BETONARME DAVRANIŞI

Yrd. Doç. Dr. Meltem ŞAHİN
Arş. Gör. Mehmet S. ÖKTEN

GENEL

- Bir mekanik problemin çözümünde 3 aşama;

1. Denge koşullarının sağlanması,
2. Uygunluk koşullarının sağlanması
3. Malzemeler için σ-ε ilişkisinin belirlenmesi

- 3. şık malzeme ile ilgilidir. Bu nedenle betonarme yapıda betonarmeyi oluşturan beton ve çeliğin gerilme ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi önemlidir.
- Beton sadece basınç gerilmelerini aldığı için eksenel basınç etkisindeki elemanların eğrisine benzer gerilme dağılımını esas almak uygundur. Çelik için de davranışın elasto-plastik olduğu, yani donatı çeliği akma gerilmesine ulaşıncaya kadar doğrusal elastik, bu noktadan sonra ise plastik malzeme gibi davranacağı kabul edilebilir.

Yapısal Çözüm

Kesitle ilgili hesaplarda iki ayrı tür sorunla karşılaşılabilir. Bazı durumlarda kesit boyutları, donatı alanı ve malzeme dayanımları bilinmektedir. Amaç, kesitin öngörülen bir zorlamayı güvenle taşıyıp taşımayacağının tespitidir. Buna "kesit tahkiki" denir.

İkinci tür sorun ise, kesit zorlamaları ve malzeme dayanımları bilinmektedir. Amaç, kesitin bu zorlamaları güvenle taşıyacak biçimde boyutlandırılıp donatılmasıdır. Buna ise "boyutlandırma ve donatı hesabı" denir.

Kesit hesabı iki aşamada yapılır.

1. Boyutların belirlendiği "ön tasarım" ve
2. Boyutların kontrol edilip donatının hesaplandığı "kesin tasarım".

Kesit hesabı için başlıca 2 yöntem vardır.

1. Emniyet gerilmeleri yöntemi

Bu yöntemde amaç, hesaplanan gerilmelerin daha önce yönetmeliklerde belirlenmiş emniyet gerilmelerini aşmamasıdır.

Emniyet gerilmeleri çelik için akma, beton için ise basınç dayanımı esas alınarak saptanır.

Bu yöntemde beton ve çeliğin doğrusal-elastik davrandıkları varsayılır. Hesaplarda, donatı alanı modüler alan olarak bilinen n=EsxEc ile çarpılarak, eşdeğer beton alanına çevrilir. Betonun çekme dayanımı ihmal edilerek, elde edilen bu eşdeğer beton kesitteki gerilmeler hesaplanır. Donatıdaki gerilmeler, eşdeğer beton için bulunan gerilmelerin modüler oran ,n, ile çarpılması ile bulunur.

2. Sınır durumlar yöntemi

Herhangi bir yapı ya da yapı elemanı “sınır durum” olarak adlandırılan belirli bir konuma gelip işlevini kaybedebilir. Kesit hesabında amaç, sınır durumların tümünde belirli bir güvenliğin sağlanmasıdır.

Genelde iki sınır durum vardır:

– Taşıma gücü ; kesitin güç tükenmesi sınırını tanımlar.

– Kullanılabilirlik sınır durumu; yapının normal kullanım yükleri altında kullanımını olumsuz bir biçimde etkileyecek duruma gelmesi ile erişilir. Yapı elemanlarında aşırı çatlama, aşırı deformasyon veya aşırı titreşim gibi...

Taşıma gücü yöntemi

Genelde kesit boyutlandırılması ve donatı hesabı taşıma gücü sınır durumuna göre yapılır. Daha sonra, kullanılabilirlik sınır durumu için kontrol yapılır.

Taşıma gücü yöntemi: Amaç, güç tükenmesi anındaki kapasitenin hesabıdır. Çözüm için denge ve uygunluk denklemleri yazılarak ve malzemeler için gerilme-birim deformasyon ilişkileri belirlenerek yapılır. Bu yöntemde, emniyet gerilmesi yönteminde olduğu gibi malzeme davranışı doğrusal-elastik kabul edilmez, çelik ve betonun gerçek davranışı esas alınır.

Bu yöntem ile çözümde birtakım kabuller yapılır:

Kabuller (taşıma gücü yöntemi)

1. Eğilme etkisinde düzlem kesitin şekil değiştirmeden sonra da düzlem kaldığı kabul edilir (Bernouli hipotezi).
2. Betonun çekme dayanımı ihmal edilir.
3. Donatı çubuğu ile çevresini saran beton arasında tam aderans bulunduğu düşünülerek, donatının birim şekil değiştirmesi, aynı düzeydeki beton lifinin birim şekil değiştirmesine eşit alınır.
4. Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\varepsilon_{cu} = 0.003$ alınır.
5. Donatı çeliğinin elasto-plastik davrandığı kabul edilir. Tüm donatı çelikleri için, elastisite modülü $E_s = 2x10^5$ MPa ve kopma birim uzaması $\varepsilon_{su} = 0.01$ alınır.

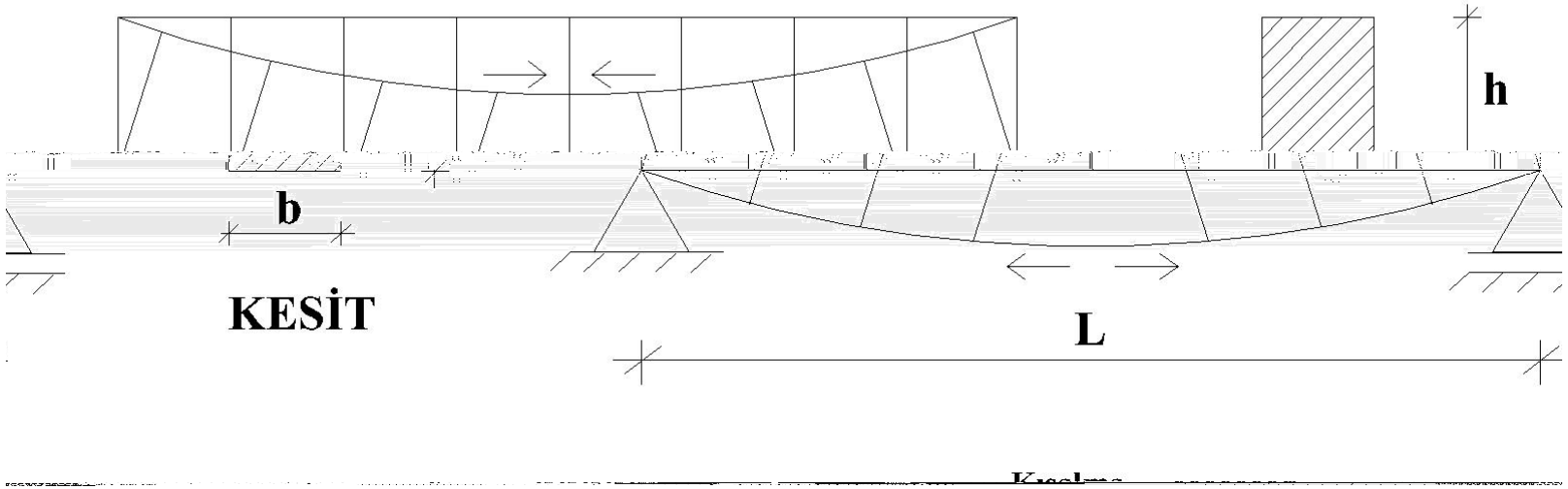
Beton ve çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramları



Şekil 1

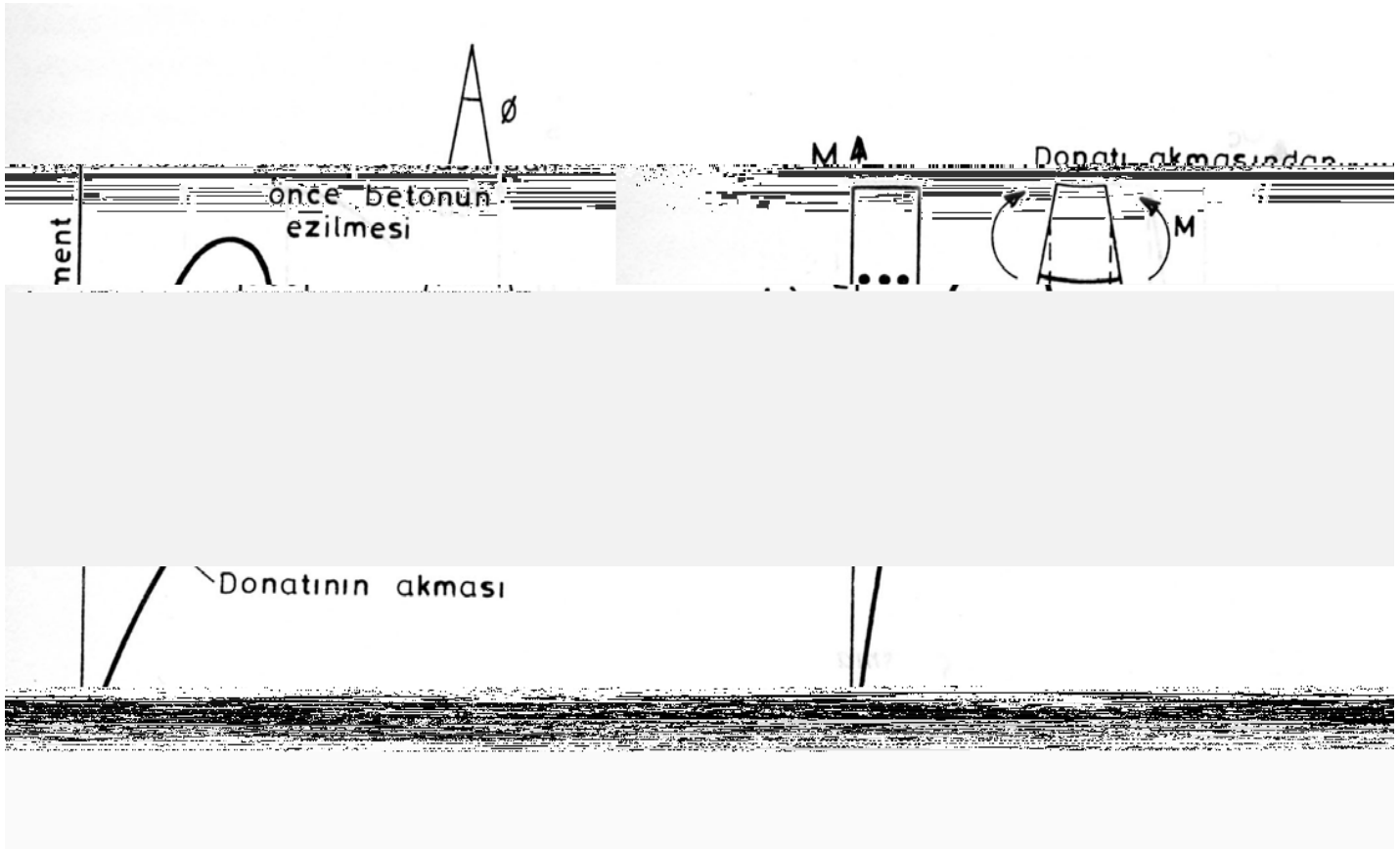
Şekil 2

Basit eğilme



Şekil 3 Basit eğilme durumda kiriş kesitinin şekil değiştirmesi

Moment – Eğrilik İlişkisi



Şekil 4 a-) Denge altı donatılı
(Çekme Göçmesi)

Şekil 4 b-) Denge üstü donatılı
(Basınç Göçmesi)

Moment – Eğrilik İlişkisi

Şekil 5

Taşıma gücü yöntemi

Betonun eğrisini birçok değişken etkilediğinden, tek ve kesin bir eğrinin önerilmesi olanaksızdır. Basınç bölgesindeki gerilme dağılımı her iki denge denkleminde de yer alır.

$\Sigma F=0$

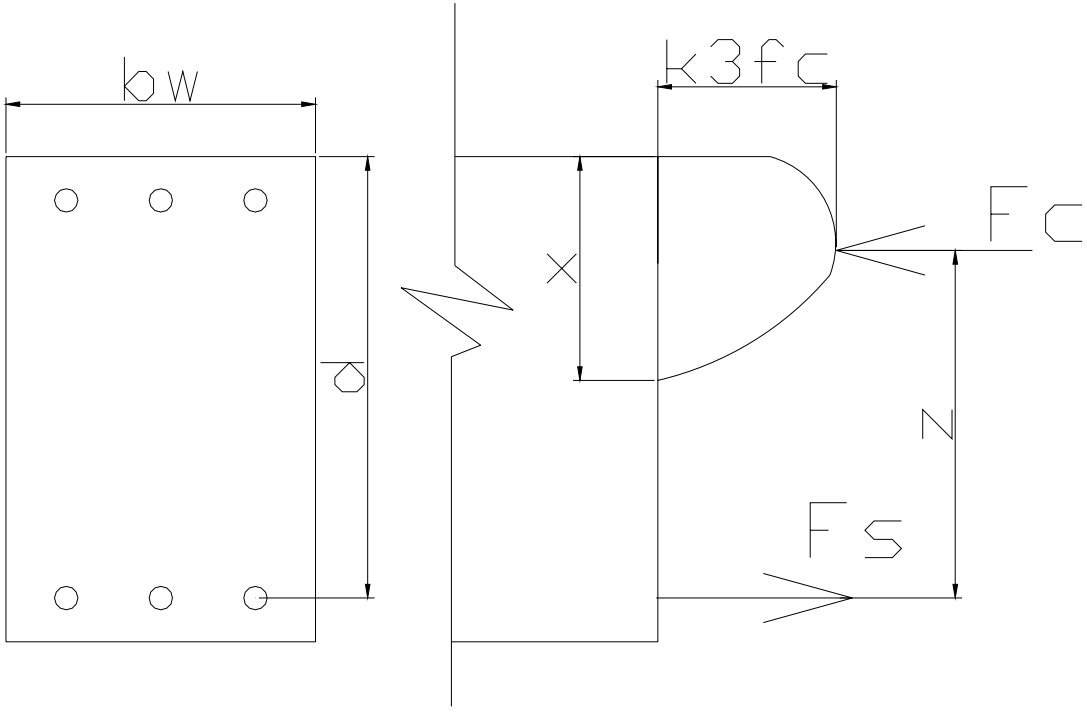
$\Sigma M=0$.

Bu denklemler için önemli olan, basınç gerilmesi dağılımının geometrisi değil, bu dağılımın altındaki alan ve alanın ağırlık merkezidir. Bu nedenle gerilme dağılımı için geçerliliği deneylerle kanıtlanmış herhangi bir eğri kullanılabilir.

Önemli olan, seçilen gerilme dağılımının alanının ve ağırlık merkezinin deneysel olarak saptanan değerlerle uyuşmasıdır.

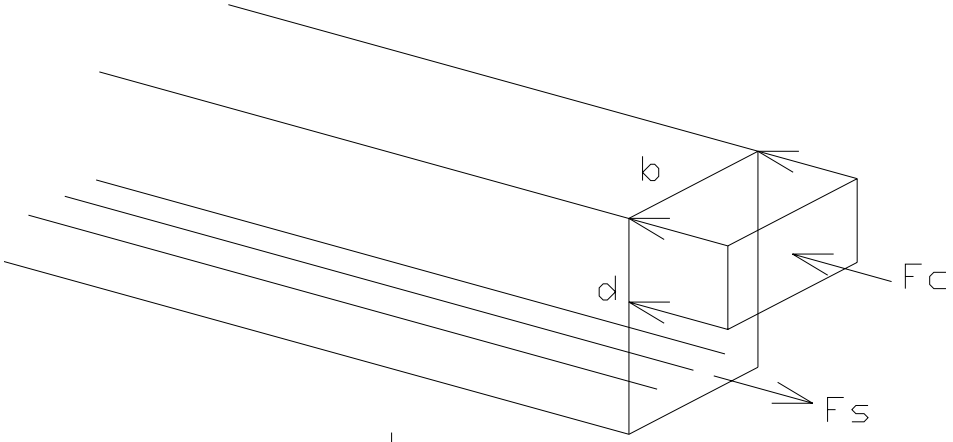
Yapılan teorik çalışmalar, herhangi bir gerilme dağılımının aynı alan ve ağırlık merkezini verecek eşdeğer dikdörtgenle değiştirebileceğini kanıtlamıştır.

Taşıma gücü yöntemi



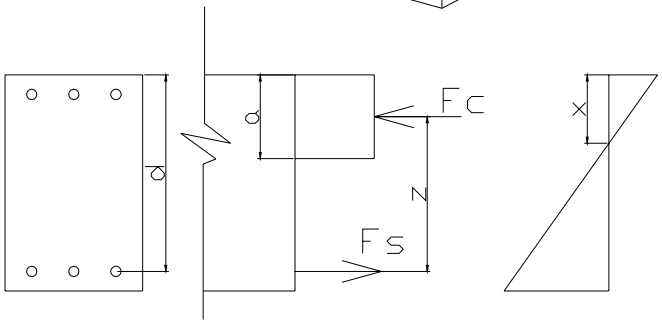
Şekil 6

Taşıma gücü yöntemi



Şekil 6 ve 7' de TS500' de önerilen gerilme dağılımı görülmektedir.Şekilde dikdörtgen dağılımın genişliği 0.85fc alınarak , k_3=0.85 varsayımı yapılmıştır.

Hesaplarda kolaylık sağlamak için, TS 500, C25 ve daha küçük beton sınıfları için k_3=0.85 ve k_1= 0.85 almıştır. Daha yüksek sınıflar için k_1'in değişimi aşağıdadır.



Şekil 7

TS500 Çizelge 7.1'de k_1 değerleri beton sınıflarına göre verilmiştir.

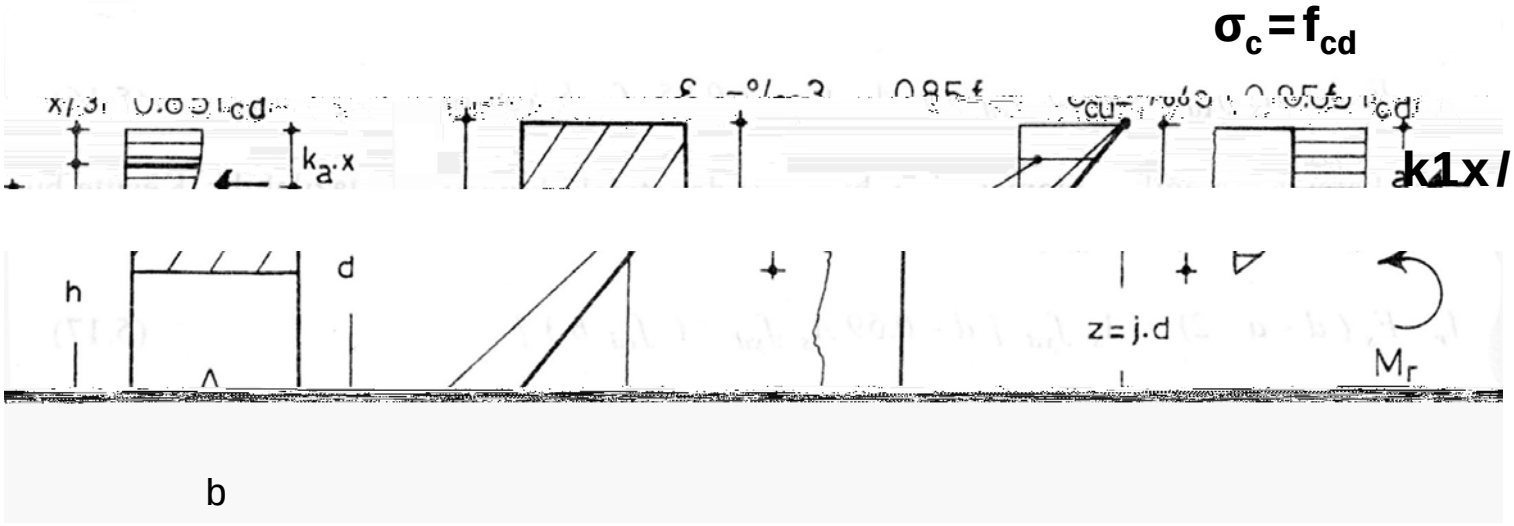
Hesaplarda kolaylık sağlamak için, TS 500, C25 ve daha küçük beton sınıfları için k_3=0.85 ve k_1= 0.85 almıştır. Daha yüksek sınıflar için k_1'in değişimi aşağıdadır.

ÇİZELGE 7.1 - Beton Sınıflarına Göre k_1 Değerleri

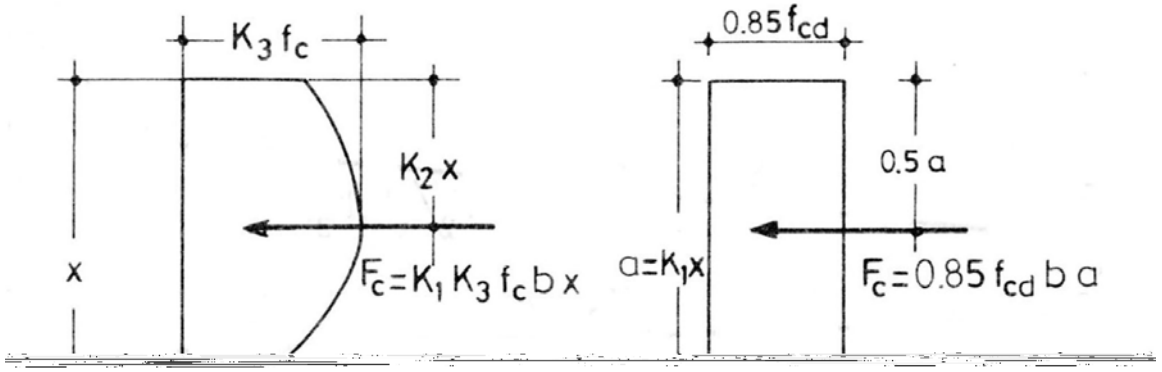
Beton Sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70

Taşıma gücü yöntemi

$\sigma_c = f_{cd}$



b



BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

Yrd. Doç. Dr. Meltem ŞAHİN

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

- Betonarmedeki kiriş ve döşeme gibi yatay taşıyıcı elemanlar, uygulanan düşey ve yatay yükler nedeni ile eğilmeye çalışırlar. Bu tür elemanların kesitlerinde, eğilmeye ek olarak kesme kuvveti, yüklemeye ve sistemi oluşturan elemanların düzenlenmesine bağlı olarak, burulma momenti ve eksenel kuvvet de oluşabilir. Bu bölümde sadece basit eğilme durumu ele alınacaktır.

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

- Betonun çekme dayanımı düşük olduğundan donatısız eğilme elemanı oluşturmak ekonomik olmayacağından, kiriş ve döşeme gibi eğilmeye çalışan kiriş ve döşeme gibi eğilme elemanlarında çekme bölgesine yerleştirilen çelik çubuklar, basınç bölgesindeki betonun tam kapasite ile çalışmasını sağlar. Pratikte, moment kolunu arttırarak donatının daha etkili çalışmasını sağlamak amacı ile, donatı çubukları çekmenin en büyük olduğu yere, yani çekme yüzüne olabildiğince yakın yerleştirilir.

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

- Çekme bölgesindeki beton dış yüzü ile donatı çubukları arasında “pas payı” veya beton örtüsü” olarak adlandırılan bir beton tabakası bulunması zorunludur. Bu örtü tabakasının başlıca 3 işlevi vardır:

- kenetlenme veya aderansı artırmak,
- donatıyı paslanmadan korumak,
- donatıyı yangın etkisinden korumak.

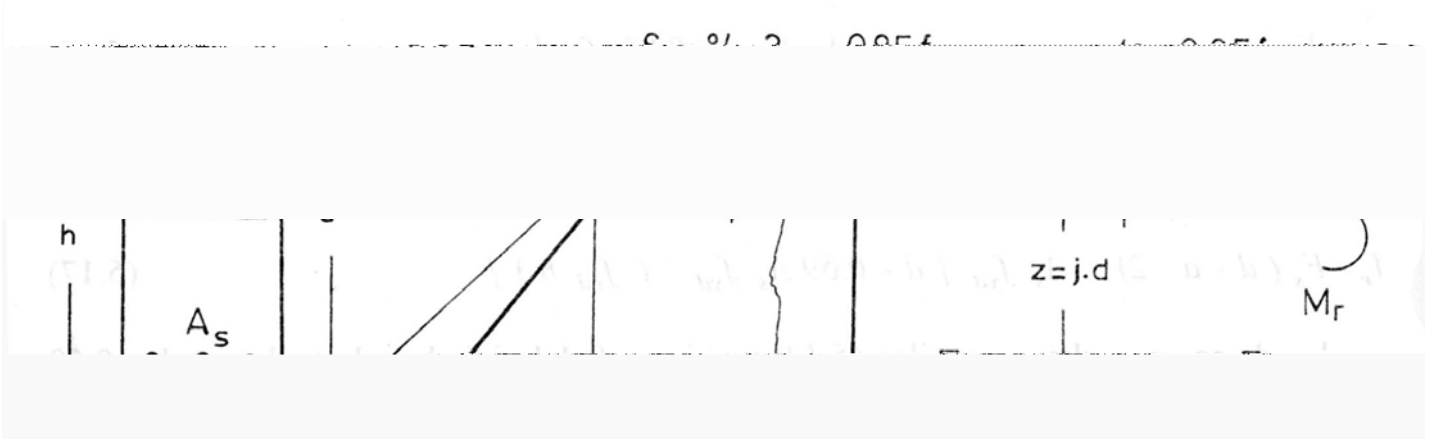
BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

- Eğilme altındaki bir betonarme elemanda zorlamalar düşük seviyede ise, çekme bölgesindeki beton çatlamayabilir. Bu durumda donatı ve beton, kesitteki çekme kuvvetini ortaklaşa taşır. Ancak, kesit boyutlarının betonun çatlamasını önleyecek seviyede olması ekonomik olmayacağından, genelde çekme bölgesindeki beton çatlar. Bu durumda beton ihmal edilecek seviyede çekmeye katkıda bulunur ve çatlamış kesitte çekmenin tamamının donatı tarafından karşılanacağı varsayılır. Ancak, donatı çatlamayı önlemez veya geciktirmez. Donatının işlevi, çekme gerilmelerini karşılamak ve bu arada oluşacak çatlak genişliğini en az seviyede tutmaktır.

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

- Çekme donatısını çekme bölgesine dağıtmak, moment kolunu, dolayısıyla moment kapasitesini düşürür. Buna karşın, donatıyı gövde derinliğine yaymak, oluşan çatlakların genişliğini sınırlama açısından daha etkilidir. Bu nedenle, kirişlerde çekme donatısı, moment kolunu büyütmek amacıyla çekme yüzüne yakın yerleştirilir, ancak yüksekliği fazla kirişlerde (h>60 cm) çatlak kontrolü için ayrıca gövde donatısı konulur.
- Donatı ağırlık merkezinden, en dıştaki basınç lifine olan uzaklık (d) faydalı yükseklik olarak adlandırılır.

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

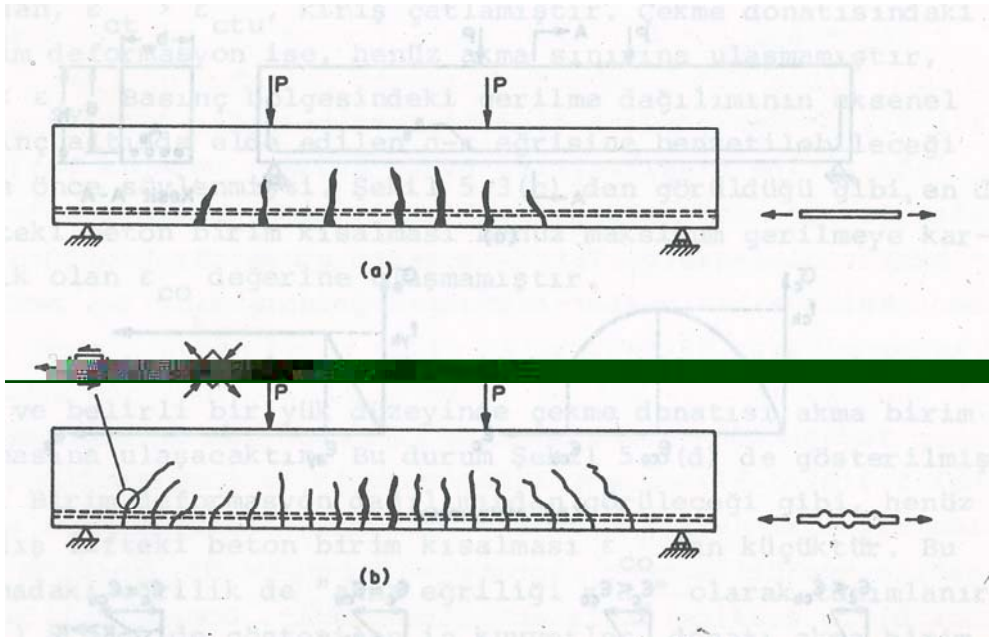


- Donatı ağırlık merkezinden, en dıştaki basınç lifine olan uzaklık (d) faydalı yükseklik olarak adlandırılır.
- Betonarme kirişlerde çekme donatısı A_s ile gösterilir ve donatı oranı
- $\rho = A_s / b_w d$ ile tanımlanır.
- F_c: beton basınç kuvveti bileşkesi,
- F_s: çekme kuvveti olmak üzere kuvvet ve moment dengesi yazılabilir.
- $F_c = F_s$
- $F_c(z) = F_s(z) = Mr$

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ KİRİŞLERİN DAVRANIŞI

- Kirişlerin çekme bölgesindeki ilk çatlaklar, en dış çekme lifindeki birim uzamanın, betonun çekmedeki birim deformasyon sınırına ulaşması ile olur. Çatlak oluşması, en dış lifteki betonun eğilme-çekme dayanımına erişmesi olarak tanımlanır. Eğilmeden dolayı çatlaklar çekme gerilmelerine dik yönde oluşur, bu nedenle kirişin kesme olmayan bölgesinde gözlenen çatlaklar kiriş eksenine dik yöndedir.

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ KİRİŞLERİN DAVRANIŞI

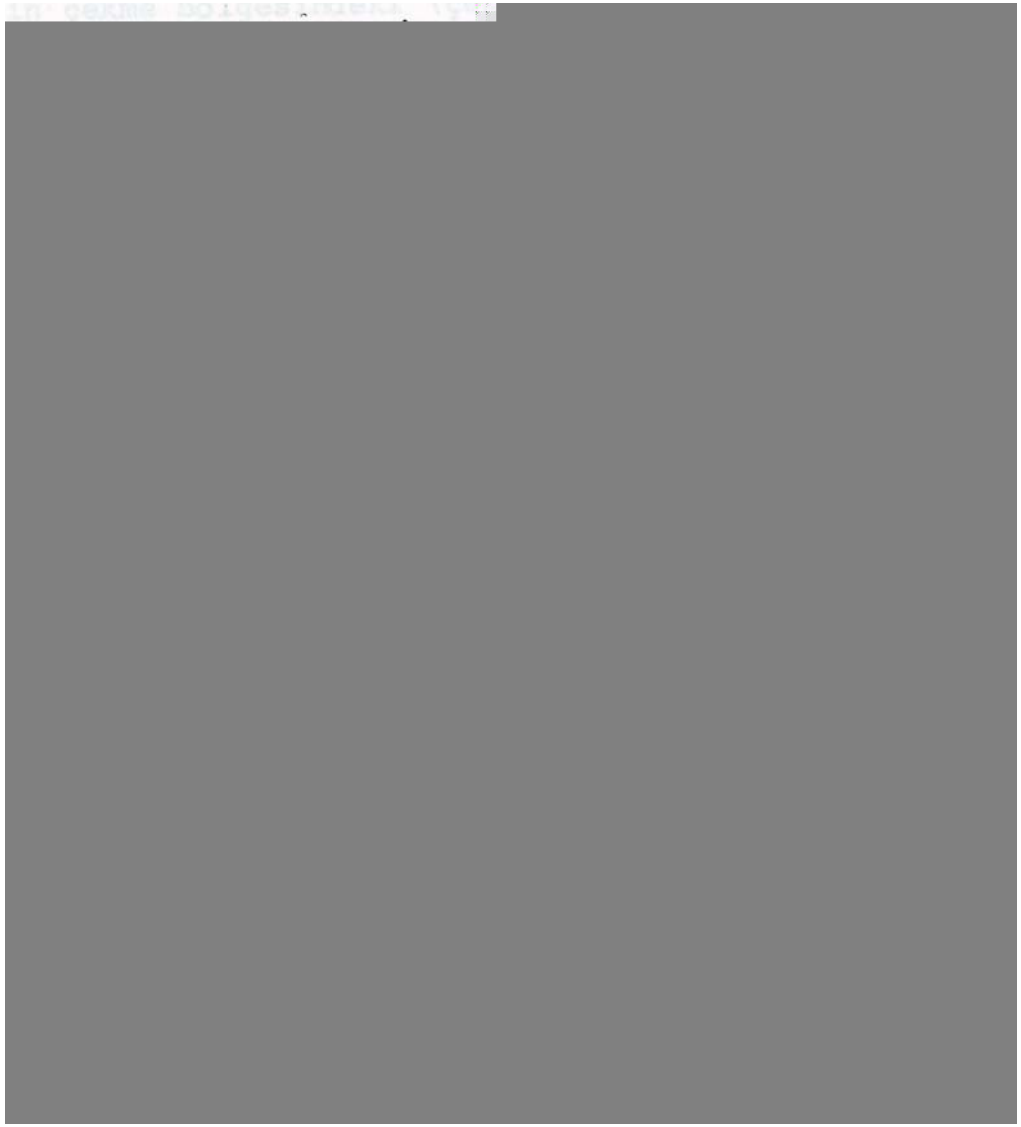


Yük arttıkça, yük ve mesnet arasındaki kesitlerde de çatlama momentine erişileceğinden, bu bölgede de çatlamalar görülür. Ancak söz konusu bölgede kayma gerilmeleri de bulunduğundan, çekme gerilmeleri kiriş eksenine paralel değildir. Bu nedenle, yük ve mesnet arasında oluşan çatlaklar kiriş eksenine belirli bir açıda, eğik olarak oluşur.

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ KİRİŞLERİN DAVRANIŞI

- Şekil 2’ de gösterilen iki kiriş arasındaki tek fark, (a) da düz yüzeyli, (b) de ise nervürlü donatı kullanılmasıdır. Düz yüzeyli donatı kullanıldığında az sayıda çatlak oluşmakta, ancak çatlak genişliği büyük olmaktadır. Nervürlü donatı kullanıldığında, düz yüzeyli donatıya oranla çatlak sayısı artmakta, ancak genişliği azalmaktadır. Bu fark, nervürlü donatı ile daha iyi kenetlenmenin sağlandığını çatlak genişliğini alt seviyede tuttuğunu göstermektedir.

Eğilme Etkisi Altındaki Elemanlarda Kırılma Türleri



Şekil 3 Bir kirişin çatlak oluşumundan sonra taşıma gücüne nasıl eriştiği adım adım gösterilmiştir.

Kırılma türleri

Şekil 3c' de en alt çekme lifindeki beton birim deformasyonu betonun çekme sınır birim deformasyonunu aştığından, $\varepsilon_{ct} > \varepsilon_{ctu}$, kiriş çatlamıştır. Çekme donatısındaki birim deformasyon ise, henüz akma sınırına ulaşmamıştır., $\varepsilon_s < \varepsilon_{sy}$. Eğilme ya da eğilme ile birlikte eksenel basınç altındaki elemanlar kırılma konumuna, en dış lifteki betonun ezilmesi ile ulaşırlar. Ezilme anında dış lifteki beton ε_{cu} birim kısalmasına ulaşır. Bu aşamada en dış lifteki beton birim kısalması henüz maksimum gerilmeye karşılık olan ε_{co} değerine ulaşmamıştır.

Kırılma türleri

- Kirişe uygulanan yük arttıkça, eğilme momenti büyüyecek ve belirli bir yük düzeyinde çekme donatısı akma birim uzamasına erişecektir. (şekil d). En dış lifteki beton birim kısalması ε_{co} ‘ dan küçüktür. Bu aşamadaki eğrilik akma eğriliğidir. En dış lifteki beton gerilmesi henüz f_{ck}’ dan küçüktür. Donatı akma gerilmesine ulaştığından, çekme kuvveti
- $F_s = A_s f_{yk}$ olarak yazılabilir.

Kırılma türleri

- Yük artımı devam ederse, beton ve donatıdaki deformasyon da artacaktır. Ancak, donatı akma gerilmesine ulaştığından şekil b' de gösterilen eğri nedeni ile, deformasyon aynı gerilme altında çok hızlı bir artış gösterecektir. Donatıdaki birim deformasyon artış hızı betonunkinden çok daha yüksek olacaktır ve tarafsız eksen yukarı doğru kayacaktır. Önceki durumdaki donatıdaki gerilme sabit kaldığından ($\sigma_s = f_{yk}$), toplam çekme kuvveti değişmeyecektir.
- $F_s = A_s f_{yk}$. Denge koşulundan, beton basınç bileşkesi de sabit kalır.
- $F_s = A_s f_{yk} = F_c$

Kırılma türleri

- Şekil 3e’ de görüldüğü gibi, artık en dış lifte ε_{co} ve f_{ck} değerlerine ulaşılmıştır. Yani, betonda ezilmeler başladığından, deformasyon artımı ancak gerilme azalması ile mümkün olacaktır. Tarafsız eksen yükseldiğinden, moment kolu küçük bir miktar artmıştır.

Kırılma türleri

- Bu aşamadan sonra kirişe uygulanan yük arttığı taktirde, beton dış lifinde ε_{co} ötesinde bir artış ancak gerilme azalması ile mümkün olurken, donatıdaki sabit gerilme altında birim deformasyon hızla artmaktadır.Bu durum tarafsız eksenin hızla yukarı doğru kaymasını gerektirir. Tarafsız eksen yukarı kaydıkça, basınçtaki beton alanı azalmaktadır. Denge koşulu nedeni ile beton basınç bileşkesinin sabit kalması gerektiğinden, tarafsız eksenin kayması nedeni ile daralan alandaki gerilme şiddeti hızla artmaktadır. Tarafsız eksenin yükselmesi, en dış lifteki beton birim kısalmasının sınır değere ulaşmasına kadar devam edecektir.
- Bu sınır değere ulaşıldığında, ($\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$), basınç bölgesindeki beton ezilerek dağılacak, donatı da akmış olduğunda, kiriş çökerek kırılacaktır (şekil f).

Kırılma türleri

Şekil 3d ‘ de görüldüğü gibi, kiriş davranışındaki en önemli değişiklik, çekme donatısının akması ile meydana gelir. Bu aşamadan sonra eğriliğin hızla artması, en dış lifteki betonun sınır birim deformasyona erişmesine kadar devam eder. Sabit moment altında deformasyonda büyük artışlar olması ve kırılma konumuna erişildiğinde eğriliğin, akmaya karşı olan eğrilikten çok büyük olması davranışın sünekliğini gösterir.

- Bu tür kırılmaya “çekme kırılması” denir.

Kırılma türleri

Kirişe aşırı çekme donatısı yerleştirildiğinde, davranışta büyük bir değişim olacaktır. Fazla donatı, şekil c ve d de gösterilen tarafsız eksenin konumunu değiştirecektir. tarafsız eksenin çekme donatısına doğru kayması sonucu $\varepsilon_c/\varepsilon_s$ oranı artacak, böylece $\varepsilon_c=\varepsilon_{cu}$ olduğunda donatı henüz akma sınırına ulaşmayacaktır, $\varepsilon_{co<}\ \varepsilon_{co}$. Bu durumda kırılma geverek ve ani olacaktır. Bu tür kırılmaya “basınç kırılması” denir.

Çekme ve basınç kırılmaları arasında bir sınır durum olan dengeli durum vardır. **Dengeli kırılma** olarak adlandırılan bu sınır durumda, en dış lifteki betonun ezilmesi ($\varepsilon_c=\varepsilon_{cu}$) ile çekme donatısının akması ($\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$) aynı anda olmaktadır. Dengeli kırılma donatı aktığı anda oluştuğundan, gevrek kırılmadır.

Kırılma türleri

Sünek kırılma, çekme kırılması, tercih edilen bir kırılma şeklidir. Sünek davranışa sahip elemanlardan oluşan bir sistemin çökmesi ani olmaz. Çökme oluşmadan görülecek aşırı deformasyonlar bir süre devam eder. Önlem alınması için veya yapıyı boşaltmak için gerekli zaman bulunabilir. Ayrıca, sünek davranış gösteren elemanın deprem gibi dinamik yükler altında enerji tüketme kapasitesi daha yüksektir.

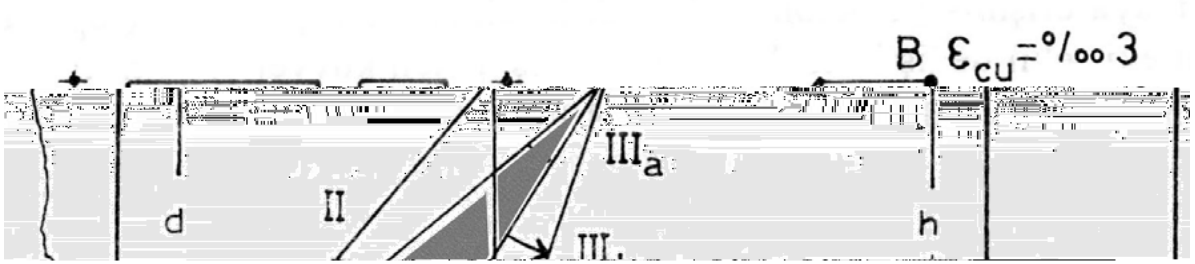
Gevrek davranışa sahip, basınç kırılması ya da dengeli kırılma gösteren, bir yapı elemanı, uyarıcı deformasyon göstermeden ani olarak kırılacağından, yıkılmadan önce önlem alma veya yapıyı boşaltma olanağı olmaz. Gevrek elemanların enerji tüketme yeteneği de kısıtlıdır.

Kırılma türleri

Görüldüğü gibi kırılma türü çekme donatısı oranına bağlıdır. Hesaplamalarda, kesitlerin tümünün sünek davranış gösterecek biçimde boyutlandırılıp, donatılarak gevrek kırılmanın önlenmesi sağlanmaya çalışılmalıdır. Kiriş davranışı kesitteki donatı oranına bağlı olduğundan, bu oranı sınırlayarak sünek davranışı sağlamak mümkündür. Ancak, elemanda moment yanında eksenel yük te varsa, eksenel yük sünek ve gevrek davranışı etkilediğinden, önce kesit boyutları arttırılarak eksenel yük düzeyini düşürmek ve sargı donatısını arttırmak gerekebilir.

Kırılma türleri

Göçme durumlarında kesitte oluşan şekil değiştirmeler



IIIa bölgesi (Taralı alan) : Tasarım Aralığı,
IIIb sınırı Dengeli, II sınırı Dengeli Göçme
II bölgesi : Çekme Göçmesi
IIIb bölgesi : Basınç Göçmesi

Donatının Sınırlandırılması

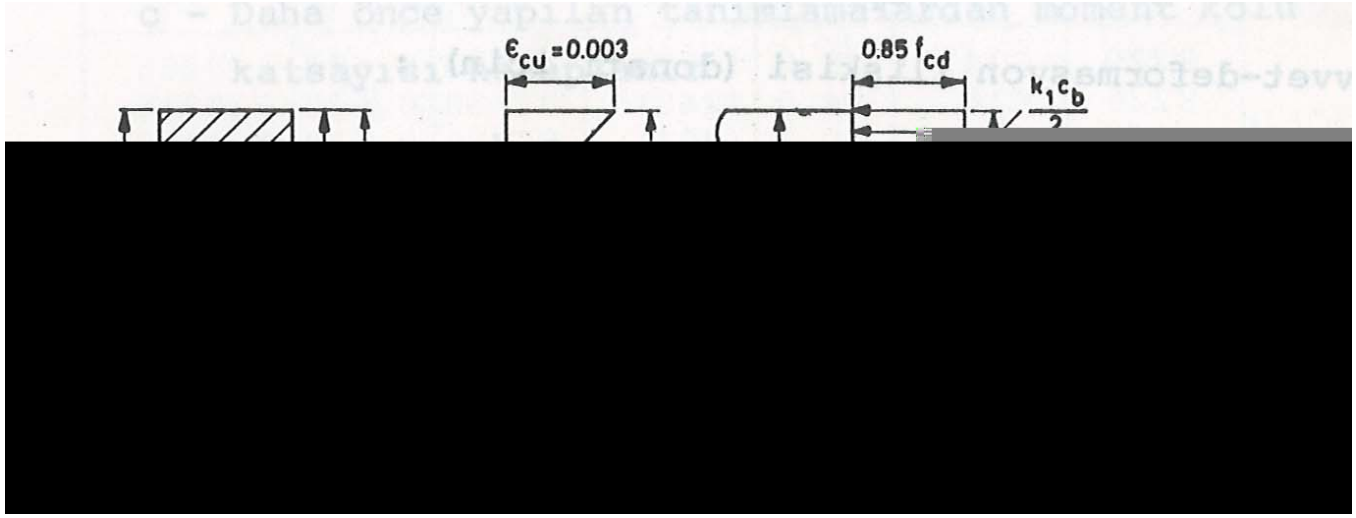
- $\rho < \rho_b$ koşulu süneklik için gerekli olurken TS 500’ de zorunlu kılınmış ve donatı oranı $0{,}85\rho_b$ ile sınırlandırılmıştır. Bu koşula uygun kesit hesaplandığında kirişin sehiminin ölçülmesi gerekir.
- Eğer donatı oranı ρ_l ile sınırlandırılırsa, hem süneklik sağlanır hem de kullanılabilirlik durumu için sehim kontrolüne gerek kalmaz.
- Kesit boyutları ile ilgili kısıtlama bulunduğu durumda ρ_l den yüksek donatı yerine, basınç donatısı bulundurulur.
- Donatı sınır değerleri;
- $\rho_m = 0{,}85\rho_b$
- $\rho_l = 0{,}235 f_{cd}/f_{yd}$

Donatının Sınırlandırılması

- Donatı için üst sınır gibi bir alt sınırın da getirilmesi gerekir. Çünkü donatısı az olan kirişler, donatısız kirişler gibi ani ve gevrek kırılabilir.
- Ani ve gevrek kırılmayı önlemek için, çatlayarak çekme bölgesindeki beton katkısını yitirmiş donatılı bir kirişin taşıma gücünün, en az donatısız kirişin kırılma dayanımına eşit olması gerekir.

- $\min\rho = 1{,}2 f_{ctd}/f_{yd}$
- TS500' de f_{ctd}=10 kg/cm2 kabul edilerek;
- $\min\rho = 12/f_{yd}$ alınmaktadır.

Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Elemanların Taşıma Gücü



Şekil 4

- Yukarıdaki şekilde dengeli kırılma birim deformasyon eğrisi ve dikdörtgen gerilme dağılımı görülmektedir.
- Donatı oranı $\rho_b = A_{sb}/b_w.d$,
- $\varepsilon_s = \varepsilon_{sy}$, $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$, $\varepsilon_{cu} = 0{,}003$
- Denge denklemleri;
- $\Sigma F=0$ $\quad F_c=F_s$
- $\Sigma M=0$ $\quad M_r=F_c.z=F_s.z$

Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Elemanların Taşıma Gücü

- $\Sigma F=0 \qquad F_c=F_s$
- $F_c=0,85.f_{cd}.A_c$
- $F_s=f_{yd}.A_s$

$0,85.f_{cd}.A_c = f_{yd}.A_{sb}, \qquad A_c = b_w.a$

$0,85.f_{cd}.b_w.a = f_{yd}.A_{sb}, \qquad a_b = k_1.x_b$

$0,85.f_{cd}.b_w.\ k_1.x_b = f_{yd}.A_{sb}$

$a_b=f_{yd}.A_{sb}\ /0,85.f_{cd}.b_w$

Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Elemanların Taşıma Gücü

- $\Sigma M=0$ $M_r=F_c.z=F_s.z$

  $M_r=F_c.z=F_s.z$, $F_c=0,85.f_{cd}.\ k_1.x_b$

  $Fs=f_{yd}.A_{sb}$

  $z=j_b.d$ j_b:moment kolu katsayısı

$M_r=f_{yd}.A_{sb}.j_b.d$

$M_r=f_{yd}.A_{sb}.(d-(a_b/2))$

$M_r=f_{yd}.A_{sb}.(d-(f_{yd}.A_{sb}\ /0,85.f_{cd}.b_w\ /2))$

$M_r=f_{yd}.A_{sb}.(d-(0,59f_{yd}.A_{sb}\ /f_{cd}.b_w\ ))$

$M_r=f_{yd}.A_{sb}.d-0.59f_{yd}^2.A_{sb}^2\ /b_w$

M_d: hesap momenti

$Md<Mr$

$f_{yd}.A_{sb}.d-0.59f_{yd}^2.A_{sb}^2\ /b_w\ -Md=0$

Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Elemanların Taşıma Gücü

$$f_{yd}.A_{sb}.d-0.59f_{yd}^{2}.A_{sb}^{2}\ /b_w\ -Md=0$$

$$a.\underline{x^2} + b.\underline{x} + c = 0$$

İkinci derece denklemin iki kökü vardır.

$$X_{1,2} =(-b\pm\sqrt{(b^2-4.a.c)})/2.a$$

$$A_s^{1}=x_1$$

$$A_s^{2}=x_2$$

- Köklerden hangisinin çözüm olduğunu bulmak için ilave bir sınır şart gereklidir. Bu sınır şart da;
- $d \geq a$ olmalıdır.
- $a_{1,2} = f_{yd}.A_{s1,2} / 0{,}85.f_{cd}.b$
- Bu sınır şartını yerine getirecek (sağlayacak) ancak bir As vardır. O da çözümdür. Bunun aksi durumlar kesitin yetersiz olduğunu yani göçtüğünü gösterir.

SAYISAL ÖRNEK

b=30cm, h=60cm, d=57cm

C30, S420, M_d=200kNm

f_{cd}=30/1,5=20N/mm^2 (MPa) = 2kN/cm^2

f_{yd}=420/1,15=365N/mm^2 (MPa) = 36,5kN/cm^2

M_d=200kNm=20000kNcm

Denklem:

$0,59.(f_{yd}^2/f_{cd}.b).A_s^2 - f_{yd}.d.A_s + M_d=0$

$0,59.(36,5^2/2.30).As^2 - 36,5.57.A_s + 20000=0$

$\underline{13,1}.A_s^2 - \underline{2080,5}.A_s + \underline{20000}=0$

$\underline{a}$ $\underline{b}$ $\underline{c}$

$\sqrt{\Delta}=\sqrt{(b^2-4.a.c)}$
$= \sqrt{(2080,5^2 - 4.13,1.20000)}$
$=1811,21$

$x_{1,2} =(-b\pm\sqrt{(b^2-4.a.c)})/2.a = +2080,5\pm1811,21 / (2.13,1)$

$x_1=148,54 \rightarrow As_1=148,5cm^2$

$x_2=10,27 \rightarrow As_2=10,28cm^2$

Sınır Şart: $d \geq a$

$a^{1,2} = f_{yd}.A_s^{1,2} / 0,85.f_{cd}.b$

$=36,5. A_s^{1,2}/0,85.2.30$

$a^{1,2} =0,716. A_s^{1,2}$

$a^1=0,716.148,5 = 106,3cm > d=57cm$

$a^2=0,716.10,28 =$ 7,36cm < d=57cm basınç bölgesi

ÇÖZÜM

$A_s = 10,28cm^2$

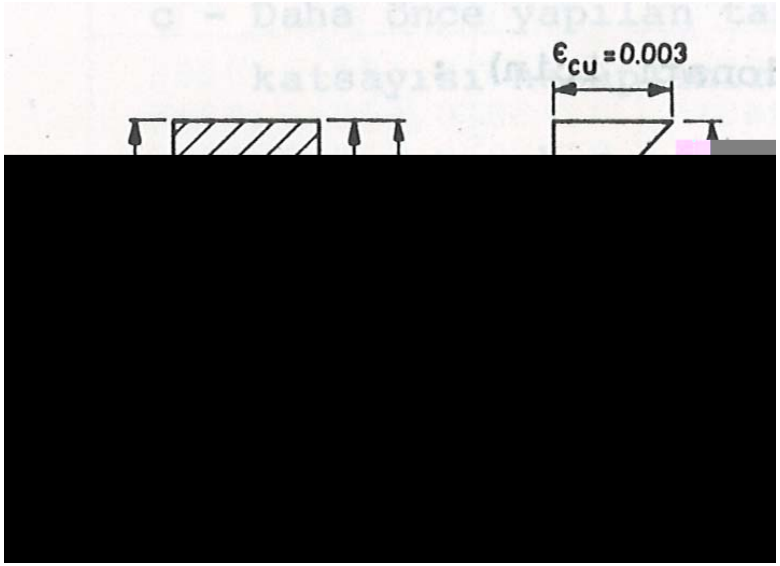
Donatı oranı hesabı

ρ=donatı oranı=$A_s/b.d$

ρ=10,28/30.57=0,006

Uygulamada: Denklem çözmek yerine tablolar ile hesap yapılır.

Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Elemanların Taşıma Gücü



- Şekildeki birim deformasyon eğrisindeki benzer üçgenlerden;
- $\frac{x_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sy}}$
- $\varepsilon_{sy} = f_{yd}/E_s$

- $\frac{x_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + f_{yd}/E_s}$

- $\frac{x_b}{d} = \frac{0.003E_s}{0.003E_s + f_{yd}}$

Tablo ile problem çözümü:

K: fiziksel anlamı olmayan bir sayı

$K=b_w d^2/M$

1. $(x_b/d) = 0.003E_s/(0.003E_s + f_{yd})$ ile x_b/d hesaplanır.
2. $F_c=F_s$

$0{,}85.f_{cd}.b_w.k_1.x_b = f_{yd}.A_{sb}$

$A_{sb}= 0{,}85.f_{cd}.b_w.k_1.x_b/f_{yd}$

$\rho_b=A_{sb}/b_w d= (0{,}85.f_{cd}.b_w.k_1/f_{yd})(x_b/d)$

3. $j_b d=(d- k_1.x_b/2)$

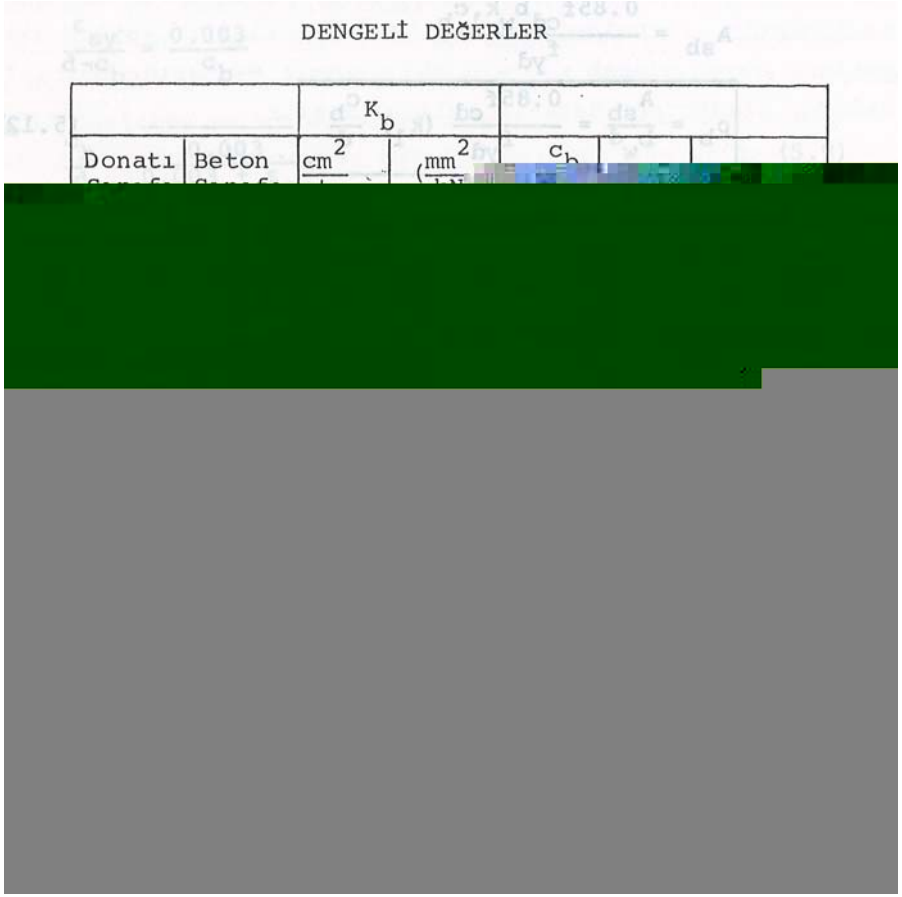
$j_b=1- (k_1/2)(x_b/d)$

$K_b=b_w d^2/M=1/(\rho_b.f_{yd}.j_b)$

$\rho < \rho_b$

$K>K_b$ kontrol edilmelidir.

Tablo ile problem çözümü:



DENGELİ DEĞERLER

		K_b				
Donatı	Beton	$\frac{cm^2}{\quad}$	$\left(\frac{mm^2}{\quad}\right.$	c_b		

Tablo ile problem çözümü:

KİRİŞLER İÇİN SINIR DEĞERLER

Donatı Sınıfı	Beton Sınıfı	ρ_m için j_m	ρ_m için ρ_m	ρ_m için K_m (*) cm^2/t	ρ_ℓ için j_ℓ	ρ_ℓ için ρ_ℓ	ρ_ℓ için K_ℓ (*) cm^2/t
S220	C14	0.727	0.0227	32.0	0.86	0.0114	53.0
S220	C16	0.727	0.0268	26.9	0.86	0.0135	44.9
S220	C20	0.727	0.0317	22.8	0.86	0.0160	38.0
S220	C25	0.727	0.0415	17.4	0.86	0.0209	29.1

0.0020																			
	11.52	0.951	0.0025	11.43	0.959	0.0025	11.32	0.968	0.0025	11.26	0.973	0.0025	11.22	0.977	0.0025				
0.0030				9.70	0.941	0.0030	9.61	0.950	0.0030	9.49	0.962	0.0030	9.44	0.968	0.0030	9.40			
0.0045																			
		6.68	0.912	0.0045	6.58	0.926	0.0045	6.46	0.943	0.0045	6.40	0.952	0.0045	6.36	0.958				
0.0060																			
	4.83	0.873	0.0065	4.72	0.893	0.0065	4.59	0.918	0.0065	4.53	0.930	0.0065	4.49	0.939	0.0065				
		4.06	0.844	0.0080				3.61	0.893	0.0085	3.55	0.909	0.0085	3.50	0.921				
0.0100																			
	3.41	0.805	0.0100	3.28	0.835	0.0100	3.01	0.868	0.0105	2.94	0.887	0.0105	2.89	0.902	0.0105				
0.0125																			
				2.85	0.802	0.0120	2.69	0.849	0.0120	2.53	0.866	0.0125	2.48	0.883					
0.0140				2.76	0.794	0.0125	2.60	0.842	0.0125										
				2.69	0.786	0.0130	2.53	0.836	0.0130	2.45	0.861	0.0130	2.32	0.874	0.0135				
													2.25	0.869					
							2.31	0.817	0.0145	2.24	0.843	0.0145							
0.0160							2.20	0.805	0.0155	2.12	0.834	0.0155	2.07	0.855	0.0155				
							2.15	0.798	0.0160	2.07	0.828	0.0160	2.01	0.851					
							2.10	0.792	0.0165	2.02	0.823	0.0165	1.96	0.846	0.0165				
							2.05	0.786	0.0170	1.97	0.818	0.0170	1.92	0.841	0.0170				
							2.01	0.779	0.0175	1.93	0.812	0.0175	1.87	0.837	0.0175				
0.0190										1.85	0.807	0.0185	1.79	0.828	0.0185				
										1.81	0.796	0.0190	1.75	0.823					
										1.78	0.791	0.0195	1.72	0.818	0.0195				
0.0215																			
													1.60	0.800					

Tablo ile problem çözümü:

Bilinenler: dikdörtgen kesit, malzeme dayanımı (f_{yd}, f_{cd})

İstenenler: A_s , M_r

işlem basmakları:

1.$K=b_w d^2/M_d$ hesaplanır.

2.Boyutlar bilinmiyorsa tahmin edilir. Mimari nedenlerle bir kısıtlama varsa bunlar dikkate alınır.

Bulunan K değeri tablodaki K_l değeri ile kıyaslanır.

$K > K_l$ ise boyutlar uygundur.

$K > K_l$ ise;

- Deformasyon limiti aşılarak bulunan K değerine göre hesap yapılır veya
- Basınç donatısı kullanılarak çift donatılı kiriş oluşturulur.

Kesite sığıp sığmadığı kontrol edilir: (Tablodan)

30cm genişliğindeki kirişe ø16 lık donatılardan 7 adet sığabiliyor.

UYGUN!!!

