'_s \geq f_{yd}$ ise A'_s basınç donatısı **akmıştır**, yani varsayım ve hesaplanan c **doğrudur**. Bu c ve $\sigma'_s = f_{yd}$ değerini (2) ifadesinde yerine koy M_r yi bul, hesabı bitir.

b) $\sigma'_s < f_{yd}$ ise, basınç donatısı **akmamıştır**, yani varsayım ve hesaplanan c doğru **değildir**. (4) ifadesinin (1) de yerine konmasıyla bulunan

$$0.85\, f_{cd}\, b_w k_1 c^2 + (0.003\, E_s A'_s - A_s f_{yd})c - 0.003\, E_s A'_s d' = 0$$

bağıntısından c nin yeni değerini ve $\sigma'_s = E_s \cdot 0.003 \dfrac{c - d'}{c}$ değerini hesapla, bu c ve σ'_s son değerlerini (2) de yerine yaz, M_r yi bul, hesabı bitir.

2. A'_s basınç donatısı **akmış** varsayalım: $\sigma'_s = f_{yd} = 365.22$ N/mm^2

$c = (1580-520)365.22/(0.85 \cdot 10.67 \cdot 300 \cdot 0.85) = 167.4$ mm $\leftarrow$ $c = \dfrac{(A_s - A'_s) f_{yd}}{0.85\, f_{cd}\, b_w k_1}$

3. $\sigma'_s = 0.003 \cdot 2 \cdot 10^5 \dfrac{167.4 - 30}{167.4} = 492.47$ N/mm$^2 > f_{yd} = 365.22$ N/mm^2 $\leftarrow$ $\sigma'_s = 0.003 E_s \dfrac{c - d'}{c}$

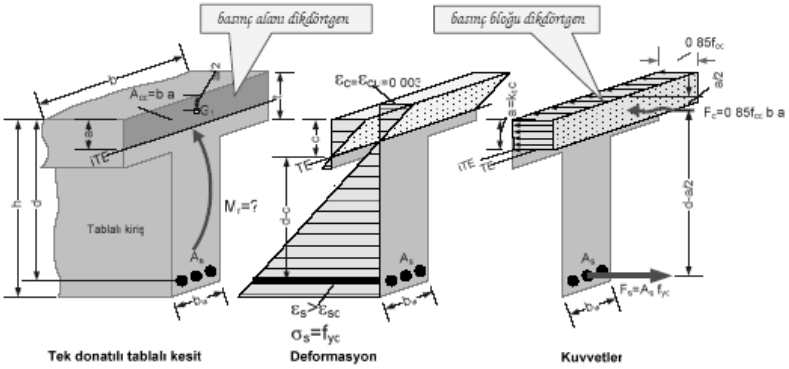
a) $\sigma'_s > f_{yd}$, yani A'_s donatısı **akmıştır**. Varsayım, dolayısıyla hesaplanan c **doğrudur**:

$M_r = 0.85 \cdot 10.67 \cdot 300 \cdot 0.85 \cdot 167.4(450 - 0.85 \cdot 167.4/2) + 520 \cdot 365.22(450 - 30)$

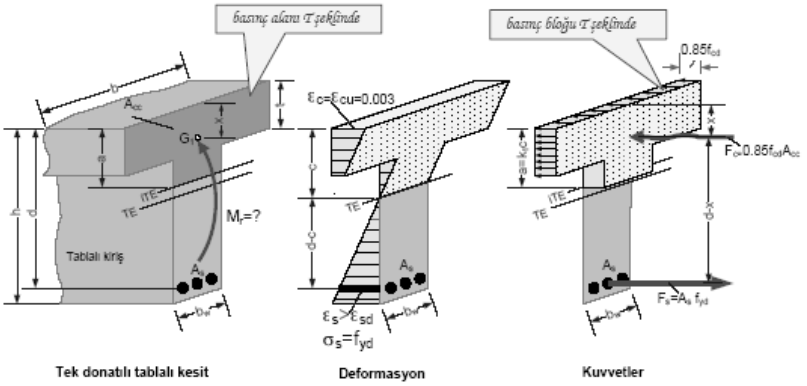
$M_r = 226437665 \text{N} \cdot \text{mm} \approx 226.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ $\leftarrow$ $M_r = 0.85 f_{cd} b_w k_1 c (d - \dfrac{k_1 c}{2}) + A'_s \sigma'_s (d - d')$

Tablalı kesitin taşıma gücü

Tablalı kesitlerde, eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunun tabla içinde kalması veya tabla altına sarkmasına bağlı olarak, iki farklı durum vardır. Basınç bloğu derinliği $a \leq t$ durumunda basınç bloğu tabla içindedir ve A_{cc} basınç alanı dikdörtgen şeklindedir. $a > t$ durumunda basınç bloğu tabla altına sarkmaktadır ve A_{cc} basınç alanı T şeklinde olur. Bu iki farklı durum aşağıda gösterilmiştir.



a ≤ t durumu (basınç alanı ve basınç bloğu dikdörtgen)



a >t durumu (basınç alanı ve basınç bloğu T şeklinde)

Basınç Bloğu Derinliği a nın İrdelenmesi:

Basınç bloğu tabla içinde midir? Yoksa tablanın altına sarkıyor mu? Aşağıdaki gibi belirlenebilir. Eksenel denge nedeniyle $F_c=F_s$ dir. Basınç alanını dikdörtgen varsayarak:

$0.85f_{cd}\, a\, b=A_sF_{yd} \rightarrow a= A_sF_{yd}/ (0.85f_{cd}\ b)$

- $a \le t$ ise basınç alanı tabla içinde kalmaktadır. Basınç alanı ve basınç bloğu dikdörtgendir.
- $a>t$ ise basınç alanı tabla altına sarkmaktadır. Basınç alanı ve basınç bloğu T şeklindedir.

Tablalı kesitlerde donatı oranı ve dengeli donatı oranı:

Tablalı kesitlerde donatı oranı dikdörtgen kesitlerdeki gibidir. Dengeli donatı oranı ise farklıdır.

Donatı oranı: $\rho = \dfrac{A_s}{b_w d}$

Dengeli donatı oranı: $\rho_b = \dfrac{0.85 f_{cd}}{f_{yd}}[k_1 \dfrac{0.003}{0.003+\varepsilon_{sd}} + (\dfrac{b}{b_w}-1)\dfrac{t}{d}]$

ρ_b bağıntısı için bakınız : ERSOY/ÖZCEBE, S. 251-253

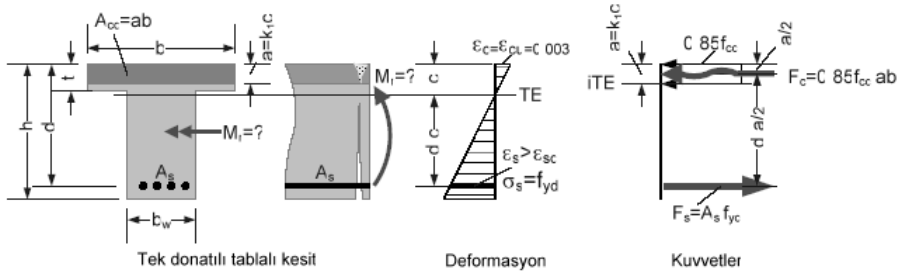
ile hesaplanır, burada $\varepsilon_{sd} = f_{yd}/E_s$ dir.

Normal yapıların birdöküm kirişlerinde b tabla genişliği büyük, $b>b_w$ dir. Basınç gerilmeleri büyük bir alana yayılır. Bu nedenle denge altı koşulu $\rho \le 0.85\rho_b$ genelde kendiliğinden sağlanır, kontrole gerek yoktur. Öndöküm (prefabrik) kirişler için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Dikdörtgen kesitlerde $b/b_w=1$ dir. Bundan hareketle, genelleme yapılırsa, b/b_w oranı 1 e yakın tablalı kirişlerde $\rho \le 0.85\rho_b$ denge altı koşulunun kontrol edilmesi gerekir.

Tablalı Kesitin Taşıma Gücü-Basınç Alanının Dikdörtgen Olması Durumu

a ≤ t durumu (A_{cc} basınç alanı ve basınç bloğu dikdörtgen):

Basınç alanı dikdörtgen olduğundan, tablalı kesitin moment taşıma gücü tek donatılı dikdörtgen kesitin taşıma gücü gibi hesaplanır. Hesapta izlenecek yol aşağıda özetlenmiştir.



Tek donatılı tablalı kesit — Deformasyon — Kuvvetler

Basınç alanı dikdörtgen olan tablalı kesitlerde :

Basınç alanı : $A_{cc} = ab$

Eksenel denge : $0.85\, f_{cd}\, a\, b - A_s f_{yd} = 0$

Gerilme bloğu derinliği ve tarafsız eksenin derinliği: $a = \dfrac{A_s f_{yd}}{0.85\, f_{cd}\, b}$, $c = a/k_1$

Moment taşıma gücü : $M_r = A_s f_{yd}(d - \dfrac{a}{2})$

$\rho = \dfrac{A_s}{b_w d}$

$\rho_b = \dfrac{0.85 f_{cd}}{f_{yd}}[k_1 \dfrac{0.003}{0.003+\varepsilon_{sd}}]$

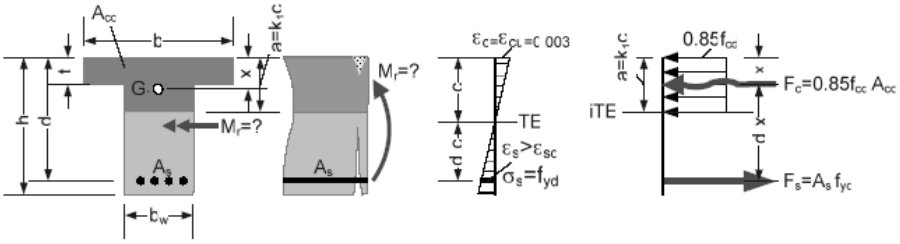
$\varepsilon_{sd} = \dfrac{f_{yd}}{E_{sd}}$

Basınç alanı dikdörtgen olduğundan Dikdörtgen kesitler için verilen ρ_s değeri geçerlidir

Tablalı Kesitin Talma Gücü-Basınç Alanının T Şeklinde Olması Durumu

a>t durumu (A_{cc} basınç alanı ve basınç bloğu T şeklinde):

Bu durumdaki tek zorluk T şeklindeki basınç alanının ve bu alanın ağırlık merkezinin (F_c kuvvetinin etkime noktası) hesaplanmasıdır. Bu bağıntılar aşağıda özetlenmiştir.



Basınç alanı : $A_{cc} = k_1 c b_w + 2t\dfrac{b-b_w}{2}$

Eksenel denge : $0.85 f_{cd}(k_1 c b_w + 2t\dfrac{b-b_w}{2}) - A_s f_{yd} = 0$

Tarafsız eksenin derinliği : $c = \dfrac{A_s f_{yd} - 0.85\, f_{cd} t (b-b_w)}{0.85\, f_{cd} k_1 b_w}$

Basınç bloğu derinliği : $a = k_1 c$

Basınç alanının ağırlık merkezi: $x = \dfrac{1}{2}\dfrac{(b-b_w)t^2 + b_w a^2}{(b-b_w)t + b_w a}$

Moment taşıma gücü : $M_r = A_s f_{yd}(d-x)$

Basınç bölgesi tabla altına sarkan tablalı kesitlerde :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

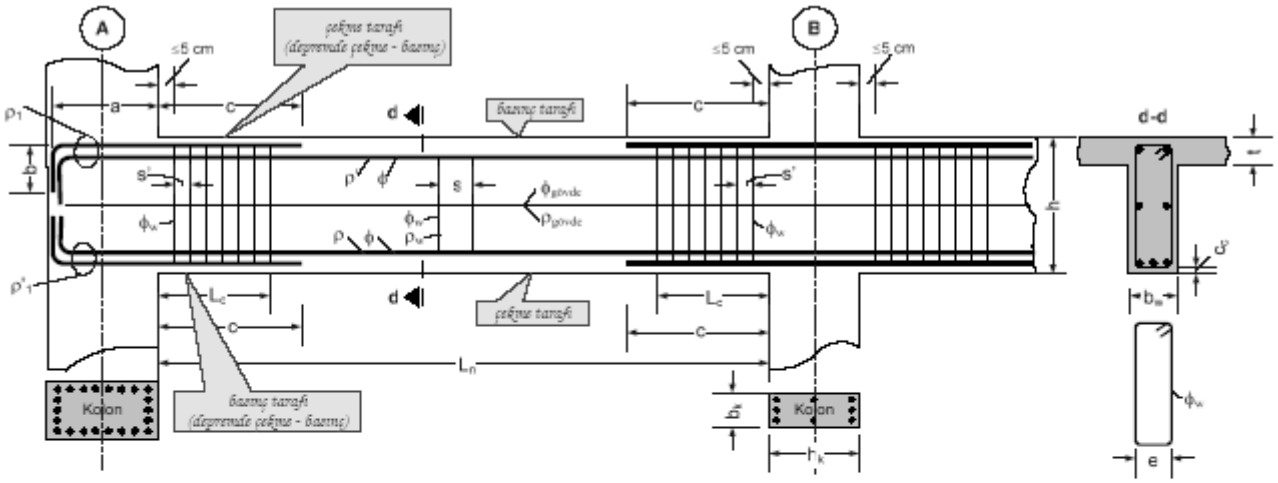
$$\rho_b = \frac{0.85 f_{cd}}{f_{yd}}\left[k_1 \frac{0.003}{0.003+\varepsilon_{sd}} + \left(\frac{b}{b_w}-1\right)\frac{t}{d}\right]$$

$$\varepsilon_{sd} = \frac{f_{yd}}{E_{sd}}$$

ρ_b bilgi olarak verilmiştir. Denge altı kontrolüne gerek yoktur.

ρ_b bağıntısı için bakınız ERSOY/ÖZCEBE, S. 251

Kirişlerde sınır değerler



L_n: kiriş net açıklığı
L_c: sarılma bölgesi uzunluğu
c: donatının komşu açıklığa uzatılma miktarı
a: ilk ve son kolonda donatının kolon içindeki uzunluğu
b: donatının komşu açıklıkta devam ettirilememesi durumunda (örneğin:ilk ve son mesnette) boyuna donatının 90° aşağı veya yukarı kıvrılan kısmının uzunluğu
b_w: kiriş genişliği
h: kiriş yüksekliği
t: tabla kalınlığı
c_c: net beton örtüsü
b_k: kolonun kirişe dik kenarı
h_k: kolonun kirişe paralel kenarı

ϕ: boyuna donatı çapı
ρ: çekme donatısı oranı
ρ': basınç (veya montaj) donatısı oranı
ρ_1: mesnet üstündeki donatının oranı
ρ'_1: mesnet altındaki donatının oranı
ϕ_w: açıklıkta etriye donatısı çapı
ρ_w: açıklıkta etriye donatısı oranı
s: açıklıkta etriye adımı (aralığı)
s': sarılma bölgesinde etriye adımı (aralığı)
$\phi_{gövde}$: gövde donatısı çapı
$\rho_{gövde}$: gövde donatısı oranı
e: etriye genişliği

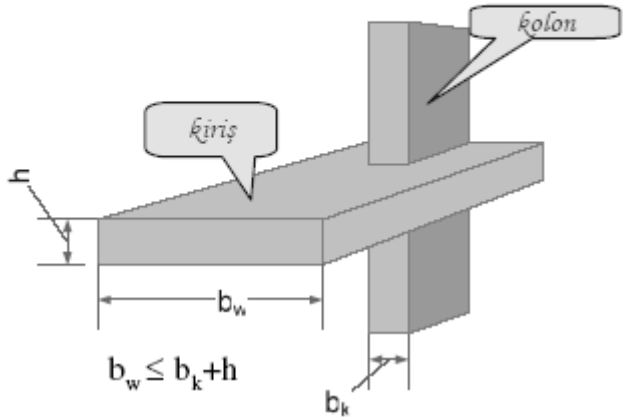
KİRİŞLERDE SINIR DEĞERLER

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek öneri	Açıklama
	TS 500-2000	Deprem Yön.-2007		
min b_w	20 cm	25 cm	25 cm	
max b_w	b_k+h	b_k+h	-	1
min h	30 cm , 3t	30 cm , 3t	40 cm , L_n/12	
max h	-	3.5 b_w , L_n/4	-	2
min L_n/h	2.5 sürekli kirişte 1.5 basit kirişte	-	-	2
min ρ	0.8 f_{ctd}/f_{yd}	-	-	
max (ρ-ρ')	0.85 ρ_b	-	ρ_l =0.235 f_{cd}/f_{yd}	3
max ρ	0.85 ρ_b , 0.02	0.85 ρ_b , 0.02	-	
max ρ_1	0.85 ρ_b , 0.02	0.85 ρ_b , 0.02	-	
min ρ'	-	ρ_1/4	-	
max ρ'_1	-	0.85 ρ_b , 0.02	-	
min ρ_1	0.8 f_{ctd}/f_{yd}	0.8 f_{ctd}/f_{yd}	-	
min ρ'_1	-	0.5 ρ_1 , 0.8 f_{ctd}/f_{yd}	-	
max (ρ_1-ρ'_1)	0.85 ρ_b	0.85 ρ_b	ρ_l	
min L_c	2h	2h	-	Sarılma bölgesi
max s	0.5 h	0.5 h	20 cm	
min s	-	-	10 cm	
max s'	h/4 , 15 cm	h/4 , 15 cm , 8ϕ_{min}	s/2 ,10 cm	ϕ_{min}: boyuna donatı min çapı
min s'	-	-	5 cm	
max e	-	-	35 cm	b_w>40 cm kirişlerde 4, 6,... kollu etriye kullanılmalı

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek öneri	Açıklama
	TS 500-2000	Deprem Yön.-2007		
min ϕ	12 mm	12 mm	-	
max ϕ	-	-	24 mm	
min ϕ_w	8 mm	8 mm		
max ϕ_w	-	-	12 mm	
min ρ_w	0.3f_{ctd}/f_{ywd}	-	-	f_{ywd}: etriye dayanımı
min a	-	0.4 l_b	-	4
min b	-	12ϕ	-	
min (a+b)	-	l_b	50ϕ	Kenetlenme boyu
min c	-		L_n/4	Kenetlenme boyu
min (h_k+c)	-	l_b , 50 ϕ		Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı için kenetlenme boyu
max N_d	0.1 $f_{ck}A_c$	0.1 $f_{ck}A_c$	-	5
max V_d	0.22 $f_{cd}A_c$	0.22 $f_{cd}A_c$	-	
min $\phi_{gövde}$	10 mm	12	-	
min $\rho_{gövde}$	0.001	-	-	6
min c_c	2 cm(içte) 2.5 cm (dışta)	-	3 cm (içte-dışta)	7
min donatı aralığı	2.5 cm , ϕ	-	5 cm	7
min beton sınıfı	C16/20	C20/25	C25/30	
min kanca boyu	6ϕ , 5 cm	10ϕ , 10 cm(düz) 6ϕ , 8 cm(nervürlü)	10ϕ ,10 cm (her tür çelik için)	
min çelik sınıfı	S220a	S220a (etriye) S420a, S420b (boyuna)	S420a	Sadece nervürlü çelik kullanınız!
max çelik sınıfı	-	S420a , S420b	S420a	b sınıfı çelikten kaçınınız!
min çekme donatısı sayısı	-	2ϕ12	3ϕ12	
min montaj donatısı sayısı	2ϕ12	2ϕ12		

AÇIKLAMALAR:

1. Kiriş genişliği sınırlaması



2. Bu koşulu sağlamayan kirişler, yüksek kiriş olarak tasarlanır ve donatılır (Bak. DY/2007, Madde 3.4.2.5).

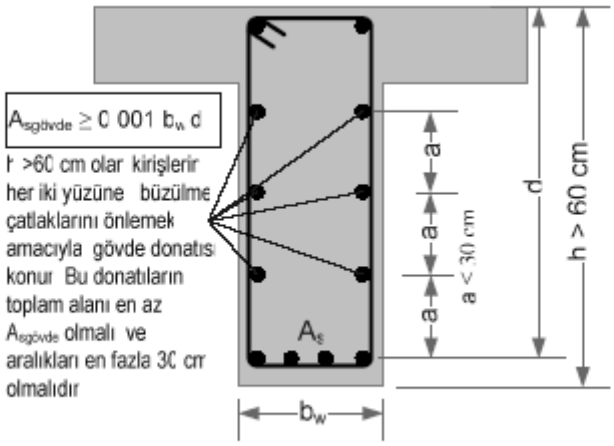
3. Donatı oranı sınırlaması

$\rho_l = 0.235\ f_{cd}/f_{yd}$ (deplasman, çatlak sınırlaması. Bak: ERSOY/ÖZCEBE, S. 260 Paragraf 5.4.2)

4. l_b kenetlenme boyunun hesabı için TS 500-2000 sayfa 40, madde 9.1.2 ye bakınız.

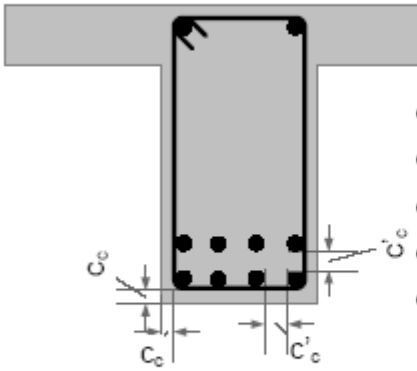
5. Bu koşulun sağlanmaması durumunda kolon olarak boyutlandırılır (Bak. DY-2007, Madde 3.4.1.2).

6. Gövde donatısı



Bak: TS500-2000, S. 23. DY-2007, Madde 3.4.2.5

7. Net beton örtüsü ve net donatı aralığı (Bakınız: TS500-2000, S. 44)



$c_c \geq 2$ cm (içteki kirişlerin net beton örtüsü)

$c_c \geq 2.5$ cm (dıştaki kirişlerin net beton örtüsü)

$c'_c \geq 2.5$ cm (net donatı aralığı)

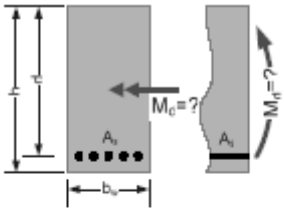
$c'_c \geq \phi$

c_c ve $c'_c \geq$ agrega max tane çapının üçte dördü

$c_c \geq 3$ içte, dışta tüm kirişlerde önerilir. Yangına 3-4 saat dayanıklılık istenirse $c_c \geq 4$ cm olmalı.

Çift sıra donatı önerilmez.

Kiriş kesit hesabı

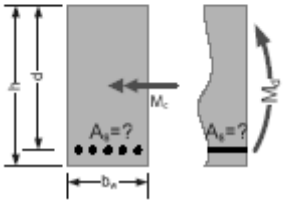


Uygulamada iki farklı problem türü ile karşılaşılır:

I) Taşıma gücü hesabı

Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, donatı alanı ve donatının yeri bilinir. Kesitin kırılma anında taşıyabileceği iç kuvvet (taşıma gücü) aranır.

Genelde, mevcut bir yapının durumunun belirlenmesinde karşılaşılan problem türüdür.



2)Kesit hesabı

Yeni bir proje yapılırken karşılaşılan problem türüdür. Mühendisin elinde sadece mimari proje vardır. Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, iç kuvvetler (moment, kesme, normal kuvvet, v.b.) ve donatı alanı bilinmemektedir. Statik hesapların yapılabilmesi (iç kuvvetlerin hesaplanabilmesi) için kesit boyutlarının bilinmesi gerekir.

•Önce kesit boyutları ve malzeme Mühendis tarafından seçilir. Bunun için basit ve yaklaşık ön hesaplar yapar, deneyimini ve önsezisini kullanarak karar verir (taşıyıcı sistem seçimi-kalıp planı çizimi aşaması).

•Sonra el veya bilgisayar ile kesit iç kuvvetlerini belirler (yapısal analiz aşaması). Bu aşamadan sonra kesit boyutları, malzeme ve kesitin taşımak zorunda olduğu iç kuvvetler bellidir. Ancak, bu iç kuvvetleri taşıyacak donatı alanının ne olduğu ve kesitin neresine nasıl konulacağ bilinmemektedir.

•DIE, bu sorunun cevabını aramaya kesit hesabı denilmektedir (betonarme hesap aşaması). Çözüm; analitik , tablolar veya bilgisayar yazılımı ile yapılır. Analitik çözüm uygulama açısından pratik olmamaktadır. Günümüzde bilgisayar çözümü ağırlıklı olarak öne çıkmaktadır.

Analitik çözüme örnek olarak en basit durum olan tek donatılı dikdörtgen kesit ele alınacak ve tüm diğer kesitler tablolar ile hesaplanarak konu kavratılmaya çalışılacaktır.

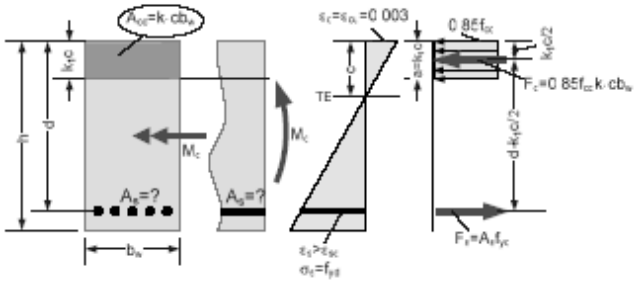
Tek Donatılı Dikdörtgen Kesit Hesabı -Analitik Çözüm

Verilenler:

Kesit boyutları, malzeme, kesiti zorlayan tasarım momenti.

İstenen:

Verilen momentin güvenle taşınabilmesi için A_s ne olmalıdır?



ÇÖZÜM:

Yapılacak çözüm şu koşulları sağlamalı:

1.Kiriş denge altı donatılmalı.

2.Bulunacak donatı alanı momenti karşılamalı.

Yatay denge:

$0.85f_{cd}k_1cb_w-A_sf_{yd}=0$

Moment dengesi:

$A_sf_{yd}(d-k_1c/2)=M_d$

Bu iki denklemde iki bilinmeyen vardır: A_s ve c. K bir sabit olmak üzere,

$$K=\frac{M_d}{b_w d^2 f_{cd}}$$

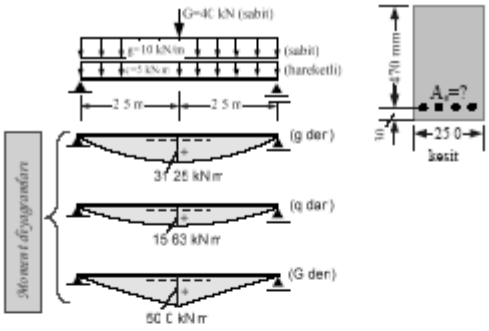
$$c=\frac{d}{k_1}\left(1\mp\sqrt{1-2.353K}\right),\quad 0<c<d$$

$$A_s=0.85\frac{f_{cd}}{f_{yd}}k_1cb_w$$

Hesap sırası:

1. K hesaplanır.
2. c hesaplanır. 0<c<d aralığına düşen değeri alınır.
3. A_s hesaplanır.
4. A_s alanını karşılayan uygun donatı çap ve sayısına karar verilir (ders notlarının sonundaki ekler bölümünde verilen donatı çubuk alanları tablosuna bakınız). Bu işlem yapılırken hesaplanan alana en yakın çubuk çap ve sayısı aranır. Çoğunlukla birden çok seçenek söz konusu olur. Seçilen çubukların kesite sığmasına, çok kalın olmamasına, en az üç çubuk olmasına ve temin edilebilir olmasına özen gösterilir.
5. Seçilen donatının oranının alt ve üst sınırları kontrol edilir.
6. Çizim yapılarak donatının nasıl yerleştirileceği gösterilir.

Dikdörtgen Kesit Hesabı - Analitik Çözüm - ÖRNEK



Verilenler:

Kiriş ve kesit boyutları, karakteristik yükler ve malzeme: C25/30/S420a. Şantiye denetimi iyi.

İstenen:

Kirişin yükleri güvenle taşıyabilmesi için A_s donatı alanı ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz.

$$K=\frac{M_d}{b_w d^2 f_{cd}}$$

Çözüm:

$f_{cd}=25/1.5=16.67$ N/mm², $f_{ctd}=1.8/1.5=1.20$ N/mm²

$k_1=0.85$, $\rho_b=0.0205$, $0.85\,\rho_b=0.85\cdot0.0205=0.0174$

$f_{yd}=420/1.15=365.22$ N/mm²

Max ρ=min (0.0174, 0.02)=0.0174

Min ρ= 0.8·1.20/365.22=0.0026

Tasarım momenti:

M_d=1.4 (31.25+50.0)+1.6·15.63=138.8 kN·m

K=138.8·10⁶/(250·470²·16.67)=0.151

$$c=\frac{470}{0.85}\left(1\mp\sqrt{1-2.353\cdot0.151}\right)$$

$$c=\frac{d}{k_1}\left(1\mp\sqrt{1-2.353K}\right)$$

c=552.94 (1∓0.803)→c_1=997.0 mm, c_2=108.9 mm

c=108.9 mm.

$$A_s=0.85\frac{16.67}{365.22}0.85\cdot108.9\cdot250$$

$$A_s=0.85\frac{f_{cd}}{f_{yd}}k_1cb_w$$

$A_s=898\ mm^2$

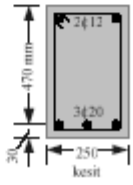
Seçilen: 3ϕ20 (942 mm²) altta

Montaj: 2ϕ12 (226 mm²) üstte

ρ =942/(250·470)=0.0080

ρ < Max ρ ✓

ρ >Min ρ ✓



Kiriş Kesme Donatısı (etriye) Hesabı-TS 500/2000

Hesap sırası:

a) Tasarım kesme kuvveti V_d yi belirle (Bak: TS 500-2000, Sayfa 29, Madde 8.1.2).

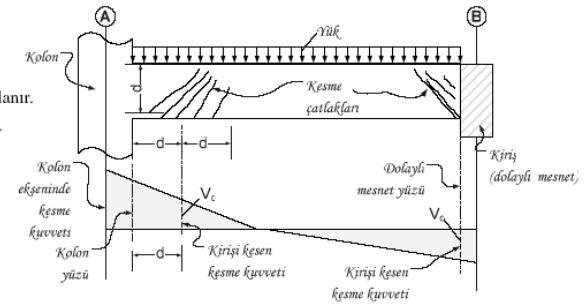
•Kirişi kesmeğe çalışan V_d kuvveti kolon yüzünden d (faydalı yükseklik) kadar uzakta hesplanır.

•Kiriş bir başka kirişe saplanıyorsa (dolaylı mesnet) V_d saplandığı kirişin yüzünde hesaplanır.

•Sol ve sağda heaplanan V_d kuvvetlerinden mutlak değerce büyük olan dikkate alınır.

b) Max V_d=0.22 f_{cd} A_c yi belirle. V_d>max V_d durumunda kesit kesme açısından yetersizdir. A_c yi $V_d \le$max V_d olacak kadar büyüt.

c) V_{cr}=0.65 f_{ctd} A_c (1+ γ N_d/A_c) donatısız betonun kesme dayanımını hesapla. Bu bağıntıda N_d kiriş eksenel kuvvetidir ve pozitif alınır. N_d basınç ise γ=0.07 , çekme ise γ = -0.3 alınır. Basınç kuvveti kesme dayanımını artırmakta, çekme kuvveti ise azaltmaktadır.



NOT: Deprem yönetmeliği 2007 ye göre kirişi kesmeye çalışan V_d kuvvetinin belirlenmesi farklıdır.

d) V_d<V_{cr} durumunda beton tek başına tüm kesmeyi karşılar. Etriye gerekmez, ancak minimum etriye konur:

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0.3\frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w$$

- s : etriye aralığı
- f_{ywd} :etriye donatısı tasarım dayanımı
- b_w :en küçük gövde genişliği
- A_{sw} :etriye kolları toplam kesit alanı

bağıntısında A_{sw} yi seç, s etriye aralığını hesapla. Açıklıkta s adımda, sarılma bölgelerinde s/2 adımda bir etriye koy.

e) V_d >V_{cr} durumunda etriye hesabını aşağıdaki bağıntıdan yap:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d}{f_{ywd} d}$$

bağıntısında A_{sw} yi seç, s etriye aralığını hesapla. Açıklıkta s adımda, sarılma bölgelerinde s/2 adımda bir etriye koy.

f) Açıklıkta s adımda, sarılma bölgelerinde s/2 adımda bir etriye koy.

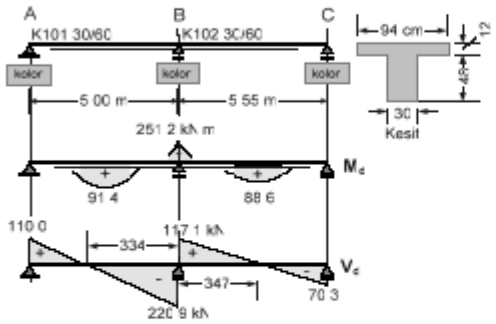
g) Etriye min koşulları:

s ≤h/2, s ≤200 mm (açıklıkta) , s ≤h/4, s ≤100 mm (sarılma bölgelerinde)

$\rho_w = A_{sw}/(s \cdot b_w) \ge$ min ρ_w =0.3 f_{ctd}/f_{ywd}

Etriye Hesabı – Örnek

Aşağıda verilen kirişin donatılarını belirleyiniz, gerekli çizimleri veriniz. Kolonlar 30x50, malzeme C20/25/S420a, beton örtüsü (pas payı) 3 cm, iyi denetimli şantiye.



Çözüm: (ERSOY/ÖZCEBE Tabloları)

K101/K102 açıklıkları:

M_d=91.4 kN·m

b/b_w=3.13, t/d=0.21, Kf_{cd}=44.3

Minimum donatı yeterli.

A_s=0.81·07/365.22 · 300·570 =401 mm²

Seçilen : 3ϕ14(462 mm²)

Montaj : 3ϕ12 (339 mm²)

K101-K102 mesnedi:

M_d=251.2 kN·m

Azaltılmış tasarım momenti: $M_d \leftarrow M_d - V_d \cdot a/3$

V_d=117.1 kN

M_d=251.2-117.1·0.5/3=231.7 kN·m

K=422 mm²/kN, j=0.879

A_s=231.7·10⁶/(365.22·0.879·570)=1266 mm²

A_{sek}: 1266-339=927 mm²

Seç.: 3ϕ20(942 mm²)

Bak: ERSOY/ÖZCEBE, say. 273-274 TS500-2000, say. 20, Madde 6.3.9

A_{smev}=942+339=1281 mm²

ρ=1281/300/570=0.0075<max ρ =0.0136 ✓

>min ρ =0.0029 ✓

K101/K102 açıklıkları üst kontrol:

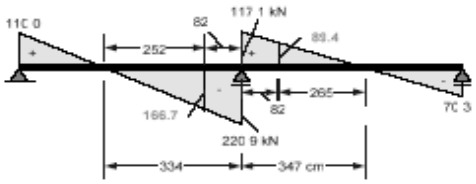
339>1281/4= 320 mm² ✓

K101-K102 mesneti alt kontrol:

Min gerekli:1281/2=641 mm²

Ek donatı: 641-462=179 mm²

Seç.: 1ϕ16(201 mm²)



K101 açıklığı:

V_d=166.7 kN.

V_{cr}=0.65·1.07·300·570=118931 N.

V_{cr}=118.9 <V_d=166.7 kN, min etriye yetmez!.

Max V_d=0.22·13.33·300·570=501 kN>V_d ✓

V_d< Max V_d, etriye hesaplanacak:

ϕ8 çift kollu etriye kullanılırsa:

A_{sw}=2 · 50=100 mm²

$$\frac{100}{s}=\frac{166.7\cdot 10^3}{365.22\cdot 570}=0.80$$

s = 125 mm ≈ 12 cm.

ϕ10 çift kollu etriye kullanılırsa:

A_{sw}=2 · 79=158 mm²

$$\frac{158}{s}=\frac{166.7\cdot 10^3}{365.22\cdot 570}=0.8$$

s = 197.5 mm ≈ 19 cm.

s=19 cm tercih edilecek: Açıklıkta ϕ10/19 kullanılacak.

ρ_w=158/(300·190)=0.0028

min ρ_w=0.3· f_{ctd}/f_{ywd}=0.3 · 1.07/365.22=0.0009

ρ_w > min ρ_w ✓

Mesnetlerde (sarılma bölgelerinde) s=19/2≈9 cm, ϕ10/9 kullanılacak.

K102 açıklığı:

V_d=89.4 kN.

V_{cr}=0.65 · 1.07·300·570=118931 N.

V_d=89.4 <V_{cr} =118.9 kN. Min etriye yeterli!.

ϕ8 çift kollu etriye kullanılırsa:

A_{sw}=2·50=100 mm²

$$\frac{100}{s}=0.3\frac{1.07}{365.22}300 \rightarrow s=379\ \text{mm}$$

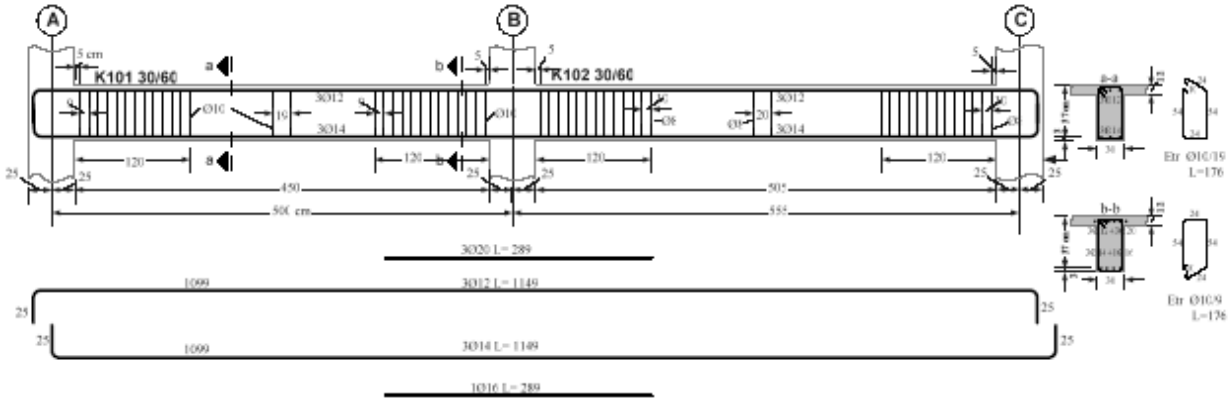
s=20 cm alınacak.

Açıklıkta ϕ8/20,

mesnetlerde (sarılma bölgelerinde) ϕ8/10 kullanılacak.

Gerekli tüm donatılar belirlenmiştir. Artık çizim hazırlanabilir.

Kiriş açılımı:



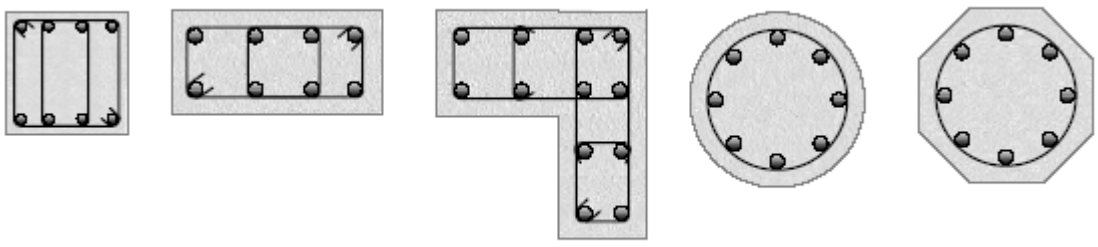
Kolon kesit tipleri:

Dikdörtgen kolon

Fretli kolon (dairesel veya halka kesitli)

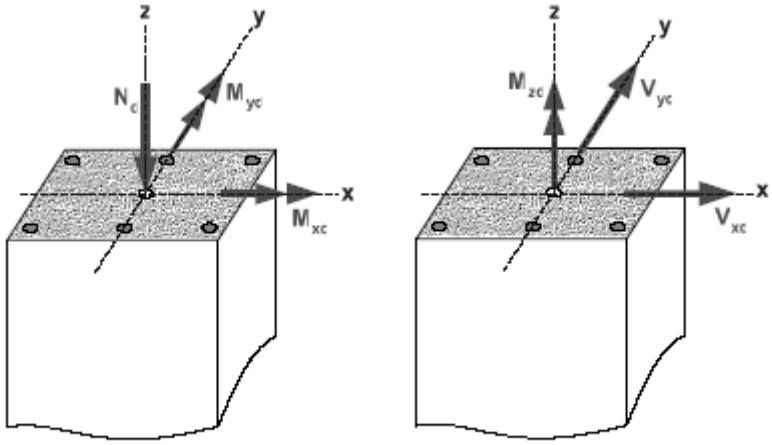
Çokgen kolon (L, I, T,C, kutu, ….. kesitli)

Uygulamada en çok karşılaşılan kesit tipi dikdörtgendir. Diğerleri nadiren kullanılır.



Kolon kesiti örnekleri

Etkiyen kuvvetler:
Normal kuvvet (kolon ekseni yönünde)
Eğilme momenti (x ekseni etrafında)
Eğilme momenti (y ekseni etrafında)
Kesme kuvveti (x yönünde)
Kesme kuvveti (y yönünde)
Burulma momenti (kolon ekseni etrafında)

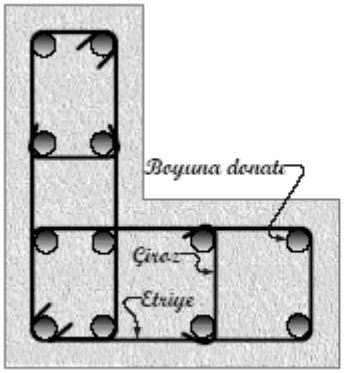


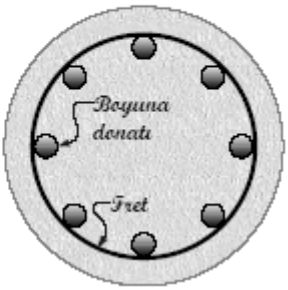
Kolon kuvvetleri

Bu kuvvetlerin hepsi kesite beraber etkirler. Ancak en etkin olanları normal kuvvet, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleridir. Burulma momenti nadiren etkin olur.

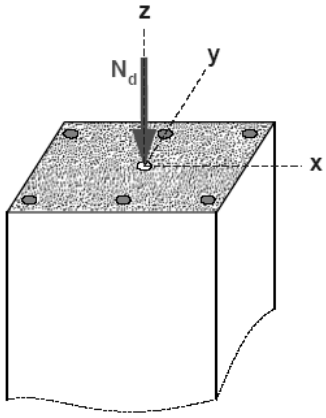
Normal kuvvet genelde basınçtır, çekme olması istenmeyen bir durumdur. Çekme olması halinde taşıyıcı sistem değiştirilerek, örneğin kolon ekleyerek-kaldırarak, sorun giderilmeğe çalışılır.

Donatı türleri:
Boyuna donatı: Normal kuvvet ve eğilme momentlerini karşılar.
Fret veya etriye: Kesme kuvvetini ve burulma momentini karşılar. Betonun şişmesini, boyuna donatının yanal yer değiştirmesini ve burkulmasını önler.
Çiroz : Etriye bombelenme boyunu azaltır, betonun şişmesini, boyuna donatının yanal yer değiştirmesini ve burkulmasını önler.

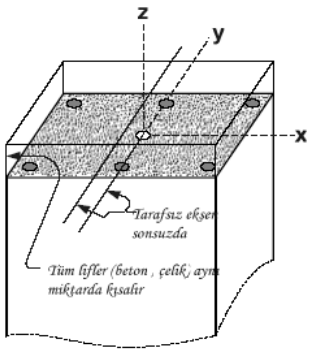




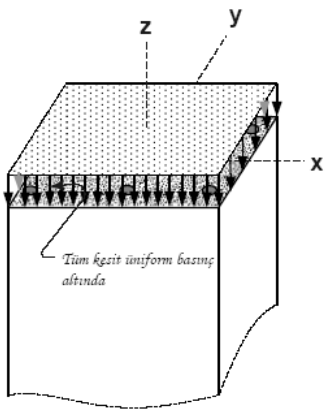
Normal kuvvet



Normal kuvvet
Basınç pozitif !



Deformasyon



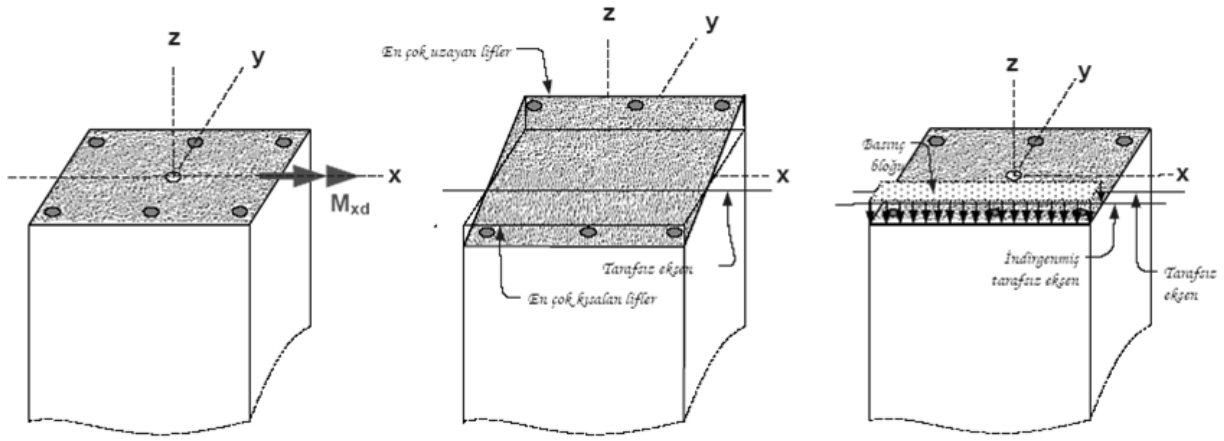
Gerilme

Salt normal kuvvet (basınç) etkisinde tüm lifler eşit miktarda kısalır. Deforme olmamiş ve deforme olmuş düzlemler birbirine paraleldir. Tarafsız eksen sonsuzdadır. Tüm kesit basınç altındadır.

Normal kuvvetin çekme olması istenmeyen bir durumdur! Çekme olması halinde taşıyıcı sistemde

değişiklik yapılarak (örneğin: kolon eklenerek veya çıkarılarak) kolon eksenel kuvvetinin basınç olması sağlanmaya çalışılır.

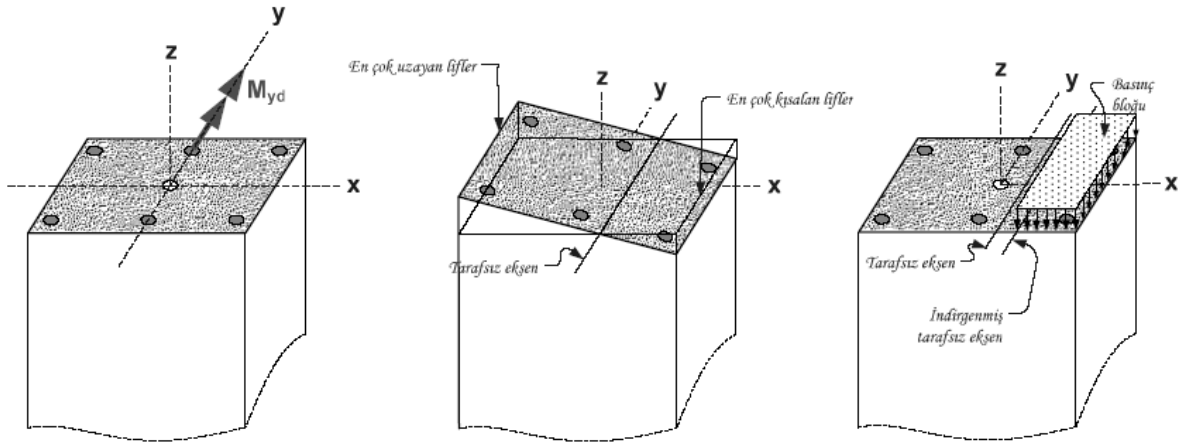
x Etrafında Moment



Tek eksenli eğilme | Deformasyon | Gerilme

Kesitin bir tarafındaki lifler uzar diğer tarafındakiler kısalır. Kesit x etrafında döner. Tarafsız eksen x eksenine paraleldir ve kesit içinde konumlanır. Basınç alanı dikdörtgen olur. Kolon bir kiriDgibi davranır.

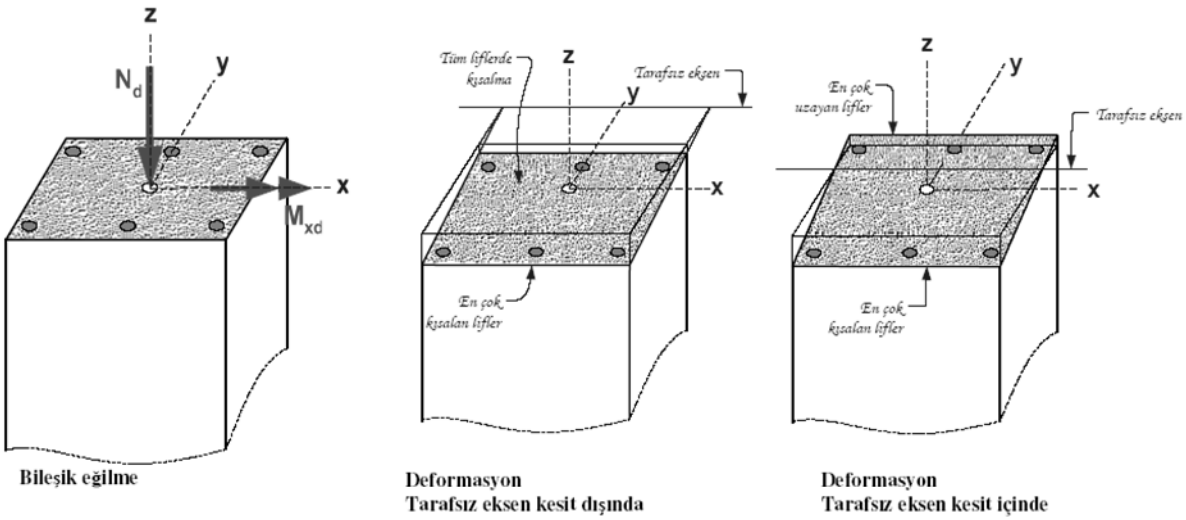
y Etrafında Moment



Tek eksenli eğilme | Deformasyon | Gerilme

Kesitin bir tarafındaki lifler uzar diğer tarafındakiler kısalır. Kesit y etrafında döner. Tarafsız eksen y eksenine paraleldir ve kesit içinde konumlanır. Basınç alanı dikdörtgen olur. Kolon bir kiriş gibi davranır.

Normal Kuvvet ve x Etrafında Moment



Bileşik eğilme

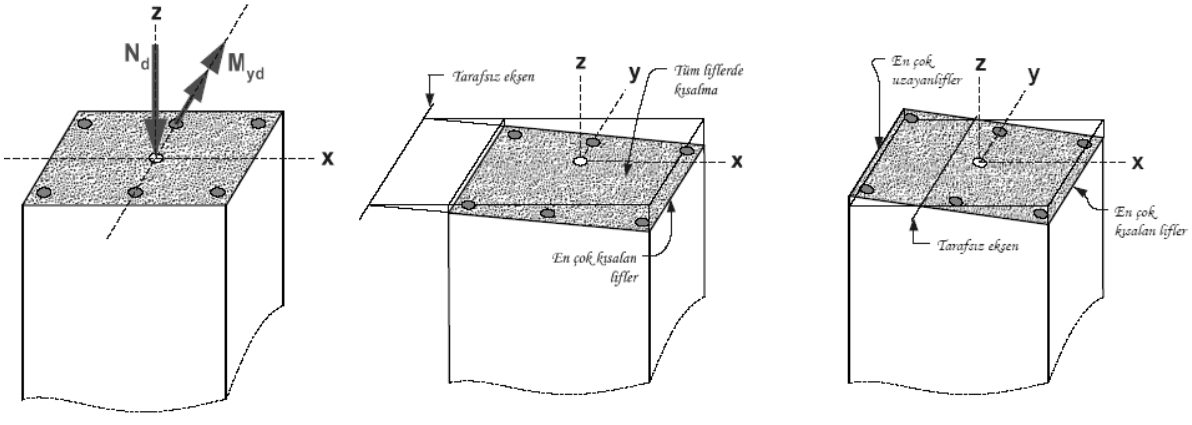
Deformasyon
Tarafsız eksen kesit dışında

Deformasyon
Tarafsız eksen kesit içinde

Normal kuvvet tüm lifleri kısaltırken moment kesitin bir tarafındaki lifleri uzatır diğer tarafındakileri kısaltır. Normal kuvvet ve momentin değerlerine bağlı olarak:

•Normal kuvvetin neden olduğu kısalma momentin oluşturduğu uzamadan daha büyükse, tüm liflerde kısalma vardır. Kesit x etrafında döner. Tarafsız eksen x eksenine paralel ve kesit ile sonsuz arasında konumlanır.
•Normal kuvvetin neden olduğu kısalma momentin oluşturduğu uzamadan daha küçükse, kesitin bir tarafında uzama diğer tarafında kısalma vardır. Kesit x etrafında döner. Tarafsız eksen kesit içinde ve x eksenine paraleldir.
•Basınç alanı dikdörtgen olur.

Normal Kuvvet ve y Etrafında Moment



Bileşik eğilme

Deformasyon
Tarafsız eksen kesit dışında

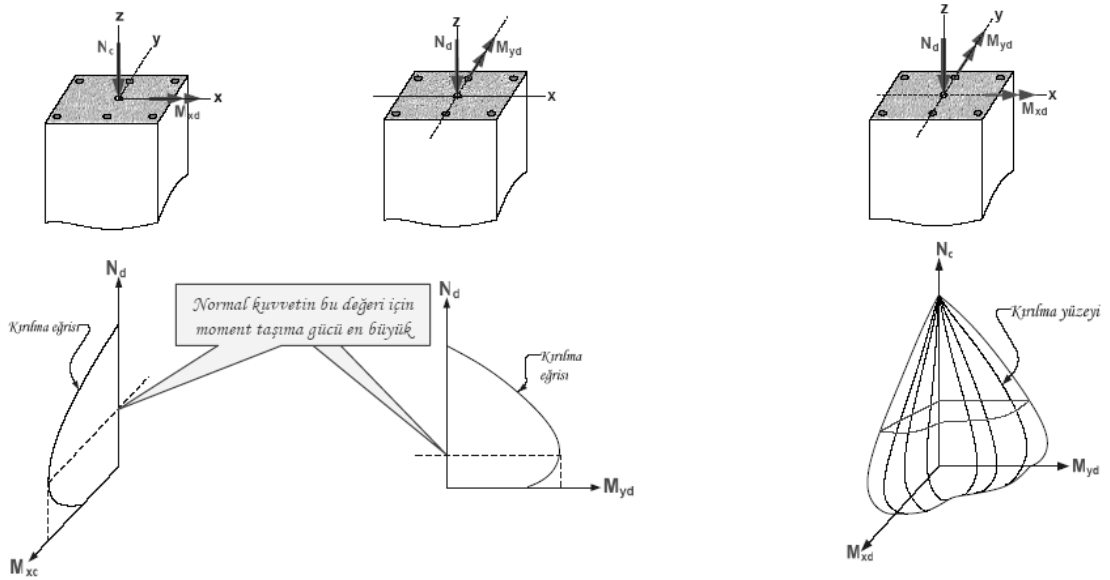
Deformasyon
Tarafsız eksen kesit içinde

Normal kuvvet tüm lifleri kısaltırken moment kesitin bir tarafındaki lifleri uzatır diğer tarafındakileri kısaltır. Normal kuvvet ve momentin değerlerine bağlı olarak:

•Normal kuvvetin neden olduğu kısalma momentin oluşturduğu uzamadan daha büyükse, tüm liflerde kısalma vardır. Kesit y etrafında döner. Tarafsız eksen y eksenine paralel ve kesit ile sonsuz

arasında konumlanır.
•Normal kuvvetin neden olduğu kısalma momentin oluşturduğu uzamadan daha küçükse, kesitin bir tarafında uzama diğer tarafında kısalma vardır. Kesit x etrafında döner. Tarafsız eksen kesit içinde ve y eksenine paraleldir.
•Basınç alanı dikdörtgen olur.

Normal Kuvvet-Moment Karşılıklı Etkileşim Eğrileri



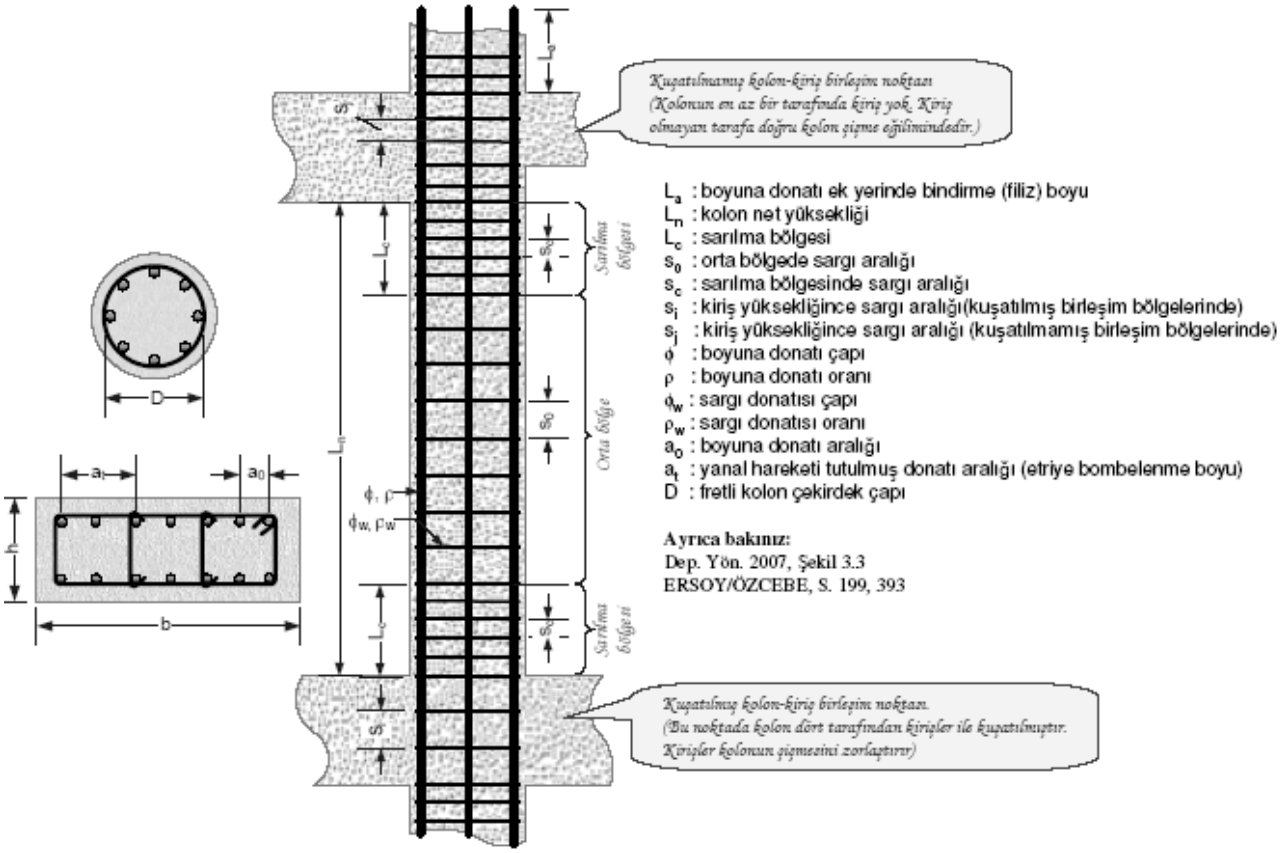
Kolonun kırılmasına neden olan normal kuvvet-moment değerlerine ait eğriler yukarıda verilmiştir. Bu eğrilere karşılıklı etki eğrileri adı verilir. Eğriler incelenerek alttaki yorumlar yapılabilir:
•Normal kuvvetin sıfır olması durumunda kolon tamamen bir kiriş gibi davranır ve kırılma kesin olarak sünek olacaktır.
•Normal kuvvet sıfırdan belli bir düzeye kadar artarken moment taşıma gücü de artar. Bu durumda kırılmaya daha çok moment hakim olur. Kırılmanın sünek olması beklenir.
•Normal kuvvet belli bir düzeyden sonra arttıkça moment taşıma gücü giderek düşer. Bu durumda kırılmaya daha çok normal kuvvet hakim olur. Kırılmanın gevrek olması muhtemeldir.
•Normal kuvvetin en büyük değerinde moment taşıma gücü sıfırdır ve kırılma kesin olarak gevrek olacaktır.

Bu bilgiler ışığında, kırılma türünü normal kuvvetin belirlediğini söyleyebiliriz. Bu nedenle, gevrek kırılmayı önlemek için, normal kuvvet sınırlandırılmalıdır. Yönetmelikler bu sınırlamayı aşağıdaki gibi vermektedirler.

Max $N_d \leq 0.9 f_{cd} A_c$ (TS 500-2000) **Max $N_d \leq 0.5 f_{ck} A_c$ (Dep. Yön. -2007)**

Burada N_d düşey yükler (sabit, hareketli) ve deprem yüklerinin birleşimlerinden hesaplanan tasarım eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğüdür.

Kolonlarda sınır değerler



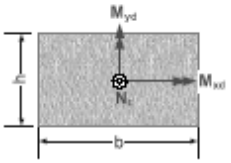
L_a : boyuna donatı ek yerinde bindirme (filiz) boyu
L_n : kolon net yüksekliği
L_c : sarılma bölgesi
s_0 : orta bölgede sargı aralığı
s_c : sarılma bölgesinde sargı aralığı
s_i : kiriş yüksekliğince sargı aralığı(kuşatılmış birleşim bölgelerinde)
s_j : kiriş yüksekliğince sargı aralığı (kuşatılmamış birleşim bölgelerinde)
ϕ : boyuna donatı çapı
ρ : boyuna donatı oranı
ϕ_w : sargı donatısı çapı
ρ_w : sargı donatısı oranı
a_o : boyuna donatı aralığı
a_i : yanal hareketi tutulmuş donatı aralığı (etriye bombelenme boyu)
D : fretli kolon çekirdek çapı

Ayrıca bakınız:
Dep. Yön. 2007, Şekil 3.3
ERSOY/ÖZCEBE, S. 199, 393

Kolonlarda Sınır Değerler

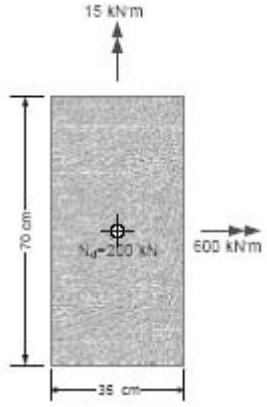
	TS 500-2000	Deprem Yön. 2007	Ek öneri	Açıklama
Min kenar (b veya h)	25 cm	25 cm	-	1
Min A_c	$N_d/(0.9f_{cd})$	$N_d/(0.5f_{ck})$, 750 cm^2	1250 cm^2	1
Max L_n / kısa kenar	-	-	20	
Max uzunkenar/ kısa kenar	< 7	< 7	-	
Min L_c	-	Uzun kenar, $L_n/6$, 50 cm	-	4
Min L_a	-	1.5 l_b	60ϕ	2
Min ρ	0.01	0.01	-	
Max ρ	0.04	0.04	0.03	
Max a_i	30 cm	25ϕ_w	20ϕ_w , 20 cm	
Max a_o	-	-	15 cm	
Min a_o	4 cm, 1.5ϕ_{max}	-	-	
Max s_o	12ϕ_{min} , 20 cm	Kısa kenar/2, 20 cm	17 cm (etriye), 8 cm (fret)	4
Min s_o	-	-	8 cm (etriye), 5 cm (fret)	
Max s_c	-	10 cm, kısa kenar/3 (etriye) D/ 5 , 8 cm (fret)	8 cm (etriye), 5 cm (fret)	4
Max s_i	-	15 cm	10 cm	4
Max s_j	-	10 cm	-	4
Min s_o , s_c , s_i , s_j	-	5 cm	-	
Min ϕ	14 mm	14 mm	-	
Max ϕ	-	-	22 mm	
Min ϕ_w	$\phi_{max}/3$	8 mm	10 mm	
Max ϕ_w	-	-	12 mm	
Min ρ_w	-	Bak.:S. 49 , Madde 3.3.4.1	-	
Min M_{xd}	(15 mm+0.03 h)N_d	-	-	3
Min M_{yd}	(15 mm+0.03 b)N_d	-	-	3
Max N_d	0.9 f_{cd} A_c	0.5 f_{ck} A_c	-	
Max V_{xd} , Max V_{yd}	-	0.22 f_{cd} A_c	-	
Min etriye kancası	-	6ϕ_w ,8 cm (nervürlü etriye) 10ϕ_w ,10 cm (düz etriye)	10ϕ_w ,10 cm	
Min boyuna donatı sayısı	6ϕ14, 4ϕ16 (dikdörtgen) 6ϕ14 (daire)	6ϕ14, 4ϕ16 (dikdörtgen) 6ϕ14 (daire)	6ϕ14 (dikdörtgen) 8ϕ14 (daire)	
Min pas payı	2 cm (içtel), 2.5 cm (dışta)	-	3 cm	
Min beton sınıfı	C16/20	C20/25	C25/30	5
Min çelik sınıfı	S220	S220a (etriye) S420a, S420b (boyuna)	S420a	5
Max çelik sınıfı	-	S420a, S420b	S420a	5

A_c : Beton kesit alanı
l_b : Kenetlenme boyu
ϕ_{min} : Boyuna donatının en küçük çapı
ϕ_{max} : Boyuna donatının en büyük çapı
N_d : Tasarım normal kuvveti
M_{xd} , M_{yd} : Tasarım momentleri
V_{xd}, V_{yd}: Tasarım kesme kuvvetleri



Tablo Veya Abak Ile Kolon Kesit Hesabı

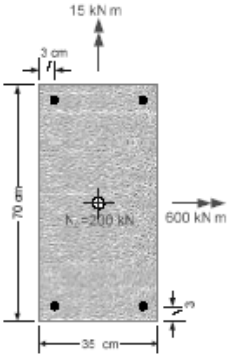
ÖRNEK:



Solda kesiti ve tasarım kuvvetleri verilen kolonun boyuna donatılarını belirleyiniz., kesiti çiziniz. ϕ10 konstrüktif sargı kullanınız. Malzeme: C20/25/S420 a, Pas payı: 3 cm, şantiye denetimi: iyi.
Bu örnek farklı donatı planları kullanılarak çözülecek, sonuçlar karşılaştırılarak tartışılacak ve donatı planı seçiminin önemi vurgulanmaya çalışılacaktır.

El Hesabı İçin Örnek (AYDIN/AKGÜN/TOPÇU Tabloları İle Çözüm

1. ÇÖZÜM: Toplam donatının ¼ ünün köşelere yerleştirildiği donatı planını seçerek çözüm yapalım.



Donatı planı ve kuvvetler

N_d=200<0.9 · 13.33 · 350 · 700 =2939 kN ✓
N_d=200<0.5 · 20 · 350 · 700 =2450 kN ✓
M_{xd}=600·10^6>(15+0.03 · 700) ·200 ·10^3=7.2 ·10^6 N· mm ✓
M_{yd}=15·10^6>(15+0.03 · 350) ·200 ·10^3= 5.1·10^6 N· mm ✓

$$n = \frac{200 \cdot 10^3}{350 \cdot 700 \cdot 13.33} = 0.06$$

$$m_x = \frac{100 \cdot 600 \cdot 10^6}{350 \cdot 700^2 \cdot 13.33} = 26.2$$

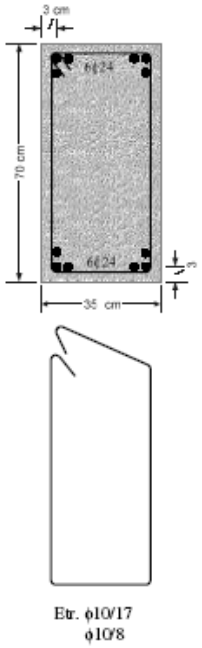
$$m_y = \frac{100 \cdot 15 \cdot 10^6}{350^2 \cdot 700 \cdot 13.33} = 1.3$$

$$w = \left.\begin{matrix} 63 \\ 54 \end{matrix}\right\} = 58$$

$$A_s = \frac{58}{100}\frac{13.33}{365.22} 350 \cdot 700 = 5186 \text{ mm}^2$$

5186/4 = 1297 mm^2
Seç.: 3ϕ24(1357 mm^2)

0.01 < ρ = 4·1357/350/700 = 0.022 < 0.04 ✓



Etr. ϕ10/17
ϕ10/8

KAYNAK: Prof. Dr. Ahmet TOPÇU, Betonarme I, EskiUhir Osmangazi Üniversitesi, http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu

BÖLÜM 5
YAPI STATİĞİ

DENGE DENKLEMLERİ

DENGE

Bir cisim hareketsiz olarak bir yerde duruyorsa "cisim dengededir" denir. Dış kuvvetlerin tesiri altında sistemin mesnetlerinde meydana gelen reaksiyonlar ile yüklerin toplamı sıfıra eşit olduğu gibi, herhangi bir eksene göre alınan bütün kuvvetlerin momentleri de sıfır olmalıdır.

DENGE DENKLEMLERİ

Yükleme durumu altında bir yapı elemanının dengesi 6 statik denklemle ifade edilebilir. Bunlar X, Y, Z koordinatlarına göre düzenlenir.

UZAY SİSTEMLERİNDE DENGE KOŞULU

$\Sigma x = 0 \quad \Sigma y = 0 \quad \Sigma z = 0$ Ötelenme yapmaması için

$\Sigma M_x = 0 \quad \Sigma M_y = 0 \quad \Sigma M_z = 0$ Dönme yapmaması için gereklidir. Kolaylık ve uygunluk bakımından x, y, z eksenleri birbirlerine dik alınır.

DÜZLEMSEL SİSTEMLERDE DENGE KOŞULU

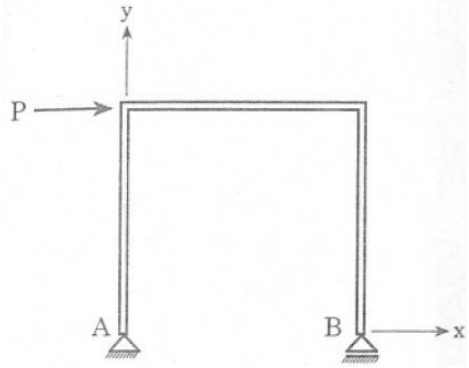
a) Sisteme etkiyen kuvvetlerin x ekseni üzerindeki iz düşümlerinin toplamı sıfırdır ($\Sigma x = 0$).
b) Sisteme etkiyen kuvvetlerin y ekseni üzerindeki iz düşümlerinin toplamı sıfırdır ($\Sigma y = 0$).
c) Sisteme etkiyen kuvvetlerin düzlem üzerindeki herhangi bir A noktasına göre momentlerinin toplamı sıfırdır ($\Sigma M_A = 0$).

Denge denklemleri aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$\Sigma x = 0, \quad \Sigma M_A - 0, \quad \Sigma M_B = 0$ AB, x eksenine dik olmamalıdır.

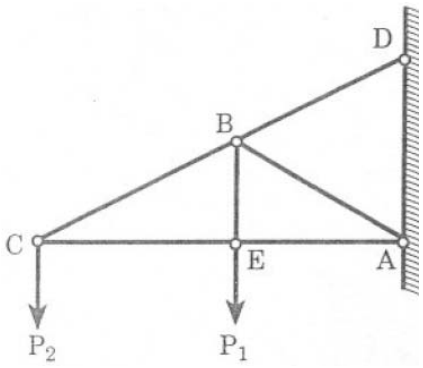
$\Sigma M_A = 0, \quad \Sigma M_B = 0, \quad \Sigma M_C = 0$ ABC bir doğru üzerinde olmamalıdır.

ÖRNEK : AB, X eksenine dik değilse



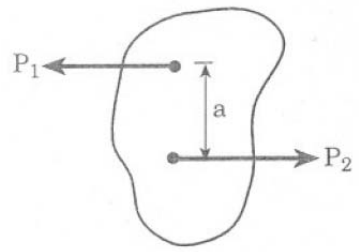
$\Sigma x = 0, \Sigma M_A = 0, \Sigma M_B = 0$ yazılır.

A, B, C bir doğru üzerinde bulunmazsa,



$\Sigma M_A = 0,\ \Sigma M_B = 0,\ \Sigma M_B = 0$ yazılabilir.

ÖRNEK : Dengede olmayan bir sistemi inceleyelim.



$P_1 = P_2$
$\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0$
Fakat $M = P_1 . a \neq 0$ olduğundan dengede değil

İZOSTATİK VE HİPERSTATİK SİSTEMLER

Çeşitli yüklerin etkidiği bir sistemde, bütün mesnet tepkileri ve kesit tesirleri (iç kuvvetler) yalnız denge denklemleri ile bulunabiliyorsa sisteme izostatik (statikçe belirli) sistem denir. Eğer sistemin mesnet reaksiyonları ve kesit tesirleri denge denklemleri ile bulunamıyorsa sisteme hiperstatik (statikçe belirsiz) sistem denir.

DOLU GÖVDELİ DÜZLEMSEL SİSTEMLERDE HİPERSTATİKLİK

Çerçevelerde hiperstatiklik durumu iki gruba ayrılır.

1. İçten Hiperstatiklik
2. Dıştan Hiperstatiklik

Dıştan hiperstatiklik derecesi, yapının bilinmeyen reaksiyonlarının sayısına eşittir. İçten hiperstatiklik ise yapının bilinmeyen iç kuvvetlerinin sayısına eşittir. Düzlem çerçevelerde ve kirişlerde hiperstatiklik sayısı (n) genellikle

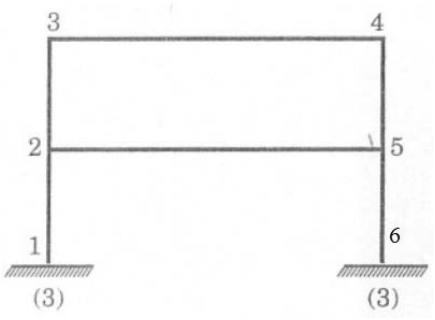
$n = 3m + r - 3j$ denklemiyle bulunur. Burada:

n = Hiperstatiklik derecesi.
m = Eleman sayisi.
r = Mesnet reaksiyonlarinin sayisi.
j = Düğüm noktalarının (mesnetler dahil) sayısıdır.

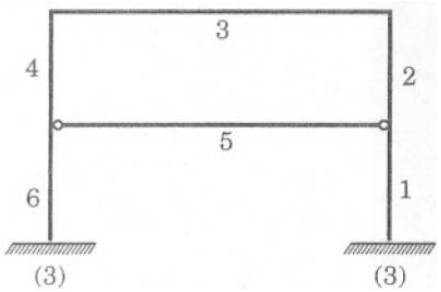
Düzlem kafes kirişlerde $n = m + r - 2j$
Uzay kafes kirişlerde $n = m + r - 3j$

Eğilme etkisindeki eleman yapılar: (Kirişler ve çerçeveler gibi) elemanlar üzerinde mafsal var ise, mafsal bulunan noktada M = 0 olduğundan, bu noktadaki denklemlerin yardımıyla hiperstatiklik derecesi (1) azaltılır. Eğer mafsal düğüm noktasında ise, o düğüm noktasında birleşen eleman sayısının bir eksiği kadar hiperstatiklik sayısı da azalır.

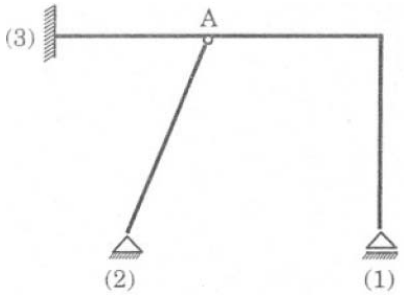
ÖRNEK : Dolu gövdeli hiperstatik sistemlerde içten hiperstatiklik derecesi



m = 6
r = 6
j = 6 n = 3m + r - 3j=3.6 + 6-3.6 = 6° Hiperstatik



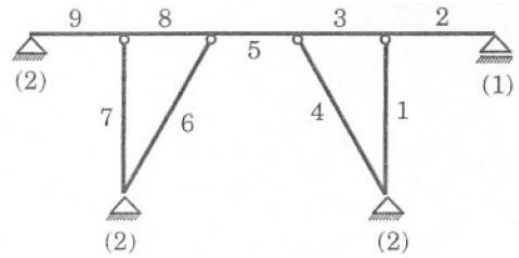
m = 6
r = 6
j = 6
mafsal = 2
n = 3 . 6 + 6 – 3 . 6 - 2 =4° Hiperstatik



m = 4
r = 6
j = 5
mafsal = 1
n = 3 . 4 + 6 - 3.5 =3°

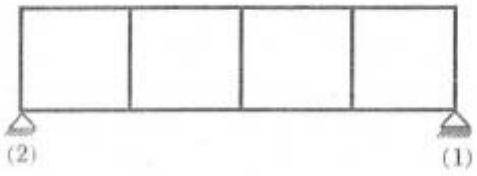
A düğümü mafsal olduğundan hiperstatiklik derecesi birleşen elemanların 1 eksiği kadar azaltılacaktır.

n = 3 - 2 = 1° Hiperstatik



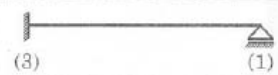
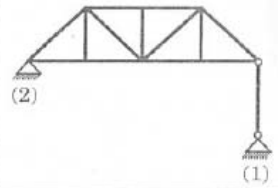
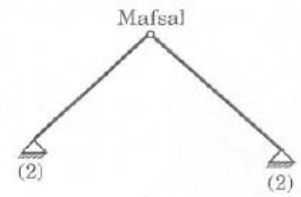
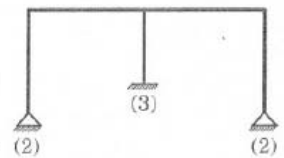
m = 9
r = 7
j = 8

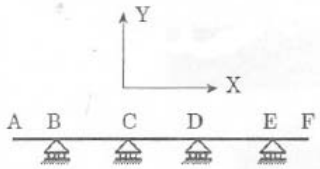
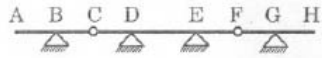
4 tane mafsal oldugundan n = 6° Hiperstatik



m = 13
r = 3
j = 10
n = 12° Hiperstatik

Dolu gövdeli sistemlerin dıştan hiperstatiklik dereceleri

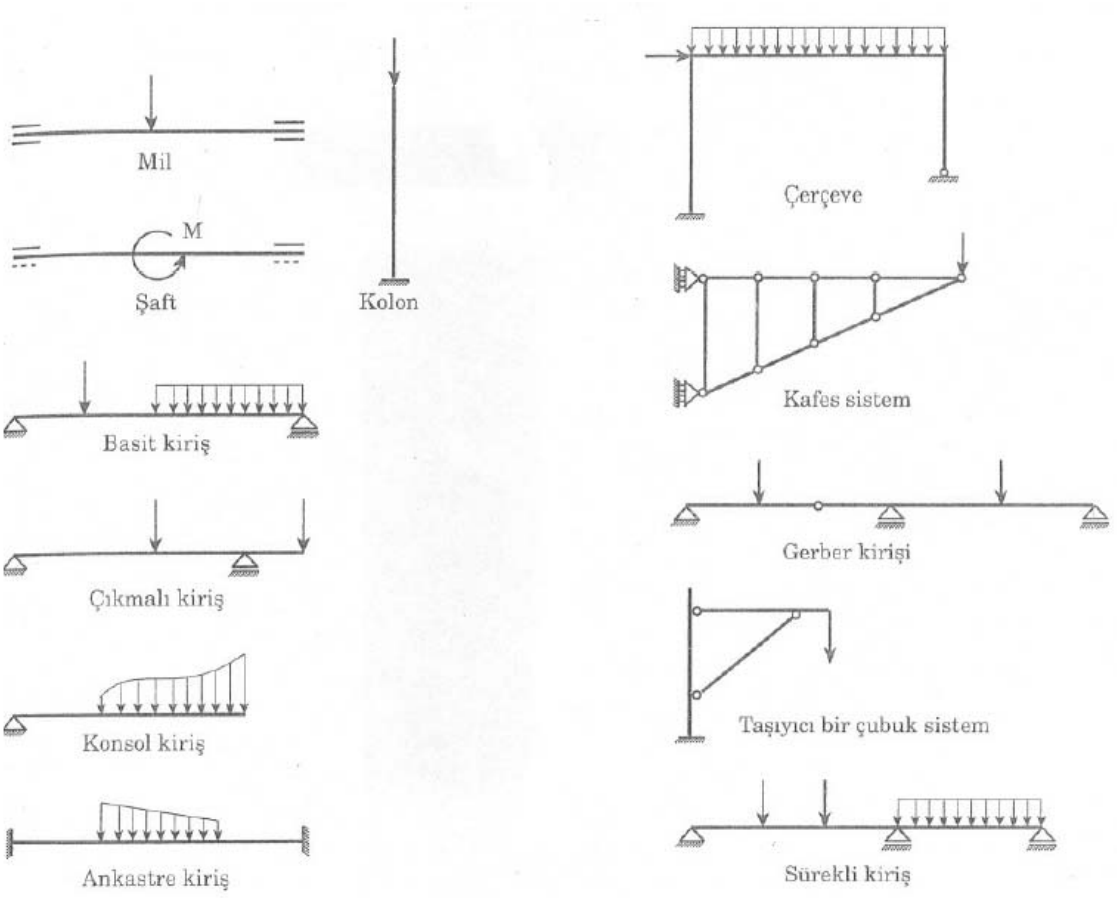
Sistemin Şekli	Bilinmeyen Kuvvetler	Denge Denklemleri	Statik Durumu
	r = 3	3	İzostatik
	5	3	2° Hiperstatik
	2	3	Dengesiz
	3	3	İzostatik
	6	3	3° Hiperstatik
	4	3	1° Hiperstatik
	3	3	İzostatik
	4	3 + 1 Maf.	İzostatik
	7	3	4° Hiperstatik
	5	5	İzostatik

Sistemin Şekli	Bilinmeyen Kuvvetler	Denge Denklemleri	Statik Durumu
	4	3	Sistem dengesiz x yönünde
	8	3 + 2 mafsal	3° Hiperstatik
	10	3	7° Hiperstatik

BAZI TAŞITICI SİSTEMLER

Prizmatik çubuklu sistemler için örnekler

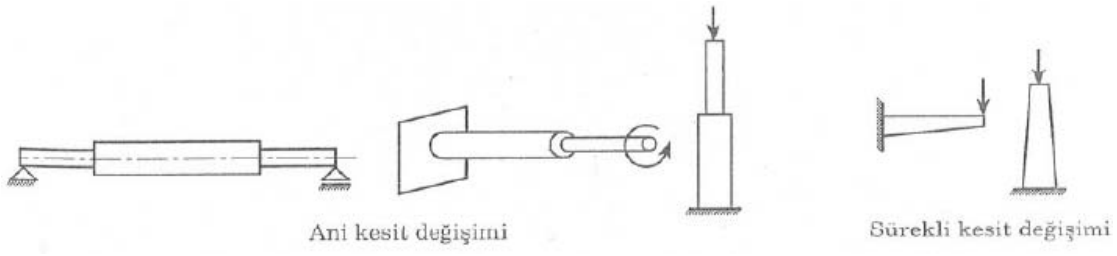
Doğru eksenli çubuk sistemler



Eğri eksenli çubuk sistemler

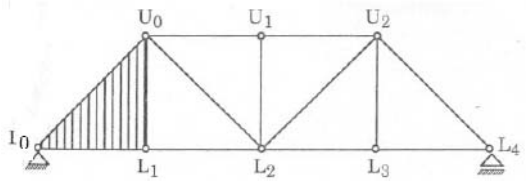


Değişken kesitli çubuk sistemler



DÜZLEMSEL KAFES SİSTEMLERDE HİPERSTATİKLİK

Kafes Kirişlerin Oluşumu: Üçgen şekillerde deformasyonlar yok denecek kadar küçük olduğundan kafes kirişler üçgenlerden oluşur. Rijit bir kafes kiriş üçgen şeklinde, uçlarda mafsallarla birleşmiş üç çubuktan başlayarak, her mafsala iki çubuk ekleyerek oluşturulur. Burada oluşturulan ilk üçgene başlangıç üçgeni denir. §ekilde başlangıç üçgeni taralı olarak gösterilmiştir.



L_0 U_0 L_1 üçgeni 3 çubuk ve 3 düğüm noktasından oluşur.

Düzlem Kafes Kirişlerde Hiperstatiklik Derecesi:

a) Kafes kirişlerin çubuk iç kuvvetleri bakımından hiperstatiklik derecesi: Bir kafes kirişte toplam çubuk sayısı m, toplam düğüm nokta sayısı j esas üçgen dışındaki çubukları m', düğüm noktalarını j' ile gösterelim.

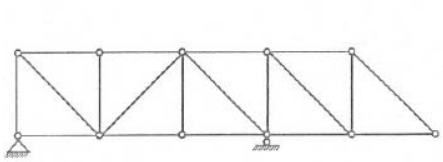
m' = 2J J = J'+ 3 bağıntıları bulunur.
J' = J – 3, m = m' + 3 = 2J' + 3 = 2 (J - 3) + 3 = 2J - 3 bulunur, o halde rijit bir kafes kirişte düğüm noktaları ve çubukları arasında, m = 2 J - 3 bağıntısı bulunmaktadır.

Kafes kirişte, her düğüm noktasında $\Sigma x = 0$, $\Sigma y = 0$ denklemlerinin sağlanması gerekir. ($\Sigma M = 0$ denklemi kafes kirişin özelliğinden sağlanmaktadır). Bu nedenle j düğüm noktası için 2J kadar denklem yazılabilir. Bilinmeyen ic kuvvetler ise m sayıda bulunduğundan belirli bir kirişte (Mesnetlerin bir sabit diğeri hareketli olmak üzere) mesnet reaksiyonları sayısı da eklenir ise bilinmeyen toplamı m + 3 olur.

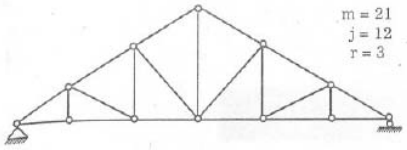
Eğer m + 3 = 2 J veya m = 2 J – 3 ise kafes kiriş denge bakımından belirli ve izostatiktir. m < 2J - 3 ise çubuk sayısı az olup kafes kiriş rijit değildir. m > 2J – 3 olması halinde çubuklara gelen iç kuvvetlerin denge denklemleriyle elde etmeye olanak yoktur. Sistem içten hiperstatikdir.

b) Kafes kirişlerin mesnet reaksiyonları bakımından hiperstatiklik derecesi : Bir kafes kirişte mesnet bilinmeyenleri sayısı r ile, çubuk sayısını m ile gösterirsek toplam bilinmeyenler, m + r olacaktır.

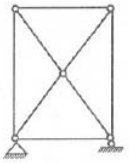
m + r = 2J veya m = 2J - r bulunduğu taktirde, kafes kiriş denge bakımından belirlidir (İzostatik).



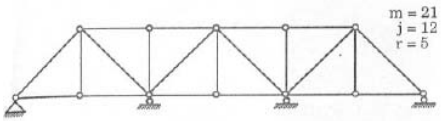
m = 19 j = 11 r = 3
n = 19 + 3 – 2 . 11 = 0 İçten İzostatik
r = 3 r – 3 = 0 Dıştan İzostatik



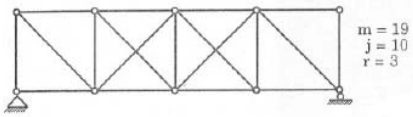
n = m + r – 2J m = 2J – 3
r = 3 r – 3 = 0 Dıştan İzostatik
21 = 2 . 12 – 3 = 21 İçten İzostatik



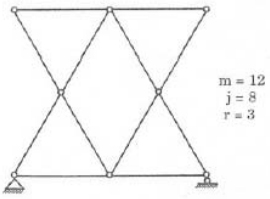
r = 3 r – 3 = 0 Dıştan İzostatik
8 > 2 . 5 – 3 = 7 1° İçten Hiperstatik



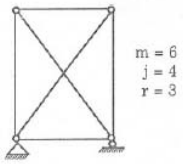
r = 5 r – 3 = 2° Dıştan Hiperstatik



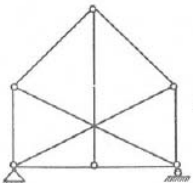
r = 3 r – 3 = 0 Dıştan İzostatik
19 = 2.10–10–3 = 17 2° İçten Hiperstatik



n = 12 + 3 – 2 . 8 = –1 Dengesiz (Labil)
12 < 2 . 8 – 3 = 13 Dengesiz



$$\begin{cases} r = 3 \quad r - 3 = 0 & \text{Dıştan İzostatik} \\ 6 > 2 \cdot 4 - 3 = 5 & 1^{\circ}\ \text{İçten Hiperstatik} \end{cases}$$

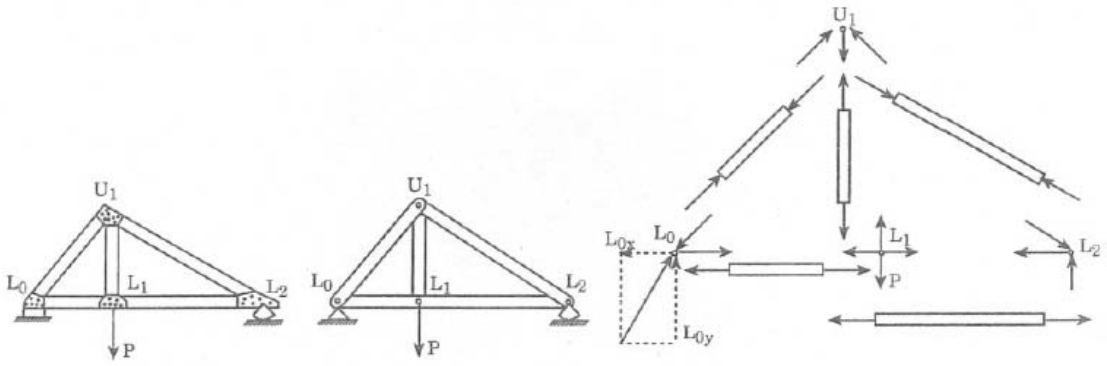


$$\begin{cases} r = 3 \quad r - 3 = 0 & \text{Dıştan İzostatik} \\ 9 = 2 \cdot 6 - 3 = 9 & \text{İçten İzostatik} \end{cases}$$

KAFES SİSTEMLER

Bir kafes sisteminin tanımı:

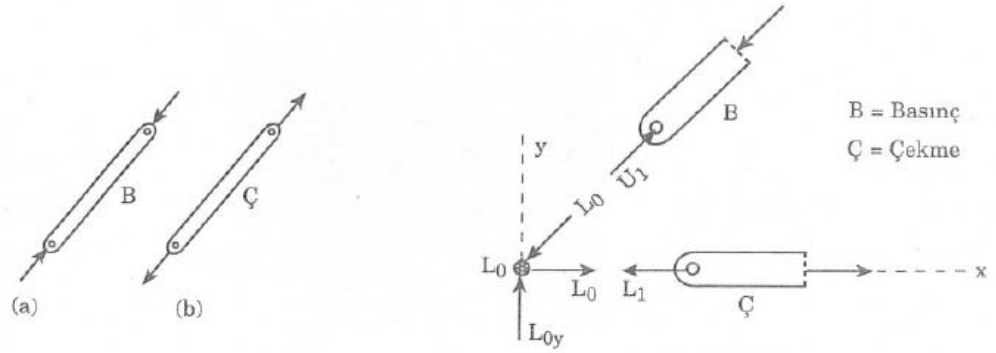
Kafes sistem mühendislik sistemlerinin başlıca tiplerinden biridir. Bir çok mühendislik probleminde, özellikle köprü ve bina projelerinde pratik ve ekonomik bir çözüm sağlar. Bir kafes sistem, düğüm noktalarında birleşen doğru eksenli çubuklardan ibarettir; tipik bir kafes sistem aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Kafes sistemin çubukları yalnız uç noktalarında birbirlerine bağlanmıştır; dolayısıyla çubuklardan hiçbiri düğüm noktalarından ileri geçmez. Örnek olarak, şekilde L_0L_2 gibi bir çubuk yoktur; onun yerine L_0L_1 ve L_1L_2 gibi iki ayrı çubuk vardır. Gerçek taşıyıcı sistemler birçok kafes sistemin bir uzaysal sistem oluşturacak şekilde birleştirilmesinden yapılmıştır. Her kafes sistem, kendi düzleminde etkiyen yükleri taşıyacak şekilde projelenmiş olduğundan, iki boyutlu bir sistem gibi ele alınabilir.



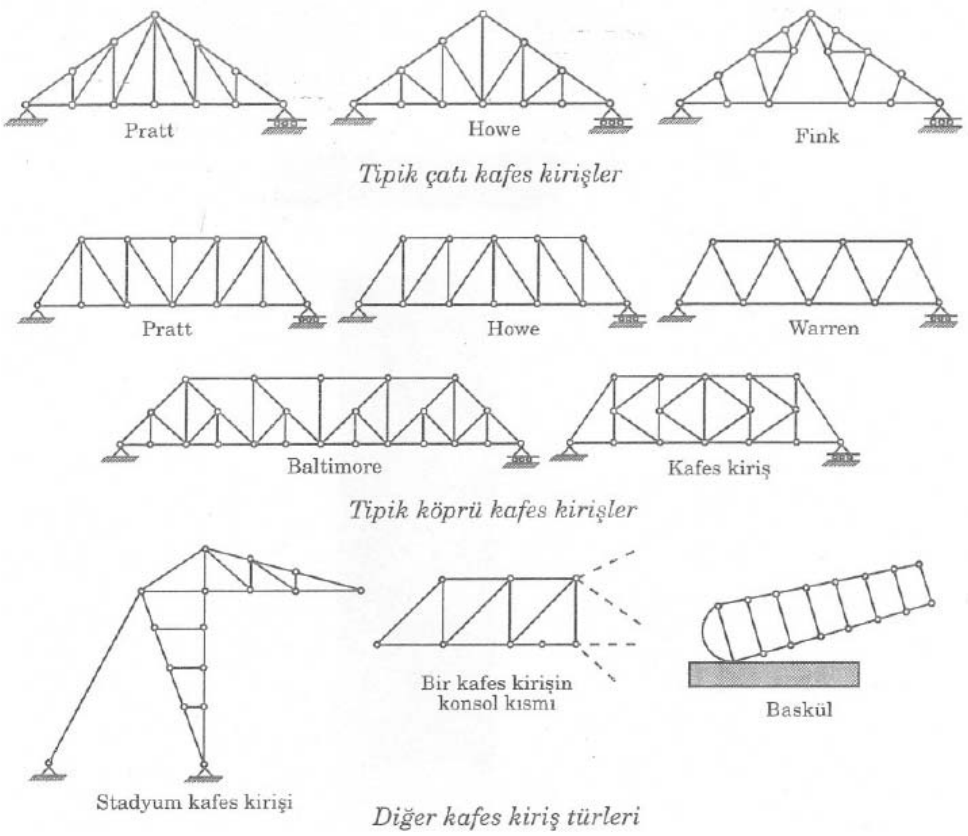
Genel olarak, bir kafes sistemin elemanları narindir ve çok küçük yanal yükler taşıyabilir; bundan ötürü bütün yükler, çubukların kendilerine değil düğüm noktalarına uygulanmalıdır. İki düğüm noktası arasında bir münferit yük uygulanacağı zaman, ya da bir köprü kafes sistem durumunda olduğu gibi kafes sistem tarafından bir düzgün yayılı yük taşıyacağı zaman, enleme ve boylama kirişleri yardımıyla yükleri düğüm noktalarına iletecek bir tabliye döşemeli sistemi yapılmalıdır.

Kafes sistem çubuklarının ağırlıklarının da, her çubuk ağırlığının yarısı çubuğun birleştirdiği iki düğüm noktasına gelecek şekilde düğüm noktalarına uygulandığı kabul edilmiştir. Çubukların gerçekte perçinli ya da kaynaklı birleşimlerle birleştirilmişlerse de (çubukların mafsallı olarak birleştiğini kabul etmekteyiz; bundan ötürü bir çubuğun her iki ucuna etkiyen kuvvetler bir tek eksenel kuvvet olur ve moment meydana gelmez. Böylece, bir kafes sistem çubuğuna uygulandığı kabul edilen kuvvetler, çubuğun her iki ucundaki münferit kuvvetlerdir. Buna göre çubuk yalnız normal kuvvet etkisindeki bir eleman olarak ele

alınabilir ve bütün kafes sistem bir mafsallar ve normal kuvvet etkisindeki elemanlar grubu olarak kabul edilebilir. Kuvvetler bir çubuğa şekilde gösterilen şemalardan herhangi biri etkiyebilir.



Birinci şemada kuvvetler çubuğu çekme eğiliminde olup çubuk çekme etkisinde, ikinci şemada ise kuvvetler çubuğu bastırma eğiliminde olup çubuk basınç etkisindedir. Diğer şekilde ise bir düğüm çubukların çekme ve basınç; yönleri verilmiştir. Çeşitli tipik kafes sistemler aşağıda gösterilmiştir.



SONUÇ:

Kafes kirişlerin teşkilinde dikkat edilecek kurallar

Kafes kiriş teşkil eden bütün çubukların eksenleri bir düzlem içinde bulunur. Dış kuvvetlerde bu düzlem içinde tesir eder.

Kafes kirişi teşkil eden çubuklar birbiriyle kesiştikleri zaman eksenleri geometrik bir noktada toplanır. Bunlara düğüm noktaları adı verilir.

Kafes kirişlerde düğüm noktaları sürtünmesiz mafsallı olarak teşkil edilir.

Dış yükler kafes kirişin yalnızca düğüm noktalarına tesir eder.

KAFES SİSTEMLERDE HESAP YÖNTEMLERİ

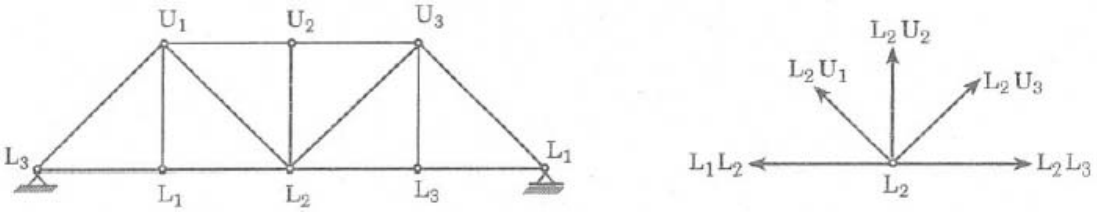
1.Düğüm noktalarının dengesi yöntemi

2.Kesim yöntemi (Ritter)

3.Grafik (Maxwell-Cremona) yöntemi

1. Düğüm Noktalarının Dengesi Yöntemi

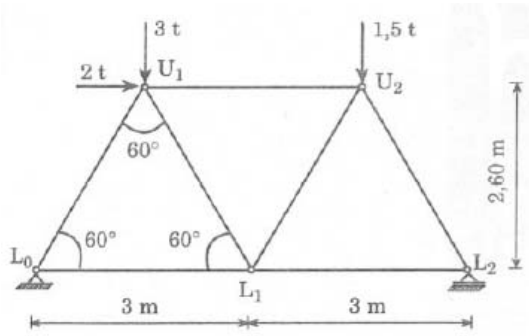
Bu yöntemde kafes kirişin bir düğüm noktasında birleşen çubuklardaki kuvvetlerin dengede olduğu ifade edilir. Örnegin Şekildeki kafes kirişin L_2 düğüm noktasında birleşen beş çubuk ayırma prensibiyle kesilip göz önüne alınırsa bunlar dengede olacaklarına göre üç denge denklemi sağlanacaktır. Ancak bu kuvvetler L_2 düğümünde kesiştiğine göre $\Sigma M = 0$ denklemi kendiliğinden sağlanır ve geriye $\Sigma x = 0$ ve $\Sigma y = 0$ denklemleri kalır. Bu denklemlerle ancak iki bilinmeyen bulunabilir o halde L_2 noktasında birleşen çubuklardan ikisi hariç diğerleri önceden hesaplanmışsa bu iki bilinmeyen kuvvet iki denge denklemi ($\Sigma x = 0$, $\Sigma y = 0$) ile bulunur. Burada esas olan bir düğüm noktasında hesaba başlayabilmek için o düğümde en fazla iki bilinmeyenin bulunmasının zorunlu olduğudur. Bu bilinmeyen kuvvetler için önce çekme kabul edilir. İşlem sonunda bilinmeyen çubuğun işareti (+) olarak çıkarsa çubuk çekmeye çalışıyor, (-) olarak çıkarsa çubuk basınca çalışıyor denir.



Başka bir kural olarak ta bilinmeyen çubuk yönünü önceden seçeriz, işlem sonunda bilinmeyen çubuğun işareti (+) olarak çıkarsa seçilen yönün doğru olduğu kabul edilir. Seçilen bu yönün basınç veya çekme olduğu saptanır. Eğer çubuk düğüm noktasına basınç yaparsa basınç çubuğu adını alır. Düğüm noktasını çekiyorsa çekme çubuğu adını alır.

İşleme en çok iki bilinmeyeni olan düğümden başlayarak devam edilir. Bulunan çubuk kuvvetleri komşu düğüm noktasında artık yönü ve şiddeti ile bilinen bir kuvvet olarak işlem görür. Böylece bu noktadaki bilinmeyen kuvvet sayısı azalır. Bu esaslara göre bütün düğüm noktaları uygun bir sırayla ele alınarak bütün çubuk kuvvetleri bulunur.

ÖRNEK: Aşağıdaki şekilde yükleme durumu verilen kafes kirişin çubuk kuvvetlerini düğüm noktalarının dengesi yöntemiyle bulunuz.



a) mesnet reaksiyonları

$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0$, $\quad -L_{0x} + 2{,}0 = 0$

$L_{0x} = 2{,}0$ ton

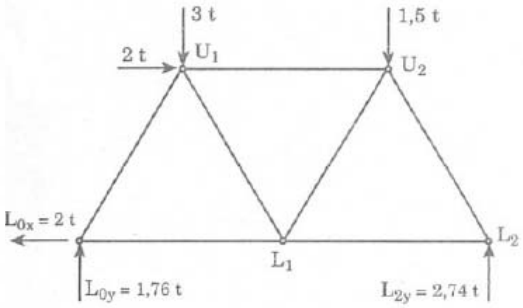
$+\uparrow \Sigma y = 0$, $\quad L_{0y} - 3 - 1{,}5 + L_{2y} = 0$

$+\circlearrowleft \Sigma M_{L0} = 0$, $\quad 2 \,.\, 2{,}60 + 3 \,.\, 1{,}5 + 1{,}5.4{,}5 - 6L_{2y} = 0$

$5{,}2 + 4{,}5 + 6{,}75 - 6L_{2y} = 0$

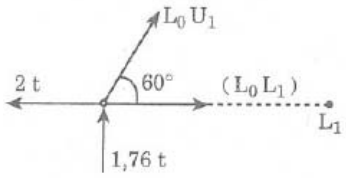
$$L_{2y} = \frac{16{,}45}{6} = 2{,}74 \text{ t}$$

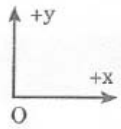
$L_{0y} = 1{,}760$ ton



b) Çubuk kuvvetlerinin bulunması

(L_0) Düğümü





$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0$, $\quad L_0U_1 . \cos 60° + L_0U_1 - 2{,}0 = 0$

$+\uparrow \Sigma y = 0$, $\quad L_0U_1 \sin 60° + 1{,}760 = 0$

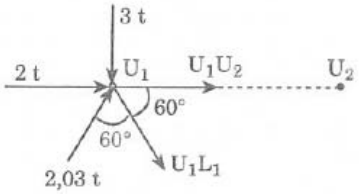
$$L_0U_1 = \frac{-1{,}76}{\sin 60°} = -2{,}03 \text{ ton}$$ basınç

$L_0L_1 = 2{,}0 - (2{,}03 . \cos 60°) = 3{,}015$ ton çekme

(U_1) Düğümü

$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0$, $\quad +2{,}0 + U_1U_2 + 2{,}03 \cos 6\,0° + U_1L_1 . \cos 6\,0° = 0$

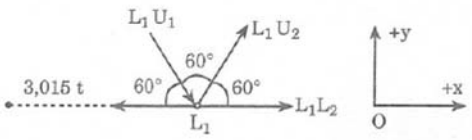
$+\uparrow \Sigma y = 0$, $\quad 2{,}03 \sin 60° - 3{,}0 - U_1L_1 \sin 60° = 0$



$$U_1L_1 = \frac{2{,}03 (\sin 60°) - 3{,}0}{\sin 60°} = -1{,}44 \text{ t Basınç}$$

$U_1U_2 = -(-1{,}44) (\cos 6\,0°) - 2{,}03 (\cos 6\,0°) - 2 = 2{,}295$ ton Basınç

(L_1) Düğümü



$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0,$

$+ L_1L_2 + L_1U_1 . \cos 60° - 3,015 = 0$

$+ \uparrow \Sigma y = 0, \quad L_1.U_2.\sin 60° - L_1.U_1.\sin 60 = 0$

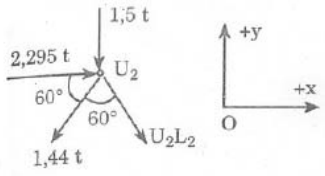
$$L_1U_2 = \frac{L_1U_1 \sin 60°}{\sin 60°} = 1,44 \text{ t Çekme}$$

$+ L_1L_2 + (1,44.\cos 60°) + 1,44.\cos 60° - 3,015 = 0$

$L_1L_2 + 0,72 + 0,72 - 3,015 = 0$

$L_1L_2 = 1,575$ ton Çekme

(U_2) Düğümü



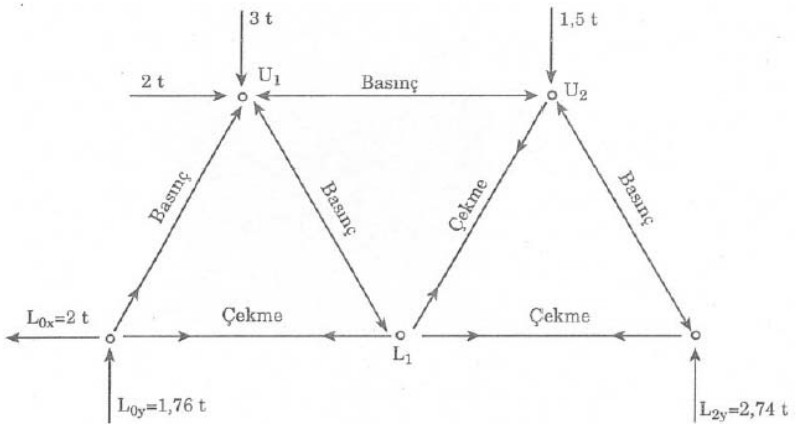
$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \qquad + 2,295 - 1,44. \cos 60° + U_2L_2 \cos 60° = 0$

$$U_2L_2 = -\frac{1,575}{\cos 60°} = -3,15 \text{ ton basınç}$$

ÇUBUK KUVVETLERİ TABLOSU

Çubuk No	Basınç (–)	Çekme (+)
L_0U_1	–2,03 ton	—
L_0L_1	—	+3,015 ton
U_1L_1	–1,44 ton	—
U_1U_2	–2,295 ton	—
L_1U_2	—	+1,44 ton
L_1L_2	—	+1,575 ton
U_2L_2	–3,15 ton	—

Çubukların basınç ve çekme yönlerinin sistem üzerinde gösterilmesi:



Bir kafes kirişte;

Üç çubuk bir noktada birleşiyorsa
İki kuvvet aynı doğrultuda ise
Dış kuvvet yok ise, baz çubuklarda kuvvet yoktur ve sıfırdır.

2. Kafes Sistemlerin Kesim Yöntemi ile Hesabı (Ritter)

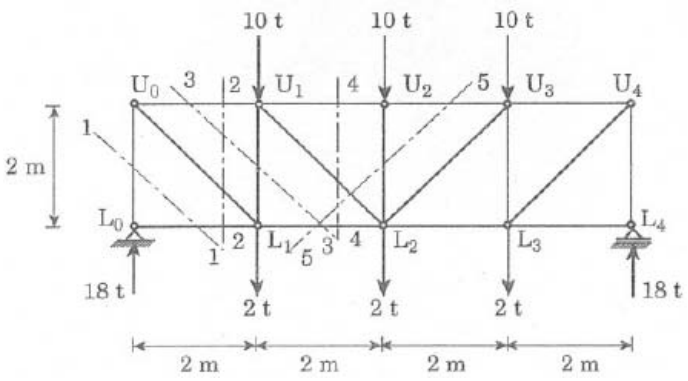
Bu yöntemin diğerlerine göre yararları; bir sistemde bir çubuktaki veya birçok çubuktaki kuvvetlerin bulunmasında kolaylık sağlar. Yöntemin uygulanabilmesi için çubuk kuvveti istenen yerden bir kesim yapılır. Bu kesimde dikkat edilecek kurallar ise kesim yapılan yerde en çok üç bilinmeyen olmalıdır, Çünkü üç denge denklemi ile bilinmeyen çubuk kuvvetleri bulunur. Bu denklemler hatırlanacağı gibi $\Sigma M = 0$, $\Sigma y = 0$, $\Sigma x = 0$ denklemleridir. O halde problemin çözümü için şu sıra uygulanmalıdır.

1.Denge denklemleri yardımıyla mesnet reaksiyonları bulunur.

2.Kafes kiriş istenilen yerden kesilir. (En çok üç bilinmeyen)

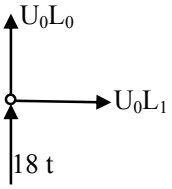
3.Üç denge denklemleri yazılır ($\Sigma M = 0$, $\Sigma x = 0$, $\Sigma y = 0$)

ÖRNEK: Aşağıdaki şekilde yükleme durumu verilen köprü kafes kirişinin çubuk kuvvetlerini kesim yöntemiyle bulunuz.



Çubuk Kuvvetleri

1-1 Kesiti

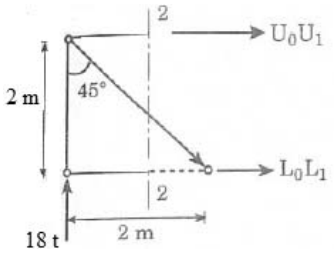


$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad U_0L_0 + 18 = 0$

$U_0L_0 = -18$ ton, basınç

$L_0L_1 = 0$

2 – 2 Kesiti



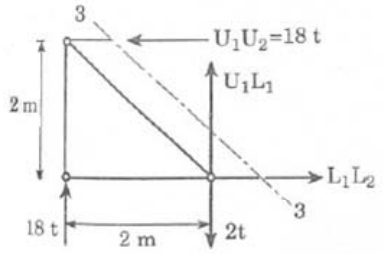
$+\circlearrowleft \Sigma M_{L1} = 0, \quad 18 \cdot 2 + U_0U_1 \cdot 2 = 0$

$U_0U_1 = -18$ ton basınç

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad -U_0L_0 1 \cos 45° + 18 = 0$

$$U_0L_1 = \frac{18}{0{,}707} = +25{,}5 \text{ t çekme}$$

3-3 Kesiti



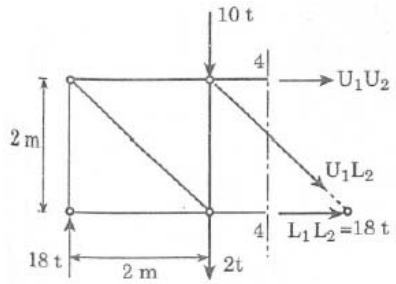
$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \quad +L_1L_2 - 18 = 0$

$L_1L_2 = +18$ ton çekme

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad +U_1L_1 + 18 - 2 = 0$

$U_1L_1 = -16$ ton basınç

4-4 Kesiti



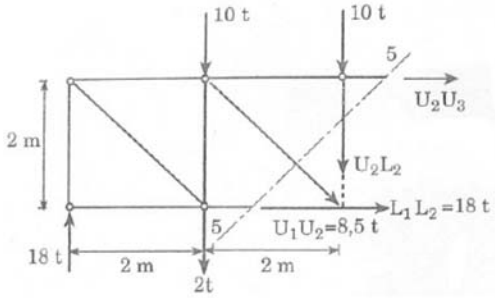
$+\circlearrowleft \Sigma M_{L2} = 0, \quad 18.4 - 12 \cdot 2 + U_1U_2 \cdot 2 = 0$

$U_1U_2 = -24$ ton basınç

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad -U_1L_2 \cos 45° + 18 - 12 = 0$

$$U_1L_2 = \frac{6}{0{,}707} = +8{,}5 \text{ t çekme}$$

5-5 Kesiti



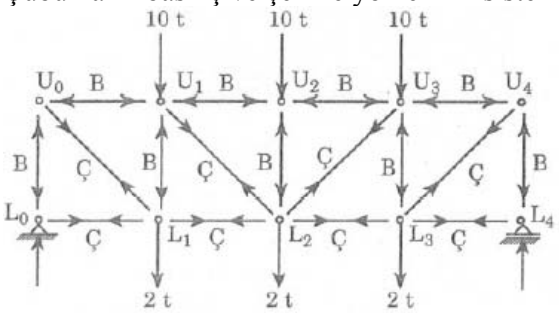
$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \quad 18 + 8{,}5\cos 45° + U_2U_3 = 0$

$U_2U_3 = -24$ ton basınç

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad -U_2L_2 + 18 - 22 - 8{,}5\cos 45° = 0$

$U_2L_2 = -10$ ton basınç

Çubukların basınç ve çekme yönlerinin sistem üzerinde gösterilmesi



B = Basınç Çubuğu

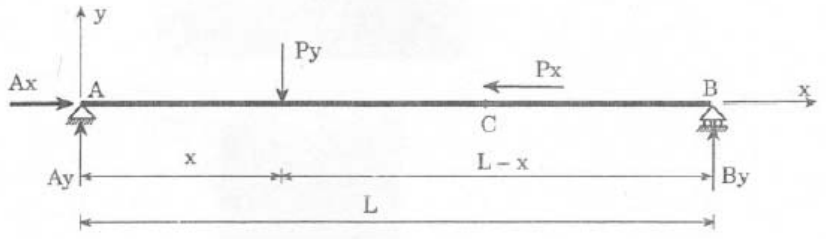
Ç = Çekme Çubuğu

ÇUBUK KUVVETLERİ TABLOSU

Çubuk No	Basınç (–)	Çekme (+)
L_0L_1 ; L_3L_4	0	0
L_1L_2 ; L_2L_3	—	+18 ton
U_0U_1 ; U_3U_4	–18	—
U_1U_2 ; U_2U_3	–24	—
U_0L_1 ; U_4L_3	—	+25,5 ton
U_1L_1 ; U_3L_3	–16	—
U_1L_2 ; U_3L_2	—	+8,5 ton
U_2L_2 ;	–10	—
L_0U_0 ; L_4U_4	–18	—

KİRİŞLERİN MESNET REAKSİYONLARININ BULUNMASI

a) Tekil yükle yüklenmiş basit kiriş;



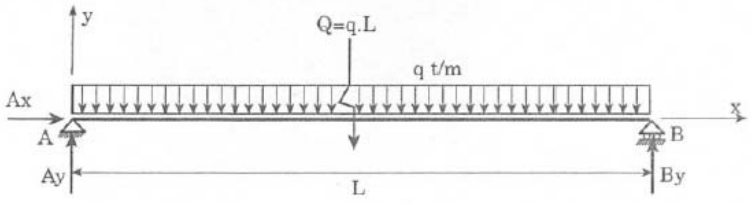
$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0$ $\quad Ax - Px = 0$ $\quad Ax = Px$

$+\uparrow \Sigma y = 0$ $\quad Ay + By - Py = 0$

$\curvearrowleft_{+} \Sigma M_A = 0,$ $\quad -By \cdot L + Py \cdot x = 0$ $\quad By = Py \cdot \frac{x}{L}$

$\curvearrowleft_{+} \Sigma M_B = 0,$ $\quad +Ay \cdot L - Py\,(L - x) = 0$ $\quad Ay = Py \cdot \frac{L - x}{L}$

b) Yayılı yükle yüklenmiş basit kiriş;



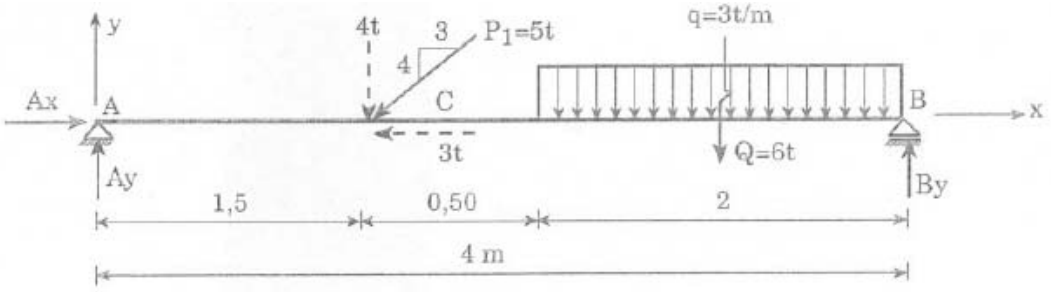
Şekil-10.4

$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0,$ $\quad Ax = 0$

$+\uparrow \Sigma y = 0,$ $\quad Ay + By = 0$

$$Ay = By = \frac{Q}{2} = \frac{q \cdot L}{2}$$

ÖRNEK: Aşağıda verilen basit mesnetli kirişin mesnet reaksiyonlarını bulunuz.

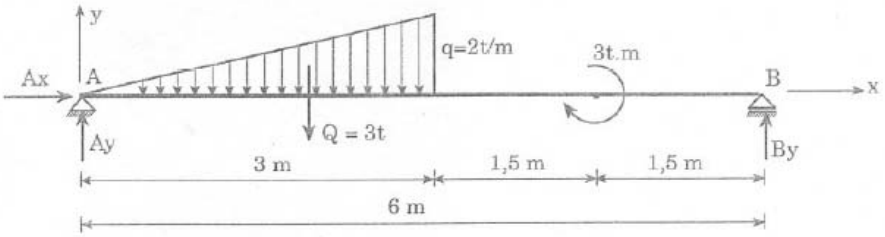


$Q = 3.2 = 6t$ $\quad \overset{+}{\rightarrow} \Sigma x = 0, \quad Ax - 3 = 0 \quad Ax = 3.0t$

$\overset{+}{)} \Sigma MA = 0, \quad + 4.1{,}5 + 6 \times 3 - Bx. 4 = 0 \quad By = \dfrac{4 \,.\, 1{,}5 + 6 \,.\, 3}{4} = \dfrac{6 + 18}{4} = 6 \text{ ton}$

$+ \uparrow \Sigma y = 0, \quad Ay - 4 - 6 + By = 0 \quad Ay = 4 + 6 - By \quad Ay = 4 \text{ ton}$

ÖRNEK: Aşağıda yükleme durumu verilmiş olan basit mesnetli kirişin mesnet reaksiyonlarını bulunuz.



$\overset{+}{\rightarrow} \Sigma x = 0, \quad Ax = 0$

$\overset{+}{)} \Sigma M_A = 0, \quad + 3 \,.\, 2 + 3 - By \,.\, 6 = 0 \quad By = \dfrac{3 \,.\, 2 + 3}{6} = \dfrac{9}{6} = 1.5 \text{ t}$

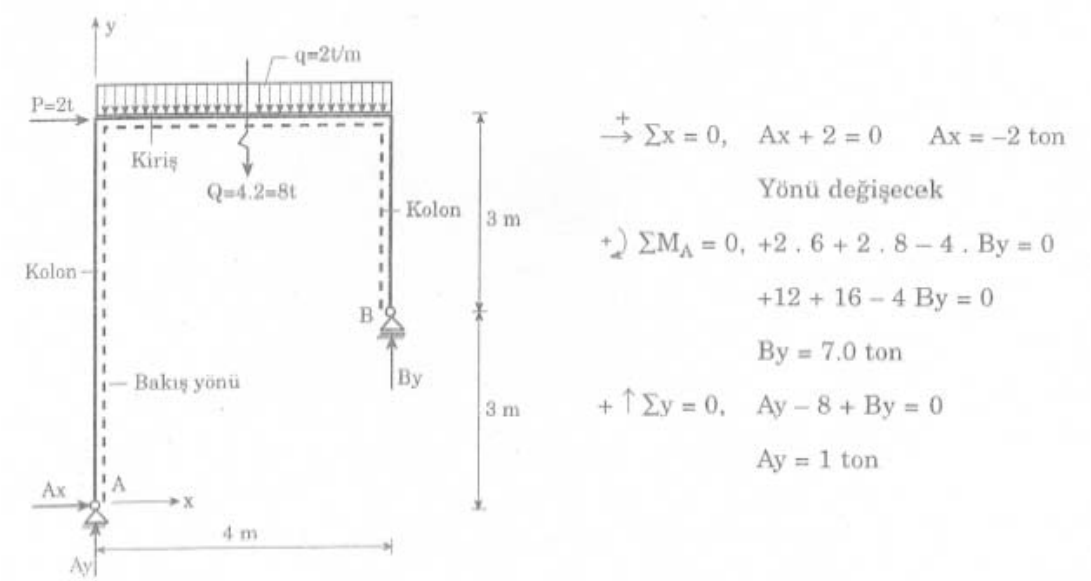
$+ \uparrow \Sigma y = 0, \quad Ay - 3 + 1.5 = 0 \quad Ay = 3 - 1.5 \quad Ay = 1.5 \text{ ton}$

ÇERÇEVELER

İki dikey kolon üzerine rijit olarak bağlanmış yatay bir kirişin oluşturduğu sisteme basit çerçeve denir. Basit çerçeve kendi başına kullanılabileceği gibi, bir çok yapı sisteminin de temel birimidir. Kolonların zeminle birleştiği noktanın mafsal veya ankastre olmasına göre çerçeveler mafsallı veya ankastre olarak adlandırılır.

ÇERÇEVELERİN MESNET REAKSİYONLARI

Mesnet reaksiyonları kirişlerde olduğu gibi üç denge denklemi yazılarak bulunur.



$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \quad Ax + 2 = 0 \quad Ax = -2$ ton

Yönü değişecek

$+\curvearrowright \Sigma M_A = 0, \quad +2 \cdot 6 + 2 \cdot 8 - 4 \cdot By = 0$

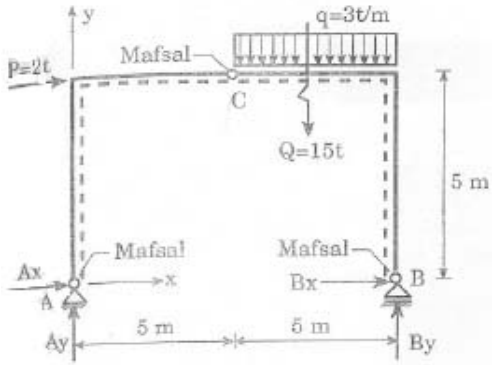
$+12 + 16 - 4\,By = 0$

$By = 7.0$ ton

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad Ay - 8 + By = 0$

$Ay = 1$ ton

ÖRNEK: Aşağıda yükleme durumu verilen mafsallı çerçevenin mesnet reaksiyonlarını bulunuz.



$Q = 3 \cdot 5 = 15$ ton

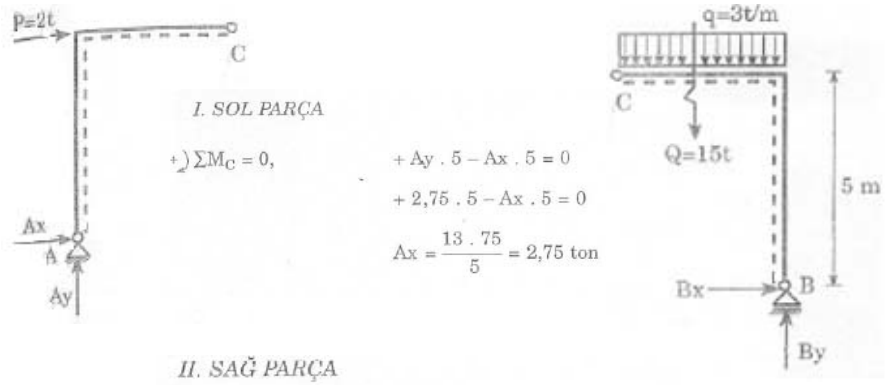
$+\curvearrowright \Sigma M_A = 0, \quad 2.5 + 15.7{,}5 - By \cdot 10 = 0$

$10 + 112{,}5 - By.10 = 0 \quad By = 12{,}25$ ton

$+\curvearrowright \Sigma M_B = 0, \quad +Ay \cdot 10 + 2.5 - 15 \cdot 2{,}5 = 0$

$+Ay.\,10 = 27{,}5 \qquad Ay = 2{,}75$ ton

A_x reaksiyonunu bulmak için C mafsalından sistem ikiye ayrılır.



$+\curvearrowright \Sigma M_C = 0, \quad +Ay \cdot 5 - Ax \cdot 5 = 0$

$+2{,}75 \cdot 5 - Ax \cdot 5 = 0$

$Ax = \dfrac{13 \cdot 75}{5} = 2{,}75$ ton

II. SAĞ PARÇA

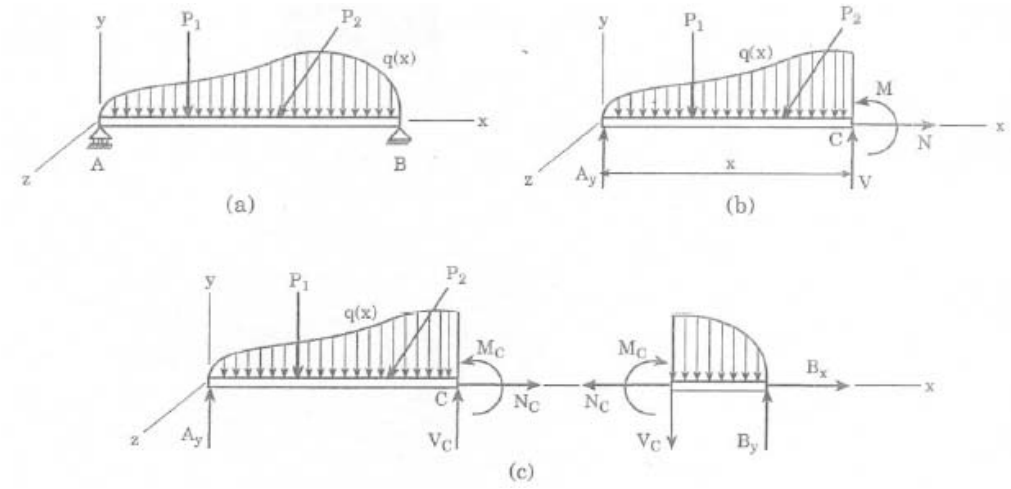
$+\curvearrowright \Sigma M_C = 0, \quad -By \cdot 5 - Bx \cdot 5 + 15 \cdot 2{,}5 = 0$

$-12 \cdot 25 \cdot 5 - Bx \cdot 5 + 15 \cdot 2{,}5 = 0$

$Bx = -4{,}75$ ton yönü değişecek

İÇ KUVVETLERİN ANALİZİ

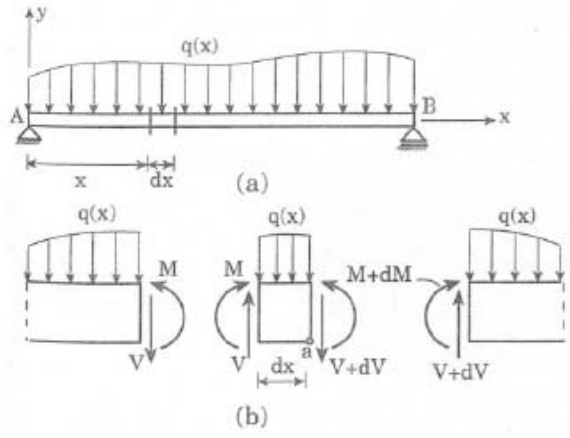
Taşıyıcı sistemlere tesir eden dış kuvvetlerin analizi yapıldıktan sonra iç kuvvetlerin analizine geçilir. Taşıyıcı sistemin çeşitli noktalardaki iç kuvvetlerinin değeri değişmektedir. Örneğin altta yükleme durumu verilen AB kirişinin sol mesnedinden x uzaklığındaki bir C noktasındaki iç kuvvetlerini aramak için sistemi C noktasından keserek ikiye ayıralım ve örneğin sağ tarafını atalım. Buna ayırma prensibi denir.



Kirişin bir kısmını atmış olduğumuza göre denge konumu bozulmuş olur. C noktasında iç kuvvetler bulunmaktadır. Bunların yönü, doğrultusu ve şiddetleri henüz bilinmiyor. İç kuvvetin tarifi şöyledir. Ayırma prensibinin uygulanması ile bozulmuş olan denge konumunda; tekrar denge meydana getiren C noktasındaki kuvvetlere iç kuvvet denir.

YAYILI YÜK, KESME KUVVETI VE EĞİLME MOMENTİ ARASINDAKİ BAĞINTILAR

Yayılı yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti arasında türev bağıntıları vardır. Bu bağıntıları elde etmek için şekildeki gibi düşey yayılı yüklü bir basit kiriş göz önüne alalım. Şekildeki kirişten çıkarılan dx parçasi aşağıda daha büyük olarak gösterilmiştir. Bu parçanın iki yanında iç kuvvetler vardır; bunlar şekilde işaretlenmiş ve dx kadar ilerleme sonucu iç kuvvetlerdeki ve yayılı yükteki artımlarla gösterilmiştir. Kiriş parçasının dengede olduğunu ifade edelim düşey bileşenlerin toplamını sıfır yazarsak.



$$+\uparrow \Sigma y = 0, \qquad V - (V + dV) - (q.\,dx) = 0$$

$$V - V\,dV - q.\,dx = 0$$

$$-dV = q\,.\,dx$$

iki tarafı dx'e bölersek

$$-q = \frac{dV}{dx}$$

elde edilir. (Birinci bağıntı)

Bu birinci bağıntı, kesme kuvvetinin türevinin yayılı yükün negatif işaretlisini verdiğini ifade etmektedir. Yine bu bağıntı aynı noktada kesme kuvveti diyagramının teğetinin eğimini vermektedir.

İkinci bağıntıyı bulmak için moment denklemini yazalım.

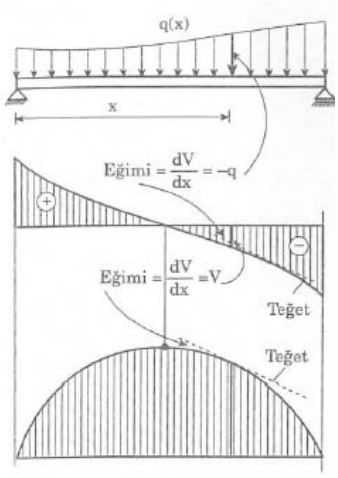
$$+\circlearrowleft \Sigma M_a = 0, \qquad +M - (M + dm) + V \cdot dx - q \cdot dx \left(\frac{1}{2} \cdot dx\right) = 0$$

$$+ M - M - dM + V \cdot dx = 0$$

$$- dM + V \cdot dx = 0 \qquad dx\text{'e bölersek}$$

$$\frac{dM}{dx} = V$$

elde edilir.



Bu önemli bağıntıdan ikincisi eğilme momentinin türevinin kesme kuvvetini verdiğidir. Türevin anlamı düşünülürse, eğilme momenti diyagramının bir noktadaki eğiminin, o noktadaki kesme kuvvetini, kesme kuvveti diyagramının bir noktadaki eğiminin de eksi işaretle yayılı yükü verdiği anlaşılır. Kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktada eğilme momentinin an büyük değeri aldığı $\frac{dM}{dx} = V$ bağıntısı sonucu alarak hemen ortaya çıkar. Elde edilen bu bağıntılar uygulamada daha yük verilmişken kesme kuvveti ve eğilme momentini bulmakta kullanılır. Bunun için integrasyona başvurmak gereklidir.

1. ve 2. bağıntıyı kirişin herhangi iki A ve B noktası arasında integre edersek,

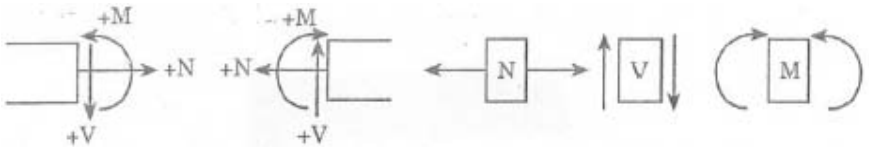
1. bağıntının integrali alınırsa, $V_B = \int_A^B q dx + V_A$

2. bağıntının integrali alınırsa, $M_B = \int_A^B V dx + M_A$

Sabitler dışarı alınırsa, $V_B - V_A = \int_A^B q dx \qquad M_B - M_A = \int_A^B V dx$ elde edilir.

Görüldüğü gibi dışarıdan uygulanan yük fonksiyonu n. dereceden bir polinom ise, kesme kuvvetinin mertebesi n+1, momentin mertebesi ise n+2 olur.

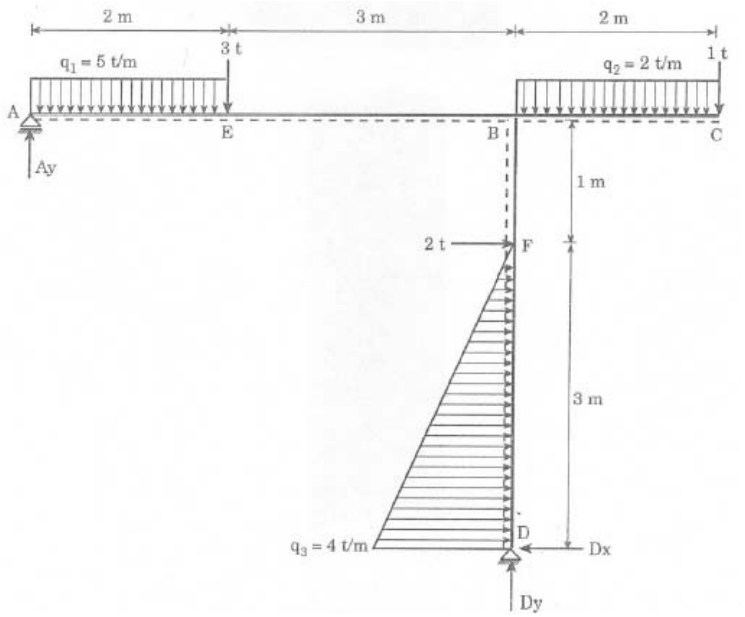
İÇ KUVVETLERİN POZİTİF YÖNLERİ



KESİT TESİRLERİ DİYAGRAMLARI (M, N, V)

Sabit yüklerden meydana gelen kesit tesirleri fonksiyonlarının grafiklerine kesit tesirleri diyagramları denir. Bu diyagramlar kesit tesirleri değerlerinin ölçüldüğü doğrultuda taranır ve bunların işareti, yanlarına da ölçekleri yazılır. Genel olarak düzlem sistemlere ait kesit tesirleri diyagramları çizilirken kesme kuvvetlerinin pozitif yönleri yukarıya doğru, eğilme momentinin pozitif yönleri aşağıya doğru alınmaktadır.

ÖRNEK: Şekilde yükleme durumu verilen çerçevenin mesnet reaksiyonlarını ve B, E, F kesitlerindeki kesit tesirlerini bulup M, N, V diyagramlarını çiziniz.



Mesnet Reaksiyonlarının bulunması;

$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \qquad \frac{1}{2} 4.3 + 2 - Dx = 0 \qquad Dx = 8 \text{ ton}$

$+\uparrow \Sigma y = 0, \qquad + Ay - 10 - 3 - 4 - 1 + Dy = 0$

$+\circlearrowleft \Sigma M_D = 0, \qquad +5Ay - 10.4 - 3.3 + 2.3 + 6.1 + 4.1 + 1.2 = 0$

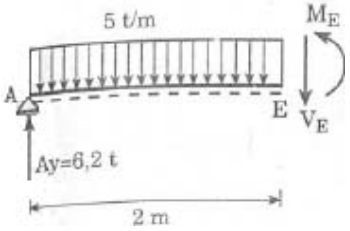
$+5\,Ay - 40 - 9 + 6 + 6 + 4 + 2 = 0$

$$Ay = \frac{31}{5} = 6{,}2 \text{ ton}$$

$6{,}2 - 10 - 3 - 4 - 1 + Dy = 0$

$Dy = 11{,}8 \text{ ton}$

Kesit tesirlerinin bulunması;

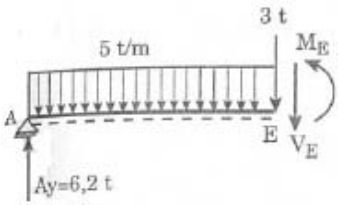


E'nin solunda

$+\uparrow \Sigma y = 0, \qquad 6{,}2 - 10 - V_E = 0 \qquad V_E = -3{,}8 \text{ ton}$

$+\circlearrowleft \Sigma M_E = 0, \qquad 6{,}2 \,.\, 2 - 10.1 - M_E = 0$

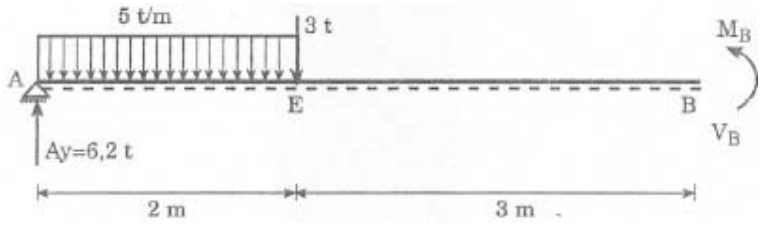
$M_E = 2{,}4 \text{ t.m.}$



E'nin sağında

$6,2 - 10 - 3 - V_E = 0$ $\quad V_E = -6,8$ t

$M_E = 2,4$ t.m

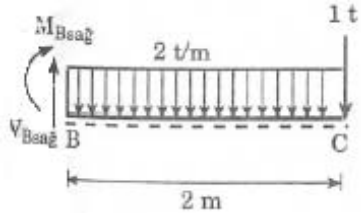


B'nin solunda

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad 6,2 - 10 - 3 ,- V_B = 0 \quad V_B = -6,8$ ton

$+) \Sigma M_B = 0, \quad 6,2 \,.\, 5,0 - 10.4 - 3.3 + M_B = 0$

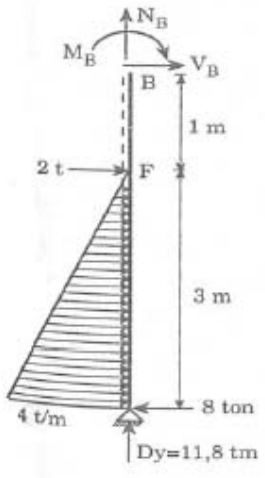
$31.0 - 40 - 9 - M_B = 0 \quad M_B - 18$ t.m



B'nin sağında

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad -4 - 1 + V_B = 0 \quad V_B = 5$ t.m.

$+) \Sigma M_B = 0, \quad 4.1 + 1.2 + M_B = 0 \quad M_B = -6$ t.m.



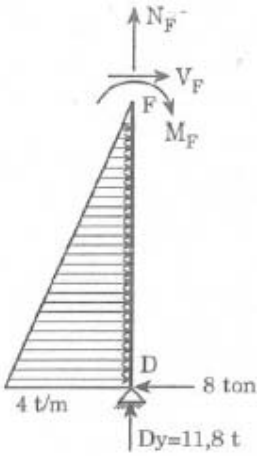
B'nin altında

$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \quad -8 + 6 + 2 + V_B = 0 \quad V_B = 0$

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad +11,8 + N_B = 0 \quad N_B = -11,8$ t.

$+) \Sigma M_B = 0, \; 8.4 - 6.3 - 2.1 + M_B = 0$

$M_B = -12$ t.m

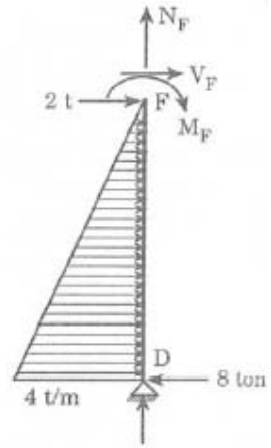


F'nin solunda

$\xrightarrow{+}\Sigma x = 0, \quad -8 + 6 + V_F = 0 \quad V_F = 2$ ton

$+)\ \Sigma M_F = 0, \quad +8.3 - 6.2 + M_F = 0 \quad M_F = -12$ t.m

$+\uparrow \Sigma y = 0, \quad 11{,}8\ N_F = 0 \quad N_F = -11{,}8$ t

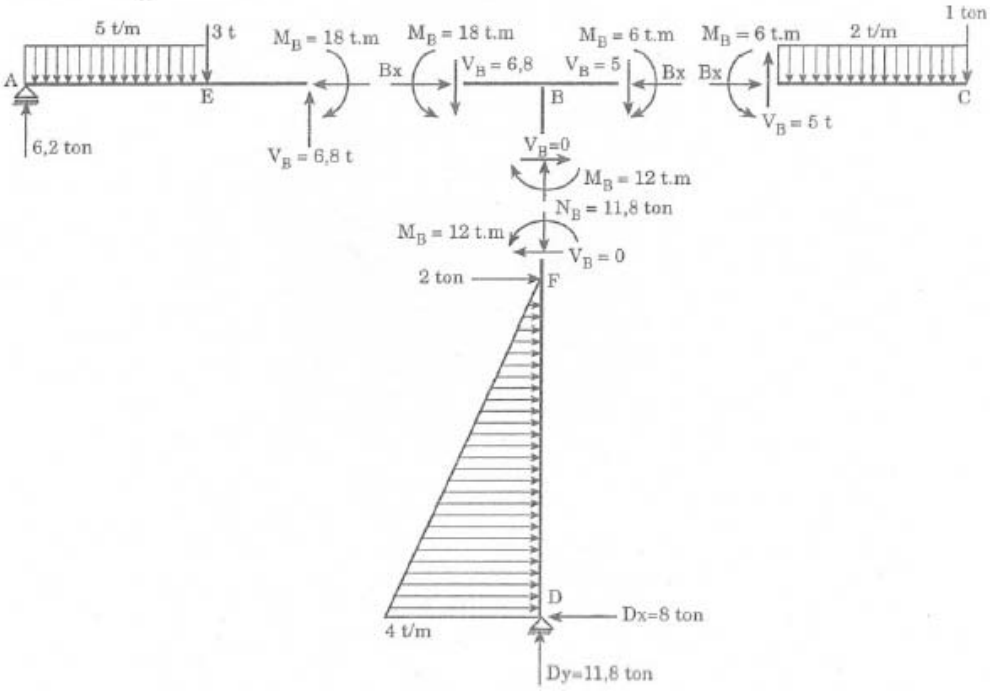


F'nin sağında

$\xrightarrow{+}\Sigma x = 0, \quad -8 + 6 + 2 + V_F = 0 \quad V_F = 0$

$M_F = -12$ t.m

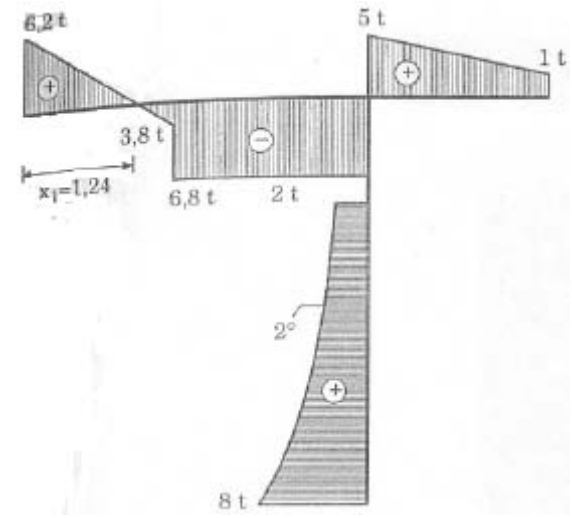
$N_F = -11{,}8$ t



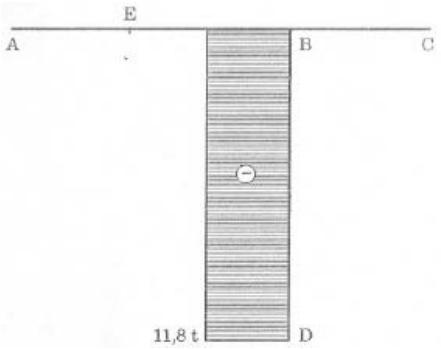
Serbest Cisim Diyagramı

M, N, V Diyagramları

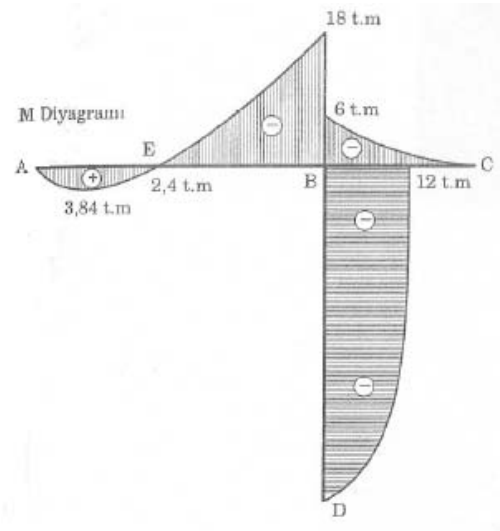
Kesme Kuvveti (V) Diyagramı



Eksenel Kuvvet (N) Diyagramı



Moment (M) Diyagramı



GERBER KİRİŞLERİ

Mesnetlerden biri sabit diğerleri hareketli olan doğru eksenli sistemlere sürekli kirişler denir. Bu sistemler (n) mesnete oturuyorsa (n-3) kere hiperstatiktirler. Bu sistemi izostatik hale dönüştürmek için hiperstatiklik derecesi kadar mafsal koymak gerekir. Bu şekil izostatik (statikçe belirli) olan çok açıklıklı sürekli kirişlere Gerber Kirişleri denir. İlk uygulayan Alman Mühendisi H. Gerber'dir. Mafsal sayısı, sürekli kirişin hiperstatiklik derecesine eşittir. Konulan her mafsal bir denklem sağlar. Bu denklem kirişe etkiyen kesitin sağında ya da solundaki bütün dış kuvvetlerin momentlerinin toplamının mafsalın merkezinde sıfır olmasını ifade eder. Böylece sistem izostatik olur. Bu mafsallar yapının her parçasına izostatik ve geometrik dengede kalacak şekilde dağıtılır.
Gerber Kirişinin Yararları:

a) Kısa elemanlar olduğundan prefabrik olarak imali ve taşıması kolaydır.
b) Meydana gelen her kuvvet izostatiktir. Mesnet çökmesinden, sıcaklık değişmesinden etkilenmez.

Gerber Kirişlerinde Mafsal Yerleştirme Kuralları

1. İlk ve son açıklıklara en çok bir adet mafsal konabilir. Aksi halde sistem mekanizma olur.

2. Ortadaki bir açıklığa en çok iki adet mafsal konabilir.

3. Komşu iki açıklığa ikişer mafsal konulamaz.

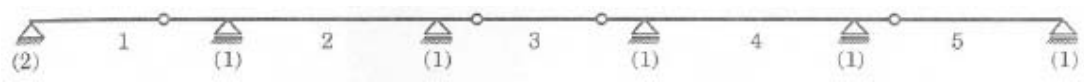
4. Komşu iki açıklık mafsalsız bırakılmamalıdır. Aksi halde bu iki açıklık parçası hiperstatik olarak kalır.

5. Uç açıklıklara bir tane ona komşu açıklıklara iki tane konmayacaktır.

ÖRNEK: Aşağıdaki şekilde verilen sürekli kirişi izostatik hale getirmek için mafsal yerleştiriniz.



ÇÖZÜM 1:

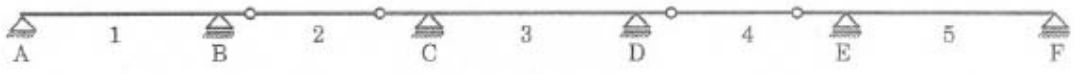


Bilinmeyen reaksiyon sayısı = 7
Bilinen denge denklem sayısı= 3
Gerekli mafsal = 4

veya kısaca açıklık sayısının bir eksiği kadar mafsal gereklidir. Açıklık sayısı = 5

Gerekli Mafsal = 5-1 = 4

ÇÖZÜM 2:



ÇÖZÜM 3:

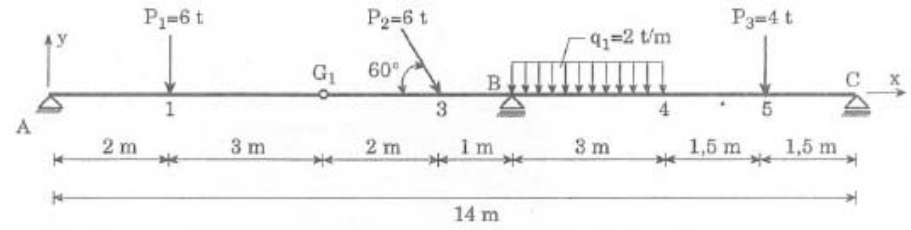


GERBER KİRİŞLERİNİN SİSTEMATİK OLARAK ÇÖZÜMLERİ

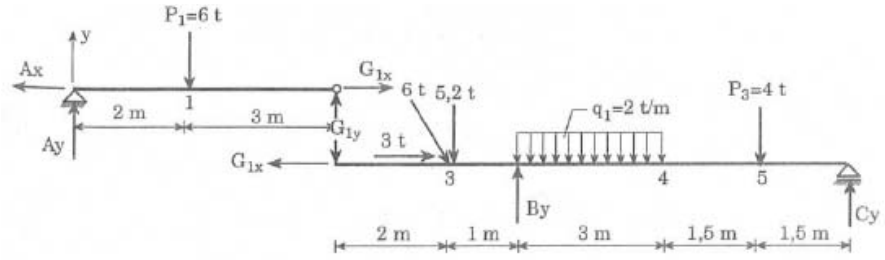
Taşıyıcı Sistem Şeması Çıkarılarak Kesit Tesirlerinin Bulunması

Önce, gerber kirişi mafsallarından ayrılarak kendi taşıyıcı olan kısımlar alt sıraya ve bunlara oturan kısımlarda üst sıraya çizilerek taşıyıcı sistem şeması tayin edilir. Yükler düşey olduğu için mafsallarda yalnız düşey iç kuvvetler meydana gelir. Önce taşıyıcı kısımlara oturan parçalar kendi üzerlerine etkiyen kuvvetler altında hesaplanır. Sonra bunlardan meydana gelen mafsallardaki düşey reaksiyon kuvvetleri taşıyıcı kısma ters yönde tatbik edilir. Taşıyıcı kısımlar kendi üzerine etkiyen yükler ile mafsallarda meydana gelen düşey kuvvetler göz önünde tutularak hesaplanır.

ÖRNEK: Aşağıda yükleme durumu verilen Gerber kirişinin mesnet reaksiyonlarını bulunuz ve M, N, V diyagramlarını çiziniz.



Sistemin basit kirişlere bölümü



$$\begin{cases} P_{2y} = \sin 60^\circ \,.\, P_2 \\ P_{2x} = \cos 60^\circ \,.\, P_2 \end{cases} \qquad \begin{cases} P_{2y} = 0{,}86 \,.\, 6 = 5{,}2 \text{ ton} \\ P_{2x} = 0{,}5 \,.\, 6 = 3 \text{ ton} \end{cases}$$

AG_1 basit kirişinin çözümü

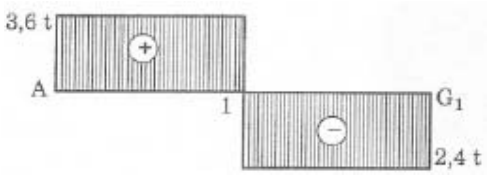
$+\uparrow \Sigma y = 0, \qquad +Ay - P_1 + G_1 = 0$

$+\circlearrowleft \Sigma M_A = 0, \qquad +6.2 - 5G_{1y} = 0 \qquad G_{1y} = \dfrac{12}{5} = 2{,}4 \text{ ton}$

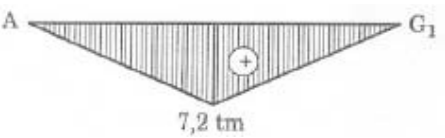
$Ay = 6 - 2{,}4 = 3{,}6 \text{ ton}$

M, N, V Diyagramlarının çizimi

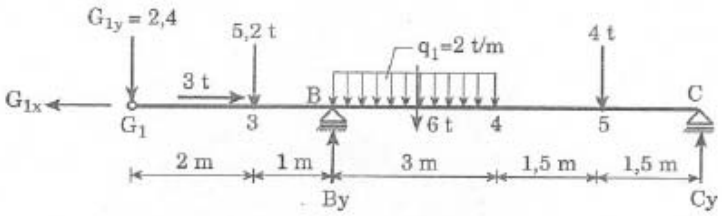
(V)



(M)



B_y, C_y çıkmalı basit kirişin çözümü;



$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \qquad G_{1x} = 3 \text{ ton}$

$+\uparrow \Sigma y = 0, \qquad -2,4 - 5,2 + By - 6 - 4 + Cy = 0$

$\overset{+}{\curvearrowleft} \Sigma M_B = 0, \qquad -2,4.3 - 5,2.1 + 6.1,5 + 4.4,5 - 6 \quad Cy = 0$

$$Cy = \frac{14,6}{6} = 2,43 \text{ ton}$$

$\overset{+}{\curvearrowleft} \Sigma M_{Cy} = 0, \qquad -2,4.9 - 5,2.7 + 6\,By - 6 \,.\, 4,5 - 4 \,.\, 1,5 = 0$

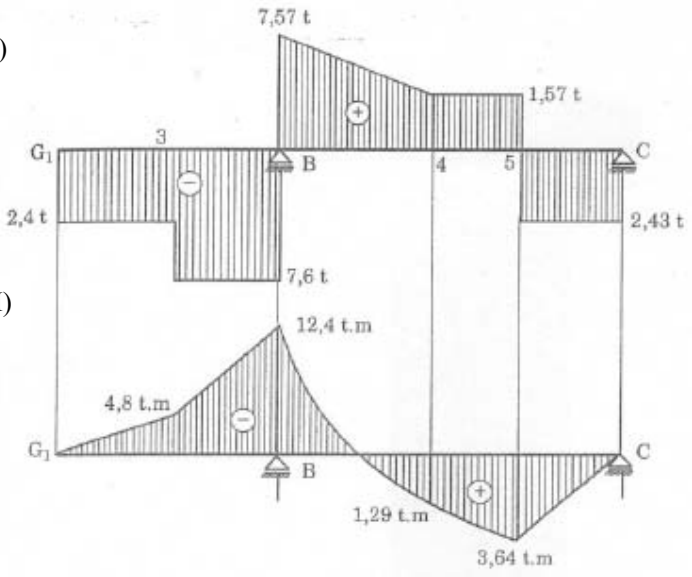
$$By = \frac{91}{6} = 15,17 \text{ ton}$$

$\xrightarrow{+} \Sigma x = 0, \qquad Ax = 3 \text{ ton}$

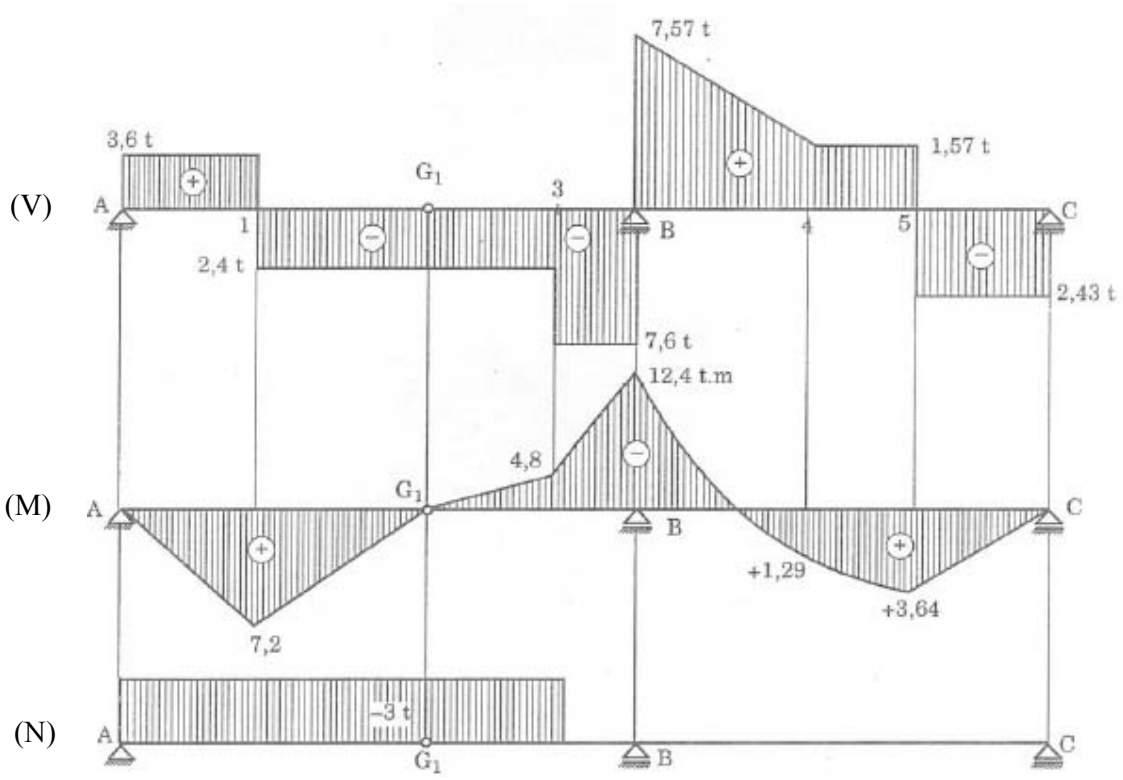
M, N, V Diyagramlarının çizimi

(V)

(M)



Kirişin kesit tesirleri diyagramları



Kaynak: Can, Hüsnü., "Çözümlü Örneklerle Yapı Statiği Genişletilmiş 4. Baskı", Birsen Yayınevi, Cağaloğlu Yokuşu, Evren Çarşısı No:29/13 Cağaloğlu, İstanbul, 2008.