

T.C.
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Lisansüstü Tezi

ÇELİK VE BENZERİ MALZEMEDE
PLASTİK MAFSAL OLUŞUMU

Yöneten: Doç.Sacit Oğuz

Hazırlayan
Gülgün Yılmaz

Haziran - 1985
ESKİŞEHİR

Ö N S Ö Z

Çelik ve benzeri malzemede plastik mafsall oluşumu konusundaki bu çalışmada genellikle çelik üzerinde durulmuş ve bu malzeme ile yapılacak yapılarda plastik analiz yöntemlerinin kullanılması halinde bahse konu olan plastik mafsalların oluşumu incelenmiştir.

Birinci bölümde plastik analiz yöntemleri ve çelik malzemenin özellikleri hakkında açıklayıcı bilgi verilmiştir. Bu bilgilere dayanarak tarif edilen mafsallın oluşumu ve moment taşıma kapasitesi hesapları gösterilmiştir. İkinci bölümde ise kesitlere tesir eden kesme kuvveti ve aksenal yük etkileri açıklanarak, çeşitli mesnet şartlarında plastik mafsall oluşumu incelenmiş ve bu mafsalların gerilme-uzama eğri-leri tespit edilmiştir.

Üçüncü bölüm çelik ve benzeri malzemenin akma sınırının ötesinde mevcut olan taşıma kapasitesini de dikkate alarak mafsall oluşumu incelemesine ayrılmış, çekme ve basınç bölgelerinde değişen elastisite modülleri ile tarafsız eksenin yerinin değişmediği ve değiştiği kabullerine göre taşıma kapasitelerinin hesabına uyarlanmıştır. Bununla beraber bu şartlar altında oluşan bir mafsallın ezilme-uzama sınır eğri-leri denklemleri elde edilmiştir.

Sonuçlar tablo halinde verilerek çeşitli durumların karşılaştırmaları yapılmıştır.

Ö Z E T

Çelik ve benzeri malzemede mafsall oluşumu incelenirken bugüne kadar yapılmış çalışmalardan belli başlı olanları incelenmiş ve kaynaklar kısmında eser adları takdim edilmiştir.

Çalışma hazırlanırken konunun etraflıca değerlendirilebilmesi için bir yapıda plastik analiz yöntemlerinin neler olduğuna değinilmiştir. Daha sonra şimdiye kadar yapılan kesit taşıma kapasitesi hesapları gösterilmiş ve yapılan kabul-ler anlatılmıştır. Ancak adı geçen bilgilerin verilebilmesi için çelik ve benzeri malzemenin malzeme özellikleri ve bunların idealizasyonu üzerinde durulmasına gerek duyulmuştur.

Bu bilgilerin ışığı altında herhangi bir kesitte oluşan bir mafsallın, oluşum şekli incelenmiş ve gerilme-uzama eğrilerinde görülen eğrilik değişimleri dikkate alınmıştır. Mafsallın oluşum boyu, taşıma kapasitesi, ezilme-uzama sınır eğrileri çeşitli mesnet şartlarına bağlı olarak hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda dikdörtgen kesitli taşıyıcıların değişik mesnetlenme durumlarına bağlı olarak hazırlanan tablo sunulmuştur.

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
SEMBOLLER	vi
BÖLÜM 1	
1. PLASTİK ANALİZ VE YÖNTEMLERİ	
1.1. Giriş	1
1.2. Plastik Analiz	2
1.2.1. Plastik Analiz Metodunda Yapılan Kabuller	2
1.2.2. Plastik Mafsal Kabulleri	2
1.2.3. Mekanizma Durumu	3
1.2.4. Denge Şartları	3
1.2.5. Emniyet Katsayısı	3
1.2.6. Kinematik Şartları Sağlayan Alan	4
1.2.7. Kinematik Şartları Sağlayan Çarpan	4
1.3. Plastik Analizde Hesap Metodları	4
1.3.1. Statik Hesap Metodu	4
1.3.2. Virtüel İş Metodu	5
1.3.3. Eşitsizlikler Metodu	5
1.3.4. Moment Dağıtım Metodu	6
1.3.5. Metodlar Üzerinde Düşünceler	6
1.4. Çelik ve Benzeri Malzemenin Özellikleri	7
1.4.1. Çelik Malzemenin Mekanik Özellikleri	7
1.4.2. İdealleştirilmiş ($p-\Delta\delta$) Malzeme Eğrileri	9
1.4.2.1. Lineer-Elastik Malzeme	9
1.4.2.2. Lineer Olmayan Elastik Malzeme	9
1.4.2.3. Elastoplastik Malzeme	9
1.4.2.4. İdeal Elastoplastik Malzeme	10
1.4.2.5. Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme	11
1.4.2.6. Rijit Plastik Malzeme	11
1.4.2.7. Lineer Viskoelastik Malzeme	12
1.5. Moment Taşıma Kapasitesi	12
1.5.1. Çeşitli Kesitlerin Moment Taşıma Kapasiteleri	13
1.5.1.1. Hesaplama Yapılan Kabuller	13
1.5.1.2. Üçgen, Daire, I Profil Kesitin Moment Taşıma Kapasitesi	16

BÖLÜM 2

2. KESME KUVVETİ VE EKSENEL YÜK ETKİSİNDE TAŞIMA KAPASİTESİ	
2.1. Eksenel Yükün Plastik Moment Üzerindeki Etkisi	21
2.1.1. Eksenel Basınc Etkisinde Dikdörtgen Kesitler	22
2.1.2. Eksenel Basıncın Etkisinde Simetrik Olmayan Kesitler	24
2.2. Kesme Kuvvetinin Plastik Momente Etkisi	28
2.2.1. Dikdörtgen Kesitlerde Kesme Kuvvetinin Etkisi	29
2.3. Kesme Kuvveti ve Eksenel Yük Altındaki Plastik Momentler	33
2.4. Kesme Kuvveti ve Eksenel Basınc İçin Müsaade Edilen Göçme Yükü Hesabı	34
2.5. Çeşitli Mesnet Şartlarında Plastik Mafsal Oluşumu	35
2.5.1. Basit Kiriş	35
2.5.1.1. Tekil Yük ile Yüklü	36
2.5.1.2. Yayılı Yük ile Yüklü	36
2.5.2. Konsol Kiriş	36
2.5.2.1. Tekil Yük ile Yüklü	36
2.5.2.2. Yayılı Yük ile Yüklü	37
2.5.3. Ankastre Kiriş	37
2.5.3.1. Tekil Yük ile Yüklü	37
2.5.3.2. Yayılı Yük ile Yüklü	37
2.6. Çeşitli Mesnet Şartlarında Plastik Mafsal Taşıma Kapasitesi	38
2.6.1. Basit Kiriş	39
2.6.1.1. Tekil Yük ile Yüklü	39
2.6.1.2. Yayılı Yük ile Yüklü	40
2.6.2. Konsol Kiriş	41
2.6.2.1. Tekil Yük ile Yüklü	41
2.6.2.2. Yayılı Yük ile Yüklü	42
2.6.3. Ankastre Kiriş	43
2.6.3.1. Tekil Yük ile Yüklü	43
2.6.3.2. Yayılı Yük ile Yüklü	44

BÖLÜM 3

3. DEĞİŞİK ELASTİSİTE MODÜLLERİYLE TAŞIMA KAPASİTESİ	
3.1. İdealleştirilmiş (σ - ϵ) Malzeme Eğrileri	46
3.2. E , E_t , E_r Değerleri	47
3.3. E , E_t , E_r Değerleri Arasındaki Bağıntılar	47

	<u>Sayfa</u>
3.3.1. Hesaplama Yapılan Kabuller	47
3.4. E , E_t , E_r 'nin Sınır Değerleri	49
3.5. Tarafsız Eksenin Yerinin Belirlenmesi	52
3.6. Elastisite Modüllerinin Değişmesi Halinde Dikdörtgen Kesitin Moment Taşıma Kapasitesi	54
3.7. Elastisite Modüllerinin Değişmesi ile Çeşitli Mesnet Şartlarında Ezilme-Uzama Sınır Eğrileri	55
3.7.1. Basit Kiriş	55
3.7.1.1. Tekil Yük ile Yüklü	55
3.7.1.2. Yayılı Yük ile Yüklü	56
3.7.2. Konsol Kiriş	57
3.7.2.1. Tekil Yük ile Yüklü	57
3.7.2.2. Yayılı Yük ile Yüklü	57
3.7.3. Ankastre Kiriş	58
3.7.3.1. Tekil Yük ile Yüklü	58
3.7.3.2. Yayılı Yük ile Yüklü	60
3.8. Elastisite Modüllerinin ve Tarafsız Eksenin Yerinin Değişmesi Halinde Dikdörtgen Kesitin Moment Taşıma Kapasitesi	61
3.9. Elastisite Modülleri ve Tarafsız Eksenin Yerinin Değişmesi ile Çeşitli Mesnet Şartlarında Ezilme-Uzama Sınır Eğrileri	63
3.9.1. Basit Kiriş	63
3.9.1.1. Tekil Yük ile Yüklü	63
3.9.1.2. Yayılı Yük ile Yüklü	63
3.9.2. Konsol Kiriş	64
3.9.2.1. Tekil Yük ile Yüklü	64
3.9.2.2. Yayılı Yük ile Yüklü	65
3.9.3. Ankastre Kiriş	66
3.9.3.1. Tekil Yük ile Yüklü	66
3.9.3.2. Yayılı Yük ile Yüklü	67
3.10. St 37 Çeliği İçin Dikdörtgen Kesitte Elastik ve Plastik Moment Taşıma Kapasitesi	70
3.10.1. M_I/M_F Oranı	70
3.10.2. $M_{II t, r}/M_F$ Oranı	70
3.10.3. M_I/M_E Oranı	72
3.10.4. $M_{II t, r}/M_E$ Oranı	72
SONUÇ	74
KAYNAKLAR	76

SEMBOLLER LİSTESİ

b, h, d, t	kesit boyutları
I	kesit alanı
P	tekil yük
σ	normal gerilme
l	boy
Δl	boy değişimi
ε	birim uzama
E	elastisite modülü
σ_F	akma gerilmesi
σ_P	plastik hale geçişteki gerilme
σ_k	kırılma gerilmesi
M_F	akma momenti
M_e	elastik kesit taşıma kapasitesi
M_{ep}	elasto-plastik kesit taşıma kapasitesi
r	yarıçap
M_p	eğilme momenti
M_P	plastik moment
P_p	ezme yükü \approx akma yükü
P/P_p	ezme yükü oranı
τ	kayma gerilmesi
σ_y	ortalama normal gerilme
τ_y	ortalama kayma gerilmesi
q	yayıllı yük
G	kayma modülü
E_t	teğet modülü
E_r	itibari kesit elastiklik modülü
$M=M(b, h, \sigma; y)$	genel halde kesit taşıma kapasitesi
$\eta=\eta f(y)$	ordinat
$\delta=\delta f(\theta)$	ordinat
β	E_t/E oranı
λ	$\sigma_k + \sigma_F$ toplamı
ξ^3	$\sigma_k^3 + \sigma_F^3$

BÖLÜM I
PLASTİK ANALİZ VE YÖNTEMLERİ

1.1. GİRİŞ

Yapılarda plastik mafsallı oluşumu bütün Dünya ülkelerini yakından ilgilendiren bir konudur. Konunun güncelliği, gerek Doğu Bloku Ülkeleri gerekse İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri ve bazı Orta Avrupa Ülkeleri'nde çelik yapıların plastik hesap metodları ile projelendirilmesi ve bu yolda geliştirilmiş, birçok kesit tayini metodlarıyla yapılmasından dolayıdır. Örneğin, minimum ağırlıklar projelendirilmesi (MINIMUM WEIGHT DESIGN).

Ayrıca Makine Mühendisliği alanında plastisitenin yeri ve önemi oldukça büyüktür. Birçok makine elemanları, otomobil sanayii v.b. konularda plastikleşme büyük önem kazanmaktadır.

İnşaat Mühendisliği alanında da henüz ülkemizde uygulanmamakla beraber gerek ekonomi gerekse yapı emniyetinin bütün yapı için belirlenmesi yönünden plastik analiz yöntemleriyle hesap yapılması yerinde olmaktadır.

Bu konuda, bir plastik mafsallı oluşum şekli ve yük taşıma kapasitesi önemli olmaktadır. Düktil malzemede herhangi bir kesitin taşıyabileceği moment mukavemet kuralları ile hesaplanmaktadır. Ancak yapıda oluşan bir plastik mafsallı oluşumu sırasında çekme ve basınç bölgelerinde malzemenin elastisite modülünün değişimi, mafsallı oluşum boyu ve bu sırada çekme ve basınç bölgelerindeki ezilme-uzama sınır eğrileri kesin olarak hesaplanmamaktadır.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen şartlar dikkate alınarak bir mafsallı oluşum şekli, taşıma kapasitesi ve sınır eğrileri hesaplanacak, taşıma kapasitesi tablo halinde sunulacaktır.

1.2. PLASTİK ANALİZ

Plastik analiz konusu uzun yıllardan beri projecilerin dikkatini çeken ancak gelişmiş ülkelerin dışında uygulama imkanı bulunmayan bir konudur. Plastik analizde yapının işletme yükleri altında kritik kesitlerinde moment, normal kuvvet ve kesme kuvveti etkisi altında mafsalların oluşmasıyla yapının göçme durumuna karşı gelen mekanizma durumuna geçmesi halini tanımlar. Bu mekanizma durumu işletme yükleri etkisi altında veya bu yüklerin "bir"den büyük bir katsayı ile çarpılmış değer ile oluşabilir. "Hesap yöntemine bağlı olarak". Bu durumda "bir"den büyük katsayı tüm yapı için emniyet faktörü olacaktır. Bu metod, çelik yapılarda çeliğin malzeme özelliklerine bağlı olarak, hem emniyet faktörünü tespit etmekte hem de ekonomik boyutlandırmayı sağlamaktadır.

Ancak bu metodun kullanılabilmesi ülkemizde yerleşmiş analiz yöntemlerinin uygulanması ile sonuca ulaşabilir. Burada, bu metodla kabul edilen "plastik mafsal" kavramı üzerinde çalışmalar yapabilmek için metod hakkında kısa bilgiler verilmektedir.

1.2.1. Plastik Analiz Metodunda Yapılan Kabuller

- a) Yapıya yüklenen işletme yükleri şartnamelerde kabul edilen katsayılarla çarpılarak yüklenmelidir.
- b) Yapıda kullanılan malzeme duktil ve aynı zamanda pekleşme özelliğine sahip olmalıdır.
- c) Kabul edilen plastik mafsallar, mafsal için yapılan kabullere uygun davranmalıdır.

1.2.2. Plastik Mafsal Kabulleri

Herhangi bir kesitte oluşan mafsal kesite bağlı olarak

sabit bir " M_F " akma momenti taşır. "AKMA MOMENTİ".

a) İdealleştirilen mafsallarda uygulanan moment M_F 'den mutlak değerce küçük momentleri hiçbir dönmeye maruz kalmadan taşır.

b) Uygulanan moment M_F 'e mutlak değerce eşit ise bütün momenti taşıyabilen ancak momentle aynı doğrultuda dönmeyi önleyemeyen bir mafsaldır.

c) Uygulanan moment M_F 'den mutlak değerce daha büyük ise hiçbir şekilde bu momenti taşıyamayan bir mafsaldır.

1.2.3. Mekanizma Durumu

Yapıda oluşan akma mafsallarının, yapının sonsuz küçük hareketine mani olamayacak sayıda oluşmasıyla yapının labil hale gelmesi mekanizma durumudur.

1.2.4. Denge Şartları

a) Yapı üzerindeki yükler (F) altında oluşan momentler, bu yüklerle iç ve dış dengededirler.

b) Momentler hiçbir yerde mutlak değerce M_F 'den büyük olamazlar.

1.2.5. Emniyet Katsayısı

a) Yapının göçme anında taşıyabileceği yüklerin yapının işletme yüklerine oranı "Emniyet katsayısı"dır (n).

b) n.F yükleri için moment dağılımı denge şartlarını sağlar.

c) Bu durumda momenti M_F 'e erişen her noktaya bir akma mafsallı konulursa yapı mekanizma durumuna geçer.

1.2.6. Kinematik Şartları Sağlayan Alan

F dış yüklerinin δ yer değiştirmeleri ile pozitif iş yapması halinde bir mafsaldaki pozitif dönmeden " M_F ", negatif dönmeden " $-M_F$ " momentleri oluşuyorsa meydana gelen alan kinematik şartları sağlar.

1.2.7. Kinematik Şartları Sağlayan Çarpan

Mafsallarda oluşan M_F momentleri ile mafsallarda meydana gelen θ dönmelerinin yaptığı iş, dış kuvvetlerin meydana getirdikleri yer değiştirmelerle yaptığı işe eşit ise n kinematik şartları sağlayan bir çarpandır(17).

1.3. PLASTİK ANALİZDE HESAP METODLARI

1.3.1. Statik Hesap Metodu

I. ADIM

Bu metodda herhangi bir bilinen statik hesaplama metodu dikkate alınarak sistemin hesabı yapılır. Daha sonra en büyük momentin olduğu kesite bir akma mafsalı konularak hesap yeni sistem için tekrarlanır. Bu durumda sistemin hiperstatikliği bir derece düşer. Sistemi bu duruma getiren yük belirlenir.

II. ADIM

Yine bu hesap sonucunda oluşan en büyük moment kesiti-ne bir akma mafsalı konularak hesap tekrarlanır. Hesaba sistem labil hale geçecek mafsala sahip oluncaya kadar devam edilir. Son hesaplanan yük göçme yüküdür.

Bu açıklamalardan anlaşılabilceği gibi yükler sıfır-

dan itibaren arttırılırken yapıda ulaşılan en büyük M_F momenti ile yapı dengeye gelir. Yükleler daha da arttırıldığında diğer mafsalların oluşmasıyla yapı göçer.

1.3.2. Virtüel İş Metodu

Göçme incelemesinde kullanılan metodlardan birisi "VİRTÜEL İŞ METODU" dur.

Bu metotta oluşabilecek mümkün mafsalların taşıdıkları momentlerle bu mafsallardan meydana gelen dönmelerin yaptığı iş, dış kuvvetlerin meydana getirdikleri deplasmanlarla yaptıkları işe eşittir, prensibi kabul edilir. Momentlerin yaptıkları işler daima pozitifdir. Dış kuvvetlerin yaptıkları işler pozitif veya negatif olabilmektedir. Bu durumda bir mafsalın mutlak değerce M_F 'e eşit bir moment karşıladığı kabul edilmektedir. Bulunan göçme yükü sistemde göçmeyi meydana getiren yüklerin en büyüğünün en küçüğüdür.

1.3.3. Eşitsizlikler Metodu

Bu metotta hem kinematik şartları hem de denge şartlarını sağlayan bir alanın bulunması düşünüldüğünde bu şartlardan bir tanesini sağlayan halin sistemde kurulan eşitsizliklerle bulunması prensibinden hareket edilir. Problem H-B lineer denge denklemini sağlayan M_1, M_2, \dots, M_n moment takımının bulunmasıdır. Genel halde bu denge denklemlerinden en az bir tanesi F yükünü içerir. Ancak problem tek bir çözüm vermez, çözümün tekliğinin sağlanması mafsallarda oluşan mafsalların $-M_F$ ile $+M_F$ arasında ve göçme durumunda, göçme mekanizmasını sağlayacak adette mutlak değerce M_F 'e eşit momentin dolayısıyla mafsalın oluştuğu varsayımından sağlanır. Ancak problemin büyük sistemlerde el ile çözümü imkansız hale gelmektedir. Bu durumda elektronik hesap makinaları programları kullanılması yerinde olur.

1.3.4. Moment Dağıtım Metodu

Metodda sistem üzerinde dengelenmiş herhangi bir moment alanı varlığı kabul edilerek dengeyi bozmadan momentlerin dağıtılması esas prensiptir. Dağıtım yapılırken sistemi mekanizma durumuna geçirecek mafsalsayısı kadar kesitte momentin M_F 'e ulaşması halinde dağıtım biter. Meydana gelen son durumda momentlerin M_F 'e ulaştığı noktalara birer mafsal konulursa bu durumun göçme mekanizması olduğu kolaylıkla görülebilir.

1.3.5. Metodlar Üzerinde Düşünceler

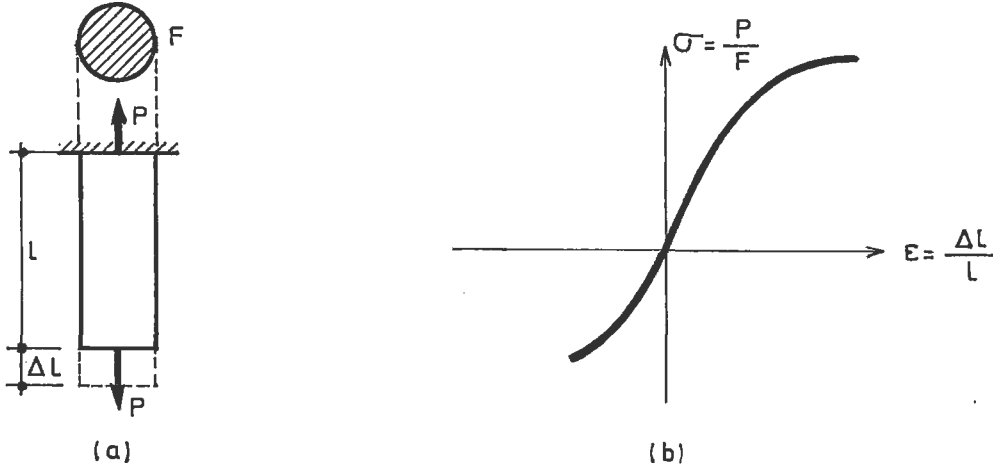
Plastik analiz metodlarında yukarıda sayılan metodlardan da görüleceği gibi hesap yöntemleri değişmekle birlikte esasta sistemin herhangi bir kesitinde o kesitin taşıyabileceği maksimum moment kriter olarak alınmaktadır. Ancak basit mukavemet kriterleri ile hesaplanacak bir M_F momenti, çözümün gerçekliliğini bozmaktadır. Bütün metodlar M_F 'e eşit bir akma momenti varsayımı üzerinde kurulurken M_F 'in hesaplanması ikinci planda kalmaktadır.

Bu arada herhangi bir kesitte oluşan mafsalsalın dönme kapasitesi ile gerilme sınırları eğrileri de sistemde şekil değiştirmeler yönünden önemli olmaktadır. Dolayısıyla bu metodların iyi bir şekilde sonuçlandırılması mafsal oluşumu hakkında daha exact çözümler aranmasını gerektirmektedir. Bu çözümler yapılabildiği takdirde hesap metodları sonucunda bulunan yapı yükleri ve yapı emniyet faktörü gerçeğe daha yakın hesaplanabilecektir.

1.4. ÇELİK VE BENZERİ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ

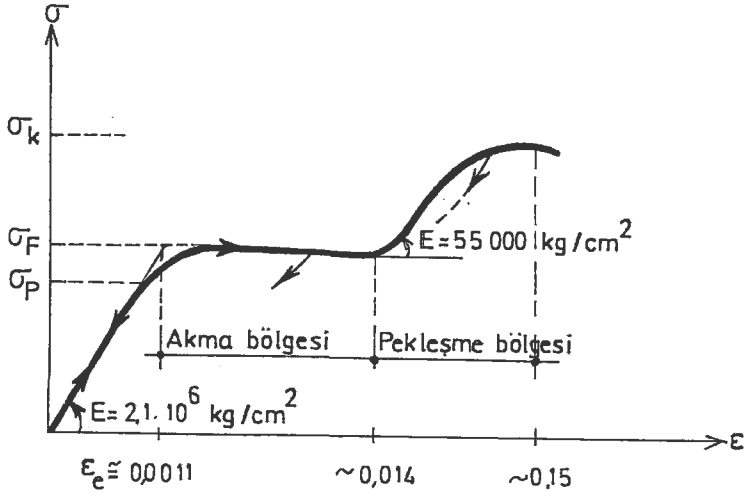
1.4.1. Çelik Malzemenin Mekanik Özellikleri

Çelik malzemenin mekanik özelliği çekme deneyi ile belirlenir. Şekil 1.1(a)'da görülen çubuk aksenal kuvvetin etkisi altında boy değiştirmektedir. Bu çubuğun kesit alanı F , üzerine uygulanan aksenal kuvvette P olursa, P kuvvetinin çeşitli değerlerinden meydana gelen gerilmeler $\sigma = P/F$ ile gösterilir. Çubuğun yüklemeye önceki boyu ℓ ve boy değişimi de $\Delta\ell$ kadar ise birim boydaki uzama $\epsilon = \Delta\ell/\ell$ olarak belirlenir. Eğer $\sigma = P/F$ değerleri ordinat eksenine, $\epsilon = \Delta\ell/\ell$ değerleri de absis eksenine taşınırsa, sonuçta Şekil 1.1(b)'deki $(\sigma - \epsilon)$ gerilme-birim uzama diyagramı elde edilir.



Şekil 1.1

Bünyesinde düşük karbon ihtiva eden çelikten genellikle yumuşak çelik olarak isimlendirilir. St37 çeliği (BÇI) yumuşak bir çeliktir. St37 çeliğinin gerilme-birim uzama diyagramı Şekil 1.2'deki gibidir/14/.



Şekil 1.2

Yukarıda verilen diyagrama bakılacak olursa, çelik malzemenin eğrisinin başlangıçta doğrusal olduğu görülür. Bu doğrusallık "orantılılık sınırı" denilen $\sigma_p = 1920 \text{ kg/cm}^2$ değerine kadar devam eder. Bu bölgede Hooke kanunu geçerlidir. Yani gerilmelerle uzamaların oranı bu sınıra kadar değişmez. Çeliğin elastiklik modülü E 'nin değeri ise bu bölgede $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ kabul edilir ve elastiklik özelliğini kaybetmeye başladığı andaki gerilme değerine de "elastiklik sınırı" denir. Fakat, elastiklik sınırı ile orantılılık sınırı arasındaki fark çok küçük olduğundan bu iki sınırın eşit olduğu söylenilebilir. Daha sonra çubuk üzerine uygulanan yükün arttırılmasıyla çelikte akma olayı görülür, artık yük arttırılmasada çelik akmaya devam eder. Çeliğin akmaya başladığı andaki gerilme değerine "akma sınırı" denir ve σ_F ile gösterilirse, değeri $\sigma_F = 2400 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenir. Eğer uygulanan yükün değeri değiştirilmezse belli bir uzamadan sonra akma olayı sona erer. Akma olayı sonucunda çelik bu bölgede çekme ve basınca karşı yeniden mukavemet kazanır ve pekleşme olayı gerçekleşir. Çeliğin dayanımının arttığı bu bölgeye "pekleşme bölgesi" adı verilir. Bu bölgede çeliğin σ - ϵ eğrisi yavaş yavaş yükselir ve bir noktada en büyük değere ulaşır. İşte çeliğin bu en büyük değerine ulaştığı andaki gerilmeye

"kırılma gerilmesi" denir ve σ_k ile gösterilir. St37 çeliğinde kırılma gerilmesi $\sigma_k=3600\sim 4000$ kg/cm² arasında değişir.

1.4.2. İdealleştirilmiş (p- Δl) Malzeme Eğrileri

Bir cisim p_i dış kuvvetlerinin etkisi altında dengededir ve bu kuvvetler yük parametresi adı verilen bir p parametresi ile orantılı olarak değişmektedir. Bu yük parametresi ve boy değişimi arasındaki bağıntılar birer diyagramla gösterilmektedir (p- Δl diyagramı). Diyagramlarda artan yük parametresi için elde edilen bölüme "yükleme eğrisi", azalan yük parametresi için elde edilen bölüme de "boşaltma eğrisi" denilmektedir.

Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemenin şekil değiştirme özellikleri, p- Δl bağıntısının ancak bir bölgesinde uygulamada karşılaşılan şekil değiştirmelerden birine yaklaşık olarak benzeyebilir. İşte bu nedenle, yapı sistemlerinin hesap edilebilmesi için idealleştirmeler yaparak ideal malzemelerin tanımlanması gerekmektedir.

İdeal malzemelerden başlıcaları şunlardır;

1.4.2.1. Lineer-Elastik Malzeme

Yük parametresinin bütün uygulanan değerleri için şekil değiştirmeleri lineer elastik olan malzemelerdir.

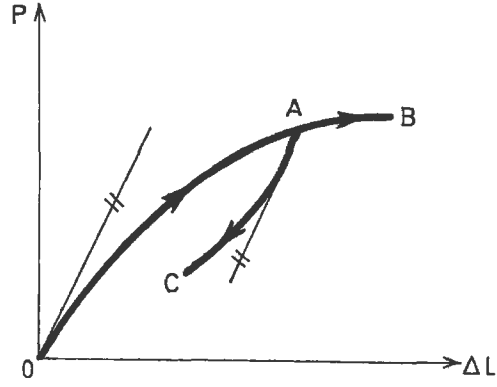
1.4.2.2. Lineer Olmayan Elastik Malzeme

Şekil değiştirmeleri lineer olmayan, fakat yüklemeye ve boşaltma eğrileri çakışan malzemelerdir.

1.4.2.3. Elastoplastik Malzeme

Yüklemeye ve boşaltma eğrileri çakışmayan, fakat boşalt-

ma eğrisinin başlangıç teğeti, yükleme eğrisinin başlangıç teğetine paralel olan malzemelerdir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3

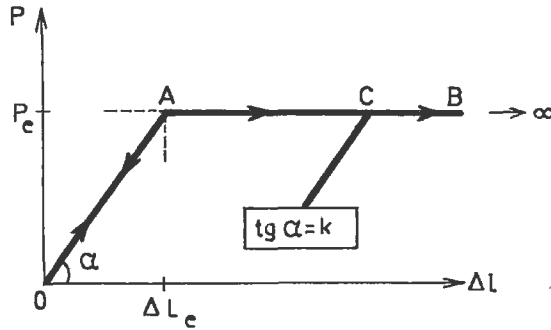
1.4.2.4. İdeal Elastoplastik Malzeme

Bu tür malzemelerde, yükleme eğrisinin

$$OA: 0 \leq \Delta l \leq \Delta l_e \text{ için } p = k \cdot \Delta l$$

$$AB: \Delta l_e \leq \Delta l \leq \infty \text{ için } p = p_e$$

şeklinde iki doğru parçasından meydana geldiği kabul edilmiştir. Boşaltma eğrisi ise $\Delta l \leq \Delta l_e$ için OA ile çakışan, $\Delta l > \Delta l_e$ için OA'ya paralel olan bir doğru parçası olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4

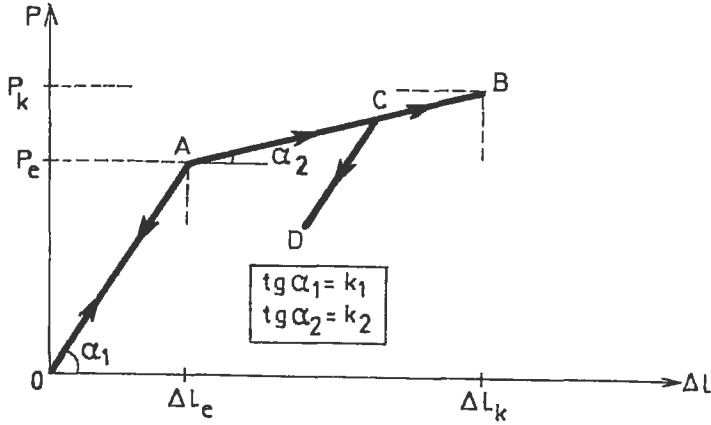
1.4.2.5. Pekleşen İdeal Elastoplastik Malzeme

Pekleşme özelliği gösteren bazı elastoplastik malzemelerde $P-\Delta l$ bağıntısı

$$OA: 0 \leq \Delta l \leq \Delta l_e \text{ için } p = k_1 \Delta l$$

$$AB: \Delta l_e \leq \Delta l \leq \Delta l_k \text{ için } p = p_e + k_2 (\Delta l - \Delta l_e)$$

ile ifade edilen iki doğru parçası şeklinde idealleştirebiliriz. Bu tür malzemelerde boşaltma eğrisinin $\Delta l \leq \Delta l_e$ için OA ile çakıştığı ve $\Delta l > \Delta l_e$ için OA ya paralel olduğu kabul edilmektedir. (Şekil 1.5).



Şekil 1.5

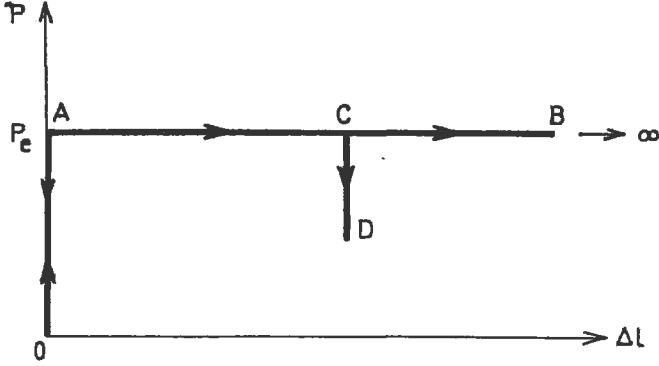
1.4.2.6. Rijit Plastik Malzeme

Lineer-elastik şekil değiştirmelerin terkedildiği bu tür malzemelerde, yükleme eğrisi

$$OA: \Delta l = 0 \text{ için } 0 \leq p \leq p_e$$

$$AB: \Delta l > 0 \text{ için } p = p_e$$

şeklindedir. Boşaltma eğrisi ise $\Delta l = 0$ için OA ile çakışmakta, $\Delta l > 0$ için OA ya paralel olmaktadır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6

1.4.2.7. Lineer Viskoelastik Malzeme

Şekil değiştirmeleri viskoelastik olan ve ayrıca aynı süre içinde meydana gelen viskoelastik şekil değiştirmeleri yük parametresinin değeriyle orantılı olan malzemelerdir. Örneğin; betonun sünmesi (creep, fluage) yaklaşık olarak lineer viskoelastik şekil değiştirme özelliği göstermektedir./14/

1.5. MOMENT TAŞIMA KAPASİTESİ

Bir kesitin taşıyabileceği maksimum moment kesitin bütün liflerinde akma gerilmesine ulaşılması halinde alabileceği momenttir. Bu moment geometrik değişimler ihmal edilirse sonsuz büyüklükte eğrilikler meydana getirir. Aynı zamanda kesitin geometrisine bağlı olup yüklemekten bağımsızdır.

Yapılan kabullerde kesitteki gerilme dağılımını sabittir, denilebilir. Gerçekte gerilme dağılımını sabit olmayıp bir eğri şeklinde değişir. Hesaplarımızda tarafsız eksenin kaymadığı ve gerilmenin bütün kesitte sabit, ve $\sigma_{akma} = \sigma_F$ 'ya eşit olduğu kabul edilmektedir. Burada $E = \text{sabit}$ ve $\sigma_{akma} = \sigma_F$ alınarak bazı kullanılan kesitlerin M_F taşıma momentleri gösterilecektir.

1.5.1. Çeşitli Kesitlerin Moment Taşıma Kapasiteleri

1.4. kısmında açıklandığı gibi herhangi bir kesitin sahip olduğu kiriş şeklinde yükten bağımsız olarak belirli bir momenti taşıdığı görülmektedir. Bu moment herhangi bir emniyet faktörü ile çarpılmamış olup malzemenin adı geçen kesitte bütün liflerinin akma gerilmesine eriştiği andaki momenttir. Burada en dış lifin akma gerilmesine ulaştıktan sonra daha içerdeki liflerin taşımaya yardımcı olup gerilmeleri bu liflerin almaya devam ettikleri kabul edilmektedir. Bu durumda kesitin bütün lifleri akma gerilmesine ulaşınca taşıma kapasitesi sona ermektedir. Bu sırada kesitte oluşan dönmele- rin sonlu oldukları ve kesit dönmeye devam ederken moment ka- pasitesinin sabit kalarak adı geçen yükün taşındığı kabul edilmektedir. Burada moment taşıma kapasitesi olarak adlandı- rılan değerler aşağıda çeşitli kesitler için hesaplanmıştır.

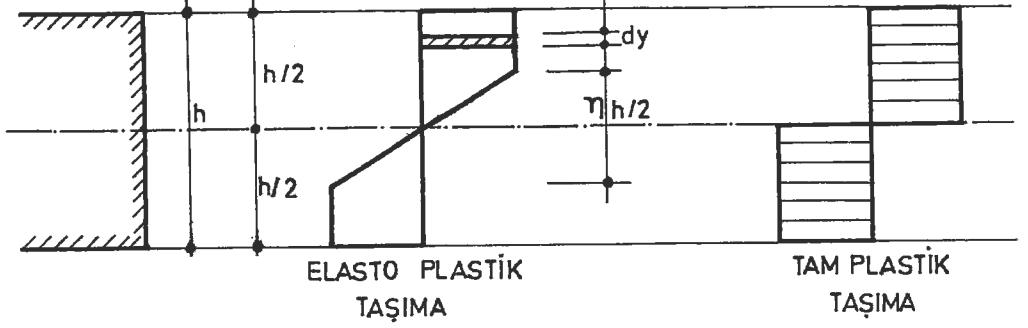
1.5.1.1. Hesaplama Yapılan Kabuller

- a) Malzeme homojen ve ideal elastoplastiktir (Şekil 1.4).
- b) σ_F , çekme-akma ve ezilme-akma gerilmesine eşittir.
- c) Malzemenin bu hallerde elastiklik modülleri sabit- tir.

İdealize gerilme dağılımı ile hesap yapıldığında kesiti- nin taşıma gücünü $M=M_e$ değeri belirtmez, gerilmeler ve uzama- lar lineer olarak değişmekte iken en dış lifteki gerilmenin maksimum değere ulaşması halindeki taşınabilecek momenti be- lirler.

Ancak taşıma gücü yönteminde tariflenen kapasite kesiti- nin bütün liflerinin akma veya ezilme gerilmelerine ulaşması halindeki taşınabilecek momenttir.

Gerilme dağılımını karakterize eden yeni bir eğri kabul ederek idealize edilmiş hesaplar yapılırsa;



Sekil.1.7

Elastoplastik hal için hesap yapılırsa;

$$M=2b \left\{ \int_{h/2}^{h/2} y \cdot dy \sigma_F + \int_0^{\eta h/2} y \cdot dy \sigma_y \right\}$$

$$\sigma_y = \frac{2\sigma_F y}{\eta h} \quad \text{olduğu görülür.}$$

$$M = 2b \left\{ \sigma_F \frac{y^2}{2} \left[\frac{h/2}{\eta h/2} + \frac{2\sigma_F}{\eta h} \frac{y^3}{3} \right]_{\eta h/2}^{\eta h/2} \right\} \quad \text{den}$$

$$M = 2b\sigma_F \left\{ \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\eta^2 h^2}{8} \right] + \frac{2}{\eta h} \left[\frac{\eta^3 h^3}{24} \right] \right\}$$

$$M = \frac{bh^2 \sigma_F}{12} (3 - \eta^2)$$

$M=M_F$ için $\eta=0$ olacağından

$$M_F = \frac{bh^2}{4} \sigma_F \quad \text{olarak tam plastik hal için taşınabilecek}$$

moment bulunur.

Taşıma gücünü elastik ve plastik hal için oranlarsak;

$$M_F = \frac{bh^2}{4} \sigma_F \quad \text{ve} \quad M_e = \frac{bh^2}{6} \sigma_F$$

$$\frac{M_F}{M_e} = \frac{bh^2\sigma_F}{4} \cdot \frac{6}{bh^2\sigma_F} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ bulunur.}$$

Elastoplastik durumda ise bu oran iki bölge için ayrı ayrı incelenir;

I.bölge $\eta h/2 - h/2$

II.bölge $0 - \eta h/2$

Burada M_e ile M_F arasındaki kapasitelerde de lifler akma halindedirler ve kendi halinde kalırlarsa uzamalarının devam etmesi gerekir.

Ancak düzlem kesitleri düzlem kaldığı için şekil değiştirme elastoplastik halde de sınırlı olacaktır.

Taşıma gücünü yine oranlarsak;

$$M_F = \frac{bh^2}{4} \sigma_F \quad M_{ep} = \frac{bh^2}{12} \sigma_F (3-\eta^2)$$

$$\frac{M_F}{M_{ep}} = \frac{3}{3-\eta^2}$$

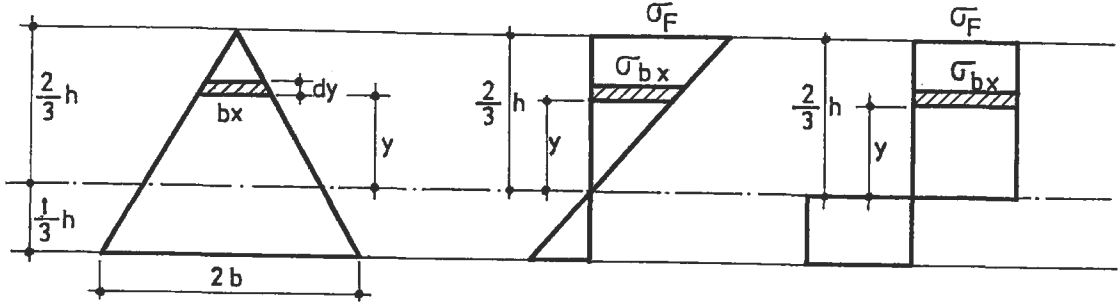
$$M=M_F \quad \eta=0 \quad \text{tam plastik halde} \quad \frac{M_F}{M_{ep}} = 1$$

$$M=M_e \quad \eta=1 \quad \text{tam elastik halde} \quad \frac{M_F}{M_e} = 1,5 \quad \text{olduğu görülür.}$$

1.5.1.2. Üçgen, Daire, I Profil Kesitin Moment Taşıma Kapasitesi

ÜÇGEN KESİT

M_e 'nin Hesabı



Şekil 1.8

$$\frac{\sigma_F}{\frac{2}{3}h} = \frac{\sigma_{bx}}{y} \rightarrow \sigma_{bx} = \frac{3\sigma_F y}{2h}$$

$$dF = b_x \cdot dy \cdot \frac{2b}{b_x} = \frac{h}{\frac{2}{3}h-y} \rightarrow b_x = \frac{2b(\frac{2}{3}h-y)}{h}$$

$$dF = \frac{2b(\frac{2}{3}h-y)}{h} dy$$

$$dM = y \cdot dF \cdot \sigma_{bx}$$

$$dM = \frac{2b(\frac{2}{3}h-y)}{h} y \cdot dy \cdot \frac{3\sigma_F y}{2h}$$

$$dM_e = \frac{2b}{2h^2} 3\sigma_F y^2 (\frac{2}{3}h-y) dy$$

$$dM_e = \frac{3\sigma_F b}{h^2} \int_0^h (\frac{2}{3}h-y) y^2 dy = \frac{3\sigma_F b}{h^2} \int_0^h (\frac{2}{3}hy^2 - y^3) dy$$

$$M_e = - \frac{\sigma_F b h^2}{12}$$

M_F in Hesabı

$$dF = y dF \cdot \sigma_F$$

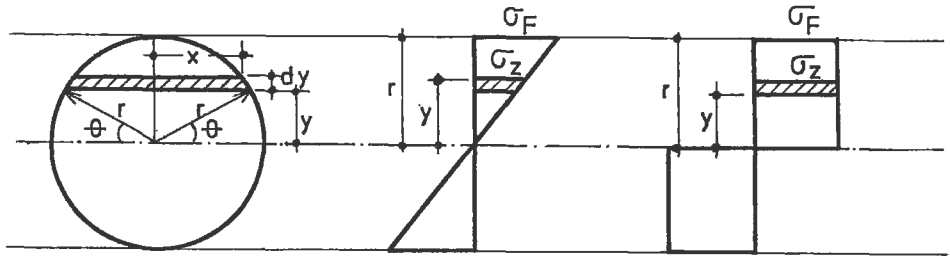
$$dM_F = y \frac{2b(\frac{2}{3}h-y)}{h} dy \cdot \sigma_F$$

$$dM_F = \frac{2b\sigma_F}{h} \int_0^h y(\frac{2}{3}h-y) dy = \frac{2b\sigma_F}{h} \int_0^h (\frac{2}{3}hy-y^2) dy$$

$$M_F = \frac{2b\sigma_F}{h} \left[\frac{2}{3} h \frac{y^2}{2} \Big|_0^h - \frac{y^3}{3} \Big|_0^h \right] = \frac{2b\sigma_F}{h} \left[\frac{h^3}{3} - \frac{h^3}{3} \right] = \frac{2b\sigma_F}{h}$$

DAİRE KESİT

M_F in Hesabı



Şekil 1.9

$$dF = 2x \cdot dy \quad x = \sqrt{r^2 - y^2}$$

$$y = r \sin \theta \quad dy = r \cos \theta d\theta \quad \frac{\sigma_F}{\sigma_z} = \frac{r}{y} \rightarrow \sigma_z = \frac{\sigma_F}{r} y$$

$$dF = 2\sqrt{r^2 - y^2} dy \quad \begin{array}{l} y=r \quad \theta = \pi/2 \\ y=0 \quad \theta = 0 \end{array}$$

$$dM = y \cdot dF \sigma_F = 2\sqrt{r^2 - y^2} y \cdot dy \cdot \sigma_F$$

$$M_F = 2 \cdot 2 \cdot \sigma_F \int_0^r \sqrt{r^2 - y^2} y \cdot dy$$

$$M_F = 4\sigma_F \int_0^{\pi/2} r \cdot \cos\theta \cdot r \sin\theta \cos\theta d\theta$$

$$M_F = 4r^3 \sigma_F \int_0^{\pi/2} \cos^2\theta \sin\theta d\theta$$

$$M_F = 4r^3 \sigma_F \left. \frac{1}{3} \cos^3\theta \right|_0^{\pi/2} = \frac{4}{3} r^3 \sigma_F$$

M_e nin Hesabı

$$dM = y \cdot dF \cdot \sigma_z$$

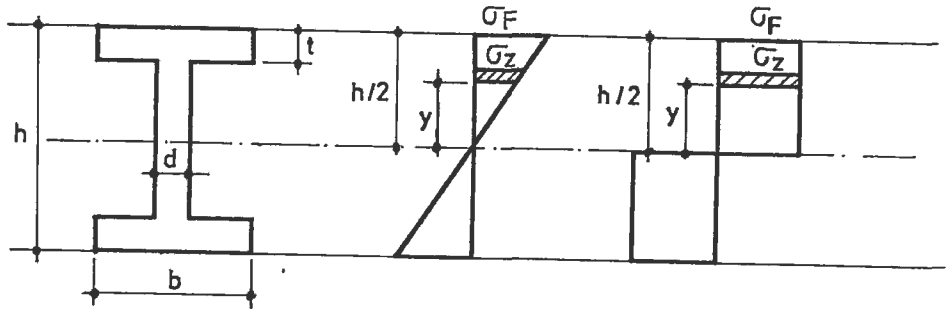
$$M_e = 2 \int_0^r 2\sqrt{r^2-y^2} y \cdot dy \cdot \sigma_z = 2 \int_0^r 2\sqrt{r^2-y^2} y^2 \cdot dy \cdot \frac{\sigma_F}{r}$$

$$= \frac{4\sigma_F}{r} \int_0^r \sqrt{r^2-y^2} y^2 \cdot dy = \frac{4\sigma_F}{r} \int_0^{\pi/2} \sqrt{r^2-r^2 \sin^2\theta} \cdot r^2 \sin^2\theta \cdot r \cos\theta d\theta \text{ dan}$$

$$M_e = \frac{\sigma_F r^3}{2} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{4} \sigma_F r^3 \quad \text{bulunur.}$$

I PROFİL KESİT

M_e nin Hesabı



Şekil 1.10

a) Başlıkta

$$dF = b \cdot dy \quad \frac{\sigma_F}{\sigma_z} = \frac{h/2}{y} \rightarrow \sigma_z = \frac{\sigma_F}{h/2} \cdot y$$

$$dM = y \cdot dF \cdot \sigma_z$$

$$\int_{\frac{h}{2}-t}^{\frac{h}{2}} dM_e = 2 \int_{\frac{h}{2}-t}^{\frac{h}{2}} y \cdot b \cdot dy \cdot \frac{2\sigma_F}{h} y = \frac{4b\sigma_F}{h} \int_{\frac{h}{2}-t}^{\frac{h}{2}} y^2 dy = \frac{4b\sigma_F}{h} \left. \frac{y^3}{3} \right|_{\frac{h}{2}-t}^{\frac{h}{2}}$$

$$M_{e_1} = \frac{4b\sigma_F}{h} \left[\frac{h^3}{24} - \frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} \right]$$

b) Govdede

$$dF = d \cdot dy$$

$$dM = y \cdot dF \cdot \sigma_z$$

$$\int_0^{\frac{h}{2}-t} dM_e = 2 \int_0^{\frac{h}{2}-t} y \cdot d \cdot dy \cdot \sigma_z = 2 \int_0^{\frac{h}{2}-t} y \cdot d \cdot dy \cdot \frac{2\sigma_F}{h} \cdot y = \frac{4d\sigma_F}{h} \int_0^{\frac{h}{2}-t} y^2 dy$$

$$M_{e_2} = \frac{4d\sigma_F}{h} \left[\frac{y^3}{3} \right]_0^{\frac{h}{2}-t} = \frac{4d\sigma_F}{h} \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} \right]$$

$$M_e = M_{e_1} + M_{e_2}$$

$$= \frac{4b\sigma_F}{h} \left[\frac{h^3}{24} - \frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} \right] + \frac{4d\sigma_F}{h} \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} \right]$$

$$= \frac{4\sigma_F}{h} \left[\frac{bh^3}{24} - \frac{b(\frac{h}{2}-t)^3}{3} + \frac{d(\frac{h}{2}-t)^3}{3} \right]$$

$$= \frac{4\sigma_F b}{h} \left[\frac{h^3}{24} - \frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} + \frac{i(\frac{h}{2}-t)^3}{3} \right] \quad \frac{d}{b} = i$$

$$= \frac{4\sigma_F b}{h} \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} (i-1) + \frac{h^3}{24} \right]$$

$$= \frac{4\sigma_F b}{h} \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^3}{3} (\frac{d}{b}-1) + \frac{h^3}{24} \right]$$

M_F Momenti

$$\begin{aligned}
 M_F &= 2 \left[\int_{\frac{h}{2}-t}^{\frac{h}{2}} b \cdot y \cdot dy \cdot \sigma_F + \int_0^{\frac{h}{2}-t} d \cdot y \cdot dy \cdot \sigma_F \right] \\
 &= 2b\sigma_F \left[\frac{y^2}{2} \Big|_{\frac{h}{2}-t}^{\frac{h}{2}} \right] + 2d\sigma_F \left[\frac{y^2}{2} \Big|_0^{\frac{h}{2}-t} \right] \\
 &= 2b\sigma_F \left[\frac{h^2}{8} - \frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} \right] + 2d\sigma_F \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} \right] \\
 &= 2\sigma_F b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} + \frac{d}{b} \frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} \right] \quad \frac{b}{d} = i \\
 &= 2\sigma_F b \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} (i-1) + \frac{h^2}{8} \right] \\
 &= 2\sigma_F b \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} (\frac{b}{d}-1) + \frac{h^2}{8} \right]
 \end{aligned}$$

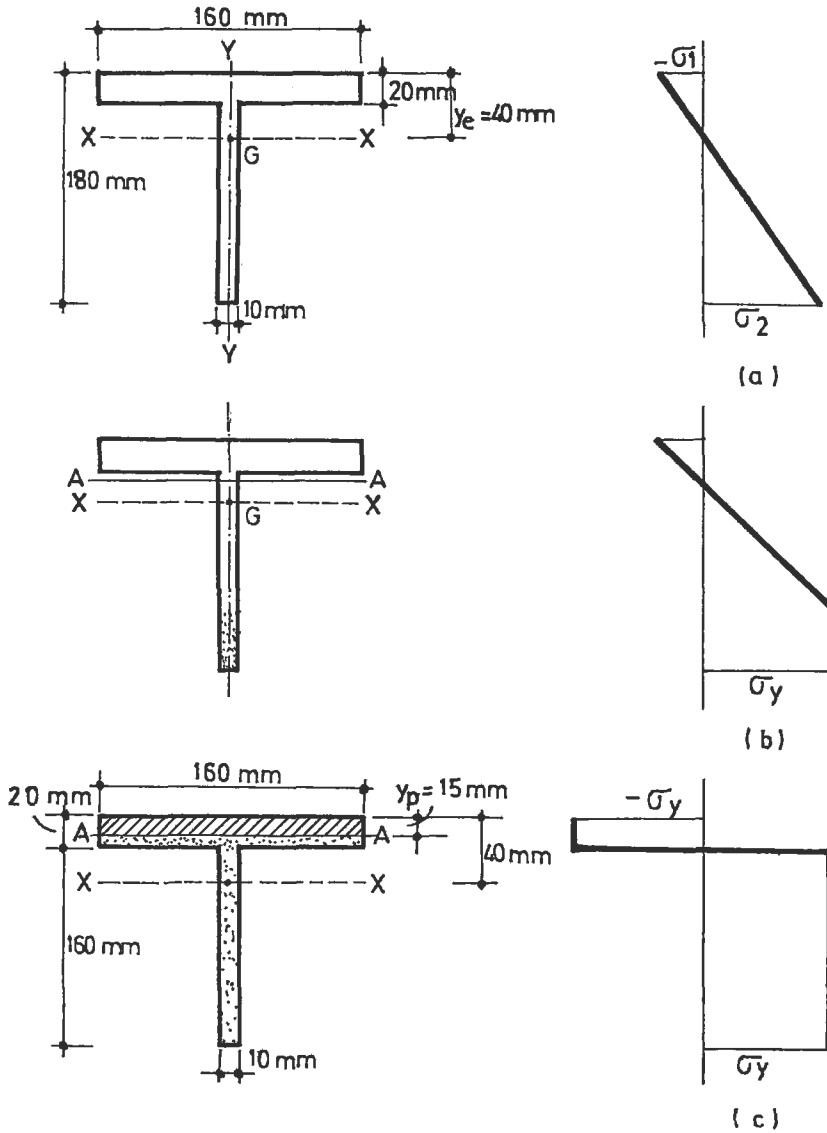
TABLO 1.5.1.2.1. Kesitlerin Taşıma Kapasiteleri

Dikdörtgen Kesit	$M_F = \frac{bh^2}{4}\sigma_F$	$M_e = \frac{bh^2}{6}\sigma_F$
Üçgen Kesit	$M_F = \frac{2b}{h}\sigma_F$	$M_e = -\frac{bh^2}{12}\sigma_F$
Daire Kesit	$M_F = \frac{4}{3}r^3\sigma_F$	$M_e = \frac{\pi}{4}r^3\sigma_F$
I (Profil) Kesit	$M_F = 2b\sigma_F \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} x \left(\frac{b}{d}-1 \right) + \frac{h^2}{8} \right]$	$M_e = \frac{4b}{h}\sigma_F \left[\frac{(\frac{h}{2}-t)^2}{2} x \left(\frac{b}{d}-1 \right) + \frac{h^2}{8} \right]$

BÖLÜM II
KESME KUVVETİ VE EKSENEL YÜK
ETKİSİNDE TAŞIMA KAPASİTESİ

2.1. EKSENEL YÜKÜN PLASTİK MOMENT ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

"Eksenel yükün etkisinde (basınç veya çekme olan) taraflı eksen bir kesiti iki eşit alana bölmez. Çift simetrik eksenli kesitlerin plastik momentleri (dikdörtgen kesitler ve yuvarlatılmış I kesitler gibi) eksenel kuvvetin etkisinde daima azalır fakat monosimetrik kesitlerde simetri düzlemindeki eğilme (Şekil 2.1'deki gibi) düzgün değildir. Bu üç tip kesit sırayla incelenecektir. Eksenel basınç ve gerilmenin etkisi aynıdır fakat eksenel basınç durumunun pratikte etkisi daha büyüktür (Şekil 2.1).



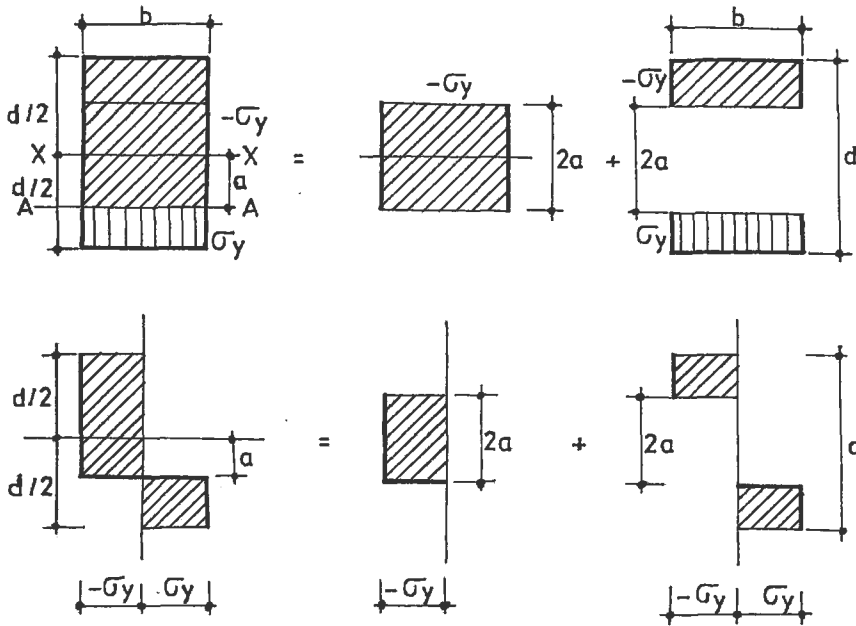
Şekil 2.1

Tek simetri eksenli kesitlerin elasto-plastik eğilmesi

2.1.1. Eksenel Basınç Etkisinde Dikdörtgen Kesitler

Şekil 2.2'deki dikdörtgen kesit için p eksenel basıncı altında plastik tarafsız eksen AA, ağırlık merkezinden geçen XX ekseninden a kadar uzaklaşır ve şekildeki gerilme dağılımını verir. Eksenden etki eden p basıncı ve XX sentroid eksenini etrafındaki M_p ' eğilme momentinin birleşik etkisinde kesit tamamen plastiktir.

M_p ' ve p arasındaki ilişki Şekil 2.2(b) ve (c)'de görüldüğü gibi, iki dağılım bileşenin meydana getirdiği toplam gerilme dağılımını çift simetri eksenli kesit göz önüne alınarak elde edilebilir. Şekil 2.2(b)'deki gerilme dağılımı eksenel basınçtan meydana gelmiştir fakat eğilme momenti yoktur. Tersine Şekil 2.2(b)'de eğilme momentinin etkisi vardır fakat basıncın etkisi yoktur.



Şekil 2.2

Eksenel Basınç Etkisindeki Dikdörtgen Kesitlerde Plastik Eğilme

Böylece;

$$p = 2a.b.\sigma_y \quad (2.1)$$

$$M_p' = \frac{bd^2}{4} \sigma_y - ba^2 \sigma_y \quad (2.2)$$

Buradaki M_p' değeri, $2a$ derinlik kaybından dolayı kaybedilen $b.a^2 \sigma_y$ momentinin tüm kesitin plastik momentinden çıkarılmasıyla elde edilir.

Eğer kesit sadece aksenal basınç etkisinde plastik olsaydı basınç değeri $P_p = A\sigma_y = b.d.\sigma_y$ olacaktı, burada A kesitin alanıdır. P_p basıncı "ezme yükü" olarak bilinmektedir. Böyle bir yüke maruz kalan kısa bir numune aksenal olarak tam bir plastik deformasyona uğrayacaktır (makul uzunluktaki bir numune uniform olarak deforme olmayacak burkulacaktır).

$\frac{P}{P_p}$ oranı $\left[= (P/A)/\sigma_y = \text{ortalama aksenal gerilme/deformasyonu} \right]$ oluşturulan gerilme n ile ifade edilecektir (ezme yükü oranı). Böylece (2.1) eşitliğinden $a=nd/2$ ve $M_p' = Z_p' . \sigma_y$, koyarak

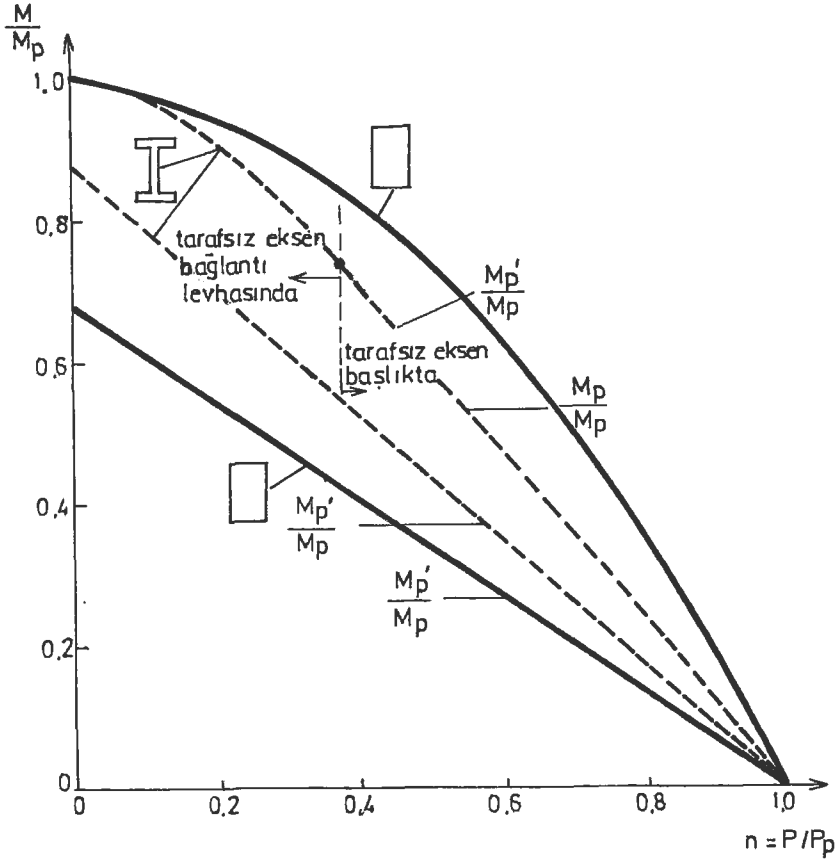
$$Z_p' = (1-n^2) Z_p \quad (2.3)$$

elde edilir.

Burada Z_p' aksenal basıncın etkisi için hesaba katılan modifiye edilmiş plastik modüldür.

Böylece plastik moment $M_p' \left[= (1-n^2) Z_p \sigma_y \right]$, $P=A.n.\sigma_y$ basıncı ile Şekil 2.3'ün üst kısmında görüldüğü gibi parabolik olarak değişir ve ezme yükünde sıfır olur. Bu davranış M_y' momentinin ilk deformasyondaki lineer azalmasıyla karşılaştırılabilir. Bu durum Şekil 2.3'ün alt kısmındaki doğrudan görü-

mektedir $\left[M_{y'} = (1-n) Z_e \cdot \sigma_y = \frac{2}{3} (1-n) Z_p \cdot \sigma_y \right]$

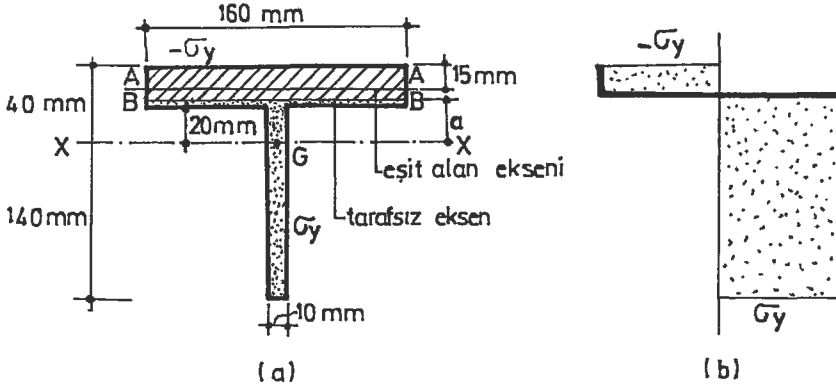


Şekil 2.3

Eksenel Basıncın Dikdörtgen ve I Kesitlerdeki Plastik Momentler Üzerinde Etkisi

2.1.2. Eksenel Basıncın Etkisinde Simetrik Olmayan Kesitler

Eksenel yükün sıfır olması halinde Şekil 2.1'deki I kesiti için tam plastik bölgedeki tarafsız eksen Şekil 2.1(c) deki AA eşit alan eksenidir. Eksenel basınç veya çekme etkisinde tarafsız eksen eğilme momentinin işaretine ve eksenel yükün değerine ve şekline bağlı olarak bağ levhası ya da başlık üzerindedir. Kabul edelim ki kesit eğilme momentinin etkisindedir ve tarafsız eksen BB (Şekil 2.4.a) merkez eksenden a uzaklığındaki başlık üzerindedir. Gerilme dağılımı Şekil 2.4(b)'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.4

Eksenel Basıncın Etkisinde Teksimetri Eksenli Kesitlerin Eğilmesi

Eğer $n\sigma_y$ ortalama aksenal basınç gerilmesi ise kesitin alanı 4800 mm^2 olduğuna göre aşağıdaki bağıntı gerçekleşir.

$$4800 n\sigma_y = 160(40-a)\sigma_y - 160(a-20)\sigma_y - 10 \cdot 160\sigma_y$$

Tarafsız eksenin başlıkta olması halinde $20 \leq a \leq 40$ olacağından $-1 \leq n \leq \frac{1}{3}$.

Eğer eğilme momenti M_p' nün sentroid eksen XX'den etki ettiği kabul edilirse, bu durumda

$$M_p' = \frac{160(40^2 - a^2)}{2} \sigma_y - \frac{160(a^2 - 20^2)}{2} \sigma_y + \frac{10(140^2 - 20^2)}{2} \sigma_y$$

Eksenel yükün sıfır olması durumunda M_p plastik momenti $10^3 \times 156\sigma_y$ 'dir. Sadeleştirmeden sonra,

$$\frac{M_p'}{M_p} = \frac{1600 - a^2}{975} = \frac{1}{13} (1+n)(13-3n) \quad (2.4)$$

$n=-1$, $a=40$ ve $M_p=0$ olduğunda, tüm kesit plastik gerilme halindedir. Tarafsız eksenin başlıkta olduğu diğer limit hali gözönüne alındığında ($n=\frac{1}{3}$, $a=20$) $M_p' = \frac{16}{13} M_p$ olur. Böylece uygulanan aksenal yük plastik momentte bir artış meydana getirir. İlk bakışta bu kural dışı görülse bile hatırlanmalıdır ki elastik bölgede simetrik olmayan kesitte ilk deformasyonu yaratan kuvvet aksenal kuvvetle arttırılabilir.

Bu durumda eğilme momenti sentroid eksenini XX yerine eşit alan eksenini AA etrafında ölçülürse

$$\frac{M_p'}{M_p} = 1 - \frac{3}{13} n^2 \quad (2.5)$$

bulunur.

Tarafsız eksenin başlıkta kalması sağlanmış olur. Böylece $n=0$ olduğunda bu hal için M_p' max.dur. Diğer taraftan $n=-1$ olduğunda ki bu durum tüm kesitin plastik gerilmede olduğunu ifade eder, plastik moment değeri sıfır değil $\frac{10}{13} M_p$ dir. Gerçekte eğilme momentinin hangi ekseninde ölçüldüğü çok büyük değişiklik yapmaz.

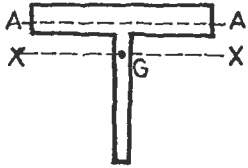
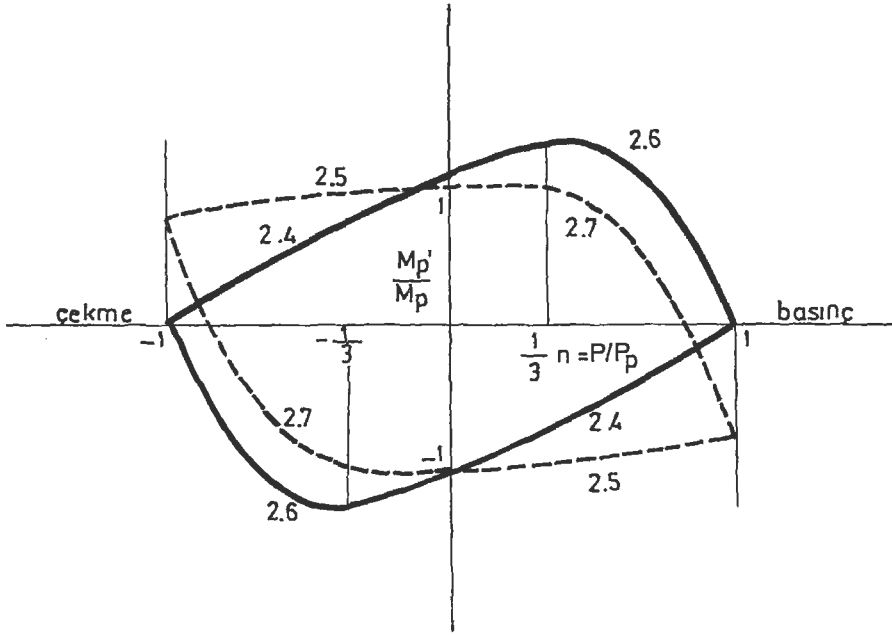
Tarafsız eksenin bağ levhasında olduğu durum için ($\frac{1}{3} \leq n \leq 1$) çözüm benzer şekildedir ve aşağıdaki sonucu verir. Sentroid eksenini etrafında

$$\frac{M_p'}{M_p} = \frac{8}{13} (1-n)(1+6n) \quad (2.6)$$

ve eşit alan eksenini etrafında

$$\frac{M_p'}{M_p} = \frac{8-5n-6n^2}{13} \quad (2.7)$$

Şekil 2.5'de tam sonuçlar grafik olarak sunulmaktadır. Sürekli eğriler sentroid eksenini etrafındaki gerilmeye ve kesikli eğriler eşit alan eksenini etrafındaki gerilmeye karşı gelirler. Grafik, eğilme momentinin mevcudiyeti halinde aksenal gerilme için olduğu kadar aksenal basınç için de mümkün olan bütün durumları kapsar.



- Ağırlık merkezinden geçen XX eksenini üzerindeki momentler
- - - Eşit alan oluşturan AA eksenini üzerindeki momentler
- (2.5) Denklem numaraları

Şekil 2.5

Şekil 2.4(a)'daki Kesit için Aksenal Kuvvet ile Plastik Momentinin Değişimi

2.2. KESME KUVVETİNİN PLASTİK MOMENTE ETKİSİ

Bir kiriş için Bernoulli elastik eğilme teorisi sadece kirişin uniform momente maruz olması hali için doğrudur. Uçlara uygulanan momentler teoriden çıkarılan elastik gerilme dağılımları ile aynı şekilde uygulandığından (sentroid ekseninden uzaklaştıkça lineer olarak değişim gösterir). Kiriş, uçlardaki yükleme şartlarındaki kusurları yok edecek kadar uzun olmalıdır. Kesme kuvveti ile birlikte uniform olmayan elastik eğilme sadece Bernoulli teorisinde yaklaşık olarak ele alınır ve doğru bir çözüm sadece her bir problem detaylı olarak ele alındığında elde edilir. Bir elastik elemanın kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti cinsinden gerilme dağılımı tüm yükleme ve mesnet şartlarına bağlıdır. Aynı şey uniform olmayan elasto-plastik eğilme için de geçerlidir. Kesin çözümler bulunmamış fakat çeşitli üst ve alt sınır kabulleri tavsiye edilmiştir (Örneğin Green/2/, Horne/1/) ve tam çözüm için nümerik bir metod Neal/3/ tarafından tariflenmiştir. Pratik problemlerde kesme etkisi genellikle ufaktır ve yaklaşık alt sınır şartlarını veren çözümler, zaten mevcuttur. Daha fazla geniş bilgi için Neal/3/'e başvurulabilir.

Birleşik gerilme altında deformasyona başlatan kuvvet için bir kriter kabul etmek gerekir. Bu kriterlerden en fazla kullanılan iki tanesi Tresca (max. kayma gerilmeleri kriteri) ve von Mises (burulma yüksek enerjisi ve okteadral kayma gerilmeleri) dir. Bir düzlem gerilme şartına uygulandığında ki bu durumda bir düzlem normal gerilme σ ve kayma gerilmesi τ tarafından etkilenir ve dik açılı düzlem olması halinde sadece tamamlayıcı kayma gerilmesi tarafından etkilenir (normal gerilme sıfır), Tresca kriteri aşağıdaki formu alır

$$\sigma^2 + 4\tau^2 = \sigma_y^2 = 4\tau_y^2 \quad (2.8)$$

Burada σ_y sadece gerilme veya basınç halinde de-
formasyona başlatan gerilmedir ve τ_y ise sadece kesme halinde de-
formasyona başlatan gerilmedir. Von Mises kriteri aşağıdaki
formu alır.

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_y^2 = 3\tau_y^2 \quad (2.9)$$

Her iki kriter aşağıdaki ilişki ile ifade edilebilir.
Bu yüzden de aşağıdaki durumda kullanılabilir.

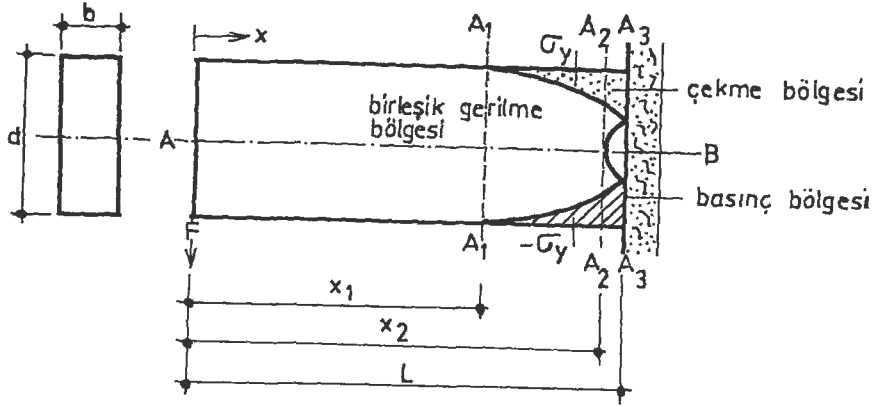
$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_y}\right)^2 = 1 \quad (2.10)$$

2.2.1. Dikdörtgen Kesitlerde Kesme Kuvvetinin Etkisi

Şekil 2.6'daki merkezden geçen AB doğrusunu sınırlayan
dikdörtgen kesit bxd, B ucundan ankastre ve A ucunda da tekil
I yüküne maruz bulunsun. Gerilme ve basınçta plastik bölgeler
A ucundan X_1 uzaklığındaki A_1-A_1 kesitinin sağına yayılacak-
tır. Burada;

$$F.X_1 = M_y = \left(\frac{bd^2}{6}\right)\sigma_y \quad (2.11)$$

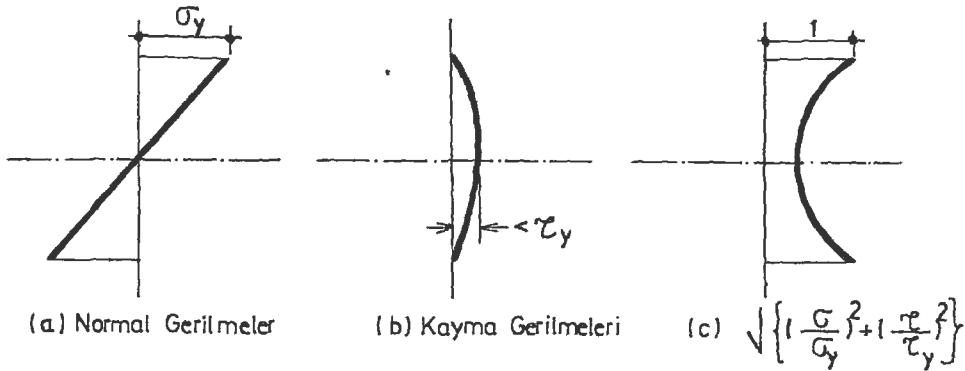
Basit elastik eğilme teorisini kullanarak A_1-A_1 kesitindeki normal gerilmeler Şekil 2.7(a) da görüldüğü gibi li-
neer olarak dağılacaktır. Buna karşılık kayma gerilmeleri pa-
ربولik olarak dağılacaktır. Şekil2.7(b) dik bir düzlemde en
büyük kayma gerilmesi merkez ekseninde oluşur ve değeri
 $3/2 (F/bd)$ dir. Bu, sadece kayma durumundaki de-
formasyona başlatan gerilme τ_y 'den küçük olacağından 2.11 eşitliğinden
sağlanabilir.



Şekil 2.6

Bir Konsolda Plastik Bölgeler Üzerinde Kayma Gerilmelerinin Etkisi

Burada $X_1/d > \frac{1}{4} (\sigma_y/\tau_y)$ ve $X_1/d > 0,500$ 'dir (Tresca kriteri için). von Mises kriteri için $X_1/d > 0,433$ 'tür. Böylece deformasyon sadece çekme ve basıncın olduğu durumda dış liflerde olacak ve bu durum sadece kesme olduğu durumda merkezdeki liflerden önce başlayacaktır. Elastik davranış şartı olan $(\sigma/\sigma_y)^2 + (\tau/\tau_y)^2 < 1$ eşitliği ifadesinin ekstrem lifler hariçindeki her yerde sağlandığı görülmüştür Şekil 2.7(c).



Şekil 2.7

Şekil 2.6'daki A₁A₁ Kesiti Üzerindeki Gerilmelerin Dağılımı

$X > X_1$ için çekme ve basınç plastik bölgeleri büyüyeceğinden kesme kuvveti tamamen elastik çekirdek tarafından alınacaktır ve merkez eksenindeki kayma gerilmesi τ_y 'ye ulaşmaya kadar artacaktır. Bu olay A_2-A_2 gibi bir kesitte olur (Şekil 2.6). Normal ve kayma gerilme dağılımları ise Şekil 2.8(a) ve (b)'de görüldüğü gibi olur. $2y_0$ derinliğindeki elastik çekirdek boyunca kayma gerilmeleri parabolik olarak dağılır. Böylece

$$FX_2 = M = \frac{b}{4} (d^2 - 4y_0^2) \sigma_y + \frac{2}{3} by_0^2 \sigma_y \quad (2.12)$$

Burada;

$$M = b \left(\frac{d^2}{4} - \frac{y_0^2}{3} \right) \sigma_y \quad (2.13)$$

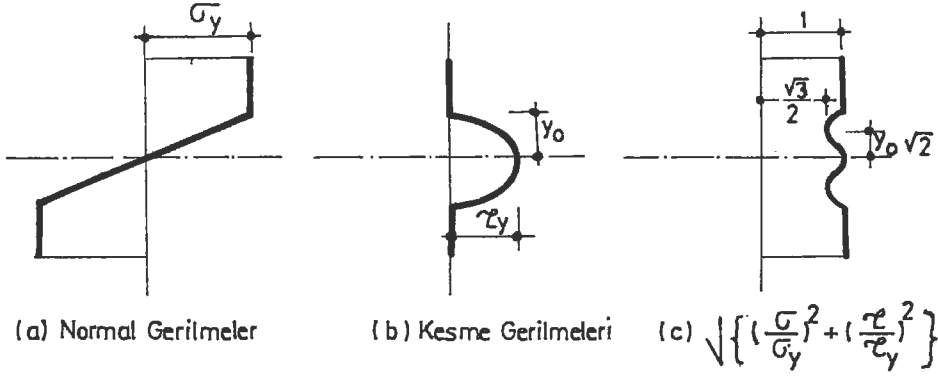
$$F = \frac{4}{3} by_0 \cdot \tau_y \quad (2.14)$$

$\sqrt{\left\{ \left(\frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_y} \right)^2 \right\}}$ değeri Şekil 2.8(c)'de görülmektedir ve deformasyona başlatma kriterine hemen hemen tüm kesit boyunca ulaşılmaktadır. Böylece 2.13 ve 2.14 eşitlikleriyle tariflenen M ve F 'in birleşimleri tam plastisiteyi elde etmek için hemen hemen yeterlidir.

$$M_p = \frac{bd^2}{4} \sigma_y$$

$$F_p = bd \cdot \tau_y \quad (2.15)$$

(2.13) ve (2.14) eşitliklerindeki y_0 yok edilirse aşağıda görülen M_p ' azaltılmış plastik momenti için alt sınır tahmin değeri elde edilir.



Şekil 2.8

Şekil 2.6'daki A_2A_2 Kesiti Üzerindeki Gerilmelerin Dağılımı

$$\frac{M_p'}{M_p} = 1 - \frac{3}{4} \left(\frac{F}{F_p}\right)^2 \quad (2.16)$$

Bu durum $y_0 = d/2$ olduğundaki F değerlerine kadar geçerlidir. (2.14) eşitliğinden,

$$\frac{F}{F_p} \leq \frac{2}{3} \quad (2.17)$$

olduğunda uygulanabilir.

(2.16) eşitliği kesme kuvvetinin mevcudiyeti halindeki plastik moment için emniyetli bir değer verir. Horne/2/ yatay düzlemlere etki eden normal gerilmeleri de göz önüne alarak plastik bölgelerin A_2-A_2 ve A_3-A_3 arasında bulunduğunu varsayarak daha az tutucu bir yaklaşımda bulunmuştur. Tresca deformasyona başlatma kriterini kullanarak A_3-A_3 kesitindeki M_p' plastik momenti aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$\frac{M_p'}{M_p} = 1 - 0.444 \left(\frac{F}{F_p}\right)^2 \quad (2.18)$$

$$\frac{F}{F_p} \leq 0,792 \quad (2.19)$$

için sağlanır.

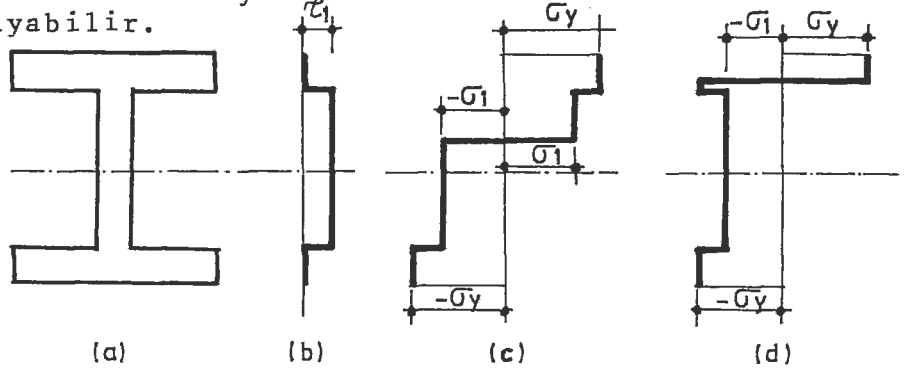
Bu yaklaşımlar kesme kuvvetlerinden meydana gelen plastik momentte bir azalma yaratır. Şekil 2.6'daki A_3-A_3 kesiti düzlem kalmaya zorlanırsa bu kesitteki mukavemet momenti bir dizi F/F_p değerleri için M_p değerini aşar. Bunun sebebi plastik deformasyondaki tahdittir (Green/2/). Bununla birlikte 2.16 veya 2.18 eşitliklerindeki gibi alt sınır çözümleri, yükleme ve mesnet şartları ne olursa olsun kesme kuvvetinin plastik mesnet değerleri üzerindeki etkisi için gerekli olduğu göz önüne alınırsa genellikle kabul edilebilir.

2.3. KESME KUVVETİ VE EKSENEL YÜK ALTINDAKİ PLASTİK MOMENTLER

Bu problem için kesin çözüm yoktur fakat tasarımda kullanılabilen yaklaşık ifadeler (Horne/4/) çıkartılabilir. Şekil 2.9(a)'daki I kesiti M_p plastik momentine, kesme kuvveti F ve aksenal basınç p 'nin mevcudiyeti halinde sahip ise kesmenin bağ levhasının altında uniform bir gerilme gibi dağıldığı kabul edilebilir, $\tau_1 = F/d't_w$. Bu durumda bağ levhasındaki boyuna gerilme $\pm\sigma_1 = \pm\sigma_y \sqrt{1-(\tau_1/\tau_y)^2}$ ve başlıklarda $\pm\sigma_y$ 'dir. $p < d't_w \sigma_1$ olduğunda boyuna gerilme dağılımı Şekil 2.9(c)'de görüldüğü gibidir ve $p > d't_w \sigma_1$ olduğunda Şekil 2.9(d)'de görüldüğü gibidir.

M_p ' nün hesabı özellikle Şekil 2.9(d)'deki dağılım için karmaşıktır. Ancak bunun iyi yönü de kesme kuvvetlerinin nadiren plastik momentte dikkati çekecek kadar azalmaya sebep olacak ölçüde büyük olmasıdır. Pratik bir yol gösterici olarak aksenal yükün plastik moment üzerindeki etkisi ortalama aksenal gerilme $0,1\sigma_y$ 'den küçük olduğunda genellikle ihmal edilebilir.

Bunun yanında kesme kuvvetinin etkisi bağ levhasındaki ortalama kayma gerilmesi $0,5 \tau_y$ 'den küçük olduğunda genellikle dikkate alınmayabilir.



Şekil 2.9

(a) Kesme Kuvveti ve Aksenal İtme Etkisi İle Tahmin Edilen Plastik Momentler İçin I Kesitlerdeki Gerilme Dağılımları, (b) Kesme Gerilmeleri, (c) Tarafsız Eksen Bağlantı Levhasında - Normal Gerilmeler, (d) Tarafsız Eksen Başlık Üzerinde - Normal Gerilmeler.

2.4. KESME KUVVETİ VE EKSENEL BASINÇ İÇİN MÜSAADE EDİLEN GÖÇME YÜKÜ HESABI

Tek açıklıklı rijit çerçevelerin rijit-plastik göçme yükleri üzerinde kesme kuvveti ve aksenal basıncın etkisi oldukça ufaktır. Bundan dolayı göçme modülü ve yaklaşık göçme yükü başlangıçta plastik momentlerdeki azalmalar ihmal edilerek hesaplanırlar. Daha sonra bu yaklaşık değerler plastik mesnetlerdeki kesme kuvvetleri ve aksenal basınçlar için türetilirler. Plastik mesnet momentlerinin azaltılmış değerleri ve bu azaltılmış değerlerle tekrar hesaplanan göçme yükü daha sonra hesaplanabilir. Eğer istenirse kesme kuvveti ve aksenal basıncın yenidoğerleri azaltılmış plastik momentleri tekrar hesaplamak için kullanılabilir ve işlem tekrarlanabilir. Ancak bu tekrar genellikle ihmal edilebilecek bir fark yaratacaktır. Bağ levhası kalınlığının kesme kuvveti tarafından kritik olarak bulunduğu yüksek giriş ve ağır yüklenmiş sürekli döşeme sis-

temlerinde olasılık dahilinde olmasına rağmen düzeltilmiş plastik momentlerin göçme mekanizmasını islah edeceği hemen hemen hiç bulunamamıştır.

Ortalama aksenal gerilmelerin yüksek değerlere ulaştığı yapılarda aksenal yükten meydana gelen plastik momentlerdeki azalma büyük değerler alabilir ve bu durumda çözümün başlangıcında aksenal kuvvetlerin ve azaltılmış plastik momentlerin tahmin edilmesi bir avantajdır. Aksenal yükleri içine alan tüm durumlarda dengesizlik etkileri potansiyel olarak önemlidir. Eğilmeye karşı önlem alınmamış yapılarda dengesizlikten (veya geometri değişiminden) meydana gelen göçme yüklerinin azaltılması, azaltılmış plastik momentlerden dolayı taşıma kapasitesinin azaltılmasından daha önemlidir."/10/

2.5. ÇEŞİTLİ MESNET ŞARTLARINDA PLASTİK MAFSAL OLUŞUMU

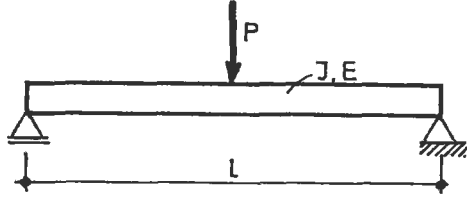
Taşıyıcı sistemlerin mesnet şartlarına bağlı olarak moment taşıma kapasiteleri değişmez. Daha önce de (1.5) açıklandığı gibi taşıma kapasitesi kesitin şekline bağlıdır.

Ancak mesnet şartları etkisi altında mafsal oluşan kesitte mafsalin taşıma kapasitesinin yanında mafsalin hangi şekilde oluştuğu yani boyuna eksen istikametinde ne kadar genişlediği, ayrıca genişleme sırasında hangi şekli aldığı da bilinmelidir.

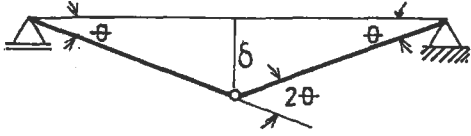
2.5.1. Basit Kiriş

Basit kirişte plastik mafsal oluşumu, sistemin üzerindeki hiperstatiklik derecesinden bir fazla mafsala sahip olmasıyla gerçekleşir. Sistemi bu hale geçiren en küçük p kuvvetinin değeri de virtüel iş metoduyla hesaplanabilir. Bu metod gereğince sistem üzerindeki kuvvetlerin yaptığı dış iş, iç kuvvetlerin yaptığı işe eşittir.

2.5.1.1. Tekil Yük İle Yüklü

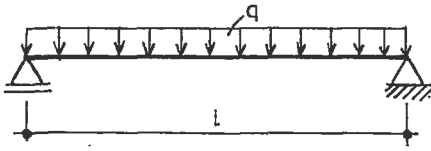


$$\begin{aligned} M_i &= M_e \\ M_F 2\theta &= p \cdot \delta \\ M_F 2\theta &= p \cdot \theta \cdot \frac{l}{2} \\ M_F &= \frac{pL}{4} \end{aligned}$$

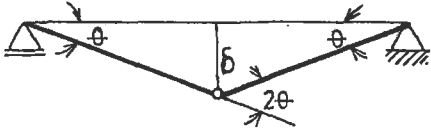


Şekil 2.10

2.5.1.2. Yayıllı Yük ile Yüklü



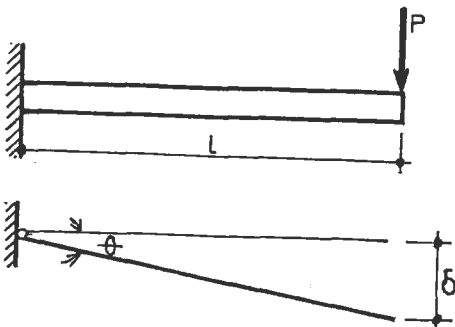
$$\begin{aligned} M_i &= M_e \\ M_F 2\theta &= q \cdot \delta \\ M_F 2\theta &= \frac{qL}{2} \cdot \theta \cdot \frac{L}{2} \\ M_F &= \frac{qL^2}{8} \end{aligned}$$



Şekil 2.11

2.5.2. Konsol Kiriş

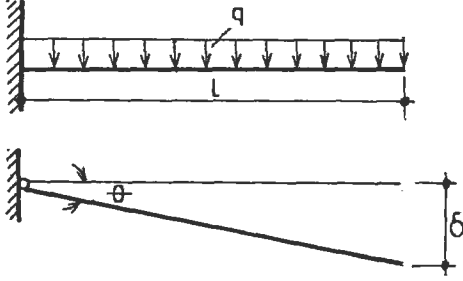
2.5.2.1. Tekil Yük ile Yüklü



$$\begin{aligned} M_i &= M_e \\ M_i &= p \cdot \delta \\ M_F \theta &= p \cdot \theta \cdot L \\ M_F &= p \cdot L \end{aligned}$$

Şekil 2.12

2.5.2.2. Yayıllı Yük İle Yüklü



Şekil 2.13

$$M_i = M_e$$

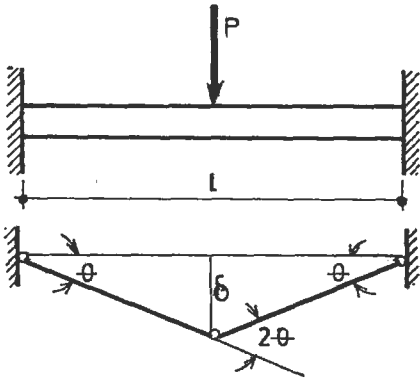
$$M_F \theta = q \cdot L \cdot \delta / 2$$

$$M_F \cdot \theta = q \cdot L \cdot \theta \cdot L / 2$$

$$M_F = \frac{q \cdot L^2}{2}$$

2.5.3. Ankastre Kiriş

2.5.3.1. Tekil Yük İle Yüklü



Şekil 2.14

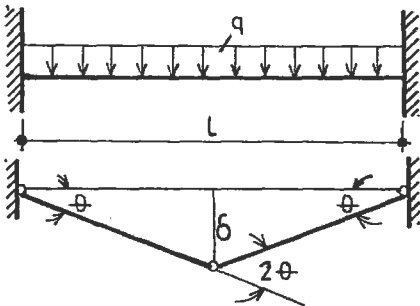
$$M_i = M_e$$

$$M_F \cdot 4\theta = P \cdot \delta$$

$$M_F \cdot 4\theta = P \cdot \frac{L}{2} \cdot \theta$$

$$M_F = \frac{P \cdot L}{8}$$

2.5.3.2. Yatıllı Yük İle Yüklü



Şekil 2.15

$$M_i = M_e$$

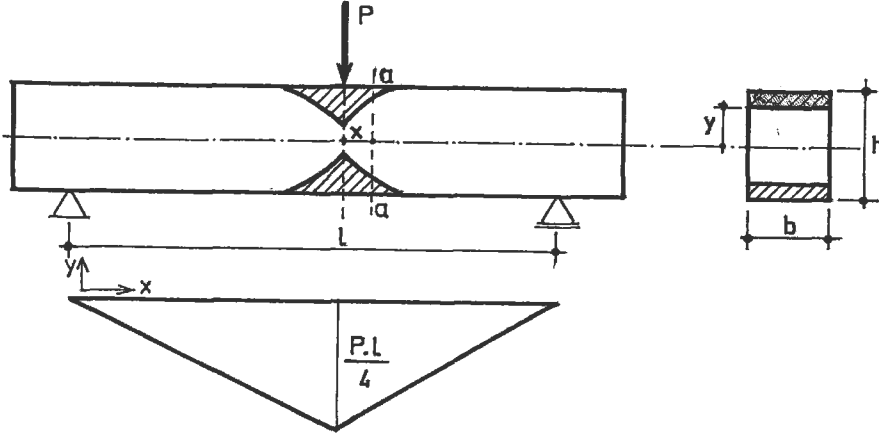
$$M_F \cdot 4\theta = q \cdot \frac{L}{2} \cdot \delta$$

$$M_F \cdot 4\theta = \frac{qL}{2} \cdot \frac{L}{2} \cdot \theta$$

$$M_F = \frac{qL^2}{16}$$

2.6.1. Basit Kiriş

2.6.1.1. Tekil Yük İle Yüklü



Şekil 2.17

$$M(x) = A\left(\frac{l}{2} - x\right) = \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - x\right) \quad x \text{ uzaklığındaki moment}$$

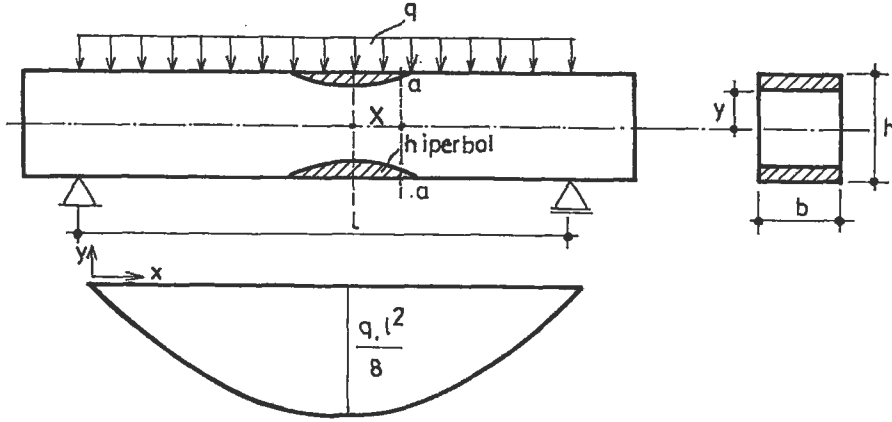
$$M = \frac{2}{3} b\sigma_F y^2 + b\sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) \quad \text{kesit içersinde taşınan moment}$$

a-a kesitinde;

$$\frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - x\right) = \frac{2}{3} b\sigma_F y^2 + b\sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) \quad \text{buradan}$$

$$x = \frac{b}{P} \left(\frac{2\sigma_F}{3} y^2 - \frac{\sigma_F \cdot h^2}{2}\right) + \frac{l}{2} \quad \text{bulunur.}$$

2.6.1.2. Yayıllı Yük İle Yüklü



Şekil 2.18

x uzaklığındaki moment;

$$M_{(x)} = A\left(\frac{l^2}{4} - x^2\right) \quad (A \text{ katsayı})$$

$$x = 0 \quad M = \frac{qL^2}{8} \quad A = \frac{q}{2} \quad M_{(x)} = \frac{q}{2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2\right)$$

$$\text{Kesit tarafından taşınan } M = \frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)$$

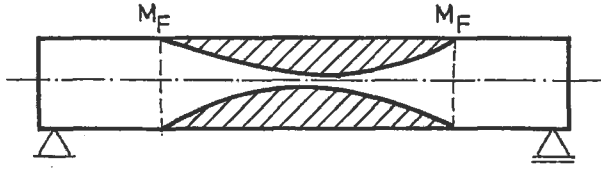
a-a kesitinde;

M'ler eşitlenirse y cinsinden bir denklem çıkar;

$$\frac{q}{2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2\right) = \frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + \sigma_F b \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{q l^2}{8} - \frac{b h^2}{4} \sigma_F}}{\frac{q}{2}} = \frac{\frac{y^2}{\frac{q l^2}{8} - \frac{b h^2}{4} \sigma_F}}{\frac{\sigma_F b}{3}} = 1$$

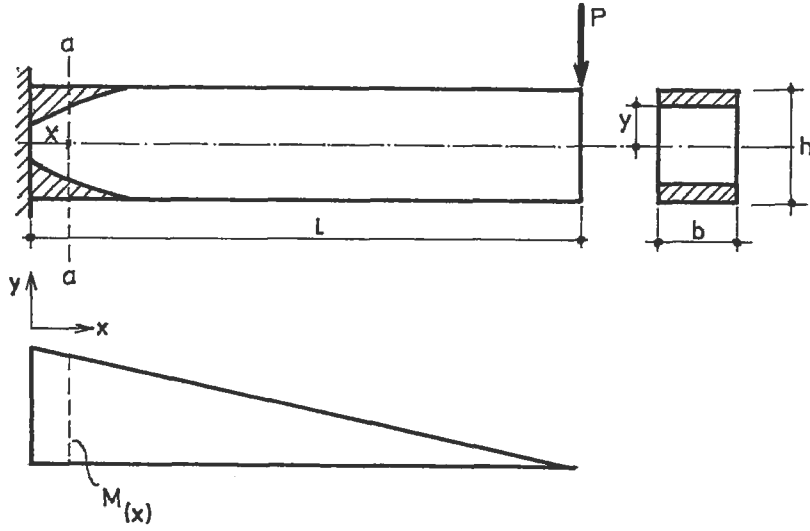
q değerinin artması halinde plastik bölge genişler;



Şekil 2.19

2.6.2. Konsol Kiriş

2.6.2.1. Tekil Yük İle Yüklü



Şekil 2.20

$$M_{(x)} = P \cdot x$$

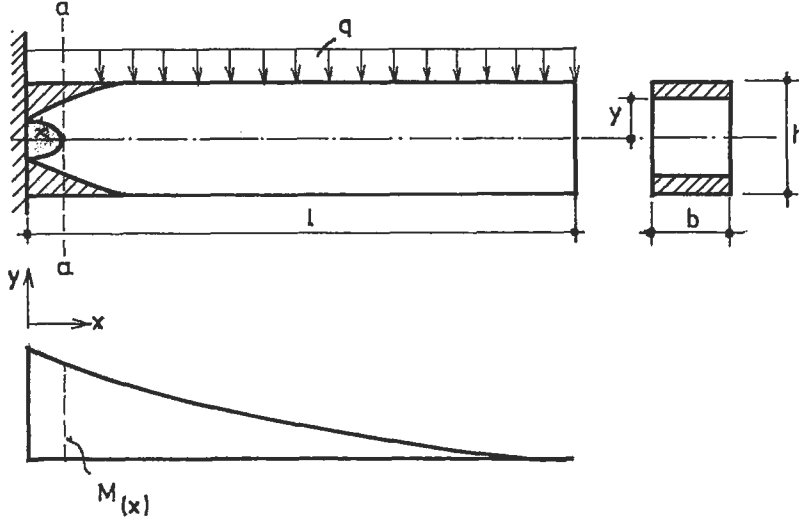
$$M = \frac{2}{3} b y^2 \sigma_F + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

a-a kesitinde;

$$P \cdot x = \frac{2}{3} b y^2 \sigma_F + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

$$x = \frac{b}{P} \left(-\frac{\sigma_F}{3} y^2 + \frac{\sigma_F h^2}{4} \right)$$

2.6.2.2. Yayıllı Yük İle Yüklü



Şekil 2.21

$$M(x) = \frac{qx^2}{2}$$

$$M = \frac{2}{3} b\sigma_F y^2 + b\sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)$$

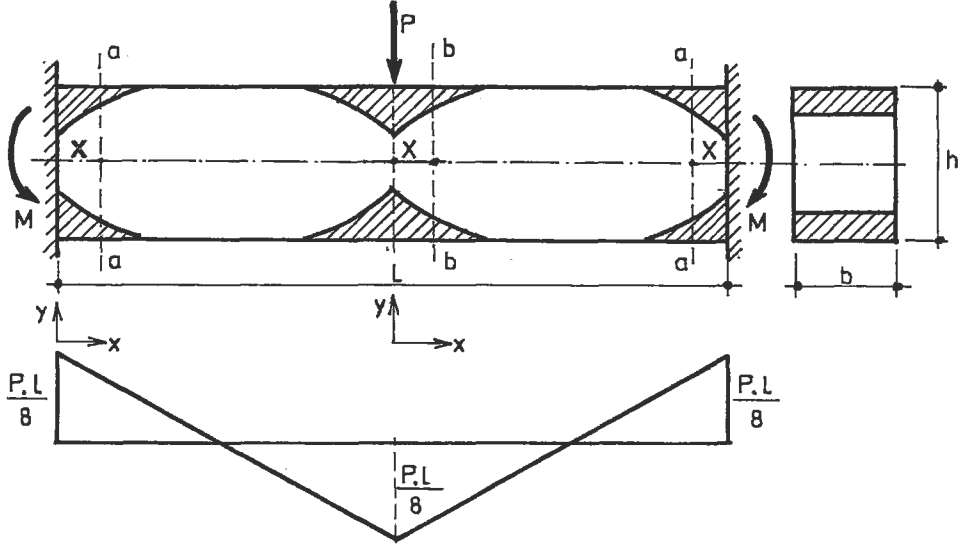
a-a kesitinde;

$$\frac{2}{3} b\sigma_F y^2 + b\sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) = \frac{qx^2}{2}$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{bh^2}{4} \sigma_F}}{\frac{q}{2}} + \frac{\frac{y^2}{\frac{bh^2}{4} \sigma_F}}{\frac{b\sigma_F}{3}} = 1$$

2.6.3. Ankastre Kiriş

2.6.3.1. Tekil Yük İle Yüklü



Şekil 2,22

a-a kesitinde;

$$M(x) = \frac{P}{2} x - M$$

$$M = M(x)$$

$$\frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) = \frac{P}{2} x - \frac{P \ell}{8}$$

$$x = \frac{b}{P} \left(-\frac{2}{3} \sigma_F y^2 + \frac{\sigma_F h^2}{2} \right) + \frac{\ell}{4}$$

b-b kesitinde;

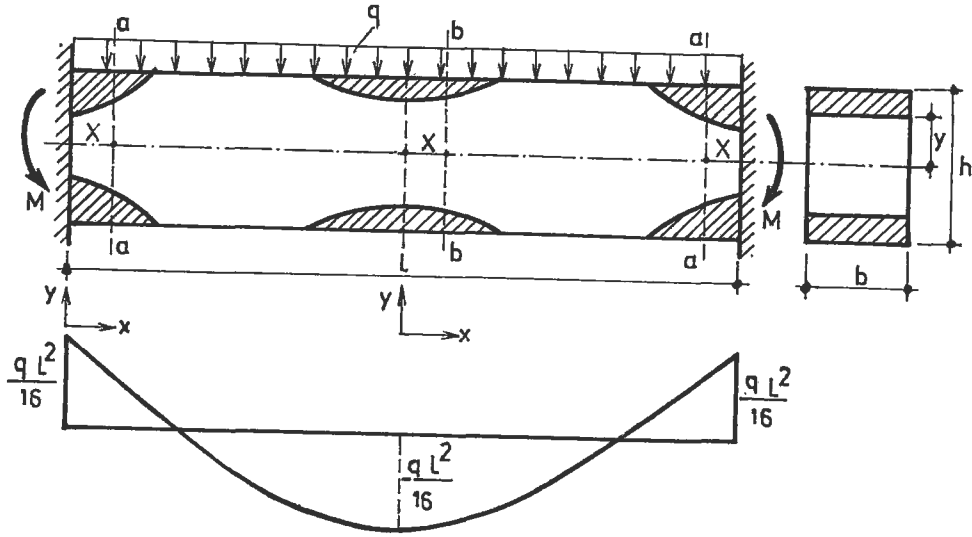
$$M(x) = \frac{P}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - P x - M$$

$$M = M(x)$$

$$\frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) = \frac{P}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - P_x - M \quad \text{den}$$

$$x = \frac{b}{p} \left(\frac{2}{3} \sigma_F y^2 + \frac{\sigma_F}{2} \right) - \frac{\ell}{4} \quad \text{bulunur.}$$

2.6.3.2. Yayıllı Yük İle Yüklü



Şekil 2,23

x uzaklığındaki moment;

$$M(x) = A(\ell x - x^2) - M \quad x = \frac{1}{2} \quad A = \frac{q}{2} \quad \text{bulunur.}$$

Kesit tarafından taşınan moment:

$$M = \frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

a-a kesitinde;

$$\frac{q}{2} (\ell x - x^2) - M = \frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

$$\frac{q}{2} (\ell x - x^2) - \frac{q \ell^2}{16} = \frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

$$\frac{b \sigma_F}{3} y^2 - \frac{q}{2} x^2 + \frac{q}{2} x - \left(\frac{b h^2}{4} \sigma_F + \frac{q \ell^2}{16} \right) = 0$$

b-b kesitinde;

$$M_{(x)} = \frac{q \ell}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right)^2 - M$$

$$M = M_{(x)}$$

$$\frac{2}{3} \sigma_F b y^2 + b \sigma_F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) = \frac{q \ell}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - \frac{q \left(\frac{\ell}{2} + x \right)^2}{2} - \frac{q \ell^2}{16}$$

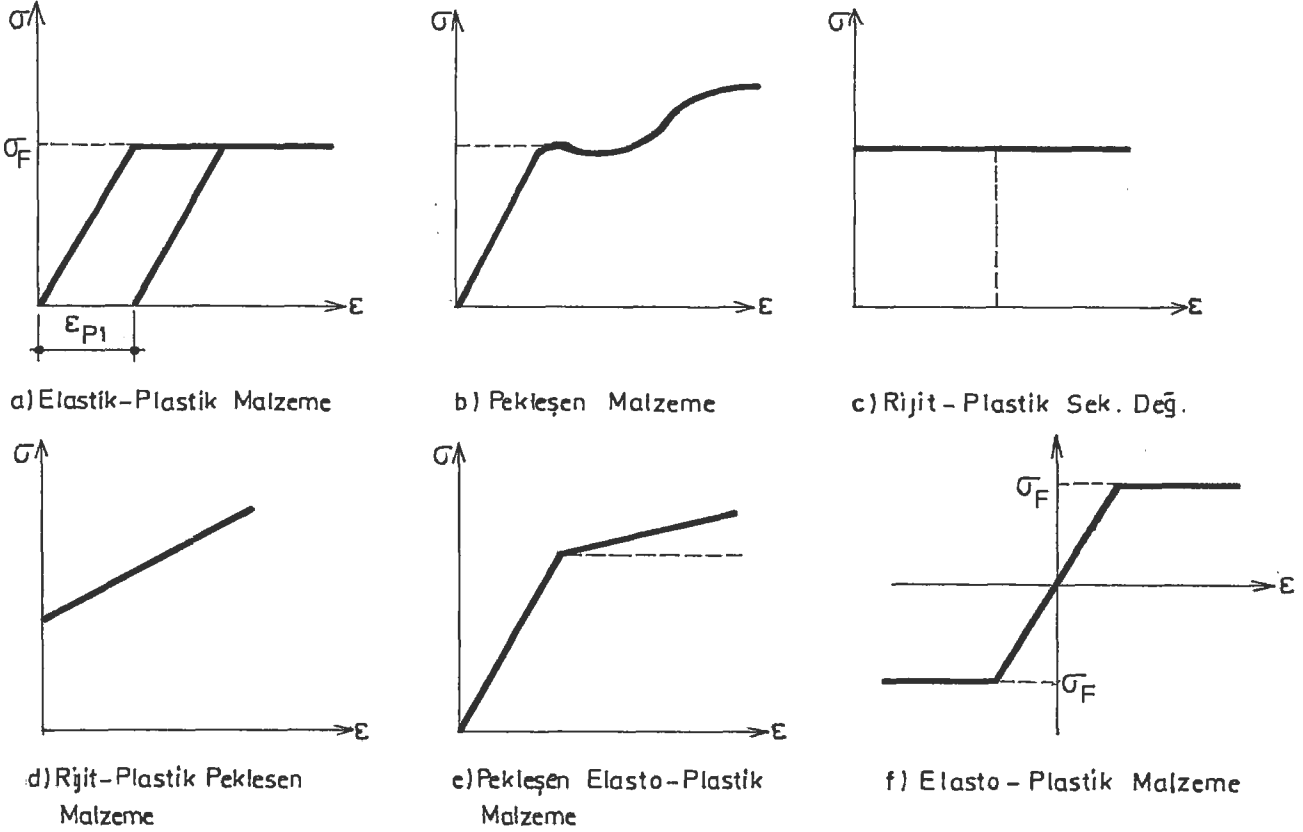
$$\frac{\frac{x^2}{\frac{q \ell^2}{16} - \frac{b h^2}{4} \sigma_F}}{\frac{q}{2}} = \frac{\frac{y^2}{\frac{q \ell^2}{16} - \frac{b h^2}{4} \sigma_F}}{\frac{\sigma_F b}{3}} = 1$$

BÖLÜM III
DEĞİŞİK ELASTİSİTE MODÜLLERİYLE
TAŞIMA KAPASİTESİ

3.1. İDEALLEŞTİRİLMİŞ (σ - ϵ) MALZEME EĞRİLERİ

Mukavemet hesaplarında olduğu gibi, plastisite hesaplarında σ - ϵ eğrisinin denkleminde gerek vardır. Gerçek eğrinin analitik ifadesini bulmak oldukça güçtür. Bu nedenle hesapları kolaylaştırmak amacı ile eğriler idealize edilirler. Bu eğriler, gerçek eğriye oldukça yaklaşır ve emniyetli tarafta hesap yapılmasını sağlarlar.

Aşağıda verilen Şekil 3.1'deki diyagramlar bize malzeme özelliklerine bağlı olarak çeşitli σ - ϵ idealize eğrilerini vermektedir.



Şekil 3.1

Şekillerdeki diyagramlar içinde (f) de gösterilen Elasto-Plastik malzeme diyagramı kullanılır, çünkü malzemenin σ - ϵ eğrileri için yapılan deneylerde sünek malzemenin en iyi şekilde (f) deki diyagrama uyduğu bilinmektedir. Kendisini

toparlayan malzemede tehlikeli bir durum ortaya çıkabilir, fakat doğal olarak akma sınırı için kırılma gerilmeleri dikkate alınmamalıdır./13/

3.2. E , E_t , E_r DEĞERLERİ

1.4.1. bölümünde çeliğin malzeme özellikleri verilirken σ - ϵ eğrisinden de görüleceği gibi plastik sınırlar içerisinde bulunan bölgede gerilme-uzama eğrisinin doğrusalmış gibi kabul edilmesi ile bu bölgede eğrinin yatay eksenle yaptığı açının tanjant'ı "E" elastisite modülü olarak kabul edilmektedir. Hooke kanunlarından da görüleceği gibi elastik bölge içerisinde "G" ile gösterilen ve yanal büzülme katsayısına bağlı olan kayma modülü bahse konu olabilmektedir.

Ancak çeliğin akma sınırından sonra sistemde aniden artan uzama deformasyonlarını bir kenara bırakırsak malzemenin pekleşeceği ve bu arada artık elastisite modülünün de değişeceği aşikârdır. Bu özellik idealleştirilen gerilme-birim uzama eğrilerinde görülmemekle birlikte plastik hale geçişte basınç bölgesinde plastisite modülünün artık E olmadığı da söylenilebilir. Bu şartlar altında plastik hale geçen bir bünyede çekme bölgesinde elastisite modülünün E'ye eşit alınması bahse konu olsa bile basınç bölgesinde "teğet modülü" olarak adlandırılan E_t 'nin kullanılması dolayısıyla kesitin tarafsız ekseninin de değiştiğinin dikkate alınması gerekir. Bu durumda E ve E_t ile hesap yerine tarafsız eksenine bağlı olarak "itibari kesit elastiklik modülü" E_r gibi bir modül kullanılabilir.

3.3. E , E_t , E_r DEĞERLERİ ARASINDAKİ BAĞINTILAR

3.3.1. Hesaplama Yapılan Kabuller

a) I eğilme durumuna bağlı olarak tarafsız eksene göre atalet momentidir.

b) Kesitte normal kuvvet ve moment vardır.

c) Hooke kanunu geçerlidir.

E_r ile gösterilen modül E ve E_t modüllerine ve kesitin şekline bağlı olan indirgenmiş bir modüldür.

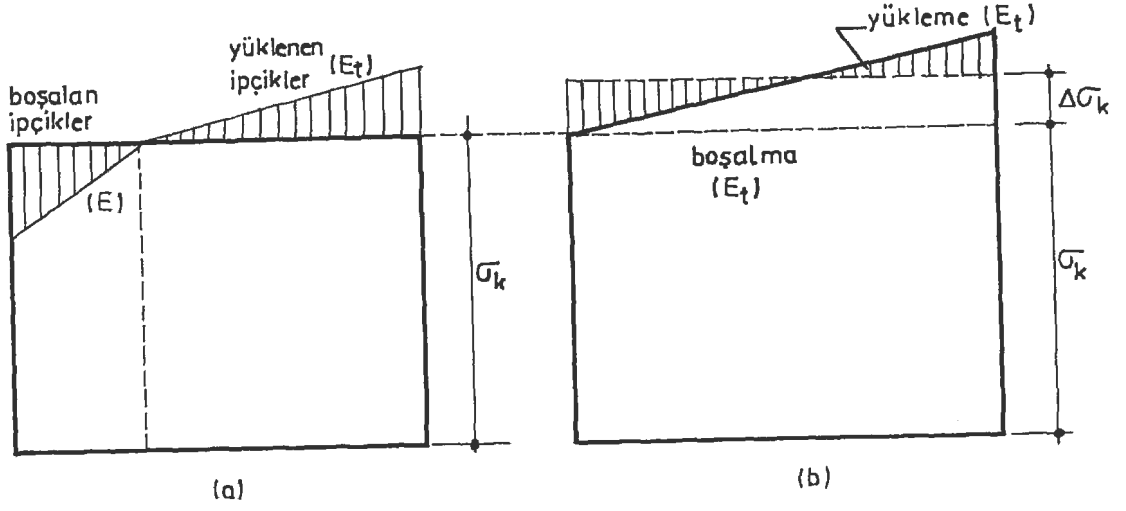
E_r 'nin hesabı şu esasa dayanır. Kolon eğri forma geçince kesitte gerilme dağılışı, Şekil 3.2(a)'daki gibi olur. Toplam kuvvet sabit kalmak şartıyla bazı ipliklerdeki gerilmeler artar ve bir kısmında da azalır. Şekildeki taralı diyagram eğilme momentine karşı gelen dağılışı gösterir, fakat çekme ve basınç kısmındaki modüller eşit değildir. Böyle hallerde eğrilik-moment bağıntısını indirgenmiş bir modülle ifade etmek uygun olur. $1/\rho = M_x / E_r J_x$ denkleminde bağılı olarak, kesitin geometrisine bağlı olan E_r modülü dikdörtgen kesit için,

$$E_r = \frac{4EE_t}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_t})^2} \quad \text{bulunur*}.$$

$E \geq E_t$ olduğundan $E_r \geq E_t$ eder.

Engesser bu yaklaşımı çift modül teorisiyle elde etmiştir. Von Kármán'da Engesser'den bağımsız bir çift modül teorisi kurmuş ve sonuçlarını deneylerle kontrol etmiştir. Bu nedenle indirgenmiş modül teorisine Engesser-Kármán teorisi adı da verilir./18/

*Bu formül yalnız dikdörtgen kesitler için geçerlidir.



Şekil 3.2

3.4. E , E_t , E_r NİN SINIR DEĞERLERİ

Elastiklik modüllerinin çeliğin çeşitli deformasyonları altında özellikle akma sınırından sonra değiştiği görülmektedir. Bu değişimler teorik olarak Engesser-Kármán tarafından 3.3. bölümünde olduğu gibi açıklanmaktadır. St37 çeliğinde (genellikle konu içersindeki çelik imalatlar bu türdür) E 'ye bağlı olarak E_t ve E_r 'in değerlerinin bilinmesi çalışmanın kapsamı açısından gerekli olmaktadır.

St37 çeliğinin elastiklik modülü $E=2,1 \cdot 10^6$ kg/cm²'dir. Bu elastiklik modülüne bağlı olarak $E_t=(d\sigma/d\varepsilon)_{\sigma=\sigma_k}$ 'dir. Genel olarak E_t teğet modülü σ 'ya bağlıdır. Bu durumda $\sigma=\sigma_k$ olması halinde kırılma noktasına karşı gelen $\sigma-\varepsilon$ eğrisinin eğimi E_t 'yi verir. Bu konuda E_t 'nin değeri hakkında literatürde fazla bilgi yoktur, ancak E 'nin E_t 'den büyük olduğu söylenebilir.

E_r 'in değerine bakıldığında bu değer E ve E_t 'ye bağlı olup

$$E_r = \frac{4EE_t}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_t})^2} \quad \text{dir.} \quad (3.1)$$

Bu değer St37 eliği için Şekil 1.2'den, $E_t=55.000$ kg/cm^2 olarak alınabilir.

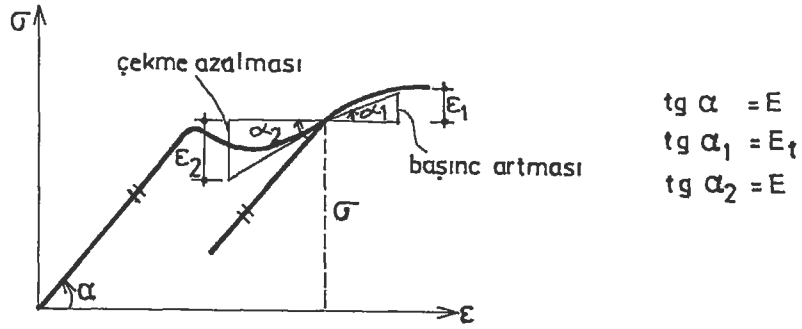
Bu durumda

$$E_r = \frac{4.2,1.10^6 \cdot 55.000}{(\sqrt{2,1.10^6} + \sqrt{55.000})^2} = 162979,87 \approx 170.000 \text{ kg/cm}^2$$

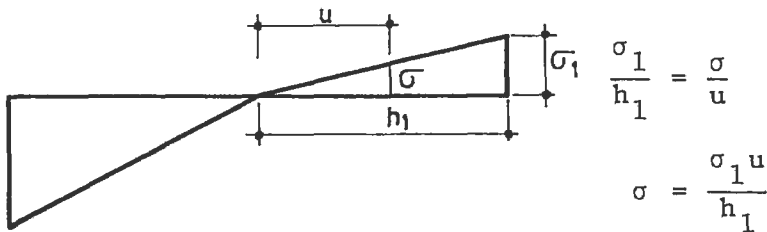
Buradan da görüldüğü gibi E_r , E ile E_t arasında bir değer almaktadır.

Daha doğru sonuçlar için σ - ϵ eğrisinden gerekli değerler alınabilir.

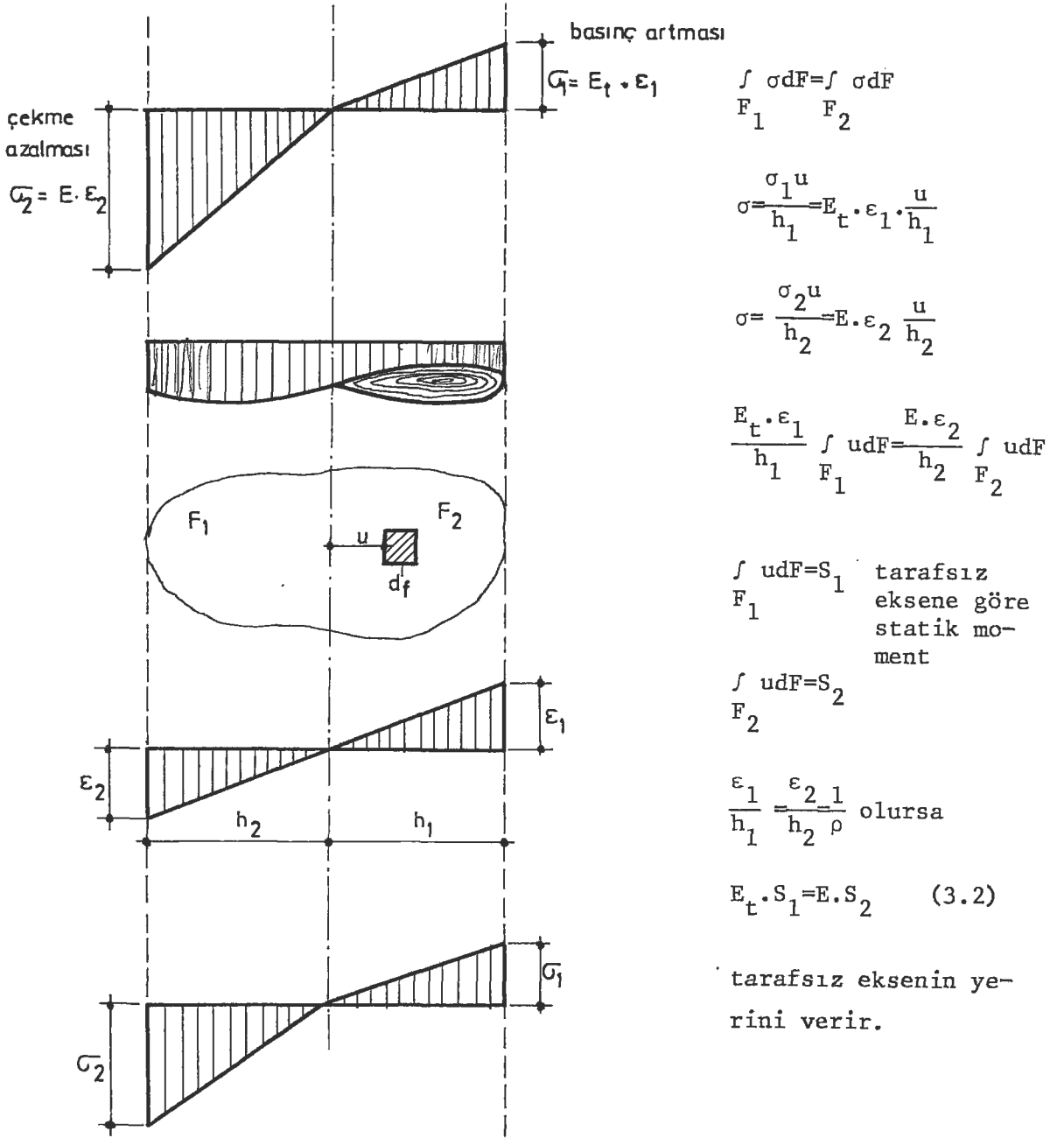
Gerilme-birim uzama diyagramı sıhhatli bir Şekilde çizildiğinde plastik bölgede eğri arasındaki Şekli alır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3



Şekil 3.4



Şekil 3.5

$$M = \int_{F_1} u \sigma dF + \int_{F_2} u \sigma dF$$

$$\frac{E_t \cdot \epsilon_1}{h_1} \int_{F_1} u^2 dF = \frac{E \cdot \epsilon_2}{h_2} \int_{F_2} u^2 dF$$

$\int_{F_1} u^2 dF$ tarafsız eksene göre sağ veya sol tarafın atalet momenti olduğundan

$$\int_{F_2} u^2 dF$$

$$M = \frac{1}{\rho} \left[E_t I_1 + E I_2 \right] \quad (3.3)$$

Eğer biz bu denklem takımında;

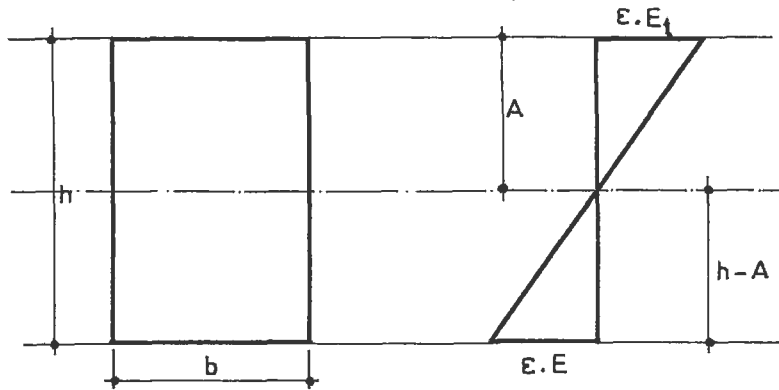
$$E_t I_1 + E I_2 = E_r I \quad \text{dersek}$$

$$M = E_r I \cdot \frac{1}{\rho}$$

$$\frac{M}{E_r \cdot I} = \frac{1}{\rho} \quad (3.4)$$

Burada elde edilen $\frac{E_t I_1}{I} + \frac{E I_2}{I} = E_r$ denkleminde "kesitin itibari elastiklik modülü" denir.

3.5. TARAFSIZ EKSENİN YERİNİN BELİRLENMESİ



Şekil 3.6

$$E_t \cdot S_1 = E \cdot S_2 \quad (3.2) \text{ eşitliğinden}$$

$$E_t \cdot A \cdot b \cdot \frac{A}{2} = E(h-A) \cdot b \cdot \frac{(h-A)}{2}$$

$$E_t \cdot A^2 \cdot \frac{b}{2} = E \cdot (h-A)^2 \cdot \frac{b}{2}$$

$$\frac{E_t}{E} = \frac{(h-A)^2}{A^2}$$

$$\frac{E_t}{E} = \frac{h^2 - 2Ah + A^2}{A^2}$$

$$\frac{E_t}{E} = \beta \quad \text{olsun.}$$

$$\beta \cdot A^2 - h^2 + 2Ah - A^2 = 0$$

$$A^2(\beta - 1) + 2Ah - h^2 = 0$$

$$A_1 = \frac{-h(1 + \sqrt{\beta})}{(\beta - 1)}, \quad A_2 = \frac{h(\sqrt{\beta} - 1)}{(\beta - 1)}$$

$$\frac{E_t}{E} = \beta, \quad E > E_t \quad \text{ve} \quad \beta < 1 \quad \text{olduğundan}$$

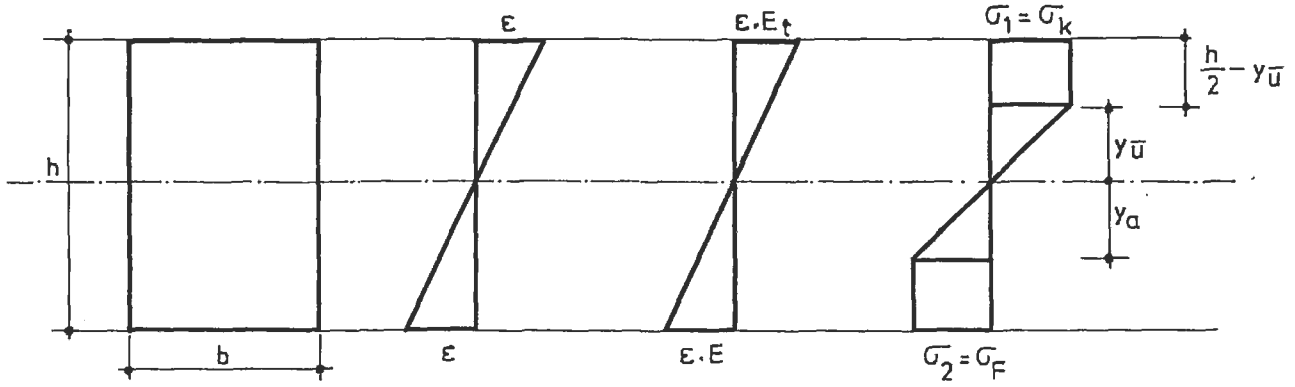
$$\beta = \frac{55.000}{2,1 \cdot 10^6} = 0,026 \quad \text{olur.}$$

$$A_1 = \frac{-h(1 + \sqrt{0,026})}{(0,026 - 1)} = 1,191 \text{ h}$$

$$A_2 = \frac{h(\sqrt{0,026} - 1)}{(0,026 - 1)} = 0,860 \text{ h} \quad \text{bulunur.}$$

Yukarıda yapılan hesaplardan da görüldüğü gibi elastiklik modüllerinin değişimine bağlı olarak tarafsız eksen yer değiştirmektedir.

3.6. ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN DEĞİŞMESİ HALİNDE DİKDÖRTGEN KESİTİN MOMENT TAŞIMA KAPASİTESİ



Şekil 3.7

$$\frac{\sigma_k}{y_{\ddot{u}}} = \frac{\sigma_F}{y_a} \quad , \quad y_{\ddot{u}} = \frac{\sigma_k \cdot y_a}{\sigma_F}$$

$y = y_a$ olsun,

$$M = \sigma_k \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - y_{\ddot{u}}\right) \left(\frac{h}{2} - \frac{h/2 - y_{\ddot{u}}}{2}\right) + \sigma_k \cdot b \cdot \frac{y_{\ddot{u}}}{2} \cdot \frac{2}{3} y_{\ddot{u}} +$$

$$\sigma_F \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - y_a\right) \left(\frac{h}{2} - \frac{h/2 - y_a}{2}\right) + \sigma_F \cdot b \cdot \frac{y_a}{2} \cdot \frac{2}{3} y_a$$

$$M = \sigma_k \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y_a\right) \left(\frac{h}{2} - \frac{h/2 - \sigma_k/\sigma_F y_a}{2}\right) + \sigma_k \cdot b \cdot \frac{\sigma_k/\sigma_F y_a}{2}$$

$$\cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y_a + \sigma_F \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - y_a\right) \left(\frac{h}{2} - \frac{h/2 - y_a}{2}\right) + \sigma_F \cdot b \cdot \frac{2}{3} y_a$$

$$M = \sigma_k \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y_a\right) \left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_F \cdot h - 2\sigma_k \cdot y_a}{4\sigma_F}\right) + \sigma_k \cdot b \cdot \frac{\sigma_k}{2\sigma_F} \cdot \frac{2}{3} \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y_a^2 +$$

$$+ \sigma_F \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - y_a\right) \left(\frac{h}{2} - \frac{h - 2y_a}{4}\right) + \sigma_F \cdot b \cdot \frac{2}{6} y_a^2$$

$y=y_a$ konularak

$$M = \sigma_k \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y \right) \left(\frac{2\sigma_F h - \sigma_F h + 2\sigma_k \cdot y}{4\sigma_F} \right) + \frac{(\sigma_k)^3 y^2 b}{3(\sigma_F)^2}$$
$$+ \sigma_F \cdot b \left(\frac{h}{2} - y \right) \left(\frac{2h - h + 2y}{4} \right) + \frac{\sigma_F \cdot b \cdot y^2}{3}$$
$$M = b \left[\sigma_k \left(\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right) + \sigma_F \left(\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right) \right]$$

3.7. ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN DEĞİŞMESİ İLE ÇEŞİTLİ MESNET ŞARTLARINDA EZİLME-UZAMA SINIR EĞRİLERİ

3.7.1. Basit Kiriş

3.7.1.1. Tekil Yük ile Yükle

a-a kesitinde (Şekil 2.17)

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right] \quad \text{kesit içersinde taşıyan moment}$$

$$M_{(x)} = \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - x \right) \quad x \text{ uzaklığındaki moment}$$

$$\frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - x \right) = \sigma_k \cdot b \left(\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right) + \sigma_F \cdot b \left(\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right)$$

$$x = \frac{b}{3p} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right) y^2 - \frac{bh^2}{4p} (\sigma_k + \sigma_F) + \frac{l}{2}$$

$\sigma_k + \sigma_F = \lambda$ olsun.

$$x = \frac{b}{3p} \left(\frac{\sigma_k^3 + \sigma_F^3}{\sigma_F^2} \right) y^2 - \frac{bh^2}{4p} (\sigma_k + \sigma_F) + \frac{l}{2}$$

$$x = \frac{b}{3p} \frac{\xi^3}{\sigma_F} y^2 - \frac{bh^2\lambda}{4p} + \frac{\ell}{2}$$
$$x = \frac{b}{p} \left[\frac{\xi^3}{3\sigma_F} y^2 - \frac{h^2\lambda}{4} \right] + \frac{\ell}{2}$$

3.7.1.2. Yayıllı Yük ile Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.18)

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k}{\sigma_F} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = \frac{q}{2} \left(\frac{\ell^2}{4} - x^2 \right)$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{q}{2} \left(\frac{\ell^2}{4} - x^2 \right) = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k}{\sigma_F} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F)}}{\frac{q}{2}} - \frac{\frac{y^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F)}}{\frac{b}{6}} = 1$$

$\sigma_k + \sigma_F = \lambda$ olduğuna göre

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{bh^2}{8}\lambda}}{\frac{q}{2}} - \frac{\frac{y^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{bh^2}{8}\lambda}}{\frac{b}{6}} = 1$$

3.7.2. Konsol Kiriş

3.7.2.1. Tekil Yük ile Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.20)

$$M_{(x)} = P \cdot x$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$P \cdot x = \frac{bh^2}{8} (\sigma_k + \sigma_F) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$x = \frac{bh^2}{8P} (\sigma_k + \sigma_F) - \frac{by^2}{6P} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$x = - \frac{b}{6P} \left(\frac{\sigma_k^3 + \sigma_F^3}{\sigma_F^2} \right) y^2 + \frac{bh^2}{8P} (\sigma_k + \sigma_F)$$

$$\sigma_k + \sigma_F = \lambda$$

$$x = - \frac{b}{6P} \frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} y^2 + \frac{bh^2}{8P} \lambda$$

$$x = - \frac{b}{P} \left(\frac{\sigma_k^3}{6\sigma_F^2} y^2 - \frac{h^2 \lambda}{8} \right)$$

3.7.2.2. Yayıllı Yük ile Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.21)

$$M_{(x)} = \frac{qx^2}{2}$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{q}{2} x^2 = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F)}}{\frac{q}{2}} + \frac{\frac{y^2}{\frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F)}}{\frac{b(\frac{\sigma_k^3 + \sigma_F^3}{\sigma_F^2})}{6}} = 1$$

$$\sigma_k + \sigma_F = \lambda$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{bh^2}{8}\lambda}}{\frac{q}{2}} + \frac{\frac{y^2}{\frac{bh^2}{8}\lambda}}{\frac{b\lambda^3}{6\sigma_F^2}} = 1$$

3.7.3. Ankastre Kiriş

3.7.3.1. Tekil Yük ile Yüklü

4-4 kesitinde (Şekil 2.22)

$$M_{(x)} = \frac{P}{2} x - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{P}{2} x - M = \sigma_k \cdot b \cdot \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{p}{2} x - \frac{p\ell}{8} = \frac{bh^2}{8} (\sigma_k + \sigma_F) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$x = - \frac{b}{3p} \left(\frac{\sigma_k^3 + \sigma_F^3}{\sigma_F^2} \right) y^2 + \frac{bh^2}{4p} (\sigma_k + \sigma_F) + \frac{\ell}{4}$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$x = - \frac{b}{3p} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 + \frac{bh^2}{4p} \lambda + \frac{\ell}{4}$$

$$x = \frac{b}{p} \left(- \frac{\xi^3}{3\sigma_F^2} y^2 + \frac{h^2 \lambda}{4} \right) + \frac{\ell}{4}$$

b-b kesitinde (Şekil 2.22)

$$M_{(x)} = \frac{p}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - p \cdot x - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{p}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - px - M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{p\ell}{4} + \frac{p}{2} x - px - \frac{p\ell}{8} = \frac{bh^2}{8} (\sigma_k + \sigma_F) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$x = \frac{b}{3p} \left(\frac{\sigma_k^3 + \sigma_F^3}{\sigma_F^2} \right) y^2 - \frac{bh^2}{4p} (\sigma_k + \sigma_F) + \frac{\ell}{4}$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$x = \frac{b}{3p} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 - \frac{bh^2}{4p} \lambda + \frac{\ell}{4}$$

$$x = \frac{b}{p} \left(\frac{\xi^3}{3\sigma_F^2} y^2 - \frac{h^2 \lambda}{4} \right) + \frac{\ell}{4}$$

3.7.3.2. Yayıllı Yük ile Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.23)

$$M_{(x)} = \frac{q}{2}(\ell x - x^2) - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{q}{2}(\ell x - x^2) - M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{q\ell}{2} x - \frac{qx^2}{2} - \frac{q\ell^2}{16} = \frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$\frac{b}{6} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 - \frac{q}{2} x^2 + \frac{q\ell}{2} x - \left[\frac{bh^2}{8} \lambda + \frac{q}{16} \right] = 0$$

b-b kesitinde (Şekil 2.23)

$$M_{(x)} = \frac{q\ell}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right)^2 - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

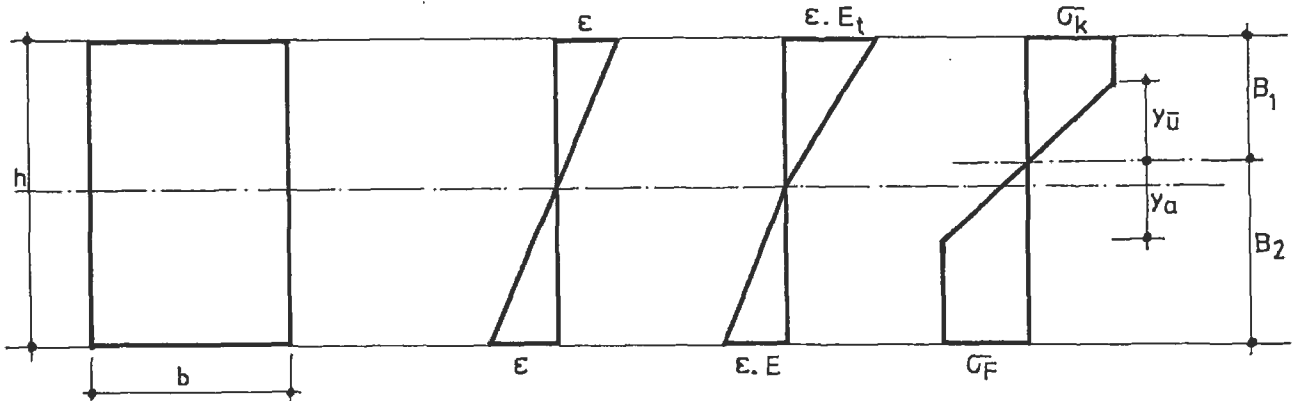
$$M(x) = M$$

$$\frac{q\ell^2}{4} + \frac{q\ell}{2}x = \frac{q\ell^2}{8} - \frac{q\ell}{2}x - \frac{q}{2}x^2 - \frac{q\ell^2}{16} = \frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{2} + \sigma_F \right)$$

$$\frac{\frac{x^2}{16} - \frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F)}{\frac{q}{2}} - \frac{\frac{y^2}{16} - \frac{bh^2}{8}(\sigma_k + \sigma_F)}{\frac{b}{6}} = 1$$

$$\frac{\frac{x^2}{16} - \frac{bh^2}{8}\lambda}{\frac{q}{2}} - \frac{\frac{y^2}{16} - \frac{bh^2}{8}\lambda}{\frac{b}{6}} = 1$$

3.8. ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN VE TARAFSIZ EKSENİN YERİNİN DEĞİŞMESİ HALİNDE DİKDÖRTGEN KESİTİN MOMENT TAŞIMA KAPASİTESİ



Şekil 3.8

$$A_2 = B_1 \quad , \quad B_2 = h - B_1$$

$$B_1 = \frac{h(\sqrt{\beta}-1)}{(\beta-1)} \quad , \quad B_2 = h - \frac{h(\sqrt{\beta}-1)}{(\beta-1)} \quad , \quad y_{\ddot{u}} = \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y_a \quad , \quad y = y_a \text{ olsun.}$$

$$M = \sigma_k \cdot b (B_1 - y_{\ddot{u}}) \left(B_1 - \frac{B_1 - y_{\ddot{u}}}{2} \right) + \sigma_k \cdot b \frac{2}{6} y_{\ddot{u}}^2 +$$

$$\sigma_F \cdot b (B_2 - y_a) \left(B_2 - \frac{B_2 - y_a}{2} \right) + \sigma_F \cdot b \cdot \frac{2}{6} y_a^2$$

$$M = \sigma_k \cdot b \cdot \left[\left(B_1 - \frac{\sigma_k}{\sigma_F} y_a \right) \left(\frac{B_1 - \sigma_k / \sigma_F y_a}{2} \right) + \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y_a^2}{3} \right]$$

$$\sigma_F \cdot b \left[(B_2 - y_a) \left(\frac{B_2 - y_a}{2} \right) + \frac{y_a^2}{3} \right]$$

$y = y_a$ konularak

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\left(\frac{B_1 \sigma_F - \sigma_k \cdot y}{\sigma_F} \right) \left(\frac{B_1 \sigma_F - \sigma_k \cdot y}{2 \sigma_F} \right) + \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{3} \right]$$

$$\sigma_F \cdot b \left[(B_2 - y) \left(\frac{B_2 - y}{2} \right) + \frac{y^2}{3} \right]$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

3.9. ELASTİSİTE MODÜLLERİ VE TARAFSIZ EKSENİN YERİNİN DEĞİŞMESİ İLE ÇEŞİTLİ MESNET ŞARTLARINDA EZİLME-UZAMA SINIR EĞRİLERİ

3.9.1. Basit Kiriş

3.9.1.1. Tekil Yük İle Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.17)

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right] \quad \text{kesit içersinde taşınan moment}$$

$$M_{(x)} = \frac{P}{2} (\frac{\ell}{2} - x) \quad x \text{ uzaklığındaki moment}$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{P}{2} (\frac{\ell}{2} - x) = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{P\ell}{4} - \frac{Px}{2} = \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$x = \frac{b}{p} \left(\frac{\xi^3}{3\sigma_F^2} y^2 - (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) \right) + \frac{\ell}{2}$$

3.9.1.2. Yayıllı Yük İle Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.18)

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = \frac{q}{2} \left(\frac{\ell^2}{4} - x^2 \right)$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{q}{2} \left(\frac{\ell^2}{4} - x^2 \right) = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)}}{\frac{q}{2}} - \frac{\frac{y^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)}}{\frac{b}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)} = 1$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$\frac{\frac{x^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)}}{\frac{b}{6} \frac{\xi^3}{F^2}} - \frac{\frac{y^2}{\frac{q\ell^2}{8} - \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)}}{\frac{b}{6} \frac{\xi^3}{F^2}} = 1$$

3.9.2. Konsol Kiriş

3.9.2.1. Tekil Yük İle Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.20)

$$M = \sigma_k \cdot b \left(\frac{B_1^2}{2} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right) + \sigma_F \cdot b \left(\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right)$$

$$M_{(x)} = p \cdot x$$

$$M_{(x)} = M$$

$$p \cdot x = \frac{b}{2} \left(\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2 \right) + \frac{b}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right) y^2$$

$$x = - \frac{b}{6p} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right) y^2 + \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$x = - \frac{b}{6p} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 + \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)$$

$$x = - b \left(\frac{\xi^3}{6p \cdot \sigma_F^2} y^2 + \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) \right)$$

3.9.2.2. Yayıllı Yük İle Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.21)

$$M_{(x)} = \frac{qx^2}{2}$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{q}{2} x^2 = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{\frac{x^2}{2}}{\frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)} + \frac{\frac{y^2}{6}}{\frac{b}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)} = 1$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$\frac{\frac{x^2}{2}}{\frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)} + \frac{\frac{y^2}{6}}{\frac{b}{6} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2}} = 1$$

3.9.3. Ankastre Kiriş

3.9.3.1. Tekil Yük İle Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.22)

$$M_{(x)} = \frac{P}{2} x - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{P}{2} x - M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{P}{2} x - \frac{P\ell}{8} = \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$x = - \frac{b}{3P} - \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 + \frac{b}{p} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) + \frac{\ell}{4}$$

$$x = \frac{b}{p} \left(- \frac{\xi^3}{3\sigma_F^2} y^2 + (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) \right) + \frac{\ell}{4}$$

b-b kesitinde (Şekil 2.22)

$$M_{(x)} = \frac{P}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - p \cdot x - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{P}{2} \left(\frac{\ell}{2} + x \right) - P \cdot x - M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_F^2} \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{P\ell}{4} + \frac{P}{2} x - P \cdot x - \frac{P\ell}{8} = \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) - \frac{by^2}{6} (\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F)$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$x = \frac{b}{3P} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 - \frac{b}{P} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) + \frac{\ell}{4}$$

$$x = \frac{b}{P} \left(\frac{\xi^3}{3\sigma_F^2} y^2 - (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) \right) + \frac{\ell}{4}$$

3.9.3.2. Yayıllı Yük İle Yüklü

a-a kesitinde (Şekil 2.23)

$$M_{(x)} = \frac{q}{2} (\ell x - x^2) - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{q}{2} (\ell x - x^2) - M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{q\ell}{2} x - \frac{q}{2} x^2 - \frac{q\ell^2}{16} = \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) - \frac{by^2}{6} (\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F)$$

$$\sigma_k^3 + \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$\frac{b}{6} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2} y^2 - \frac{q}{2} x^2 + \frac{q\ell}{2} x - \left[\frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) + \frac{q\ell^2}{16} \right] = 0$$

b-b kesitinde (Şekil 2.23)

$$M_{(x)} = \frac{ql}{2} \left(\frac{l}{2} + x \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{l}{2} + x \right)^2 - M$$

$$M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_{(x)} = M$$

$$\frac{ql}{2} \left(\frac{l}{2} + x \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{l}{2} + x \right)^2 - M = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$\frac{ql^2}{4} + \frac{ql}{2} x - \frac{ql^2}{8} - \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2} - \frac{ql^2}{16} = \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2) - \frac{by^2}{6} \left(\frac{\sigma_k^3}{\sigma_F^2} + \sigma_F \right)$$

$$\sigma_k^3 - \sigma_F^3 = \xi^3$$

$$\frac{\frac{ql^2}{16} - \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)}{\frac{q}{2}} = \frac{\frac{ql^2}{16} - \frac{b}{2} (\sigma_k B_1^2 + \sigma_F B_2^2)}{\frac{b}{6} \frac{\xi^3}{\sigma_F^2}} = 1$$

3.10. St 37 ÇELİĞİ İÇİN DİKDÖRTGEN KESİTTE ELASTİK VE PLASTİK MOMENT TAŞIMA KAPASİTESİ

$$\sigma_F = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_k = 3600 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_t = 55.000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Şekil 1.2)'den}$$

olduğuna göre;

3.10.1. $\frac{M_I}{M_F}$ Oranı

$$M_I = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$y = 0$$

$$M_I = \frac{bh^2}{8} \left[\sigma_k + \sigma_F \right]$$

$$M_I = \frac{bh^2}{2 \cdot 4} |3600 + 2400| = 3000 \frac{bh^2}{4}$$

$$M_F = 2400 \frac{bh^2}{4}$$

$$\frac{M_I}{M_F} = \frac{3000 bh^2/4}{2400 bh^2/4} = 1,25$$

3.10.2. $\frac{M_{II t, r}}{M_F}$ Oranı

$$\beta = E_t/E = 55.000/2,1 \cdot 10^6 = 0,026$$

$$M_{II t} = \sigma_k \cdot b \left[\frac{B_1^2}{2} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{B_2^2}{2} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$y = 0$$

$$M_{II_t} = \frac{b}{2} \left[\sigma_k \frac{h^2(\sqrt{\beta}-1)^2}{(\beta-1)^2} + \sigma_F \left(h - \frac{h(\sqrt{\beta}-1)}{(\beta-1)} \right)^2 \right]$$

$$M_{II_t} = \frac{b}{2} \left[3600 \frac{h^2(\sqrt{0,026}-1)^2}{(0,026-1)^2} + 2400 \left(h - \frac{h(\sqrt{0,026}-1)}{(0,026-1)} \right)^2 \right]$$

$$M_{II_t} = \frac{bh^2}{4} \left[3600 \cdot 2 \cdot 0,7416 + 2400 \cdot 2 \cdot 0,02 \right]$$

$$M_{II_t} = 5435,52 \frac{bh^2}{4}$$

$$\frac{M_{II_t}}{M_F} = \frac{5435,52 \frac{bh^2}{4}}{2400 \frac{bh^2}{4}} = 2,26$$

E_t teğet modülü yerine E_r itibari kesit elastiklik modülü alındığı takdirde;

$$E_r = 170.000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (3.1) eşitliğinden}$$

$$\beta = E_r/E = 170.000/2,1 \cdot 10^6 = 0,08$$

$$M_{II_r} = \frac{b}{2} \left[\sigma_k \frac{h^2(\sqrt{\beta}-1)^2}{(\beta-1)^2} + \sigma_F \left(h - \frac{h(\sqrt{\beta}-1)}{(\beta-1)} \right)^2 \right]$$

$$M_{II_r} = \frac{bh^2}{4} | 3600 \cdot 2 \cdot 0,6076 + 2400 \cdot 2 \cdot 0,05 |$$

$$M_{II_r} = 4614,72 \frac{bh^2}{4}$$

$$M_F = 2400 \frac{bh^2}{4}$$

$$\frac{M_{II_r}}{M_F} = \frac{4614,72 \frac{bh^2}{4}}{2400 \frac{bh^2}{4}} = 1,92$$

3.10.3. $\frac{M_I}{M_E}$ Oranı

$$M_I = \sigma_k \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_F} \right)^2 \frac{y^2}{6} \right] + \sigma_F \cdot b \left[\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{6} \right]$$

$$M_I = \frac{bh^2}{6} \left[\frac{3}{4} \sigma_k + \frac{3}{4} \sigma_F \right]$$

$$M_I = \frac{bh^2}{6} \left[\frac{3}{4} 3600 + \frac{3}{4} 2400 \right]$$

$$M_I = 4500 \frac{bh^2}{6}$$

$$M_E = 2400 \frac{bh^2}{6}$$

$$\frac{M_I}{M_E} = \frac{4500 \frac{bh^2}{6}}{2400 \frac{bh^2}{6}} = 1,87$$

3.10.4. $\frac{M_{II_{t,r}}}{M_E}$ Oranı

$\beta = 0,026$ olarak

$$M_{II_{t}} = \frac{bh^2}{6} \left[3600 \cdot 3 \cdot 0,7416 + 2400 \cdot 3 \cdot 0,02 \right]$$

$$M_{II_{t}} = 8153,28 \frac{bh^2}{6}$$

$$M_E = 2400 \frac{bh^2}{6}$$

$$\frac{M_{II_{t}}}{M_E} = \frac{8153,28 \frac{bh^2}{6}}{2400 \frac{bh^2}{6}} = 3,39$$

$\beta = 0,08$ olarak

$$M_{II_{r}} = \frac{bh^2}{6} \left[3600 \cdot 3 \cdot 0,6076 + 2400 \cdot 3 \cdot 0,05 \right]$$

$$M_{IIr} = 6922,08 \frac{bh^2}{6}$$

$$M_E = 2400 \frac{bh^2}{6}$$

$$\frac{M_{IIr}}{M_E} = \frac{6922,08 \frac{bh^2}{6}}{2400 \frac{bh^2}{6}} = 2,88$$

TABLO 3.10.1. Taşıma Kapasitesi Oranları

PLASTİK MOMENTE ORANLAR	M_I/M_F	M_{IIt}/M_F	M_{IIr}/M_F
	1,25	2,26	1,92
ELASTİK MOMENTE ORANLAR	M_I/M_E	M_{IIt}/M_E	M_{IIr}/M_E
	1,87	3,39	2,88
PLASTİK MOMENT/ ELASTİK MOMENT	$M_F/M_E = (bh^2/4)/(bh^2/6) = 1,5$		

SONUÇ

Çelik ve benzeri malzemenin akma sınır gerilmesine bağlı olarak hesaplanan moment taşıma kapasitesinin, elastik davranış içersindeki bir kesitteki moment taşıma kapasitesine oranının dikdörtgen kesitlerde 1,5 olduğu bilinmektedir.

Ancak düktil malzemedede akma sınırının biraz ötesinde malzemenin pekleşmesi ile yük taşıma kapasitesinin arttığı da bilinen bir gerçektir. Bununla beraber deneysel olarak çekme mukavemeti sonuçları bu artışı göstermekle birlikte mafsal oluşumunda aynı artış görülmektedir. Bunun nedeni; bu sınırda elastiklik modülünün değişmesidir.

Düktil malzemedede, akmaya başladıktan sonra hesaplanan moment taşıma kapasitesi incelendiğinde akma başlangıcındaki moment taşıma kapasitesinden daha büyük bir değer elde edildiği görülmektedir. Bu da mafsalın oluşumundan sonra da aynı yükü taşıyabileceği prensibine uygundur. Bu durumda mafsal oluşumundan sonra malzemenin pekleşmesine kadar olan moment artış kapasitesi, çalışma sonucunda elde edilen denklemlerle bulunabilir.

Sonuçlar tablo halinde verilmiş olup st 37 çeliği için karşılaştırma yapılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda elastik hesap yöntemiyle hesaplanan herhangi bir yapıda, kesit tesirleri de elastik yöntemle hesaplandığında taşıma kapasitesinin birim olduğu varsayılırsa (emniyet faktörüyle azaltılmamış değer), yine aynı sistemin plastik analiz yöntemi ile hesaplanmasında kesit taşıma kapasitesinin hemen hemen üç katına çıktığı görülmekte-

dir. "Örneğin: $M_{III_t}/M_F = 3,39$, $M_{III_r}/M_F = 2,88$ ". Bu durumda belirli bir emniyet faktörü düşünülse dahi elastik yöntemle hesaplanan kesitler ekonomik olmamakta ve yapının gerçek davranışına çok fazla emniyetle cevap vermektedir. Tez sonucunda bulunan değerler, iyi seçilmiş bir emniyet katsayısıyla (örneğin $n=2$) yapının ekonomikliği sağlanabilir.

Bu sonuçlar çerçevesinde çelik yapıların elastik hesap metodları ve elastik kesit belirleme yöntemleri ile boyutlandırılmaları yerine plastik analiz yöntemleriyle hesaplanması gereği ortaya konulmaktadır. Ancak emniyet katsayısı ve benzeri konular tezin amacı dışında tutulmuş olup ayrı bir çalışma sonucuyla belirlenebilir.

Çalışma yalnızca dikdörtgen kesitler için yapılmış olup diğer kesitler için de benzer yollarla sonuçlar alınabilirse de çalışmanın amacı dışında bırakılmıştır.

Sonuç olarak düktil her cins malzemede uygulanabilecek bu değerler aynı zamanda oluşan mafsalın genişliğini ve eğri şeklini de içermektedir. Bu genişliklere bağlı olarak göçme sırasında oluşabilecek hasar boyları da belirlenebilir. Ancak göçmeye meyilli yapılarda genişliğin tesbiti ile yapının mekanizma durumuna girip girmediği de söylenebilecektir. Malzeme ve yapı karakteristiklerine bağlı olarak verilen denklemler ile her zaman örnekleme yapılabilir.

KAYNAKLAR

- /1/ Horne,M.R. "The Plastic Theory of Bending of Mild Steel. Beams With Particular Reference to The Effect of Shear Forces." Proc.R.Soc., 1951, 207 [A], 216.
- /2/ Green,A.P.A. "Theory of The Plastic Yielding Due to Bending of Cantilevers and Fixed-Ended Beams" J.Mech. Phys.Solids, 1954, 3, 143.
- /3/ Neal,B.G. "The Plastic Methods of Structural Analysis" Chapman and Hall, London, 1956.
- /4/ Horne,M.R. "The Full Plastic Moments of Sections Subjected to Shear Force and Axial Loads" British Welding Journal, 1958, 5, 170.
- /5/ Neal,B.G. "Limit Load of A Cantilever In Plane Stress" In Heyman, J. and F.A.Leckie.(Eds.), Engineering Plasticity, Cambridge University Press, London, 1958, 473.
- /6/ Hodge,P.G. "Plastic Analysis of Structures" McGraw Hill Book Company (U.K) Limited, 1959.
- /7/ Ünsaç,O. "Kesitlerin Tam Plastik ve Elasto-Plastik Deformasyonu" İ.T.Ü.Yayınları, İstanbul, 1959.
- /8/ Ünsaç,O. "Normal Kuvvetle Eğilmeye Maruz Kesitlerin Tam Plastik Deformasyonu", İ.T.Ü.Yayınları, İstanbul, 1960.

- /9/ Baker, J. and Heyman, J. "Plastic Design of Frames"
Cambridge University Press, London, 1969.
- /10/ Horne, M.R. "Plastic Theory of Structures", Thomas Nelson
and Sons Ltd., London, 1971.
- /11/ Celasun, H. "Betonarme Köprüler ve Hesap Metodları, Çağ-
layan Kitapevi, İstanbul, 1974.
- /12/ Celasun, H. "Çelik Köprüler" Çağlayan Kitapevi, İstanbul,
1974.
- /13/ Neal, B.G. "The Plastic Methods of Structural Analysis,
Third (S.I.) Edition, Science Paperbacks, 1977.
- /14/ Çakıroğlu, A. ve Özer, E. "Malzeme ve Geometri Değişimi
Bakımından Lineer Olmayan Sistemler", İ.T.Ü. Kütüphanesi,
Sayı: 1168, İstanbul, 1980.
- /15/ Özışık, G. "Betonarme" İnşaat Mühendisleri Odası Yayınla-
rı, 1980.
- /16/ Horne, M.R. and Morris, L.J. "Plastic Design of Low-Rise
Frames" Granada Publishing, 1981.
- /17/ Oğuz, S. "Yapıların Plastik Analizine Giriş", İnşaat Müh-
endisleri Odası Yayınları, 1983.
- /18/ İnân, M., "Cisimlerin Mukavemeti", İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, 1984.
- /19/ Oğuz, S. "Rijit Cisimler Statığı", A.Ü.Mühendislik Fakül-
tesi Yayınları, 1984.