

İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİĞİN PLASTİK AKMA VE PEKLEŞMESİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Vahid SOLTANI PAKDEL

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program : Yapı

EYLÜL 2006

İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİĞİN PLASTİK AKMA VE PEKLEŞMESİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Vahid SOLTANI PAKDEL
0309020006

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Haziran 2006
Tezin Savunduğu Tarih : 29 Eylül 2006

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdal COŞKUN
Diğer Juri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Güven KIYMAZ
Yrd. Doç. Dr. Murat TÜRK

EYLÜL 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Prof. Dr. Turgut UZEL'e teşekkür ederim

Dr. Erdal COŞKUN'na bu tez'in süresince bana verdiği desteklerden dolayı içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamı destekleyen İstanbul Kültür Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

Son olarak eşime ve aileme bana verdikleri destekten dolayı en içten teşekkür ederim.

Eylül, 2006

Vahid SOLTANI PAKDEL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ (NOTASYON).....	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix

1. GİRİŞ

1.1. GENEL KISIMLAR	1
1.1.1. PLASTİK DAVRANIŞ	1
1.1.2. KESİTLERİN TAŞIMA GÜCÜ VE PEKLEŞME MEKANİZMASI	1
1.1.3. PLASTİK HESABIN TARİHÇESİ	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	2
1.3. ÇALIŞMADA GEÇERLİ OLAN VARSAYIMLAR	3

2. MOMENT-EĞRİLİK BAĞINTISI (M- Φ)

2.1. DİKDÖRTGEN KESİTLERDE (M- Φ) BAĞINTISI	5
2.2. I KESİTLERDE (M- Φ) BAĞINTILARI	15
2.2.1 PLASTİK AKMALAR SADECE BAŞLIKLARDA	15
2.2.2. PLASTİK AKMALAR GÖVDE İÇİNDE	18

2.2.3. PEKLEŞME ETKİSİ BAŞLIK İÇİNDE	20
2.2.4. PEKLEŞME ETKİSİ GÖVDE İÇİNDE.....	21
2.2.5 SİMETRİK KESİTLER	24
2.3. DİKDÖRTGEN VE I KESİTLER İÇİN SAYISAL UYGULAMA.....	26
2.3.1. DİKDÖRTGEN KESİT İÇİN SAYISAL UYGULAMA K=10.....	27
3. PLASTİK AKMA VE PEKLEŞMENİN YÜK-YERDEĞİŞTİRME BAĞINTISINA ETKİSİ	
3.1. YÜK VE YERDEĞİŞTİRME BAĞINTISI.....	29
3.2.1. DİKDÖRTGEN KESİT	14
3.2.2. I KESİT	14
4. SONUÇ.....	30
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ.....	32

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Gerilme artışı malzeme kapasitesinde.....	2
Şekil 1.2	: Moment eğrilik bağıntısının yükselmesi	3
Şekil 2.1	: Basit eğilmeye maruz dikdörtgen’de gerilme-şekil değiştirme.....	6
Şekil 2.2	: Elastik- Plastik dikdörtgen kesitteki şekil değiştirme	5
Şekil 2.3	: Gerilme bloğunun plastik ve elastik parçalara ayrılması	7
Şekil 2.4	: Dikdörtgen kesit için moment-eğrilik diyagramı	9
Şekil 2.5	: Dikdörtgen kesitin pekleşmeden ötürü kazandığı $\Delta\sigma$	10
Şekil 2.6	: Dikdörtgen kesitin moment-eğrilik bağlantısı.....	14
Şekil 2.7	: Plastik akmalar başlıktan gövdeye geçmesi	15
Şekil 2.8	: Plastik akmalar gövde içinde.....	18
Şekil 2.9	: Gerilme artışı $\Delta\sigma$ ’ başlık içinde	21
Şekil 2.10	: Simetrik kesitlerde pekleşme ve gerilme	24
Şekil 2.11	: Şekil faktörü	25
Şekil 2.12	: Moment-eğrilik dört doğrultuda idealize edilmiş	26
Şekil 2.13	: Dikdörtgen kesit için tablo sonuçları	27
Şekil 2.14	: Dikdörtgen kesit için tablo sonuçları	28

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Dikdörtgen kesit için moment eğrilik değerleri	9
Tablo 2.2	: Dikdörtgen kesit için moment eğrilik değerleri	14
Tablo 2.3	: Dikdörtgen kesit için moment eğrilik değerleri k=10 ve 15	9

SEMBOL LİSTESİ (NOTASYON)

a	: pekleşme bölgesi yüksekliği
b	: kesit genişliği
d	: kesit yüksekliği
f	: biçim faktörü
k	: pekleşme şekil değiştirmesinin, akma şekil değiştirmesine oranı
l	: giriş açıklığı
t	: I profilin başlık kalınlığı
w	: I profilin gövde genişliği
y	: kesitin simetri ekseninden lifin uzaklığı
y_e	: elastik davranış gösteren en üst lifin, kesitin simetri ekseninden uzaklığı
y'	: pekleşen en alt lifin kesitin simetri ekseninden uzaklığı
z1,z2,z3	: giriş üzerinde alınan uzunluklar
m1,m2,m3,m4	: moment-eğrilik diyagramı ile ilgili katsayılar
n1,n2,n3,n4	
E	: elastisite modülü
Est	: pekleşme elastisite modülü
I	: atalet momenti
M	: moment
My	: akma momenti
Mp	: plastik moment
S	: mukavemet momenti
W	: yük
Wy	: akmaya neden olan yük
Zp	: plastik modül
Zst	: pekleşme modülü
σ	: gerilme
σy	: akma gerilmesi
σ'	: profilin başlık bitimindeki gerilme
ε	: birim şekil değiştirme
εst	: pekleşme şekil değiştirme
εy	: akma şekil değiştirmesi
δ	: deplasman, yer-değiştirme
δy	: akma yer-değiştirmesi
Φ	: eğrilik
Φy	: akma eğriliği
Φst	: pekleşme eğriliği
α1,α2,α3,α4	: yük-deplasman diyagramı ile ilgili katsayılar
β1,β2,β3,β4	

ÖZET

ÇELİĞİN PLASTİK AKMA VE PEKLEŞMESİNİN YER DEĞİŞTİRME VE TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

Bu çalışmada, eğilme moment etkisi altındaki çelik kesitlerin plastik davranışı, sünek malzemenin özelliğinden kaynaklanan pekleşme etkisi de dikkate alınarak incelenmiştir.

Dört bölümden oluşan çalışmanın, birinci bölümünde elastik-plastik davranış ana hatları ile verilmiş yapıların plastik analizi konusunda ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde dikdörtgen kesit ve iki tip I profili üzerinde seçilen farklı elastisite modülü ve birim şekil değiştirme oranı için moment-eğrilik bağlantılarının çıkarılmıştır.

Üçüncü bölümde moment-eğrilik bağlantılarında elde edilen doğru denklemlerinden alınan kesitler için bir basit kiriş örneği üzerinde yük-deplasman bağlantılarına geçilmiş ve kirişin taşıma gücü irdelenmiştir.

Dördüncü bölümde bu çalışmada varılan sonuçlar yer almaktadır.

SUMMARY

ÇELİĞİN PLASTİK AKMA VE PEKLEŞMESİNİN YER DEĞİŞTİRME VE TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

For rectangular and wide flange profile, effect of strain hardening researching in first chapter and in continue we search pined effect in the middle of beam.

The plastic behavior of steel sections under the effect of bending moment is investigated with taking into consideration the strain-hardening effect due to the characteristic of auctile material.

In the first one of the four chapters consisted by this book, the elastic-plastic behavior is briefly given and the studies done on the concept of plastic analysis of structures of sumarized. Also after defining the objective and the contents, the assumption made are presented.

In the second chapter, the elasticity modul chosen on the two types of I- profile and a rectangular section and moment-curvature relations for the straining are derived.

In the third chapter, the line equations obtained from the moment-curvature relations and for the given sections load-deflection relations on a simply supported test beam are given.

Finally the load carrying capacity is compared.

I. GİRİŞ

1. 1. Genel bilgiler

1. 1. 1. Plastik davranış

Bilindiği gibi, bir taşıyıcı sistemin elastik hesabının yapılması söz konusu olduğunda, sisteme etkiyen yükler altında aşağıdaki koşulların gerçekleşmesi sağlanır.[1]

1-Sistemin hiçbir noktasında elastik sınır gerilmesinin(emniyet gerilmesinin)aşılmaması,

2-Servis yükleri altında oluşan şekil-değiştirmelerin kabul edilebilir mertebede kalması,

3-Sistemde kararsız denge durumunun (instabilite) meydana gelmemesi,

4-Birleşim noktalarında mukavemet sınırının aşılmaması,

5-Yorulmadan dolayı kırılmaların meydana gelmemesi,

Birinci koşul hariç diğerlerinin sağlanmaması durumunda sistem kullanılamaz hale gelir, ancak bazı noktalarda gerilmelerin elastik sınırı aşmaları halinde aynı şey söz konusu değildir. Bu durumda malzemenin elastik sınır ötesindeki plastik davranışını dikkate alarak sistem'in bazı noktalarında plastik , diğer noktalarında da elastik davranış yer aldığından sistemin davranışı "Elastik-Plastik" tir. denir. Yüklerin belli bir düzeye varmasıyla elastik davranış sona erer, sistemde sadece plastik davranış söz konusu olur ve sistem göçer, Dolayısıyla sistemin elastik sınır ötesindeki davranışını incelemek ve hesabı göçme durumunu da gözönüne alacak biçimde geliştirmek (Plastik hesap) daha gerçekçi ve ekonomik çözümlere götürür. [1] Birçok ülkenin yönetmeliklerinde yer alan plastik hesap kurallarında elastik-tam plastik davranış dikkate alınmıştır. (Şekil 1.1)

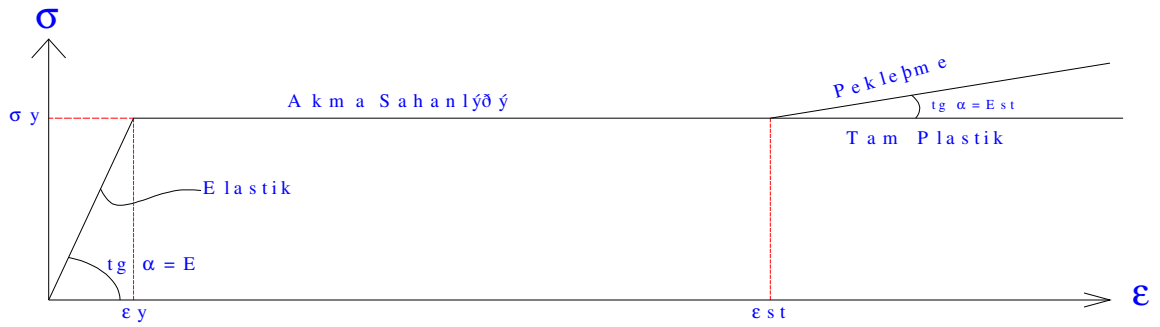
1. 1. 2. Kesitlerin Taşıma Gücü ve Pekleşme Mekanizması

Plastik hesapta, servis yükleri altında göçme mekanizması oluşmadan bazı kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar gözönüne alınır.Bir kesitin taşıma gücüne o kesit tamamı ile plastikleştiğinde erişilir. Bu durumda o kesitte bir plastik mafsal oluşmuştur.Plastikleşmiş kesitte şekil değiştirmeler (Dönmeler) meydana gelir.Ancak sistem mekanizma durumuna erişmediği için göçme söz konusu olmaz. Burada malzeme olarak kullandığımız çeliğin elastik sınır gerilmesine eriştiğinde büyük şekil değiştirmeler yapabildiğini ve uzayabilir yani duktıl olduğunu kabul ediyoruz. Yükler artık, elastik bölge aşıldığında sistemin plastikleşmiş elemanları şekil değiştirmeye devam etmekte , ancak bu plastik şekil değiştirmeler sistemin elastik kısımları içinde bulunduğundan sınırlı kalmakta ve ek yükler bu elastik kısımlarca alınmaktadır. [4]

Çelik , plastik sahanlığı (Akma sahanlığı) sonunda elastik şekil değiştirmeleri 15 katına kadar şekil değiştirme yapar. Daha ileri deformasyonla birlikte malzemenin gerilme kapasitesinde bir artış olur (Şekil – 1.1) . Bu, pekleşme olarak tanımlanır.

Pekleşme hareketinin mekanizması malzeme özellikleri açısından ele alındığında, bir grup dilatasyon'un kayma düzleminin ucunda birbiri üzerine yığılıp kalması, harekete mania teşkil etmesi ve bunun sonucunda çeliğin akma sınırının yükselmesi şeklinde söylenebilir.[7].

Pekleşme yararlı bir etki olup plastik şekil değiştirmelerin çubuklarda küçük belgelerle yığılmalar meydana getirip büyük yerel şekil değiştirmeler yapmasını engellemektedir. [4].



Şekil 1.1 : Gerilme artışı malzeme kapasitesinde

1. 1. 3. Plastik Hesabın Tarihçesi

Plastik hesap üzerinde ilk bilimsel çalışmalar Fransa'da 1864 yılında Tresca'nın bir plastiklik hipotezi geliştirmesiyle başlamıştır.1992 yılında Von Mises başka bir hipotez önerdi.Bu iki hipotez, günümüzde de mukavemete kullanılmaktadır. Çubuklarda plastik mafsalların oluştuğu 1914 yıllarında Macar bilgin Kazinczy ve 1917 de Hollandalı Kist tarafından ileri sürüldü.İki ucundan ankastre kirişler üzerinde deneyler yapan Kazinczy, yeterli sayıdaki kesitte plastik mafsalların meydana gelmesiyle mekanizma durumunun oluştuğunu ve sistemin göçtüğünü gösterdi.Avrupa da paralel olarak geliştirilen teorik ve deneysel sonuçlar neticesi 1948 den itibaren İngiliz yönetmelikleri taşıyıcı sistemlerin hesabında çeliğin plastik özelliklerini gözönüne alamaya başladılar.1950 den sonra ABD'de kurumsal incelemeler yapanların başında L.S.Beedle ile İngiltere'de Baker'i sayabiliriz.Ayrıca gerçek büyüklükte modeller üzerinde deneysel çalışmalar da yapılmıştır.1960'dan sonra plastik hesabın kullanılması yaygınlaştı.Birçok ülkede elastik hesabın yönetmeliğinden yanısıra yönetmelik olarak kabul edildi.[1]

1. 2. Çalışmaların Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı plastik akmaların ve pekleşmenin taşıma gücüne ve yer değiştirmelere etkisini incelemektedir.Plastik deformasyonlar kesitin içine doğru yayılmaya başladığında moment eğrilik bağıntısı doğrusal olmaktan çıkar (Şekil 1.2).Plastik mafsallı varsayımında ise bu bağıntı plastik moment kapasitesine

ulaşıncaya kadar doğrusal kabul edilir. Plastik moment kapasitesine ulaşılnca moment-eğrilik bağıntısı yatay bir doğru olarak alınır. Gerçek durum ise elastik sınır aşıldıktan sonra lineer olmayan ve plastik moment kapasitesini gösteren doğruya asimptot olan bir eğridir. Pekleşme başladığında moment-eğrilik bağıntısı tekrar yükselmeye başlar. (Şekil 1.2 b eğrisi). Bu çalışmada, plastik akmaların kesit içindeki yayılışı ve pekleşme dikkate moment-eğrilik diyagramları elde edilmiş ve bu diyagramlar söz konusu etkilerin ihmal edildiği plastik mafsal varsayımı ile karşılaştırılmıştır.

Ayrıca anılan etkileri içeren moment-eğrilik bağıntıları kullanılarak basit kirişin yük yer-değiştirme eğrileri elde edilmiş, bunlar da yine plastik mafsal varsayımına göre davranış gösteren basit kirişlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.2 : Moment eğrilik bağıntısının yükselmesi

Böylece plastik akmaların yayılışı ve pekleşme etkilerinin bunların ihmal edilmesi durumlarından olan farkları belirtilmiştir. Çalışmada moment-eğrilik bağıntıları dikdörtgen, IP60 ve WF14X730 (Amerikan Normu) kesitler için çıkartılmıştır. IP60 narin bir I profilidir, buna karşın WF14X730 başlıkları ve gövdesi kalın yani dikdörtgen kirişe yakın bir I profilidir. Böylece kesitin geometrisinin etkisi de incelenmiştir. Taşıyıcı sistem olarak ortasından tekil yükü taşıyan basit kiriş seçilmiş ve bu sistemin yük-deplasman bağıntıları çıkarılarak diyagramları çizilmiştir.

1. 3. Çalışmada Geçerli Olan Varsayımlar

Bu çalışmada geçerli olarak kabul edilen varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Moment etkisi altında bulunan kesitlerde Bernoulli-Navier hipotezi geçerlidir. Yani düzlem kesitler eğilmeden sonra da düzlem kalırlar.

2. Malzeme homojen yapı çeliğidir. Artık gerilmelerin etkisi göz önüne alınmamıştır. Malzemenin gerilme-birim deformasyon diyagramı Şekil – 1.1 deki gibidir.

3. Lineer davranışta ve pekleşmede elastiklik modülleri sırasıyla E ve Est ile gösterildiğinde bunların oranı $E/Est = 20-30$ olarak alınmıştır.[2].

4.Akmanın ve pekleşmenin başlangıcından birim deformasyonlar sırasıyla E_y ve E_{st} ise bunların oranı $k=E_{st}/E_y =10-15$ olarak varsayılmıştır.

5.Kesme kuvvetinin ve normal kuvvetin etkileri dikkate alınmamıştır.Yerel ve yanal burkulma söz konusu değildir.

2. MOMENT - EĞRİLİK BAĞINTISI (M-Φ)

2.1 Dikdörtgen Kesitlerde (M-Φ) Bağlıları

Bu bölümün başında basit eğilme etkisi altındaki kesitin elastik plastik davranışına ait boyutsuz (M-Φ) bağıntısı çıkartılacak daha sonra pekleşmeden ötürü kazandığı moment taşıma kapasitesi ifadelerine geçilecektir.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.1)$$

bağıntısı ile cisimlerin mukavemetin'den bilinen elastik eğilmenin denklemleri;

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{\sigma}{E y} \quad (2.2)$$

$$M = E.I.\Phi \quad (2.3)$$

$$M y = \sigma y . S \quad (2.4)$$

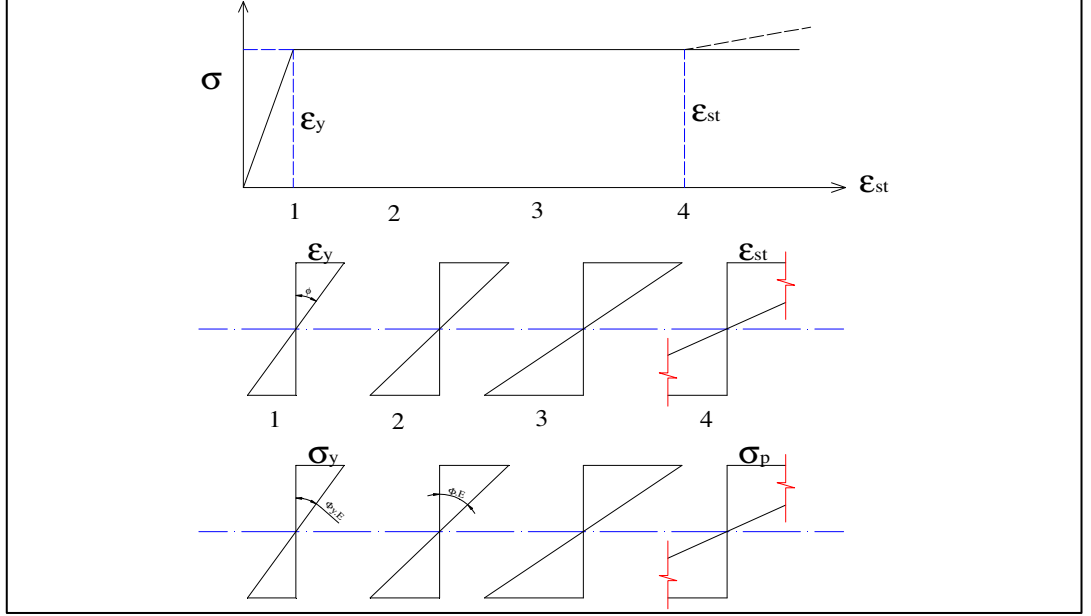
gecerlidir.

Plastik bölgede (M-Φ) bağıntısı ve maksimum plastik momentin değeri elastik analizdeki benzer yöntem izlenmesi ile bulunur.

Şekil (2.1) basit eğilmeye maruz dikdörtgen kesitin sıralı aşamarla elastik limitten analizdeki benzer öte plastik limite (4. Durum) kadar olan gerilme, şekil değiştirme ve akma dağılımını gelişmesini göstermektedir. 1. Durumda şekil değiştirmeler σ_y akma dağılımını gerilmeye ve σ_y akma gerilmesi sınır değerine ulaşır.

2. Durumda momentin değeri arttırıldığında kesitin en üst lifindeki şekil , değiştirme elastik limit değerinin iki katı olmaktadır. Dışa yakın liflerde akma gerilmesine erişilir.Fakat ortadakiler henüz yük taşıyabilirler.

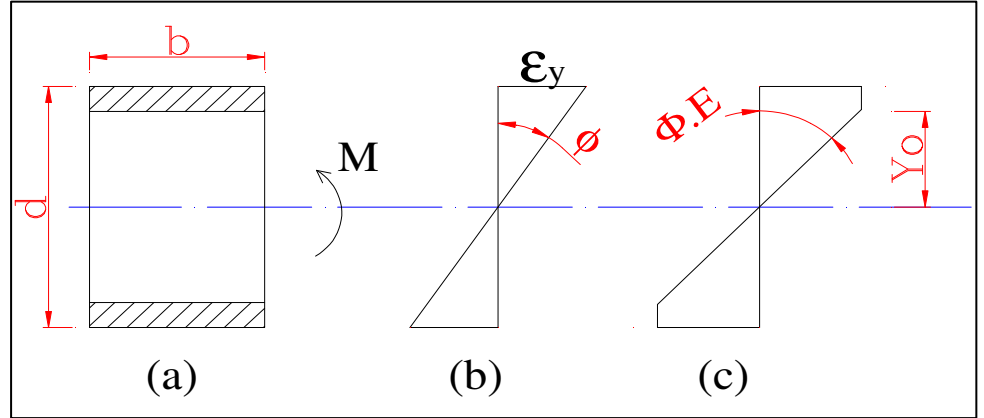
3.Durumda kesitin içindeki lifler akma sınırına ulaşırlar. Gerilme artışı sabit kalmakta, şekil değiştirmeler büyümektedir. ($\epsilon_{max}=4 \epsilon_y$) 4. aşamada en üst lif elastik değerine vararak, kesit tam plastik hale geçer.



Şekil 2.1 : Basit eğilmeye maruz dikdörtgen'de gerilme-şekil değiştirme

Elastik - plastik dikdörtgen kesitteki şekil değiştirmeye, gerilme dağılımını şekil (2.2) üzerinde inceleyelim

Burada Y_0 kesitin elastik davranış gösteren en üst lifinin ordinatı, d kesit yüksekliği, b kesit genişliğidir. Dönme açısı Φ ile ifade edildiğinde,



Şekil 2.2 : Elastik- Plastik dikdörtgen kesitteki şekil değiştirme

Maksimum elastik şekil değiştirme,

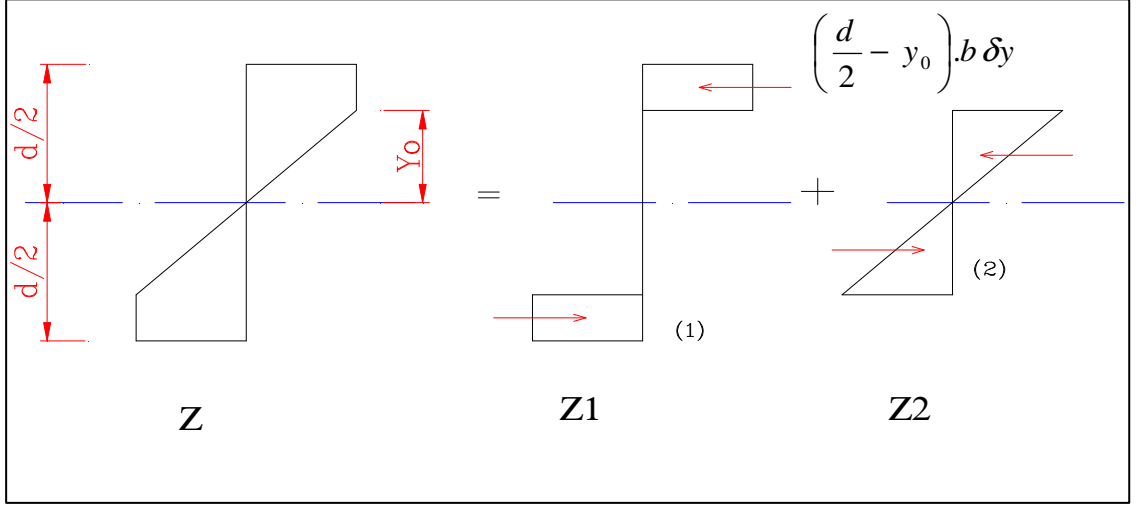
$$\epsilon_y = \frac{\delta y}{E} \quad (2.5)$$

ya da

$$\tan \phi = \phi = \frac{E y}{Y_0} \quad (2.6)$$

olarak elde edilir.

Şekil 2.2.c de verilen gerilme bloğunun plastik ve elastik parçalarına ayrılması şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Gerilme bloğunun plastik ve elastik parçalara ayrılması

(1) No.lu plastik gerilme bloğunun kesit modülü

$$Z_1 = 2b\left(\frac{d}{2} - y_0\right)\left[\left(\frac{d}{2} - y_0\right)\frac{1}{2} + y_0\right]$$

kısaltmalar yapıldığında

$$Z_1 = \frac{b \cdot d^2}{4} - b \cdot y_0^2$$

(2) No.lu elastik gerilme bloğunun kesit modülü

$$Z_2 = \frac{2b \cdot y_0^2}{3}$$

(1) ve (2) No.lu kesit modülleri toplandığında

$$Z = Z_1 + Z_2$$

$$Z = \frac{b \cdot d^2}{4} - b \cdot y_0^2 + \frac{2 \cdot b \cdot y_0^2}{3}$$

$$Z = \frac{b \cdot d^2}{4} - \frac{b \cdot y_0^2}{3} \quad (2.7)$$

(2.5) bağıntısı elastik- plastik kesit modülü adını alır. Bu kesitin momenti:

$$M = \sigma_y \cdot Z$$

olduğundan (2.5) bağıntısı yerine yazılırsa,

$$M = \sigma_y \cdot \left(\frac{b \cdot d^2}{4} - \frac{b \cdot y_0^2}{3} \right) \quad (2.8)$$

Burada,

$$Z_p = \frac{bd^2}{4}$$

Plastik modül olarak tanımlanır. Y_0 degerinin sıfıra yaklaşması halinde (2.8) denkleminin parantaz içindeki ikinci terimi sıfır olur ve (2.8) bağıntısı,

$$M_p = \sigma_y \cdot \frac{b \cdot d^2}{4}$$

$$M_p = \sigma_y \cdot Z_p \quad (2.9)$$

haline dönüşerek, maksimum plastik moment değerine ulaşılmış olur.

(2.6) bağıntısından, elastik davranış gösteren ne üst lifin ordinatı,

$$y_0 = \frac{\delta_y}{E \phi}$$

olarak yazılabilir. (2.8) denkleminde yerine konursa,

$$M = \delta_y \left(\frac{b \cdot d^2}{4} - \frac{b \cdot \delta_y^2}{3E^2 \Phi^2} \right) \quad (\Phi_Y \leq \Phi \leq \infty) \quad (2.10)$$

Boyutsuz hale getirmek için denklemin her iki tarafı

$$My = \sigma_y \frac{b \cdot d^2}{6}$$

ile bölünür. Burada

$$S = \frac{b \cdot d^2}{6}$$

"Elastik kesit modülü" olarak tanımlanır.

$$\frac{M}{M_y} = \frac{Z}{S} - \frac{6b\delta \cdot y^2}{3E^2 b \cdot d^2 \Phi^2} \equiv \frac{M}{M_y} = \frac{M_p}{M_y} - \left(\frac{wd^2}{12S} \right) \left(\frac{\phi y}{\phi} \right)^2$$

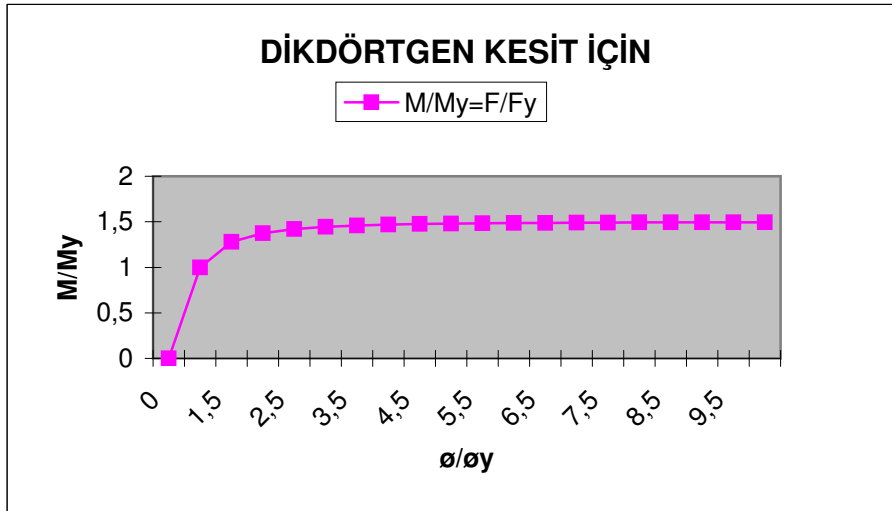
(2.6) bağıntısı ile ($\Phi = \Phi_y$) olduğunda $y_0 = d/2$ olur. Gerekli kısaltmalar yapıldığında

$$\frac{M}{M_y} = \frac{3}{2} - \frac{1}{2(\phi / \phi_y)^2} \quad (\Phi \geq \Phi_y) \quad (2.11)$$

bağıntısı elde edilir. (M- Φ) eğrisi şekil-2.4 deki gibi olacaktır. [1].

2.1 Dikdörtgen kesitlerde (M- Φ) Bağıntıları

$$\frac{M}{M_y} = \frac{3}{2} - \frac{1}{2(\phi / \phi_y)^2} \quad \phi \geq \phi_y$$



Şekil 2.4 : Dikdörtgen kesit için moment-eğrilik diyagramı

Dikdörtgen Kesit	
ϕ/ϕ_y	M/My
0	0
1	1
1,5	1,278
2	1,375
2,5	1,420
3	1,444
3,5	1,459
4	1,469
4,5	1,475
5	1,480
5,5	1,483
6	1,486
6,5	1,488
7	1,490
7,5	1,491
8	1,492
8,5	1,493
9	1,494
9,5	1,494
10	1,495

Plastik moment M_p 'nin akma momenti M_y ye oranı kesit formunun bir fonksiyonu olacaktır.

Bu oran "Biçim Faktörü" olarak tanımlanır.

$$f = \frac{M_P}{M_y} = \frac{\sigma_P Z}{\sigma_y S} = \frac{Z}{S} \quad (2.12)$$

$$f=k$$

Dikdörtgen kesitler için:

$$f = \frac{b \cdot d^2}{4} \div \frac{b \cdot d^2}{6} = 1,5$$

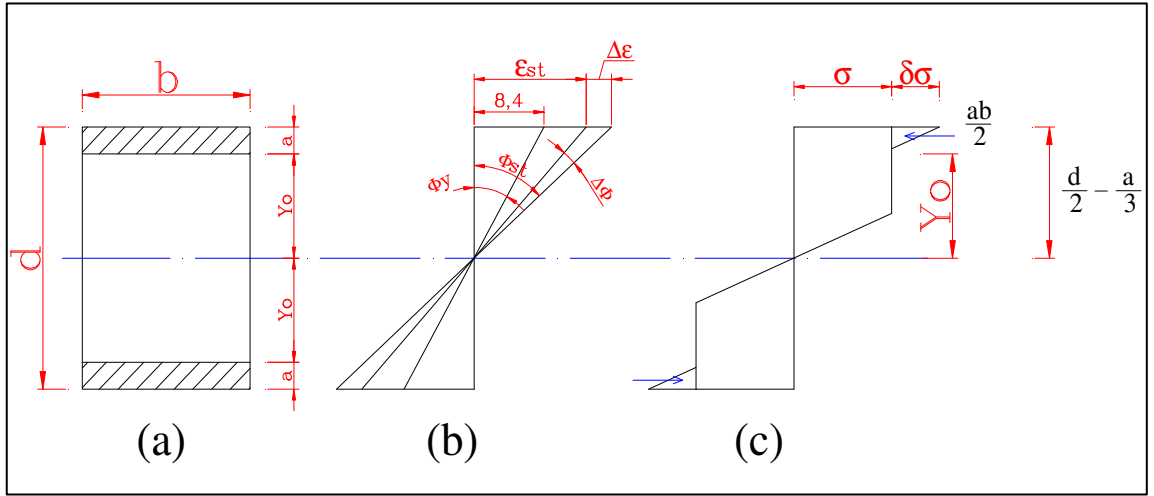
dikdörtgen kesit için ■ K=1.5

yuvarlak kesit için ● K=1.0

paralelkenar kesit için ◆ K=2.0

boru kesit için ○ K=1.27

(2.11) denkleminde Φ sonsuz giderken eğilme momenti asimptotik olarak M_y değerine erişir, fakat hiçbir sonlu eğrilik için akma momentine ulaşamaz. Ancak gerçek malzeme pekleşme olayının meydana geldiği aşıkardır. Dolayısıyla akma momentine ulaşır ve bu değer aşılır. Maksimum birim şekil değıştirme, maksimum elastik şekil değıştirmenin yaklaşık 15 katına varınca tam plastik momente erişilir. Şu halde sünek malzemede akma momentine erişilebildiğini kabul edebiliriz. Şekil - (2.5) 'de kesitin pekleşmeden ötürü kazandığı $\Delta\sigma$ gerilme artımı elastik - plastik gerilme bloğuna eklenerek gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Dikdörtgen kesitin pekleşmeden ötürü kazandığı $\Delta\sigma$

kesitin $\Delta\Phi$ kadar dönmesi halinde artan moment taşıma kapasitesi

$$\Delta M = \Delta \sigma Z_{st} \quad (2.13)$$

Pekleşme kesit modülü şekil-2.5 e eklenen gerilme bloğundan,

$$Z_{ST} = ab \left(\frac{d}{2} - \frac{a}{3} \right) \quad (2.14)$$

şeklinde elde edilir. (2.13) denkleminde yerine yazıldığında,

$$\Delta M = \Delta \sigma ab \left(\frac{d}{2} - \frac{a}{3} \right) \quad (2.15)$$

Boyutsuz hale getirmek için denklemin her iki tarafı

$$My = \sigma_y \frac{b \cdot d^2}{6}$$

bölündüğünde

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{6\Delta\sigma \cdot a \cdot b}{6b \cdot d^2 \sigma_y} (3d - 2a)$$

Gereken sadeleştirmeler yapılırsa

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma_y} \left(\frac{3a}{d} - \frac{2a^2}{d^2} \right) \quad (2.16)$$

Şekil - 2.5 -b den

$$\varepsilon_{st} = \Phi_{st} \frac{d}{2} \quad (2.17)$$

ve

$$\Delta \varepsilon = \Delta \Phi \frac{d}{2} \quad (2.18)$$

kesitin $\Delta \Phi$ kadar dönmesi halinde:

$$(\Phi_{st} + \Delta \Phi) y_o = \varepsilon_{st}$$

$$y_o = \frac{E_{st}}{\Phi_{st} + \Delta \Phi} \quad (2.19)$$

Şekil 2.5 den görüldüğü üzere,

$$y_o = \frac{d}{2} - a \quad (2.20)$$

(2.17) ve (2.20) bağıntıları (2.19) da yerlerine konulduğunda;

$$\frac{d}{2} - a = \frac{\Phi_{st}}{\Phi_{st} + \Delta\Phi} \cdot \frac{d}{2}$$

gerekli kısaltmalar ve sadeleştirmeler yapılırsa, pekleşme bölgesi yüksekliği,

$$a = \frac{d}{2} \left(1 - \frac{\Phi_{st}}{\Phi_{st} + \Delta\Phi}\right) \quad (2.21)$$

olarak elde edilir.

(2.16) denkleminde yerine yazılırsa;

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma_y} \cdot \left[\frac{3}{2} \left(1 - \frac{\Phi_{st}}{\Phi}\right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Phi_{st}}{\Phi}\right)^2 \right] \quad (2.22)$$

pekleşmeden meydana gelen gerilme artışı, malzemenin pekleşme elastisite modülü cinsinden,

$$\Delta \sigma = E_{st} \Delta \varepsilon \quad (2.23)$$

dir.(2.18) bağıntısından,

$$\Delta \sigma = E_{st} \Delta\Phi \frac{d}{2}$$

$\Phi > \Phi_{st}$ olmak üzere,

$$\Delta\Phi = \Phi - \Phi_{st}$$

(2.23) bağıntısı

$$\Delta \sigma = E_{st} (\Phi - \Phi_{st}) \frac{d}{2}$$

haline gelir.

(2.22) bağıntısında yerine yazıldığında;

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{E_{st} (\Phi - \Phi_{st}) d}{2\sigma_y} \left[\frac{3(\Phi - \Phi_{st})}{2\Phi} - \frac{(\Phi - \Phi_{st})^2}{2\Phi} \right]$$

$$\Phi_y = \frac{2\sigma_y}{dE}$$

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{\Phi - \Phi_{st}}{2\sigma_y} \cdot \frac{E_{st}}{E} \left[\frac{3}{2} \left(1 - \frac{\Phi_{st}}{\Phi} \right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Phi_{st}}{\Phi} \right)^2 \right] \quad (2.24)$$

$$\varepsilon_y = \Phi_y \frac{d}{2} \dots \dots \dots \Phi_y = \frac{\delta y}{E.d}$$

$$\varepsilon_{st} = \Phi_{st} \frac{d}{2}$$

olduğuna göre E_{st} nin E_y 'ye oranına k denirse,

$$\Phi_{st} = k\Phi_y$$

olur.(2.24) de yerine yazılıp düzenlendiğinde,

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{\Phi - k\Phi_y}{2\Phi_y} \cdot \frac{E_{st}}{E} \left[3 \left(1 - \frac{k\Phi_y}{\Phi} \right) - \left(1 - \frac{k\Phi_y}{\Phi} \right)^2 \right]$$

gereken sadeleştirmeler yapılırsa;

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Phi}{\Phi_y} - k \right) \cdot \frac{E_{st}}{E} \left(1 - \frac{k\Phi_y}{\Phi} \right) \left(2 + \frac{k\Phi_y}{\Phi} \right)$$

Denklem açılıp düzenlendiğinde:

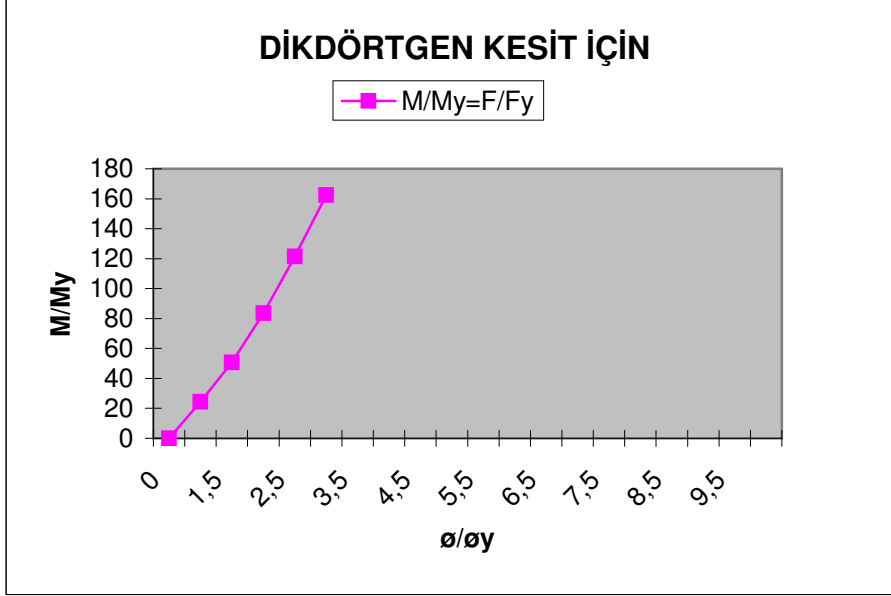
$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{E_{st}}{2E} \left[\frac{k^3}{\left(\frac{\Phi}{\Phi_y} \right)^2} + 2 \left(\frac{\Phi}{\Phi_y} \right) - 3k \right] \quad (\Phi \geq \Phi_{st}) \quad (2.25)$$

olur.

$$\frac{\Delta M}{My} = \frac{Est}{2E} \left[\frac{k^3}{(\phi / \phi_y)^2} + 2(\phi / \phi_y) - 3k \right] \quad (\phi \geq \phi_{st})$$

$$K = 10$$

$$E/E_{st} = 20$$



Şekil 2.6 : Dikdörtgen kesitin moment-eğrilik bağlantısı

Dikdörtgen Kesit	
ϕ / ϕ_y	M/My
0	0
1	24,3
1,5	50,58
2	83,6
2,5	121,5
3	162,4
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	
8,5	
9	
9,5	
10	

2.2. I kesitlerde (M-ø) Bağıntıları

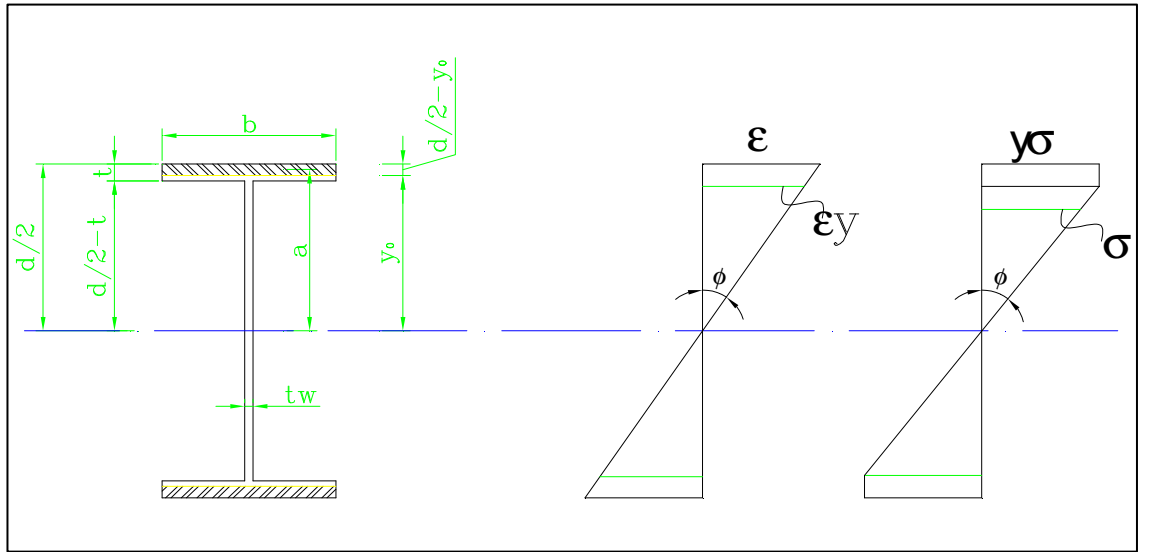
Bu bölümde I kesitlerin plastik davranışları dört aşamada incelenmiş, her aşama için boyutsuz(M-ø)diyagramları çıkarılmıştır. Kesitin lineer elastik davranış gösteren bölgesinde,

$$\frac{M}{M_y} = \frac{\Phi}{\Phi_y} \quad (\sigma/\sigma_y \leq 1) \quad (2.26)$$

olduğu bilinmektedir. Akma sınırı aşıldığında, kesit bir miktar döner ve başlıklı içinde kalıcı şekil değiştirmeler meydana gelir. Momentin değeri arttırıldığında plastik deformasyonlar başlığın tümünde oluşur ve gövdeye de geçer. Burada pekleşmenin etkisi başlık içinde ve gövdede olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır.

2.2.1. Plastik Akmlar sadece Başlıklarda

Plastik deformasyonlar başlıklar içinde kalmakta olup gövdeye geçmiştir.



Şekil 2.7 : Plastik akmlar başlıktan gövdeye geçmesi

Başlık içinde elastik davranış gösteren en üst lifin kesitin ağırlık merkezine olan uzaklığına y_0 bu lifteki şekil değiştirmeye ϵ_y , ve gerilmeye σ_y , başlığın alt yüzeyindeki gerilmeye de s' denirse,

benzer üçgenlerden :

$$\frac{d/2 - t}{y_0} = \frac{\sigma}{\sigma_y}$$

$$\sigma' = \frac{d/2 - t}{y_0} \sigma_y$$

bulunur, Üst başlığın ağırlık merkezinden kesitin ağırlık merkezine olan uzaklığa 'a' denirse,

$$a = \frac{d}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2} - y_0 \right)$$

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2} + y_0 \right)$$

kesite etkiyen moment,

$$M = 2ab \sigma_y \left(\frac{d}{2} - y_0 \right) + \frac{2by_0^2}{3} \sigma_y - \frac{2}{3} \sigma' \left(\frac{d}{2} - t \right)^2 (b - w) \quad (2.27).$$

bulunur. a ve σ' değerleri (2.27) bağıntısında yerine yazılıp, gerekli kısaltmalar yapıldığında,

$$M = \sigma_y b \left(\frac{d^2}{4} - y_0^2 + \frac{2}{3} y_0^2 \right) - \frac{\sigma_y (b - w)(d - 2t)^3}{12 y_0} \quad (2.28).$$

olarak elde edilir.

$$\Phi y_0 = \varepsilon_y = E \cdot \sigma_y$$

ve
$$\Phi_y \frac{d}{2} = E \cdot \sigma_y$$

birbirlerine oranları,

$$\frac{\Phi}{\Phi_y} = \frac{y_0}{d/2} = 1$$

olduğundan,

$$y_0 = \frac{\Phi}{\Phi_y} \cdot \frac{d}{2}$$

olur. (2.28) de yerine yazıldığında denklem,

$$M = \frac{bd^2}{4} \cdot \sigma_y \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\Phi_y}{\Phi} \right)^2 \right] - \frac{\sigma_y}{\Phi_y / \Phi} \frac{(b - w)(d - 2t)^3}{6d} \quad (2.30).$$

halini alır.

I kesitlerin mukavemet momenti,

$$S = \frac{bd^2}{6} - \frac{(b - w)(d - 2t)^3}{6d}$$

dir, (2.30) bağıntısı boyutsuz hale getirilmek için M_y ile bölüldüğünde,

$$\frac{M}{M_y} = \frac{bd^2}{4S} \left[1 - \frac{1}{3(\Phi / \Phi_y)^2} \right] + \left[1 - \frac{bd^2}{6S} \right] \frac{\Phi}{\Phi_y} \quad (2.31).$$

şeklini alır.

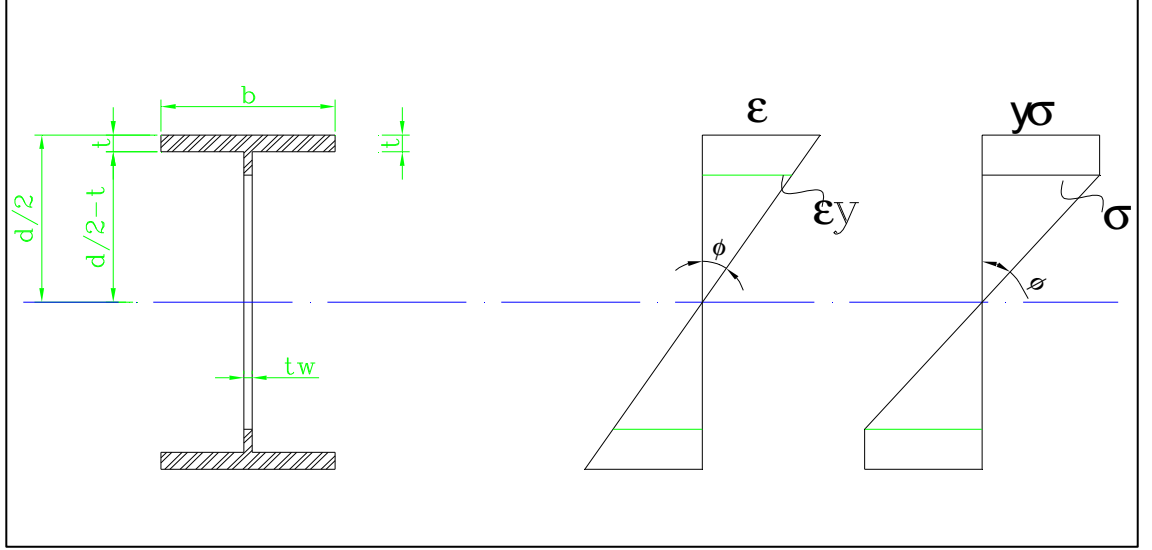
'S" nin değeri (2.31) de yerine konup, denklem düzenlendiğinde,

$$\frac{M}{M_y} = \frac{1.5}{\left[1 - \left(1 - \frac{w}{b}\right) \left(1 - \frac{2t}{d}\right)^3 \right]} \left[1 - \frac{1}{3(\Phi / \Phi_y)^2} \right] + \left[1 - \frac{1}{\left[1 - \left(1 - \frac{w}{b}\right) \left(1 - \frac{2t}{d}\right)^3 \right]} \right] \frac{\Phi}{\Phi_y}$$

$$1 \leq \frac{\Phi}{\Phi_y} \leq \frac{d/2}{(d/2 - t)}$$

elde edilir.

2.2.2 Plastik Akmalar Gövde İçinde



Şekil 2.8 : Plastik akmalar gövde içinde

Plasik momentten elastik kısım çıkarılarak,

$$M = M_p - \frac{1}{3} \delta_y w y_0^2$$

elde edilir. (2.29) bağıntısı denklemde yerine yazılırsa,

$$M = M_p - \frac{w \delta_y d^2}{12} \left(\frac{\Phi_y}{\Phi} \right)^2$$

olur. Denklemin her iki tarafı M_y ile bölüldüğünde,

$$\frac{M}{M_y} = \frac{Z}{S} - \frac{w d^2}{12 S (\Phi / \Phi_y)^2} \quad (2.33)$$

Z/S oranının kesit boyutları cinsinden ifadesi aşağıda çıkarılmıştır.

$$Z = \frac{b d^2}{4} - \frac{(b - w)(d - 2t)}{4}$$

$$\frac{Z}{S} = \frac{b d^2 - (b - w)(d - 2t)}{\frac{2}{3} \left[b d^2 - \frac{(b - w)(d - 2t)}{d} \right]}$$

$$\frac{Z}{S} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1 - (1 - w/b)(1 - 2t/d)^2}{1 - (1 - w/b)(1 - 2t/d)^3}$$

$$\frac{S}{wd^2} = \frac{1}{6} \left[\frac{1}{w/b} - \frac{(1-w/b)(1-2t/d)^3}{w/b} \right]$$

$$\frac{M}{M_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1-(1-w/b)(1-2t/d)^2}{1-(1-w/b)(1-2t/d)^3} - \frac{w/b}{2[1-(1-w/b)(1-2t/d)^3]} \cdot \frac{1}{(\Phi/\Phi_y)^2}$$

$$\frac{d/2}{(d/2-t)} \leq \frac{\Phi}{\Phi_y} \leq k \quad (2.34).$$

2.2.3 Pekleşme Etkisi Başlık İçinde

Pekleşme başlık içinde kaldığı sürece I kesitlerde meydana gelen ilave ΔM momenti dikdörtgen kesitlerdeki ile aynıdır.

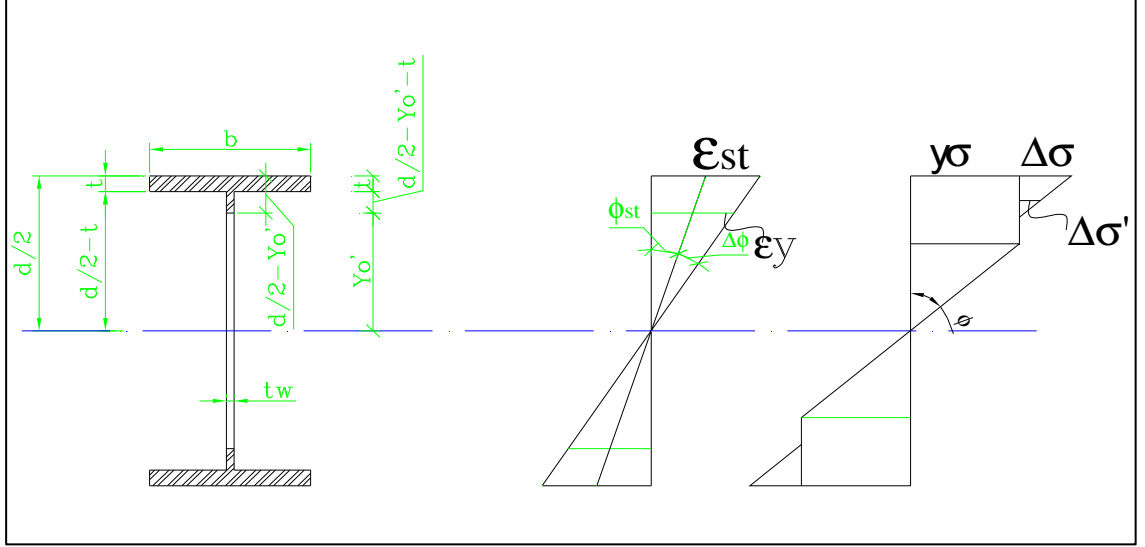
Bu durumda Φ/Φ_y boyutsuz eğriliği aşağıdaki sınırlar arasında olur.

$$\frac{\Delta M}{M_y} = \frac{Est}{2E} \cdot \frac{k^3}{(\Phi / \Phi_y)^2} - 2 \frac{\Phi}{\Phi_y} - 3k \quad (2.35)$$

$$k \leq \frac{d/2}{(d/2-t)} \leq \frac{\Phi}{\Phi_y}.$$

2.2.3 Pekleşme Etkisi Gövde İçinde

Pekleşme en alt lifin tarafsız eksenden uzaklığına Y_0' , pekleşmeden dolayı meydana gelen gerilme artışına $\Delta\sigma$, başlık bitimindeki gerilme artışına $\Delta\sigma'$ denirse , (şekil 2.8)



Şekil 2.8 : Plastik akmalarda gövde içinde

benzer üçgenlerden,

$$\Delta\delta' = \frac{d/2 - y_0 - t}{d/2 - y_0} \Delta\delta \quad (2.36)$$

$$\Delta\delta - \Delta\delta' = \frac{t}{d/2 - y_0} \Delta\delta \quad (2.37)$$

olur. Kesite etkiyen moment,

$$\Delta M = \Delta\delta' t b (d - t) + (\Delta\delta - \Delta\delta') \left(\frac{d}{2} - \frac{t}{3} \right) + \Delta\delta' w \left(\frac{d}{3} - y_0 - t \right) \left(\frac{d}{3} - \frac{y_0'}{3} - \frac{2t}{3} \right) \quad (2.38)$$

şeklindedir.

$$\Phi = \frac{\epsilon_{st}}{y_0'} \quad \text{ve} \quad \Phi_y = \frac{2\epsilon_y}{d}$$

olduğundan, birbirlerine oranlarından,

$$y_0' = \frac{d \cdot \epsilon_{st}}{2\epsilon_y (\Phi / \Phi_y)} \quad (2.39)$$

olur.

Pekleşmeden ileri gelen gerilme artımı,

$$\Delta \delta = Est. \Delta \epsilon$$

$$\Delta \delta = Est. \frac{d}{2} (\Phi - \Phi_{st}) \quad (2.40)$$

dir. (2.36), (2.37), (2.39) ve (2.40) ifadelerinin (2.38) de yerlerine konup, gereken kısaltmaların yapılması aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \Delta M &= tb(d-t) \frac{\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right) - t}{\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right)} \cdot Est \frac{d}{2} (\Phi - \Phi_{st}) + \frac{t}{\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right)} Est \frac{d}{2} (\Phi - \Phi_{st}) \rightarrow \\ &\rightarrow bt \left(\frac{d}{2} - \frac{t}{3} \right) + \frac{\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right) - t}{\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right)} \cdot Est \frac{d}{2} (\Phi - \Phi_{st}) \left[\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right) - t \right] \left[\frac{d}{2} + \frac{d}{2} \left(\frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right) - 2t \right] \frac{1}{3} \omega \\ \Delta M &= \left\{ \left[tb(d-t) + \frac{wd^2}{12} \left(1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{2t}{d} \right) \left(2 + \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{4t}{d} \right) \right] \frac{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{2t}{d}}{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y}} + \frac{bt^2 \left(3 - \frac{2t}{d} \right)}{3 \left(1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right)} \right\} Est \frac{d}{2} (\Phi - \Phi_{st}) \end{aligned}$$

boyutsuz hale getirmek için M_y ile bölünür.

$$M_y = E I \Phi_y$$

$$\frac{\Delta M}{M_y} = \left\{ \left[tb(d-t) + \frac{wd^2}{12} \left(1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{2t}{d} \right) \left(2 + \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{4t}{d} \right) \right] \frac{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{2t}{d}}{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y}} + \frac{bt^2 \left(3 - \frac{2t}{d} \right)}{3 \left(1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} \right)} \right\} \frac{Est d}{E 2I} \left(\frac{\Phi}{\Phi_y} - \frac{\Phi_{st}}{\Phi_y} \right)$$

$$\frac{1}{S} = \frac{d}{2 I}$$

$$\frac{\Delta M}{M_y} = \frac{tb d}{S} \left[\left(1 - \frac{t}{d} \right) + \frac{w}{12 bt} \left(1 - \frac{k}{\Phi / \Phi_y} - \frac{2t}{d} \right) \left(2 + \frac{k}{\Phi / \Phi_y} - \frac{4t}{d} \right) \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow \left[\frac{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - 2t/d}{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y}} + \frac{t}{d} \frac{1 - \frac{2t}{3d}}{1 - \frac{1}{\Phi/\Phi_y}} \right] \frac{Est}{E} \left(\frac{\Phi}{\Phi_y} - k \right)$$

$$S = \frac{bd^2}{6} - \frac{(b-w)(d-2t)^3}{6d}$$

ifade düzenlenirse Φ/Φ_y boyutsuz eğriliği sınırları içinde,

$$\frac{\Delta M}{M_y} = \frac{6(t/d)}{1 - (1 - w/b)(1 - 2t/d)^3} \cdot \rightarrow$$

$$\left\{ \left[\left(1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{2t}{d} \right) \left(2 + \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{4t}{d} \right) \right] \frac{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y} - \frac{2t}{d}}{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y}} + \frac{t}{d} \frac{1 - \frac{2t}{3d}}{1 - \frac{k}{\Phi/\Phi_y}} \right\} \frac{Est}{E} (\Phi/\Phi_y - k)$$

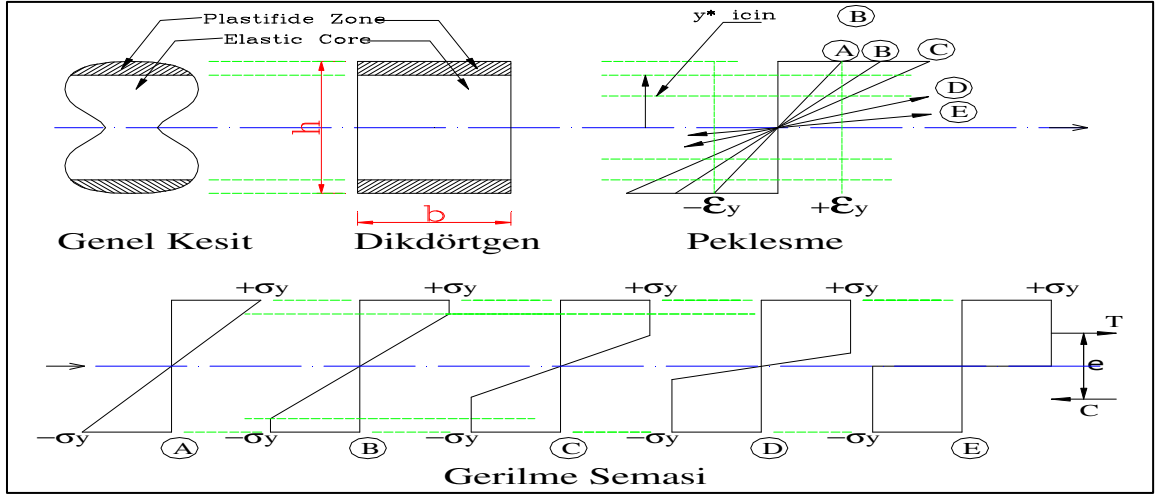
$$k \cdot \frac{d/2}{(d/2 - t)} \leq \frac{\Phi}{\Phi_y} \quad (2.41).$$

olur.

2.2.5 SİMETRİK KESİTLER

Şekil 2.9 da farklı gerilmeler artarak gösterilmektedir. yüklemenin herhangi bir noktasında şekil 2.9 daki gibi kesitin şekil değiştirmeden dolayı açısı aşağıdaki formüldeki gibi hesap ediliyor.

$$\Phi = \frac{\epsilon_{\max}}{(h/2)}$$

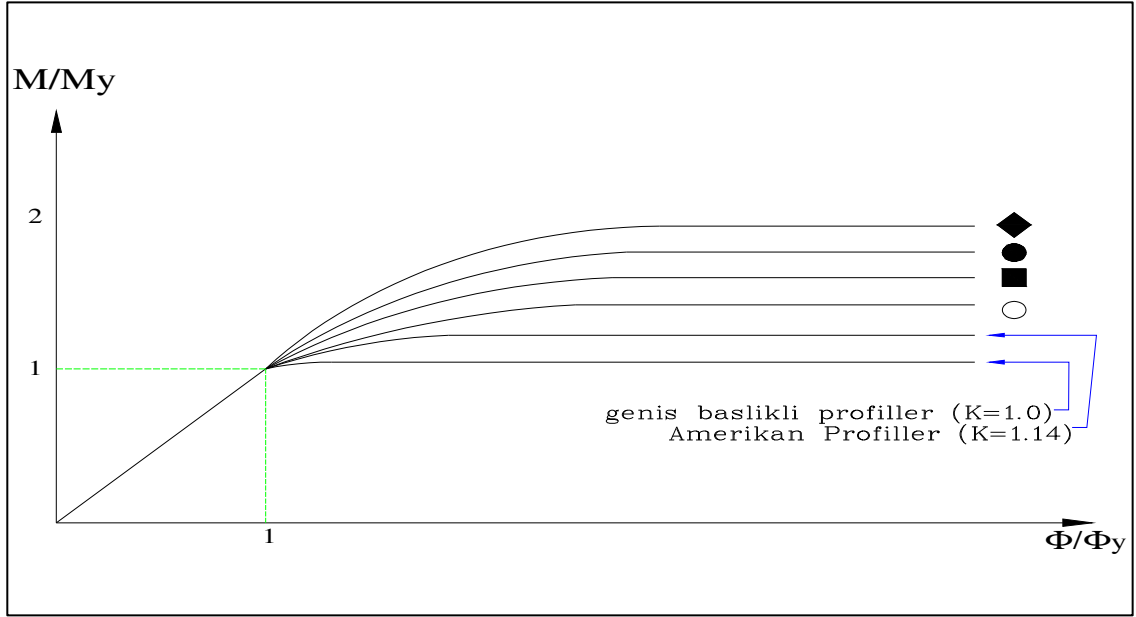


Şekil 2.9 : Gerilme artışı $\Delta\sigma$ ' başlık içinde

ϵ_{\max} ne zaman ki maksimum değerine varıyor kesitin "h" yüksekliğine göre tarafsız eksenden "y" mesafesinde açı aşağıdaki formül den hesap ediliyor.

$$\Phi = \frac{\epsilon_{\max}}{(h/2)} \frac{\epsilon_y}{y^*} \quad y^* = (h/2) \cdot \frac{\epsilon_y}{\epsilon_{\max}}$$

$$M = \int_0^{h/2} \delta y \cdot dA = \int_0^{h/2} \delta y \cdot b(y) \cdot dy$$



Şekil 2.10 : Simetrik kesitlerde pekleşme ve gerilme

plastik moment dikdörtgen kesitlerde E için :

$$M_p = 2T(e/2) = 2[\delta y(h/2)b](h/4) = \frac{bh^2}{4} \delta y = Z \delta y = 1.5 M_y$$

$$K = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S}$$

'y' flanş'da olduğu zaman

$$\frac{M}{M_y} = \frac{\Phi}{\Phi_y} \left(1 - \frac{bd^2}{6S} \right) + \frac{bh^2}{4S} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\Phi}{\Phi_y} \right)^2 \right]$$

'y' gövde'de olduğu zaman

$$\frac{M}{M_y} = \frac{M_p}{M_y} - \left(\frac{wd^2}{12S} \right) \left(\frac{\Phi}{\Phi_y} \right)^2$$

2.3 Dikdörtgen ve I Kesitler için Sayısal Uygulamalar

Bu bölümde, yapılan hesaplar sonucu bulunan doğru denklemleri yazılmış ve diyagramları çizilmiştir. Öncelikle nümerik çözüm amacıyla farklı iki elastisite modülü oranı $E/E_{st}=20$ ve $E/E_{st}=30$ belirlenmiş ve ,

$$\frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} = \frac{\Phi_{st}}{\Phi_y} = k$$

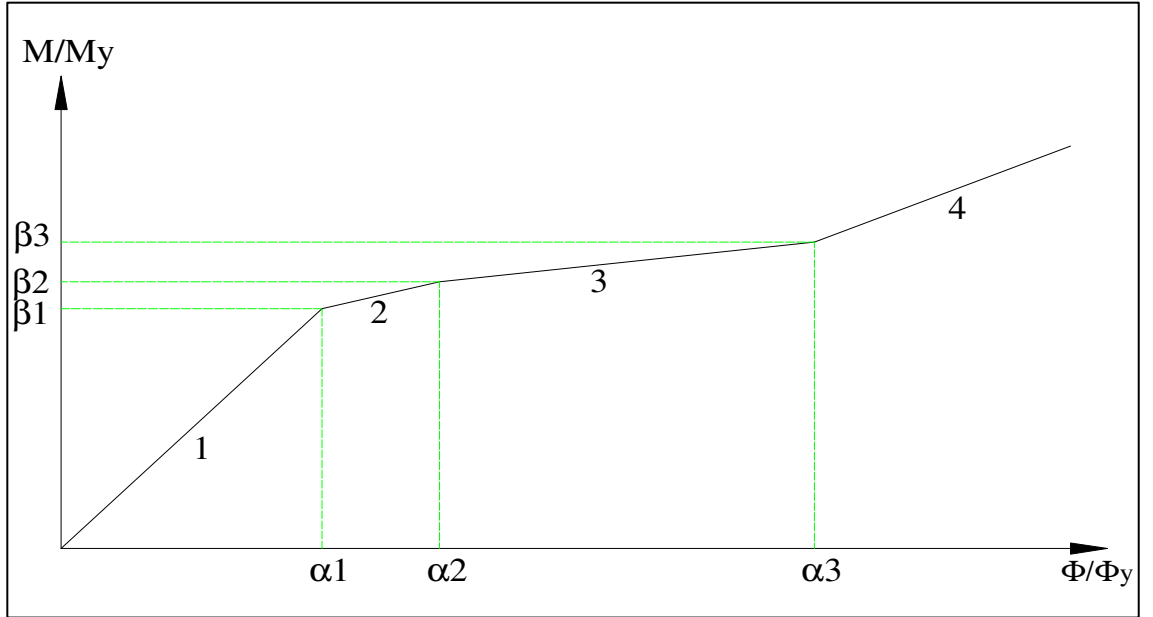
olarak bilindiğine göre pekleşmenin etkisinin K'nın sırasıyla 10,15 değerleri için başladığı kabul edilmiştir. K'ya belirli artımlar vererek, M-F diyagramı çizilmiştir.

Diyagram,

$$\frac{M}{M_y} = m_i \frac{\Phi}{\Phi_y} + n_i$$

şeklinde dört doğru olarak idealize edilmiştir. Şekil (2.11).

Uygun doğru denklemlerinin yazılabilmesi amacıyla en küçük kareler metodu kullanılmıştır. I kesit için IPE tip profilleri seçilmiştir.



Şekil 2.11 : Şekil faktörü

2.3.1. Dikdörtgen ve I Kesitler için Sayısal Uygulamalar

$E/E_{st}=20$ $K=10$ şekil (2.12)

(1) Doğrusu Denklemi :

$$M/M_y = \Phi/\Phi_y \quad m_1=1 \quad n_1=0$$

(2) Doğrusu Denklemi :

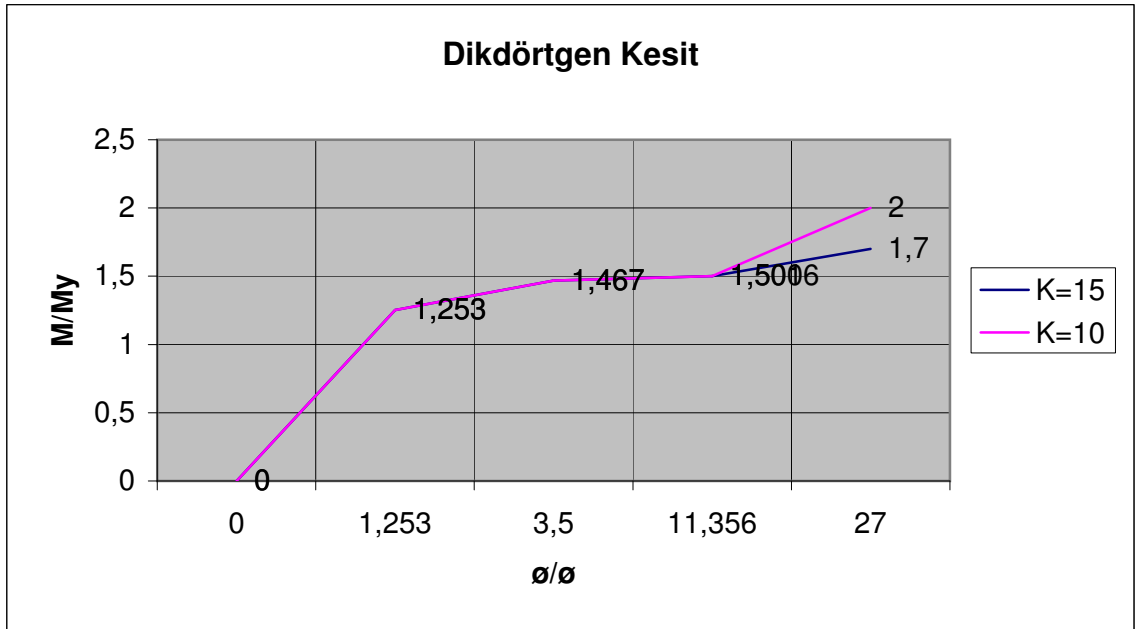
$$M/M_y = 0,0953 \Phi/\Phi_y + 1,1333$$

(3) Doğrusu Denklemi :

$$M/M_y = 0,0043 \Phi/\Phi_y + 1,4520$$

(4) Doğrusu Denklemi :

$$M/M_y = 0,0368 \Phi/\Phi_y + 1,0835$$



Şekil 2.12 : Moment-eğrilik dört doğrultuda idealize edilmiş

K=15	
Φ/Φ_y	M/M_y
0	0
1,253	1,253
3,5	1,467
15,923	1,5006
27	1,7

K=10	
Φ/Φ_y	M/M_y
0	0
1,253	1,253
3,5	1,467
11,356	1,501
27	2

plastik mafsal	
Φ/Φ_y	M/M_y
0	0
4	1,5
15	1,5

$E/E_{st}=30$ $K=15$ şekil (2.13)

(1) Doğrusu Denklemi :

$$M/M_y = \Phi/\Phi_y \quad m_1=1 \quad n_1=0$$

(2) Doğrusu Denklemi :

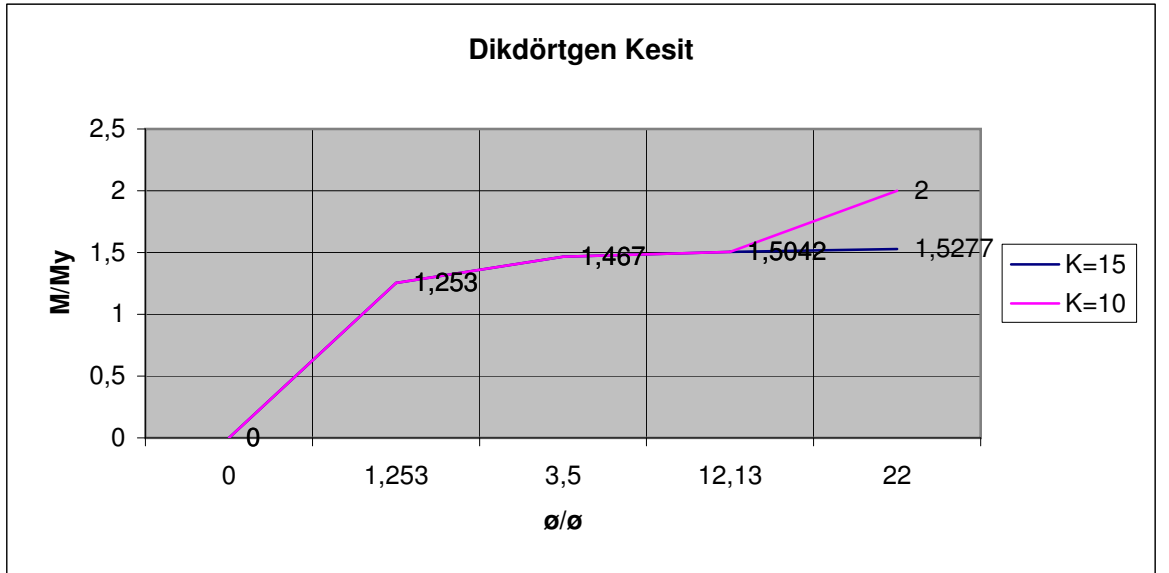
$$M/M_y = 0,0953 \Phi/\Phi_y + 1,1333$$

(3) Doğrusu Denklemi :

$$M/M_y = 0,0043 \Phi/\Phi_y + 1,4520$$

(4) Doğrusu Denklemi :

$$M/M_y = 0,0259 \Phi/\Phi_y + 1,1900$$



Şekil 2.13 : Dikdörtgen kesit için tablo sonuçları

K=15	
Φ/Φ_y	M/M_y
0	0
1,253	1,253
3,5	1,467
12,13	1,5042
17,597	1,5277

K=10	
Φ/Φ_y	M/M_y
0	0
1,253	1,253
3,5	1,467
12,13	1,5042
22	2

plastik mafsal	
Φ/Φ_y	M/M_y
0	0
4	1,5
15	1,5

3. PLASTİK AKMA VE PEKLEŞMENİN YÜK YER- DEĞİŞTİRME BAĞINTISINA ETKİSİ

3.1 Yük ve Yer- Değişirme Bağintısı

Bölüm 2'de moment- eğrilik diagramları dört doğru parçası şeklinde idealize edilmişti. Bu arada doğru denklemleri parametrik olarak ifade edilmiş, daha sonra yer değiştirme bağıntılarında yerine yazılmak üzere Φ değerleri belirlemiştir.

$$\frac{M}{M_y} = m_i \frac{\Phi}{\Phi_y} \quad \Phi = \frac{\Phi_y}{m_1} \cdot \frac{M}{M_y} \quad (a)$$

$$\frac{M}{M_y} = m_2 \frac{\Phi}{\Phi_y} + n_2 \quad \Phi = \frac{\Phi_y}{m_2} \cdot \left(\frac{M}{M_y} - n_2 \right) \quad (b)$$

$$\frac{M}{M_y} = m_3 \frac{\Phi}{\Phi_y} + n_3 \quad \Phi = \frac{\Phi_y}{m_3} \cdot \left(\frac{M}{M_y} - n_3 \right) \quad (c)$$

$$\frac{M}{M_y} = m_4 \frac{\Phi}{\Phi_y} + n_4 \quad \Phi = \frac{\Phi_y}{m_4} \cdot \left(\frac{M}{M_y} - n_4 \right) \quad (d)$$

3.1 Bağıntıları

Şekil 3.1 'de orta noktasından tekil yükü yüklenmiş basit kirişin maksimum açıklık

$$M = \frac{1}{4} wL \quad (3.2)$$

dir. Yükün değeri akmaya neden olabilecek değere W_y ulaşıncaya açıklık momenti

$$M_y = \frac{1}{4} w_y L \quad (3.3)$$

olur. Yük W_y den büyük W değerine yaklaştıkça, momentin değeri Şekil 3.1' de gösterildiği gibi mesnetten z kadar uzaklıkta da akma değerine ulaşılır. Böylece plastik deformasyonlar kiriş üzerinde yayılır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, seçilen matematik model, izlenen çözüm tekniği ve yapılan varsayımlara bağlı olarak varılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Moment-eğrilik (M-Ø) bağıntılarının incelenmesiyle şu sonuca varılmıştır: Bilindiği gibi plastik mafsal hipotezinde $M/My = Mp/My$ için $Ø/Øy = Øp/Øy$ dir. Yani moment plastik momente eşit olunca buna tekabül eden eğrilik $Øp$ olur. $Øp/Øy$ değerleri dikdörtgen , WF = 14x 730 , IP 60 kesitler sırasıyla 1,5 1,30 ve 1,14 dür.

Plastik akmaların kesit içindeki yayılışı dikkate alınırsa Mp/My değerine ulaşıldığında , her üç kesit için de $Ø/Øy = 10$ olmaktadır. Bu durumda, plastik momente ulaşıldığında gerçek eğrilik plastik mafsal kabulündeki eğriliğin dikdörtgen kesitte $10/1.5 = 6.67$, WF = 14x730 'da $10/1.30 = 7.69$ ve IP 60 'da $10/1.14 = 8.77$ katı olur.

2. Yukarıdaki sonuç biraz daha yaklaşık olarak şöyle ifade edilebilir:

Plastik akmalar başladıktan sonra , M-Ø bağıntıları önce dik eğimli, sonra yatık eğimli , birer doğru ile gösterilebilmelidir. Eğim değişen noktada M/My ve $Ø/Øy$ değerleri aşağıda verilmiştir. Bu değerlerin plastik moment Mp ve $Øp$ 'ye oranları çizelgede görülmektedir.

	M/My	Ø/Øy	M/Mp	Ø/Øp
Dikdörtgen kesit	1.467	3.5	0.98	2.33
WF 14x 730	1.27	1.78	0.98	1.37
IP 60	1.06	1.12	0.93	0.98

Mp plastik momentin %98 'ine ulaşıldığında eğrilik, dikdörtgen kesitlerde $Øp$ 'nin 2.33 katı , WF=14x730'da 1.37 katı olmaktadır. Daha narin bir I kesiti olan IP 60 'da ise Mp 'nin %93 üne ulaşıldığında eğrilik $Øp$ 'nin 0.98 katıdır.

3. Moment –Eğrilik (M-Ø) bağıntılarına pekleşmenin etkisi aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir. σ - ϵ diyagramında pekleşme ve akma başlarken birim deformasyon ϵ_{st} ve ϵ_y olsun .Elastik halde ve pekleşmede elastik modülleri ϵ ve ϵ_{st} ise $\epsilon/\epsilon_{st} = 20 - 30$, $\epsilon_{st}/\epsilon_y = k = 10 - 15$ değerleri için aşağıdaki çizelge düzenlenmiştir.

4. Plastik akma ve pekleşmenin bir taşıyıcı sistemin taşıma gücüne ve yer değiştirmelerine etkisi ortadan tekil yükle yüklü bir basit kiriş üzerinde incelenmiştir.

Plastik mafsal hipotezine göre davranan sistemin göçme düzeyindeki maksimum sehimi (orta kesitte plastik mafsal oluşunca) dikdörtgen, WF14x730 ve IP60 kesitli kirişlerde sırasıyla $\delta/\delta_y = 1,50$, 1,30 ve 1,14 oranlarıyla belirlidir. Sözü edilen kirişlerde plastik çıkmaların yayılışı dikkate alınırsa aynı yük düzeyinde δ/δ_y oranları $\epsilon/\epsilon_{st} = 20$ ve 30 için dikdörtgen kesitlerde 2.30, 2.50, WF14x730 kesitlerde 1.85, 3.0 ve IP60 kesitli kirişlerde sırasıyla $2.30/1.5 = 1.53$ ve $2.50/1.5 = 1.67$, $1.85/1.30 = 1.42$ ve $3/1.30 = 2.31$, $2.1/2.1/1.14 = 1.84$ katıdır.

5. Plastik mafsal hipotezine göre davranan kirişlerde orta kesitte plastik mafsal oluştuktan sonra yük sabit kalır buna karşılık deplasman sınırsız artar. Yani yük-deplasman diyagramının eğimi sıfır olur. Pekleşme etkisi söz konusu olduğunda söz konusu eğim, dikdörtgen kesitlerde %4.7 - %4.4, WF 14x730 kesitte %4.2 - %4 ve IP60 kesitte %4.1- %4 bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Beedle, L.S.**, 1966. Plastic Design of Steel Frames, John Wiley and Sons, Inc.,
- [2] **Neal, B.G.**, 1970. Plastic-Methods of Structural Analysis Chapman and Hall Ltd.,
- [3] **Hodge, T.S.**, 1959. Plastic Analysis of Structures, McGraw Hill Book Comp., Inc.,
- [4] **Arda, T.S.**, 1983. 1. Çelik Yapılar Semineri Notları, Cilt II, İTÜ, İnşaat Fakültesi.,
- [5] **AISC.**, 1997. Manual of Steel Construction, 7. Edition American Institute of Steel Construction Inc., NewYork N.Y. 10017,
- [6] **Özgen, K.**, 1977. Profil Tabloları, İTÜ, Mimarlık Fakültesi.,
- [7] **Kocataşkın, F.**, 1978. Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İTÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.
- [8] **Bruneau**, 2006. Ductile Design of Steel Structures, Bruneau., Uang., Whittaker.,

ÖZGEÇMİŞ

21,09,1974 Tebriz İnan da doğdum. İlk öğrenim orta ve lise Tebriz de tamamladım. Lisans eğitimin 1994-1998 eğitim yılları arası Tebriz Azad Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamlandı.

2003 eğitim yılında İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bölümünde yüksek lisansa başladım.