

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

85062

**KOMPOZİT KİRİŞLERİN STABİLİTE PROBLEMLERİ**

**Mücahit OPAN**

**F.B.E. İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zafer ÖZTÜRK**

85062

**İSTANBUL, 1999**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT KİRİŞLERİN STABİLİTE PROBLEMLERİ**

**Mücahit OPAN**

**F.B.E. İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tezin Savunma Tarihi:09 Temmuz 1999**

**Tez Danışmanı :Prof. Dr. Zafer ÖZTÜRK(YTÜ)**

**Jüri Üyeleri :Prof. Dr. Zekeriya POLAT(YTÜ)**

**:Prof. Dr. Saadettin ÖKTEN(MSÜ)**

**İSTANBUL, 1999**

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Kompozit Sistemler ve Kompozit Kirişler.....	1
1.1.1 Betonarme plak.....	2
1.1.2 Çelik kirişler.....	3
1.1.3 Birlikte çalışmayı temin eden kamalar(Kayma birleşimleri).....	3
2. BETONUN ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1 Betonun Basınç Dayanımı.....	4
2.2 Gerilme Deformasyon Özellikleri.....	5
2.3 Betonun Çekme Dayanımı ve Çekme Altında Deformasyon Özellikleri.....	7
2.4 Betonun Kayma Dayanımı.....	7
2.5 Betonun Elastisite Modülü.....	7
2.6 Betonun Kayma Modülü, Poisson Oranı ve Genleşme Katsayısı.....	9
2.7 Betonda Zamana Bağlı Deformasyon.....	10
2.7.1 Büzülme.....	11
2.7.2 Sünme.....	12
3. ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİ.....	14
3.1 Yapı Çeliği Emniyet Gerilmeleri.....	15
4. PAYLAŞTIRILMIŞ KESİT TESİRLERİ YÖNTEMİ ve PLASTİK HESAP TEORİSİ.....	17
5. KOMPOZİT KİRİŞLERİN BETONARME PLAĞIN ETKİLİ GENİŞLİĞİNİN TASARIMI.....	18

6.	YÜKLEME DURUMLARI.....	20
6.1	Zamana Bağlı Yükler.....	20
6.1.1	Sürekli yükler.....	20
6.1.2	Geçici yükler.....	20
6.2	Zamana Bağlı Olmayan Yükler.....	20
6.2.1	Ölü yük.....	20
6.2.2	Hareketli yükler.....	21
6.2.3	Deformasyon yükleri.....	21
7.	PLASTİK HEŞABA GÖRE KOMPOZİT KİRİŞLERDE GERİLME	
	ANALİZİ.....	22
7.1	Tarafsız Eksenin Konumu.....	22
7.1.1	Tarafsız eksenin beton başlıktan geçmesi (Beton basınç bölgesinde).....	22
7.1.2	Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığında geçmesi (Beton basınç bölgesinde).....	25
7.1.3	Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi (Beton basınç bölgesinde).....	26
7.1.4	Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığında geçmesi (Beton basınç bölgesinde; Yaklaşık çözüm).....	27
7.1.5	Beton başlığın çekme bölgesinde kalması halinde plastik momentin hesabı.....	28
8.	PAYLAŞTIRILMIŞ KESİT TESİRLERİ YÖNTEMİNE GÖRE GERİLME	
	ANALİZİ.....	30
8.1	İdeal Alan.....	30
8.2	İdeal Ağırlık Eksenini.....	32
8.3	İdeal Atalet Momenti.....	32
8.4	Süreklilik Şartları.....	34
8.5	Statik moment.....	34
8.6	Normal Kuvvet.....	35
8.7	Eğilme Momenti.....	35
8.8	Gerilme Hesabı.....	37
9.	SÜNME ve RÖTREDEN GELEN İLAVE KESİT TESİRLERİ.....	38
9.1	Sabit Sürekli Yükleme Sonucu Sünme ve Rötreden Gelen İlave Kesit Tesirleri (Öngerilmesiz Kompozit Kesit).....	39
9.2	dt Zamani Zarfındaki İlave Çelik Deformasyonları.....	39
9.3	dt Zamani Zarfındaki İlave Beton Deformasyonları.....	40
9.4	İlave Kesit Tesirleri İçin Denge ve Süreklilik Denklemleri.....	43
10.	KAYMA BİRLEŞİMLERİ.....	51
10.1	Tasarım Kabulleri.....	51
10.2	Yükleme Şartları.....	51

10.3	Yatay Kayma.....	52
10.4	Bir Kayma Birleşimi İçin Tasarım Yüğü.....	53
10.5	Güvenlik Faktörü.....	55
10.6	Birleşimlerin Aralığı.....	56
10.7	Ölçülendirme.....	56
10.8	Kaynaklı Birleşimlerin Tasarımı.....	57
11	YEREL BURKULMA.....	64
11.1	Berkitmesiz Gövdenin Elastik Yerel Burkulması.....	65
11.2	Berkitmeli Gövdelerin Elastik Yerel Burulması.....	69
11.3	Boyuna Berkitmelerin Burulması.....	73
11.4	Kesme ve Eğilmenin İlişkisi.....	76
11.5	Deneylerin Yapılışı.....	79
11.6	Berkitmesiz Kesitler.....	81
11.7	Berkitmeli Kesitleri Olan Kirişlerin Plastik Tasarımı.....	81
12	ÇARPILMA BURULMASI.....	83
12.1	$\sigma_{el}$ , $M_{el}$ ve $\omega_{el}$ 'nin Hesaplanması İçin İşlemler.....	92
13	YERDEĞİŞTİRME ANALİZİ.....	95
13.1	İzostatik Kompozit Sistemler(Elastik Deplasmanlar).....	96
13.2.	Trapez biçimli yayılı yük.....	102
13.3	Tekil yük.....	103
13.4	Üniform yayılı yük.....	104
13.5	Açıklık ortasındaki tekil yük.....	104
13.6	Aralıkları eşit olan ikili tekil yük katarı.....	105
14	PLASTİK HESAP TEORİSİ İÇİN ÖRNEKLER.....	106
14.1	Örnek 1.....	106
14.2	Örnek 2.....	108
14.3	Örnek 3.....	109
15	PAYLAŞTIRILMIŞ KESİT TESİRLERİ YÖNTEMİ İÇİN ÖRNEKLER.....	110
15.1	Örnek 1.....	110
15.2	Örnek 2.....	117
16	SONUÇLAR.....	124
	KAYNAKLAR.....	126
	ÖZGEÇMİŞ.....	128

## SİMGE LİSTESİ

$\beta_{WN}$	Plastik hesap teorisine göre 28 günlük betonun minimum küp veya silindir basınç mukavemeti
$A_a$	Plastik hesap teorisine göre çelik profil alanı
$M_{pl}$	Plastik hesap teorisine göre plastik moment
$D_b$	Plastik hesap teorisine göre betonarme plajın taşıdığı kuvvet
$Z_a$	Plastik hesap teorisine göre çelik profilin taşıdığı kuvvet
$\sigma_F$	Plastik hesap teorisine göre çeliğin akma gerilmesi
$\beta_R$	Plastik hesap teorisine göre betonun hesap mukavemeti
$M_v$	Plastik hesap teorisine göre ön boyutlandırma da esas alınacak moment
$Q_{pl}$	Plastik hesap teorisine göre kesme kuvveti
$\tau$	Plastik hesap teorisine göre kayma mukavemeti
$D_s$	Plastik hesap teorisine göre kamanın taşıyabileceği basınç kuvveti
$E_b$	Betonun elastisite modülü
$\sigma_F$	Plastik hesap teorisine göre bulonun akma gerilmesi
$n$	Kaymaya göre gerekli olan bulon sayısı
$n_{pl}$	Plastik hesap teorisine göre gerekli bulon sayısı
$N_{B,b,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında betonarme plak kesitinin taşıdığı normal kuvvet
$N_{B,i,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında kompozit kesitin taşıdığı normal kuvvet
$N_{B,st,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında çelik kiriş kesitinin taşıdığı normal kuvvet
$M_{B,b,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında betonarme plak kesitinin taşıdığı moment
$M_{B,i,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında kompozit kesitin taşıdığı moment
$M_{B,st,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında çelik kiriş kesitinin taşıdığı normal kuvvet
$M_{R,b,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında betonarme plak kesitinin taşıdığı toplam moment
$M_{R,i,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında kompozit kesitin taşıdığı toplam moment
$M_{R,st,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında çelik kiriş kesitinin taşıdığı toplam moment
$N_{R,b,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında betonarme plak kesitinin taşıdığı toplam normal kuvvet
$N_{R,i,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında kompozit kesitin taşıdığı toplam normal kuvvet
$N_{R,st,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında çelik kiriş kesitinin taşıdığı toplam normal kuvvet
$M_{S,b,t}$	PKTY'ne göre sünme ve rötre etkileri altında betonarme plakta oluşan ilave moment kesit tesiri
$M_{S,st,t}$	PKTY'ne göre sünme ve rötre etkileri altında çelik kiriş kesitinde oluşan ilave moment kesit tesiri
$N_{S,b,t}$	PKTY'ne göre sünme ve rötre etkileri altında betonarme plakta oluşan ilave normal kuvvet kesit tesiri
$N_{S,st,t}$	PKTY'ne göre sünme ve rötre etkileri altında çelik kiriş kesitinde oluşan ilave normal kuvvet kesit tesiri
$\theta$	Momentten oluşan dönme
$\epsilon_b$	Betonarme plak kesitine ait deformasyon
$\epsilon_i$	Kompozit kesite ait deformasyon
$\epsilon_{st}$	Çelik kiriş kesitine ait deformasyon
$S_b$	Betonarme plak kesitine ait statik moment
$S_i$	Kompozit kesite ait statik moment

$S_{st}$	Çelik kiriş kesitine ait statik moment
$A_b$	Betonarme plak kesitinin alanı
$A_i$	Kompozit kesitin alanı
$A_{st}$	Çelik kiriş kesitinin alanı
$I_b$	Betonarme plak kesitine ait atalet momenti
$I_i$	Kompozit kesite ait atalet momenti
$I_{st}$	Çelik kiriş kesitine ait atalet momenti
$N_s$	PKTY'ne göre sünme ve rötire etkileri altında oluşan ideal normal kuvvet
$\epsilon_s$	Sünme ve rötire deformasyonu
$\epsilon(t, \tau)$	$\tau$ zamandaki yüklemeye dolaylı t zamanındaki deformasyon
$\epsilon_{sh}(t)$	t zamanındaki rötire deformasyonu
$E_c(\tau)$	Betonun elastisite modülü
$E_c(t, \tau)$	Betonun etkili modülü
$\sigma(\tau)$	$\tau$ zamanındaki gerilme
$\phi(\tau)$	Sünme ile ilgili katsayı
$\phi$	Sünme katsayısı (sabit bir kalıcı yüke maruz kalan betonda sünme deformasyonunun başlangıç ani deformasyonuna oranı olarak belirlenen zaman fonksiyonu)
$\epsilon_{sh}^*$	Zaman sonsuzluğundaki sonuç rötire deformasyonu
$\phi^*$	Zaman sonsuzluğundaki sünme katsayısı
$S$	Plak ile kirişin birleşmesiyle çelik başlığın yatay kesmesi
$V_c$	Kompozit kesit üzerinde etkiyen düşey kesme
$m$	( $kn=E_s/E_c$ kullanılarak) Kompozit kesitin tarafsız eksen civarında dönüştürülmüş beton alanının statik momenti veya negatif momente göre plağın içindeki donatı alanının statik momenti
$I_c$	( $kn=E_s/E_c$ kullanılarak) Dönüştürülmüş kompozit kesitin atalet momenti
$Q$	Tek kesme birleşimi için tasarım yükü
$Q_{uc}$	Kayma birleşiminin yararlı kapasitesi
$FS$	Güvenlik faktörü
$P$	Kiriş ekseninin yönündeki birleşimlerin aralığı
$N$	Tek enine kiriş enkesitindeki birleşimlerin sayısı
$S$	Yatay kesme
$M_{DL}$	Kompozit kesite etkiyen ölü yük ile oluşan moment
$M_{LL}$	Hareketli yük ile oluşan maksimum moment
$M_{DS}$	Yalnız çelik kesite etkiyen ölü yük ile oluşan maksimum moment
$S_{bc}$	En uçta olan çekme lifleri için kompozit kesitin kesit modülü
$S_{bs}$	En uçta olan çelik kesit modülü
$V_{DL}$	Kompozit kesite etkiyen ölü yük ile oluşan kayma kuvveti
$V_{LL}$	Hareketli yük ile oluşan kayma kuvveti
$A$	Tasarım ihtiyaçlarına ve kompozit kesitin özelliklerine bağlı olan numerik katsayı
$f_{DL}$	Kirişte ölü yüklerden dolayı oluşan maksimum birim gerilme
$f_{LL}$	Kirişte hareketli yüklerden dolayı oluşan maksimum birim gerilme
$T_{st,t}$	PKTY'ne göre çelik kirişte oluşan ilave yatay kayma kuvveti kesit tesiri
$T_{st,o}$	PKTY'ne göre çelik kirişte sabit yüklerden oluşan yatay kayma kuvveti kesit tesiri
$T_{st,\Sigma}$	PKTY'ne göre çelik kirişte oluşan toplam yatay kayma kuvveti kesit tesiri
$T_{st,a}$	PKTY'ne göre $\Delta s$ uzaklığındaki çelik kirişe ait lifte oluşan kayma kuvveti kesit tesiri
$N_{st,a}$	PKTY'ne göre $\Delta s$ uzaklığındaki çelik kirişe ait lifte oluşan normal kuvvet

$T_{v,st,o}$	PKTY'ne göre $\Delta s$ uzaklığındaki çelik kirişe ait lifte oluşan kayma kuvveti
$S_{st,a}$	PKTY'ne göre $\Delta s$ uzaklığındaki çelik kirişe ait lifte oluşan statik moment
$D$	Bir takozun alabileceği emniyetli kuvvet
$F_D$	Takoz alın alanı
$\sigma_{bD}$	Takoz alın alanındaki beton basınç emniyet gerilmesi
$\mu$	Redüksiyon katsayısı
$\sigma_e$	Çeliğin emniyet gerilmesi
$F_e$	Bir takoz bölgesindeki etkin takoz alanı
$P_D$	Takoza gelen kuvvet
$\sigma_{ols}$	Yerel burkulma gerilmesi
$k_{st}$	Çeliğin rijitlik katsayısı
$\tau_{cr}$	Kesme gerilmesi
$\tau_{cro}$	Kritik kesme gerilme
$\sigma_{cr}$	Eğilme gerilmesi
$\sigma_{cro}$	Kritik eğilme gerilmesi
$\epsilon_o$	Akma deformasyonu
$\sigma_{el}$	Çarpılma burkulmasında gerilme
$M_{el}$	Çarpılma burkulmasında moment
$\omega_{el}$	Çarpılma burkulmasında düzgün yayılı yük
$P_{cr}$	Çarpılma burkulmasında kritik burkulma yükü
$\lambda_{el}$	Çarpılma burkulmasında burkulma boyu
$N_{M,b,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında eğilme momentinden dolayı betonarme plak kesitinde oluşan normal kuvvet kesit tesiri
$M_{M,i,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında eğilme momentinden dolayı kompozit kirişte oluşan normal kuvvet kesit tesiri
$M_{M,b,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında eğilme momentinden dolayı betonarme plak kesitinde oluşan moment kesit tesiri
$N_{M,st,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında eğilme momentinden dolayı çelik kiriş kesitinde oluşan normal kuvvet kesit tesiri
$M_{M,st,o}$	PKTY'ne göre sabit yükler altında eğilme momentinden dolayı çelik kiriş kesitinde oluşan moment kesit tesiri
$y$	Kısmi kayma birleşimleri olan kirişlerin yerdeğiştirilmesi
$y_s$	Kompozit kirişin yerdeğiştirilmesi
$A_{ct}$	Betonarme plağın dönüştürülmüş alanı
$A_s$	Çelik kirişin kesit alanı
$R_1$	Kayma birleşimleri ile ilgili katsayı
$R_2$	Kayma birleşimleri ile ilgili katsayı
$C$	Kayma birleşimleri ile ilgili katsayı
$y_m$	Kısmi kayma birleşimleri olan kirişlerin orta açıklığındaki yerdeğiştirilmesi
$y_{sm}$	Kompozit kirişin orta açıklığındaki yerdeğiştirme

## KISALTMA LİSTESİ

DL	Ölü yük
LL	Hareketli yük
CC	İki ucu ankastre mesnet
FF	İki ucu serbest
SS	İki ucu sabit mesnet
PKYT	Paylaştırılmış kesit tesirleri yöntemi



Şekil 2.1	Betonun gerilme-birim deformasyon eğrisi.....	5
Şekil 2.2	Betonun elastisite modülleri.....	8
Şekil 3.1	Yumuşak çelitte gerilme - deformasyon eğrisi.....	14
Şekil 5.1	Betonarme plaktaki etkili genişlik için verilen değerler.....	19
Şekil 7.1	Tarafsız eksenin beton başlıktan geçmesi halinde $M_{pl}$ plastik momentinin hesabı.....	22
Şekil 7.2	Betonun guse profiller üzerine dökülmesi.....	24
Şekil 7.3	Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığında geçmesi halinde $M_{pl}$ momentinin hesabı.....	25
Şekil 7.4	Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi halinde $M_{pl}$ plastik momentin hesabı.....	26
Şekil 7.5	Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi halinde $M_{pl}$ plastik momentinin yaklaşık hesabı.....	27
Şekil 7.6	Negatif moment bölgesinde $X_{pl}$ plastik momentinin hesabı.....	28
Şekil 8.1	Kompozit kiriş enkesiti.....	30
Şekil 8.2	İdeal alan.....	31
Şekil 8.3	İdeal atelet momenti.....	33
Şekil 8.4	Normal kuvvetin paylaşılması.....	35
Şekil 8.5	Eğilme momentinin paylaşılması.....	36
Şekil 8.6	Kompozit bir kirişte gerilmenin olduğu eksenler.....	37
Şekil 9.1	dt zamanı zarfındaki ilave kesit tesirleri.....	39
Şekil 9.2	dt zamanı zarfında eğilme momentinden oluşan dönme.....	40
Şekil 9.3	Sonuç plastik deformasyonlar (Elastik deformasyonlar sonucu, burada düşey olarak alınan kesit düzlemi aslında eğik durumdadır.).....	43
Şekil 9.4	dt zamanı zarfında kompozit kesitte meydana gelen birim (plastik) boy değişimleri ve birim plastik dönmeler.....	45
Şekil 10.1	Kayma birleşimlerinin tipleri.....	53
Şekil 10.2	Kompozit kesitte kayma kuvvetleri.....	58
Şekil 10.3	Kompozit kesitte meydana gelen kayma gerilmeleri.....	59
Şekil 10.4	Takozların teşkili ve aralarındaki uzaklıklar.....	61
Şekil 10.5	Kompozit kesitte takoz alın alanı ve dağıtma alanı.....	62
Şekil 10.6	Kompozit kesitte DIN 1078'e göre takoz boyutları.....	63
Şekil 11.1	Kompozit kirişin enkesiti.....	64
Şekil 11.2	Kompozit kesit a)Kesit, b)Deformasyonlar.....	65
Şekil 11.3	( $\alpha = 0.6$ ) Burulmadan önce akmaya göre narinlik.....	66
Şekil 11.4	( $\alpha = 0.7$ ) Burulmadan önce akmaya göre narinlik.....	67
Şekil 11.5	( $\alpha = 0.8$ ) Burulmadan önce akmaya göre narinlik.....	67
Şekil 11.6	( $\alpha = 0.9$ ) Burulmadan önce akmaya göre narinlik.....	68
Şekil 11.7	( $\alpha = 1.0$ ) Burulmadan önce akmaya göre narinlik.....	68
Şekil 11.8	( $\alpha = 1.0$ )Elastik kritik gövde gerilmesi.....	69
Şekil 11.9	( $\alpha = 0.9$ )Elastik kritik gövde gerilmesi.....	70
Şekil 11.10	( $\alpha = 0.8$ )Elastik kritik gövde gerilmesi.....	70
Şekil 11.11	( $\alpha = 0.7$ )Elastik kritik gövde gerilmesi.....	71

Şekil 11.12	( $\alpha = 0.6$ )Elastik kritik gövde gerilmesi.....	71
Şekil 11.13	Burulma gerilmesi.....	72
Şekil 11.14	( $\alpha = 1.0$ ) Berkitmelerin yerel burulma katsayısı.....	73
Şekil 11.15	( $\alpha = 0.9$ ) Berkitmelerin yerel burulma katsayısı.....	74
Şekil 11.16	( $\alpha = 0.8$ ) Berkitmelerin yerel burulma katsayısı.....	74
Şekil 11.17	( $\alpha = 0.7$ ) Berkitmelerin yerel burulma katsayısı.....	75
Şekil 11.18	( $\alpha = 0.6$ ) Berkitmelerin yerel burulma katsayısı.....	75
Şekil 11.19	( $\alpha = 1.0$ ) Eğilme-kesme ilişkisi.....	77
Şekil 11.20	( $\alpha = 0.9$ ) Eğilme-kesme ilişkisi.....	77
Şekil 11.21	( $\alpha = 0.8$ ) Eğilme-kesme ilişkisi.....	78
Şekil 11.22	( $\alpha = 0.7$ ) Eğilme-kesme ilişkisi.....	78
Şekil 11.23	( $\alpha = 0.6$ )Eğilme-kesme ilişkisi.....	79
Şekil 11.24	a)Beton ve kesme bağlantılarından kuvvetin aktarılması b)(Kaynaklı olanlar)Kesme birleşimlerinden kuvvetin aktarılması.....	79
Şekil 12.1	Kiriş ve rijit plak a)Kiriş ve rijit plağın enkesiti, b) Elastik bir şekilde mesnetlenen kolon olarak modellenen başlığın planı(C, S ve F, sırasıyla, ucu ankastre, basit mesnetli veya serbest).....	83
Şekil 12.2	EM ve eğrilik diyagramı: (a) Eğilme momenti diyagramı, (b)Eğrilik diyagramı, (c)A <sub>1</sub> -A <sub>4</sub> alanlarını gösteren EM diyagramı.....	84
Şekil 12.3	Hogging ve sagging gerilme dağılımı gösterilen kompozit kirişin kesiti.....	88
Şekil 12.4	Gösterilen $\delta$ 'nin değerleri için $\alpha$ 'ya karşı $a / L$ eğrileri.....	89
Şekil 12.5	$d_{sag}/d_{hog} = 1$ ve $\delta \rightarrow \infty$ olduğunda C-C durumu için burulma eğrileri.....	90
Şekil 12.6	$d_{sag}/d_{hog} = 1$ ve $\delta \rightarrow \infty$ olduğunda S-S durumu için burulma eğrileri.....	91
Şekil 12.7	$d_{sag}/d_{hog} = 1$ ve $\delta \rightarrow \infty$ olduğunda F-F durumu için burulma eğrileri.....	93
Şekil 12.8	$d_{sag}/d_{hog} = 1$ ve $\delta = 10$ olduğunda C-C durumu için burulma eğrileri.....	93
Şekil 12.9	$d_{sag}/d_{hog} = 1$ ve $\delta = 10$ olduğunda S-S durumu için burulma eğrileri.....	94
Şekil 12.10	$d_{sag}/d_{hog} = 1$ ve $\delta = 10$ olduğunda F-F durumu için burulma eğrileri.....	94
Şekil 13.1	Kompozit kesitte verilen yükleme ile kesit tesirleri diyagramı.....	96
Şekil 13.2	Çelik kesit üzerinde hesapta kompozit kesite gelen etkiler.....	98
Şekil 13.3	Kompozit kesitte verilen yükleme ile kesit tesirleri diyagramı.....	99
Şekil 13.4	Trapez yayılı yük altındaki basit mesnetli kiriş.....	102
Şekil 13.5	Tekil yük altındaki basit mesnetli kiriş.....	103
Şekil 13.6	Üniform yayılı yük altındaki basit mesnetli kiriş.....	104
Şekil 13.7	Açıklık ortasından tekil yük etkileyen basit mesnetli kirişler.....	104
Şekil 14.1	Statik sistem ve enkesit.....	106
Şekil 14.2	Enkesit.....	108
Şekil 14.3	Çekme başlığındaki donatıyı hesaba katarak $M_{pl,Q}$ = plastik momentinin hesabı.....	109
Şekil 15.1	Kompozit kesite ait değerler.....	110
Şekil 15.2	Taşıyıcı sistem ve yükleme durumu, kompozit kirişe ait değerler.....	117
Şekil 15.3	Taşıyıcı sisteme ait moment ve kesme kuvveti diyagramı.....	118
Şekil 15.4	Taşıyıcı sistem ve verilen yükleme altındaki $M_H$ , $M_{g2}$ , $M_P$ diyagramları.....	119

Çizelge 3.1	Çelik yapıda yapılar ve yükleme durumları.....	15
Çizelge 3.2	Çeliğin akma, emniyetli normal ve kayma gerilmeleri.....	15



## **ÖNSÖZ**

Bu çalışma, yüksek yapılarda, demiryollarında ve otoyollarda karşımıza çıkan kompozit kirişlerin stabilite problemleri üzerinedir.

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını hiç esirgemeyen hocam sayın Prof. Dr. Zafer Öztürk'e, ayrıca KOÜ'deki hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



## **ÖZET**

**Betonarme plak ile çelik kirişlerden oluşturulan kompozit kirişler yüksek yapılarda, otoyol ve demiryolu köprülerinde sıkça kullanılan taşıyıcı yapı elemanlarıdır.**

**Kompozit kirişlerde normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri, yerdeğiştirmeler, yerel ve çarpılma burkulmaları stabilite problemlerine neden olmaktadır.**

**Stabilite analizleri, Paylaştırılmış Kesit Tesirleri ve Plastik Hesap Teorisi yöntemlerine dayanılarak yapılmaktadır. Yerel burkulma analizi deneysel olarak elde edilmiş sonuçlara dayandırılmaktadır. Çarpılma burkulma analizi plastik hesaba göre yapılmaktadır.**

**Paylaştırılmış Kesit Tesirleri yöntemi emniyet gerilmelerine dayanan bir yöntemdir. Amaç her elemana gelen yüklerin belirlenmesi ve elemanın emniyet gerilmesine bağlı olarak gerekli tahkiklerin yapılmasıdır. Her elemana gelen etkiler elemanların rijitliklerine bağlı olarak belirlenmektedir.**

**Plastik Hesap Teorisi'nde kompozit kirişlerin taşıma gücü tarafsız eksenin betonarme plakta, çelik kirişin başlığında ve gövdesinde bulunduğu haller gözönüne alınarak hesaplanır. Bu uygulama taşıma gücü yönteminde kirişlerin taşıma kapasitesinin bulunmasına benzer.**

**Kompozit kirişlerin iki farklı yapı elemanının tek bir eleman gibi çalışmasının sağlanması ve dış etkilerden gelebilecek her türlü yüke göre tasarlanması gerekmektedir.**

**Paylaştırılmış Kesit Tesirleri Yöntemi'ne göre sünme ve rötreden oluşabilecek etkiler gözönünde bulundurularak sayılan bu etkilerin dış yükler yanında ne ölçüde etkili olduğu araştırılmıştır.**

**Paylaştırılmış Kesit Tesirleri Yöntemi, stabilite problemlerinin çözümünde plastik hesap teorisine göre daha kullanışlı ve mantıklı sonuçlar vermektedir. Normal ve kayma gerilmeleri analizinde iki yöntemde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.**

## **ABSTRACT**

**Composite beams constituted by concrete slab and steel beams are the structural elements commonly used in the rise buildings, highways and railway bridges**

**Normal and shear stresses, deflections, local and distortional buckling cause stability problems in composite beams.**

**Stability analyses are made according to the distributed section forces and plasticity theory. Local buckling analyses are based on the experimental results. Distortional buckling analyses are according to plasticity theory.**

**The distributed section forces method is an assesment which depends on allowable stresses. The purpose in this method is to determine the loads carried by each member and to make necessary investigations accordşng to allowable stresses of the members. The carried section forces are due to the subjected element stiffnesses**

**İn the plasticity theory, bearing capacity of composite beams is calculated by considering the neutral axis locations which may be stuated on slab, flange or web of steel girder. This applications is similar to the bearing capacity design of such beams.**

**İn the composite beams, it is necessary to provide composite behavior of two different part of the beam.**

**The effects caused by creep and shrinkage according to the distributed section forces method are stued and, they are compared with the section forces due to the external loads.**

**Distributed section forces method is more convenient and gives logical results then the plasticity theory. Similar results are obtained for normal and shear stresses by using two methods.**

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Kompozit Sistemler ve Kompozit Kirişler

Kompozit sistemler, otoyol köprüleri ve yüksek yapılarda çok sık bir şekilde karşılaştığımız yapı sistemlerinden biridir. Diğer yapı sistemlerine göre düşük maliyeti, kolay ve hızlı yapımı ve tasarım kolaylığı dolayısıyla sıkça kullanılmaktadır.

Otoyol köprülerinde iki asal yük taşıma elemanı söz konusudur:

1. Boyuna doğrultuda çelik kirişler
2. Enine yönde yükleri dağıtan betonarme plak (17).

Betonarme plak, çelik kirişlere uygun şekilde bağlı ise, kirişlerin parçası bir levha gibi davranmakta ve boyuna yöndeki yükleri taşımakta çelik kirişlere yardım etmektedir (17).

Kompozit bir kiriş geçici mesnetlerle veya mesnetsiz (iskeleli veya iskelesiz) inşaa edilebilmektedir (17).

Çelik kirişler, betonarme plak gerekli mukavemeti kazanuncaya kadar geçici mesnetler üzerinde bırakıldığı zaman, bütün yüklerin kompozit kesit tarafından taşındığı kabul edilmektedir. Bu yüzden, iskeleli yapı, iskelesiz yapıdan daha küçük kesitler gerektirmektedir (17).

Kompozit sistemlerin en önemli özelliği, birbirinden yapısal olarak farklı malzemelerin statik açıdan birlikte davranmalarıdır. Herhangi iki farklı malzemedен oluşan bir kesit kompozit kesit olarak tanımlansa da, daha çok, çelik ve beton gibi iki farklı yapı malzemesinin birleşmesiyle oluşan elemanlar kompozit elemanlar olarak kabul edilmektedir. Genel anlamda, betonarme kesitler de bu tanımlamaya göre kompozit kesit olarak kabul edilmektedir (17).

Statik açıdan bu iki malzemenin birlikte çalışması durumu şöyle açıklanabilir: Üzerine betonarme plaklar döşenmiş çelik konstrüksiyonlardan farklı olarak kompozit kirişlerde çelik taşıyıcılar, betonarme plaklarla özel yapı elemanları vasıtasıyla, kaymaya karşı mukavemetli bir şekilde birbirlerine bağlanırlar. Bu şekilde betonarme plak ve çelik kirişin birlikte çalışması sağlanabilmektedir.

Kompozit elemanların kullanılma amaçları şöyle sıralanabilir:

1. Çelikten tasarruf edilmesi (basınç bölgesinde beton kullanılmakla çelikten tasarruf sağlanır),
2. Tabliye kalınlığının azaltılması,
3. Büyük açıklıkları ekonomik olarak geçme imkanı,
4. Kompozit yapının bileşenlerinin (çelik ve betonarme) çok iyi bilinmesi ve bu yapılarda geniş deneyim kazanılmış olunması (19),

Betonarme plak ile çelik kiriş arasındaki bağlantı, küçük çelik çubuklar veya değişik şekillerde teşkil edilmiş çelik bağlantı elemanları ile temin edilmektedir. Bunlar, çelik kirişin üst başlığına kaynaklanmaktadır. Bu ankraj kamalarının fonksiyonu, yatay kayma kuvvetini betondan çelik kirişe aktarmaktır. Kayma kuvvetinin fazla olması halinde betonun ankraj yerlerinden kırılmaması için kamaların etrafına çelik sargı sarılmakta ve böylece kompozit yapının inşaatı için üç eleman gerekli olmaktadır:

1. Betonarme plak,
2. Çelik kirişler,
3. Birlikte çalışmayı temin eden kamalar (kayma birleşimleri)

### **1.1.1 Betonarme plak**

Betonarme plak, çelik kirişlerin basınç tarafına yerleştirilmesi halinde etkili bir kaplama levhası olarak davranmaktadır. Plak boyutları, genellikle kiriş aralığı ve aynı yöndeki yük

aktarımı için gerekli kapasite ile belirlenir. Plağın tasarımı kompozit davranıştan bağımsız dűřünülebilir.

### **1.1.2 elik kirişler**

elik kirişler, birleşik kesitli veya başlık levhalı hadde kirişleridir. Alt başlığında başlık levhası olan hadde kirişleri gibi asimetrik kesitli elik kirişler, kompozit yapılar için daha ekonomik olmaktadır.

### **1.1.3 Birlikte çalışmayı temin eden kamalar (Kayma birleşimleri)**

Kayma birleşimleri, betonarme plak ve elik kirişler arasında gerekli birleşimi sağlamaktadır. Kayma birleşimleri ile birleşen betonarme plak ve elik kirişler, tek bir eleman gibi çalışmalıdır.



## 2. BETONUN ÖZELLİKLERİ

Beton, homojen ve elastik olmayan bir malzemedir. Kendine özgü davranışı, zamana ve yük geçmişine bağlıdır. Beton, kompozit elemanları oluşturan başlıca yapı malzemelerinden birisidir. Kompozit yapı açısından betonun önemli bazı özellikleri aşağıda özetlenmektedir.

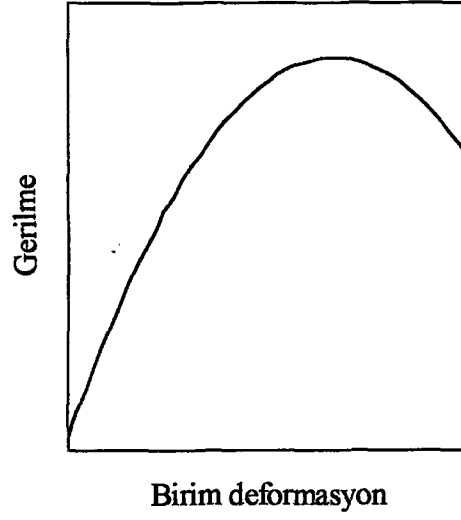
### 2.1 Betonun Basınç Dayanımı

Beton, basınç mukavemeti yüksek, çekme mukavemeti düşük bir malzemedir. Betonun çok düşük olan çekme mukavemeti hesaplarda genellikle dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği basınç mukavemetidir. Betonun standart basınç mukavemeti suda saklanmış 28 günlük, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin aksel basınç altındaki mukavemeti olarak tanımlanmıştır. Gerilme cinsinden ifade edilen mukavemet, silindirin kırılma yükü kesit alanına bölünerek bulunur.

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine zaman zaman  $200 \times 200 \times 200$  mm'lik küp numuneleri de kullanılmaktadır. Küp ve silindir mukavemetleri arasındaki ilişkiyi sağlayabilmek için çok sayıda deney yapılmıştır. Bu araştırmalar sonunda, silindir mukavemetinin, küp mukavemetine oranının ortalama 0,80-0,85 olduğu bulunmuşsa da bir çok numunede bu oranın 0,7'e kadar düştüğü veya 1,1'e kadar yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumda küp mukavemeti 0,80 ila 0,85 gibi bir katsayı ile çarpılarak silindir mukavemetine çevrilebilirse de, bunun hiç bir zaman kesin olmadığı unutulmamalıdır (11).

Beton zamanla dayanım kazanan bir malzemedir. İlk 7 günde çok hızlı olan mukavemet kazanımı yavaşlayarak devam eder. Bu nedenle standart mukavemetin belirli bir beton yaşı ile ifade edilmesi zorunlu olmuştur. Bugün tüm uluslararası ve ulusal yönetmeliklerde 28 günlük mukavemet, standart mukavemet kabul edilmiştir. Betonarmede kullanılan betonun 28 günlük silindir basınç dayanımı genelde  $150-250 \text{ kg/cm}^2$  arasında değişir.

## 2.2 Gerilme-Deformasyon Özellikleri



Şekil 2.1 Betonun gerilme-birim deformasyon ilişkisi

Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan, genellikle hesaplarda dikkate alınmamaktadır. Beton için önemli olan basınç dayanımı dolayısıyla basınç altındaki gerilme-birim deformasyon ilişkisidir. Betonun basınç altındaki davranışını belirleyen gerilme-birim deformasyon eğrileri,  $15 \times 30$  cm'lik standart silindirlerin aksenal basınç altında davranmasından elde edilir (11).

Betonun gerilme-birim deformasyon özelliklerini bir çok değişkenin etkilediği bilinmektedir. Bu değişkenlerin etkisinden dolayı beton için tek ve kesin bir gerilme-birim deformasyon eğrisi tanımlamak olanaksızdır. Bu nedenle Şekil 2.1'de gösterilen gerilme-birim deformasyon eğrisi, sadece betonun genel davranışı hakkında bir fikir vermek amacı ile hazırlanmıştır. Şekil 2.1'den görüleceği gibi gerilme-birim deformasyon eğrisinin düşük gerilmeler altında eğimi çok az değiştiğinden, eğrinin bu bölümü doğrusal olarak kabul edilmektedir. Ancak hemen söylemek gerekir ki bu hızlı yüklemeler için doğrudur. Beton zamanla deformasyon gösteren bir malzeme olduğundan, uzun süreli yükler altında eğrinin ilk bölümünün bile doğrusal kabul edilmesi yanıltıcı sonuçlara götürebilir (11).

Şekil 2.1’de gösterilen eğrinin diğer bir özelliği de maksimum gerilme ve dayanıma karşılık olan birim kısalma aşıldığında, artan deformasyon altında gerilmelerin azalmasıdır (11).

Kırılma anındaki birim kısalmaya karşı olan gerilme maksimum gerilmeden çok düşüktür. Betonun gerilme-birim deformasyon eğrisinin bu kuyruk kısmı ihmal edilemeyecek kadar önemlidir. Bu davranış sayesinde elemanda maksimum gerilmeye ulaşan lifler komşu liflere gerilme aktarabilir (11).

Beton gerilme-birim deformasyon eğrisinin alçalan bölümünün var olması nedeni ile fazla zorlanan liflerin daha az zorlanan liflere gerilme aktarabilme özeliği “gerilme uyumu “ olarak adlandırılır (11).

Betonun gerilme-birim deformasyon özellikleri beton dayanımı ile değişmektedir. Çeşitli dayanımları için gerilme-birim deformasyon eğrileri çizilip aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Eğrilerin başlangıç eğimi ki elastisite modülü olarak tanımlanır, beton kalitesi yükseldikçe artmaktadır.
2. Yüksek dayanımlı betonların tepe noktaları daha belirgindir.
3. Düşük dayanımlı betonlar, yüksek dayanımlı olanlara oranla daha fazla süneklige (duktilite) sahiptirler. Başka bir deyişle düşük dayanımlı betonlardaki kırılma anındaki birim kısaltmalar, yüksek dayanımlı betonlardakine oranla daha büyüktür.
4. Maksimum gerilmeye karşılık olan birim kısalma beton dayanımından bağımsız olarak yaklaşık 0,002 mertebesindedir (11).

Beton, zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzeme olduğundan yükleme hızı da, gerilme-birim deformasyon eğrisinin şeklini etkilemektedir (11).

Ayrıca etriye veya fretle sarılmış betonun gerilme-birim deformasyon özellikleri, sarılmamış betonunkinden çok farklıdır.

### 2.3 Betonun Çekme Dayanımı ve Çekme Altında Deformasyon Özellikleri

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımına oranla çok düşüktür. (Yaklaşık olarak çekme dayanımı basınç dayanımının % 10'u kadardır.) Betonun çekme dayanımının ideal olarak, aksel çekme altında denenen bir elemandan elde edilmesi gerekir. Bundan başka kiriş eğilme deneyi ve silindir yarma deneyleri ile de dolaylı olarak betonun çekme dayanımı bulunabilir.

(Silindir Yarma Deneyinden Elde Edilen Çekme Dayanımı)/(Eksenel Çekme Dayanımı)≈1.5

(Eğilme Deneyinden Elde Edilen Çekme Dayanımı)/(Eksenel Çekme Dayanımı)≈2.0

mertebesindedir.

### 2.4 Betonun Kayma Dayanımı

Betonda klasik kesme kırılmasına pek ender rastlandığından, kayma dayanımı çok önemli değildir. Betonun kayma dayanımının çekme dayanımından yüksek olması nedeniyle (kayma dayanımı basınç dayanımının %35'i ile %80'i arasında değişir), basit kayma durumunda bile kırılma, çekme dayanımının tükenmesi ile meydana gelecektir. Bilindiği gibi, basit kayma durumunda, asal çekme gerilmeleri kayma gerilmesine eşittir. Gerilmeler eşit olunca elemanın kırılması, çekme dayanımı kayma dayanımından küçük olduğundan asal çekmeye dik yönde beliren çatlaklardan oluşacaktır (11).

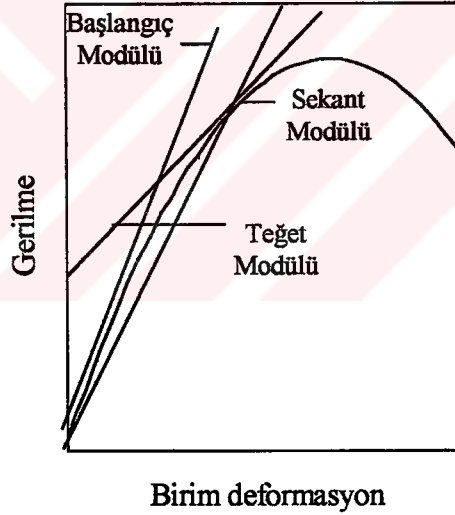
Betonarmede sık sık sözü edilen kesme kırılması, gerçekte kesme kırılması olmayıp, asal çekme gerilmelerinin neden olduğu bir kırılma türüdür (11).

### 2.5 Betonun Elastisite Modülü

Doğrusal olmayan bir davranış gösteren betonun elastisite modülünü tanımlamak oldukça zor bir sorundur. Elastisite modülü gerilme-birim deformasyon eğrisinin eğimine eşit

olduğuna göre gerilme mertebesine göre değişmektedir. Betonun elastisite modülü için çeşitli tanımlar yapılmıştır.

1. Başlangıç elastisite modülü gerilme-birim deformasyon eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimi olarak tanımlanmıştır. Bu bazı yayınlarda dinamik modül olarak adlandırılmıştır. Beton çok düşük gerilmelere maruz ise başlangıç modülü kullanılarak gerçekçi sonuçlar alınabilmektedir.
2. Teğet modülü gerilme-birim deformasyon eğrisine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimidir. Pratikte bu teğet yaklaşık olarak  $0,4f_c$  gerilmesi temel alınarak çizilmektedir.
3. Sekant modülü orijinden eğride herhangi bir gerilmeye tekabül eden noktaya çizilen kirişin eğimi olarak tanımlanmıştır. Betonun emniyet gerilmelerine yakın gerilmelere maruz olduğu durumlarda bu kabul iyi sonuçlar vermektedir. Genellikle sekant modülü  $0,5f_c$  gerilmesine göre belirlenmektedir (11).



şekil 2.2 Betonun elastisite modülleri (11)

Pratikte bu üç elastisite modülünden hangisinin kullanılacağı, söz konusu olan probleme bağlıdır. Örneğin, problem gerilmelerin çok düşük düzeyde kaldığı bir titreşim problemi ise, başlangıç modülünün kullanılması daha uygun olacaktır (11).

Beton zamana bağılı deformasyon gösteren bir malzeme olduğundan, yapılan deneyler kalıcı yükler altında betondaki deformasyonun büyük ölçüde arttığını, dolayısıyla elastisite modülünün azaldığını göstermiştir. Zamana bağılı elastisite modülünün değeri, kalıcı yükün mertebesine ve zamana bağılıdır. Elastisite modülünün zamanla ilk değerinin yarısına veya üçte birine kadar düştüğü bilinmektedir (11).

Betonun basınç dayanımı ve gerilme-birim deformasyon ilişkisini belirleyen bütün değişkenler, elastisite modülünü de etkilemektedir. Bu nedenle beton gibi elastik ve doğrusal olmayan ve zamana bağılı deformasyon gösteren bir malzemenin elastisite modülünü doğru ve kesin olarak tanımlamak mümkün değildir. Hesap için önerilen elastisite modülünü bütün değişkenleri dikkate alarak tanımlamak doğru olur. Aşağıda verilecek bağıntılar ani yükleme içindir ve zaman etkisinden bağımsızdır. Sabit yük durumunda bu değerler zamanla yarıya ve hatta üçte birine düşmektedir (11).

Normal beton için elastisite modülü aşağıdaki gibidir (18):

$$E_{cj}=10250\sqrt{F_{cj}+1400000}(\text{kg/cm}^2) \quad (2.1)$$

$$E_{cj}=3250\sqrt{F_{cj}+14000}(\text{N/mm}^2) \quad (2.2)$$

Burada:

$E_{cj}$ : J günlük betonun elastisite modülü

$F_{cj}$ : J günlük betonun silindir basınç dayanımı

## 2.6 Betonun Kayma Modülü, Poisson Oranı ve Genleşme Katsayısı

Betonun genleşme katsayısı yaklaşık olarak çelik ile aynıdır.  $\alpha_c=1 \times 10^{-5}$  cm/cm/ °C

Betonun poisson oranı gerilme düzeyine göre değişir. Poisson oranı enine birim deformasyonunun boyuna birim deformasyona oranı olduğuna göre, çok düşük ve çok

yüksek gerilmeler bir tarafa bırakılırsa,  $\sigma_c / f_c = 0,3-0,7$  arındaki gerilme düzeyinde poisson oranının 0,15-0,25 dolaylarında olduğu görülmüştür. TSE 500’de poisson oranı için 0,20 değeri önerilmektedir (11).

Kayma modülü genellikle aşağıdaki elastisite denkleminde hesaplanır.

$$G_{cj} = (E_{cj}) / (2(1 + \mu_{cj})) \quad (2.3)$$

Burada,

$G_{cj}$  = J günlük betonun kayma modülü

$E_{cj}$  = J günlük betonun elastisite modülü

$\mu_{cj}$  = J günlük betonun poisson oranı

Kayma modülü için aşağıdaki yaklaşık değeri önerilmektedir (18).

$$G_{cj} = 0,40 \cdot E_{cj} \quad (2.4)$$

Yapılan deneyler kayma modülünde elastisite modülünü benzer bir biçimde zamanla büyük değişim gösterebileceğini kanıtlamıştır. Sünme ve büzülme gibi zamana bağlı deformasyonlar nedeni ile kayma modülü önemli ölçüde azalabilmektedir (11).

## 2.7 Betonda Zamana Bağlı Deformasyon

Beton zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemedir. 28 gün suda saklanan bir numune kurumaya bırakıldıktan sonra kısalmaya başlamaktadır. Bu olaya “Büzülme“ (rötire) denir. Aynı eleman sudan çıkarıldıktan sonra sabit bir aksenal basınç altında tutulursa, ölçülen boy kısalması yüklenmemiş numuneye oranla daha fazla olur. Aradaki fark “sünme“ olarak adlandırılan etkidir. Büzülme ve sünme zamanın bir fonksiyonu olarak artar. Ancak artış hızı zamanla azalmaktadır. Beton numune ve elemanın deformasyon yapması engellenmediği süreçte, betonda gerilme oluşmamaktadır; betonarmede ise bu durum farklı

olmaktadır: donatı çeliğinde büzülme ve sünme sözkonusu olmadığından, donatı bu deformasyonu engellemeye çalışmakta, dolayısıyla hem betonda hem de donatıda gerilmeler oluşmaktadır. Kolayca anlaşılacağı gibi, donatının simetrik olduğu durumlarda betonun zamana bağlı deformasyonu nedeni ile donatı da basınç, betonda ise çekme gerilmeleri oluşacaktır. Donatının simetrik yerleştirilmediği durumlarda ise, aksenal deformasyonun yanı sıra eğilme oluşacaktır. Betonarme elemanın mesnet koşulları da zamana bağlı deformasyon nedeni ile gerilmeler oluşmasını zorlamaktadır.. Örneğin, rijit kolonlara oturan bir kirişin rötre etkisi ile büzülme çalışmasını sözkonusu kolonlar engelleme eğiliminde olduğundan, kirişte çekme gerilmeleri oluşabilecektir (11).

Sünme ve büzülme deformasyonları betonarme yapı elemanlarında önemli gerilme ve deformasyonlar oluşturarak, hasara ve çökmeye neden olabilecekleri gibi, kullanılabilirliği de etkileyebilmektedirler. Bu nedenle gereken durumda zamana bağlı deformasyon hesaplarında mutlaka dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda zamana bağlı deformasyon faydalı olabilmektedir.

### **2.7.1 Büzülme**

Betondaki çimentonun hidrasyonu için gerekli su miktarı çimento ağırlığının yaklaşık % 25'i kadardır. Ancak işlenebilir bir beton elde etmek için katılan su miktarı % 25'in çok üstündedir. Bu nedenle, beton kalıplara yerleştirildikten sonra hidrotasyon için gerekmeyen su buharlaşarak betondan ayrılmaktadır. Beton buharlaşma nedeni ile su kaybettiği hacimsel küçülme olmakta, başka bir deyişle beton büzülerek kısalmaktadır. Büzülme buharlaşmaya ve buharlaşmanın hızına bağlı olduğundan, ortamın sıcaklığı, nemi ve elemanın bu ortama açık olan yüzeyinin büyüklüğü büzülme etkilemektedir. Olay fazla suyun buharlaşması ile ilişkili olduğundan, karışımda su/çimwento oranı da önemli olmaktadır. Büzülme hızı zamanla azalır (11).

Nemsiz bir ortamda büzülmüş olan beton numune, nemli bir ortama veya suya konduğunda şişerek eski durumuna ulaşır (11).

Büzülme katsayısı  $\epsilon_{cs}$ , büzülme nedeni ile oluşacak birim boy kısalmasını ifade etmektedir. Büzülme katsayısı, betonun yaşına, ortamın nemine ve eşdeğer kalınlığa göre verilmiştir. Eşdeğer kalınlık, ( $l_e$ ) aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır.

$$l_e = \frac{2A_c}{u} \quad (2.5)$$

Burada,

$A_c$ : Elemanın kesit alanı

$u$ : Beton kesitin kuruma ortamına açık çevre uzunluğudur.

### 2.7.2 Sünme

Sünme, betonda büzülme ek olarak, sabit yük altında oluşan deformasyon olarak tanımlanmıştır. Betondaki büzülme normal ısıda ve düşük gerilmeler altında da meydana gelebilmektedir. Sabit yükler altında betonda oluşan gerilmelerin basınç dayanımının % 40'dan yüksek olduğu durumlarda orantının kaybolduğu ve sünmenin daha hızlı arttığı bilinmektedir. Sünme, ancak betonda basınç gerilmeleri oluşturan sabit yükler altında meydana gelir.

Sünme ile ilgili deformasyonun mertebesi, bir çok değişkene bağlıdır. Bunlardan en önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

1. Yük uygulanan betonun yükleme anındaki yaşı. Betonun taze iken yüklenen numunedeki sünme deformasyonu, yaşlı bir betona oranla daha fazla olur.
2. Karışımdaki su/çimento oranı . Su/çimento oranı arttıkça sünme deformasyonu artar.
3. Ortamın bağıl nemi: Nem arttıkça sünme deformasyonu azalır.
4. Gerilme düzeyi. Kalıcı yük uygulandığı anda betonda oluşan gerilmelerin beton basınç dayanımına oranı bir ölçü olarak kullanılmıştır. Bu oran 0,4'ten azsa; sünme gerilmeyle

yaklaşık orantılıdır. Daha yüksek oranlarda sünme deformasyonu gerilmeyle orantılılığı kaybetmekte, daha hızlı artmaktadır.

5. Zaman: Sünmenin hızı zamanla azalmasına rağmen, deformasyon artışı pratik olarak üç yıl kadar devam etmektedir (11).

Zamanla sünme deformasyonu gösteren bir elemanın üstündeki kalıcı yük kaldırıldığı zaman, bu deformasyonun bir bölümü kaybolmakta; ancak deformasyon hiçbir zaman sıfıra düşmemektedir (11).

Sünme nedeni ile elastisite modülünün azalması, elemanların eğilme rijitliğini de azaltır. Bu nedenle yüksek düzeyde kalıcı yük altındaki kirişlerde yükün uygulanmasından bir, iki yıl sonraki deplasman (sehim), yükün uygulandığı andaki deplasmanın iki veya üç katına kadar çıkabilmiştir (11).

Sünmenin neden olduğu deformasyonları hesaplamak için ilgili çizelgeden, betonun içinde bulunduğu ortama, eşdeğer kalınlığa ve betonun kalıcı yük uygulandığı andaki yaşına uygun olan  $\phi_{cc}$  değeri seçilir. Sünme birim deformasyonu, bu katsayı kullanılarak, aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$\epsilon_{cc} = \frac{\sigma_{cc}}{E_{c28}} \phi_{cc} \quad (2.6)$$

Burada,

$\epsilon_{cc}$ : Sünme birim deformasyonu

$\sigma_{cc}$ : Kalıcı yükün uygulandığı anda betonda oluşan gerilme

$E_{c28}$ : 28 günlük betonun elastisite modülü

$\phi_{cc}$ : Sünme katsayı

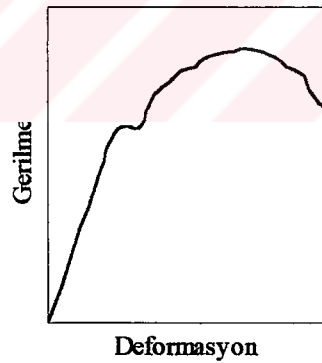
### 3. ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİ

Çelik, kompozit elemanı oluşturan yapı malzemelerinden birisidir. Çelik dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil verilebilen bir demir alaşımıdır. Saf demir, özellikleri itibariyle, yapı malzemesi olarak kullanılamamaktadır. Çeliğin özelliğini belirleyen en önemli eleman karbondur. Karbon çeliğin sertliğini ve mukavemetini arttırmaktadır (12).

Çelik kristal bir bünyeye sahip olup, izotrop ve homojen bir malzemedir. Yani fiziksel ve mekanik özellikleri her yer ve doğrultuda aynıdır. Bu özeliği ile de mukavemette ideal malzeme tanımına en yakın malzeme sayılır (12).

Yapı çeliğinden bir numune alınıp çekme kuvvetine karşı gelen uzama miktarları ölçülerek gerilme-birim deformasyon eğrisi çizilirse Şekil 3.1 benzeri bir davranış eğrisi elde edilir; gerilme ve birim deformasyon şöyle tanımlanır:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A_0}, \quad \epsilon_i = \frac{\Delta L_i}{L} \quad (3.1,2)$$



Şekil 3.1 Yumuşak çelikte gerilme -birim deformasyon eğrisi

Diyagram incelenecek olursa, başlangıçta belli bir bölgede doğru olarak devam ettiği görülmektedir; yani deformasyonlarla gerilmeler orantılıdır. Bu orantı, elastisite modülü olarak anılır.

### 3.1 Yapı Çeliği Emniyet Gerilmeleri

Yapı çeliği sünek (düktil) bir malzeme olduğu için emniyet gerilmesi tespitinde sınır değer olarak akma sınırı esas alınmıştır. Bu sınır değer belli bir emniyet katsayısı ile bölünerek emniyet gerilmeleri bulunmuştur (12).

$$\sigma_{em} = \sigma_f / v \quad (3.3)$$

$\sigma_f$ : Akma sınırı,

$v$ : Emniyet katsayısı

Çizelge 3.1 Çelik yapılarda yükleme durumları (12)

Çelik Yapılar	Esas Yükler (H)	Tali Yükler (z)
<b>Yüksek Yapılar (Hal, Endüstri ve Çelik Karkas Yapılar)</b>	Zati Yük, kar yükü, kren düşey yükü, makinelerin kitle kuvvetleri	Rüzgar yükü, krenlerin fren kuvvetleri, sıcaklık değişmesi tesiri, montaj yükleri
<b>Köprüler</b>	Zati yük, katar veya trafik yükü, merkezkaç kuvveti	Rüzgar yükü, kar yükü, sıcaklık değişimi tesiri, mesnetlerde sürtünme tesiri

Çizelge 3.2 Çeliğin akma, normal ve kayma emniyet gerilmeleri (12)

	$\sigma_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{em}$ (kg/cm <sup>2</sup> )		$\tau_{em}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
		H	HZ	H	HZ
<b>St 37</b>	2400	1400	1600	900	1050
<b>St 52</b>	3600	2100	2400	1350	1550

Yapı çeliğinin diğer özellikleri bütün çelik sınıfları için:

$E=2,1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> (Elastisite Modülü)

$\nu=0,3$  (Poisson Oranı)

$G=8,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  (Kayma Modülü)

$\alpha_t=12 \times 10^{-6} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$  (Isı Genleşme Katsayısı)



#### 4. PAYLAŞTIRILMIŞ KESİT TESİRLERİ ve PLASTİK HESAP TEORİSİ

Kompozit elemanlarda paylaştırılmış kesit tesirleri yöntemi kullanıldığında gerek sürekli yükler gerekse geçici (hareketli) yükler için beton elastisite modülünün zamansal değişimi göz önüne alınmadığı durumlarda, sürekli yükler için başlangıçtaki elastisite modülü ile hesaplanmış olan kompozit kesite ait değerler kullanılmaktadır. Sürekli yüklerden bu kesit tesirlerine ilave kesit tesirleri gelmektedir. Geçici (hareketli) yükler için sadece paylaştırılmış kesit tesirlerini bulmak yeterlidir (19).

Plastik hesap teorisini elastik hesap teorisinden ayıran en önemli özellik elemanın her noktasında elastik sınır gerilmesinin aşılması durumudur. Plastik hesap teorisi, yükler altında şekil değiştirmelerin kabul edilebilir olması, stabilitesiz durumların oluşmaması, birleşimlerin dayanım değerlerinin aşılmaması ve yorulma kırılmalarının oluşmaması durumları açısından elastik hesap teorisine benzemektedir (2).

Plastik hesap teorisinde sistemde göçme mekanizmasının oluşmaması önemlidir. Göçme mekanizması oluştuğu anda sistem göçer. Fakat elastik hesap teorisine göre sistemin taşıyabileceği yükün üzerindeki bir değer göçme mekanizmasını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, sistem, en son olarak plastik hesap teorisine göre bulunan yükün aşılması ile göçmektedir (2).

Burada, her iki yöntemle göre hesaplar yapılmakta ve sonuçlar değerlendirilmektedir.

## 5. KOMPOZİT KİRİŞLERDE BETONARME PLAĞIN ETKİLİ GENİŞLİĞİNİN TASARIMI

Kompozit kirişlerin tasarımında kompozit elemanı oluşturan betonarme plak ve çelik kirişlerin tasarımına bakıldığında, betonarme plağın kalınlığı kompozit etkiden bağımsız olabilir. Betonarme plağın etkili genişliği, plağın altında sıralanan çelik kirişlerin durumuna bağlı olarak değişmektedir (6).

Plağın etkili genişliği (6):

$h_f$ : Plağın kalınlığı	<u>Orta Kiriş</u>	<u>Kenar Kiriş</u>
a: Çelik kiriş aralığı	$b=l/4$	$b=l/2$
$l$ : Çelik kiriş uzunluğu	$b=a$	$b=a/2$
b: Plağın etkili genişliği	$b=12h_f$	$b=6h_f$

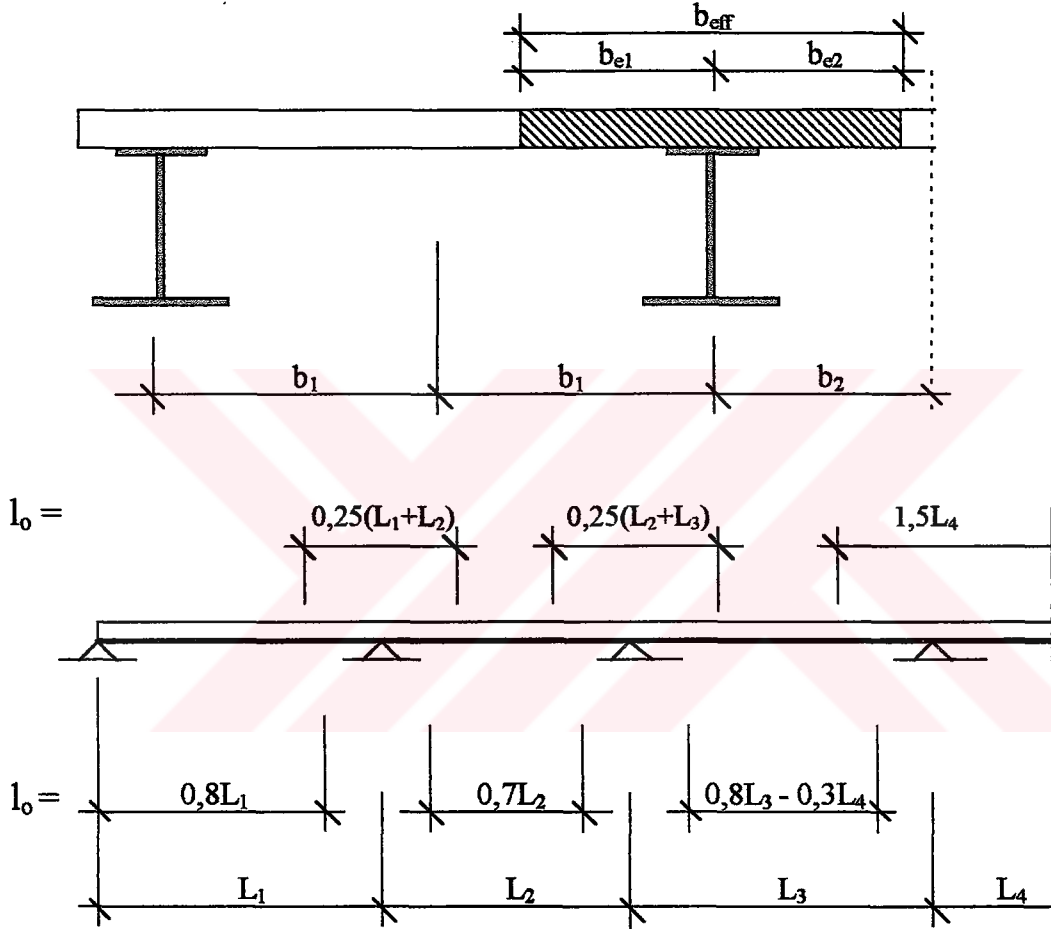
Betonarme plağın etkili genişliği için aşağıdaki önerilerde vardır (17).

1. Kiriş açıklığının dörtte biri,
2. Kiriş açıklığı,
3. Betonarme plak kalınlığının on iki katı,

Kompozit kirişlerde betonarme plak etkili genişliği için Eurocode 4'ün önerdiği durumlar aşağıdaki gibidir (8):

1. Sabit bir etkili genişlik her bir açıklığın tasarımında kabul edilebilir. Bu değer, her iki uçtaki moment için orta açıklıktaki değer veya konsol momenti için mesnetteki değer olarak alınabilir.
2. Her çelik kiriş başlığı ile bağlı olan betonarme plağın ( $b_{eff}$ ) toplam etkili genişliği çelik kirişin her bir tarafında bulunan ( $b_e$ ) etkili uzunluklarının toplamı olarak alınmalıdır.

3. Her bir bölümün ( $b_e$ ) gerçek genişliği serbest bir kenardaki gerçek genişliğin çelik kirişten serbest kenara olan uzaklık hariç, çelik kiriş gövdesinden komşu çelik kiriş gövdesine olan uzaklığın yarısı olarak alınmalıdır.
4. ( $l_0$ ) uzunluğu, sıfır eğilme momentleri noktaları arasındaki yaklaşık uzaklıktır. Şekil 5.1'de etkili genişlik ve ( $l_0$ ) değerleri gösterilmiştir (8).



Şekil 5.1 Betonarme plaktaki etkili genişlik için verilen değerler (8)

## **6. YÜKLEME DURUMLARI**

Kompozit kirişlerin tasarımında iki türlü yükleme durumu söz konusudur (19).

### **6.1 Zamana Bağlı Yükler**

#### **6.1.1 Sürekli yükler**

Zati yükler, ön gerilme kuvvetleri, yüksek yapılarda yer değiştirmeyen kasa, kazan, kitaplık gibi yükler sürekli yük olarak kabul edilir.

#### **6.1.2 Geçici yükler**

Trafik yükleri, ısı değişimleri, montaj durumundaki yüklemeler geçici yük olarak kabul edilir.

### **6.2 Zamana Bağlı Olmayan Yükler**

Kompozit kirişe gelen yükler, üç tip yükleme grubuna ayrılmaktadır (17).

1. Ölü Yük
2. Hareketli Yük
3. Deformasyon Yükleri

#### **6.2.1 Ölü yük**

Kompozit köprü kirişlerinde ölü yükler, çelik kiriş, betonarme plak, aşınma yüzeyi ve diğer köprü üst yapı elemanlarından oluşmaktadır. Betonun 28 günlük mukavemetin % 75'ini kazanmasından sonraki ölü yüklerin kompozit kesit tarafından taşındığı kabul edilmektedir. İskelesiz olarak inşa edilen kompozit kirişlerde ölü yükler çelik kiriş tarafından taşınmaktadır. İskeleli olanlarda ise bir kısmı iskele tarafından bir kısmı da çelik kirişler tarafından taşınmaktadır.

Ölü yükler kararlı yüklerdir. Kompozit kesitte sünmenin etkisi, betondaki gerilmeleri azaltacak ve çelik kirişteki gerilmeleri artırmaktadır.

Sünmeden dolayı betonarme plakta azalan gerilmeler ve çelik kirişin alt başlığındaki artan gerilmeler, toplam gerilmelerin çok küçük bir miktarını oluşturmaktadır. Öte yandan çelik kirişin alt başlığındaki gerilme artışının önemli bir büyüklükte olduğu kabul edilebilmektedir.

### **6.2.2 Hareketli yükler**

Otoyol köprülerinde hareketli yükler trafik yükleridir. Yüksek yapılarda ise standartların öngördüğü yükler söz konusudur.

Yapılarda hareketli yüklerin düzenli bir şekilde dağıldığı kabul edilmektedir.

Hareketli yükler daima kompozit kiriş tarafından taşınmaktadır. İnşaa esnasında hareketli yüklerden söz etmeye gerek yoktur.

### **6.2.3 Deformasyon yükleri**

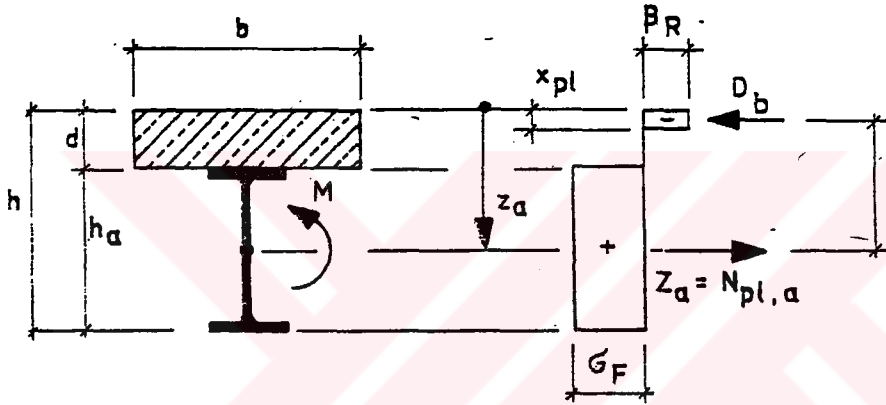
Deformasyon yükleri, rötre, ısı değişimleri, büzülme gibi etkilerdir. Rötre, kompozit yapılar için önemli bir problemdir. Bundan dolayı deformasyon yükleri olarak yalnızca rötreden meydana gelen etkiler ele alınmalıdır. Rötre olayı önceki bölümlerde anlatıldığı için, burada kompozit kesit üzerindeki etkileri üzerinde durulacaktır.

## 7. PLASTİK HESABA GÖRE KOMPOZİT KİRİŞLERDE GERİLME ANALİZİ

### 7.1 Tarafsız Eksenin Konumu

#### 7.1.1 Tarafsız eksenin beton başlıktan geçmesi (Beton basınç bölgesinde)

Boyutlandırmada tarafsız eksenin beton başlık içinden geçmesi arzulanmaktadır. Bu halde çelik kiriş tamamen çekmeye çalışarak boyutlandırmaya esas olmaktadır. Aşırı yüklemde, göçmeden çok önce belirgin plastik deformasyonlar meydana gelmektedir (1).



Şekil 7.1 Tarafsız eksenin beton başlıktan geçmesi halinde  $M_{pl}$  plastik momentinin hesabı (1)

$\beta_R$ : Betonun hesap mukavemeti

$$\beta_R = 0,6 \cdot \beta_{WN} \quad (7.1)$$

$\beta_{WN}$  28 günlük betonun minimum küp veya silindir basınç mukavemetidir. Çeşitli beton kaliteleri için  $\beta_{WN}$  değerleri taşıma yükü esasına göre hazırlanmış betonarme ve kompozit kiriş yönetmeliklerinde verilmiştir (1).

$$D_b = b \cdot x_{pl} \cdot \beta_R = b \cdot x_{pl} \cdot 0,6 \cdot \beta_{WN} \quad (7.2)$$

$$Z_a = N_{pl,a} = A_a \cdot \sigma_F \quad (7.3)$$

$A_a$ : Çelik profilin alanı

$\sum H=0$  denge koşulundan

$$X_{pl} = \frac{A_a \cdot \sigma_F}{b \cdot \beta_R} = \frac{A_a \cdot \sigma_F}{b \cdot 0,6 \cdot \beta_{WN}} = \frac{N_{pl,a}}{b \cdot \beta_R} \quad (7.4)$$

Tarafsız eksenin beton başlıktan geçme koşulu:

$$\frac{X_{pl}}{d} = \frac{N_{pl,a}}{b \cdot d \beta_R} \leq 1 \quad (7.5a)$$

veya

$$\frac{A_a}{b \cdot d} \leq \frac{\beta_R}{\sigma_F} \quad (7.5b)$$

$M_{pl}$  plastik momenti

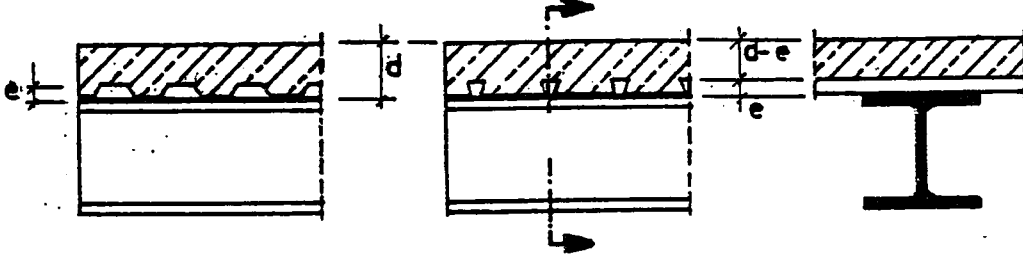
$$M_{pl} = A_a \cdot \sigma_F \cdot (z_a - X_{pl}/2) \quad (7.6)$$

Çift simetri eksenli profillerde:

$$M_{pl} = N_{pl,a} \cdot z = A_a \cdot \sigma_F \cdot \left( \frac{h_a}{2} + d - \frac{X_{pl}}{2} \right) = N_{pl,a} \cdot \left( \frac{h_a}{2} + d - \frac{N_{pl,a}}{2 \cdot b \cdot \beta_R} \right) \quad (7.7a, 7b)$$

(7.2) ile (7.7) bağıntıları, betonun çelik kirişler üzerine döşenen profil levhalar üzerine dökülmesi hali için de kullanılmaktadır. Bu taktirde (7.5) koşulu

$$\frac{X_{pl}}{d} \leq 1 - \frac{e}{d} \text{ veya } \frac{A_a}{b \cdot d} \leq \frac{\beta_R}{\sigma_F} \left(1 - \frac{e}{d}\right) \quad (7.8a, 8b)$$



Şekil 7.2 Betonun trapez profiller üzerine dökülmesi (1)

Beton başlıkta küçük guse yapılması veya beton başlığın  $e$  kalınlığında bir harç tabakasına oturması hali içinde (7.8) denklemleri kullanılmaktadır (1).

(7.6), (7.7a), (7.7b) denklemleri, aranan ( $A_a$ ) çelik kiriş alanına göre 2. dereceden denklemlerdir.

Bu 2. derece denklemlerle kesitin doğrudan veya sistematik boyutlandırılması biraz zordur. Bunun için kolay boyutlandırma yolları aranır. Basınç kuvvetinin betonun ağırlık merkezinde etkimesi kabulü, her durum için emniyet tarafında kalan bir kabuldür. Bu kabule göre,

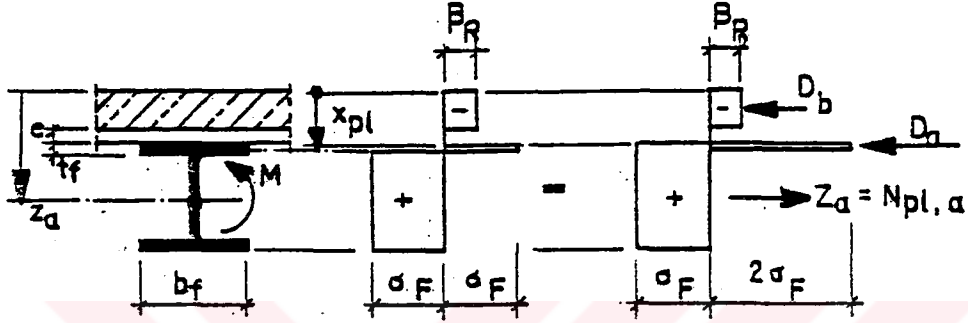
$$\text{ger } A_a = \frac{2M_v}{\sigma_F (h_a - d + e)} \quad (7.9)$$

olur. Bu formül ön veya kesin boyutlandırma için kullanılabilir.  $X_{pl}=d-e$  sınır durumu için verdiği sonuç kesindir.

Kesin çözüm (7.7) denkleminin köküdür.

$$\text{ger } A_A = b \cdot d \cdot \frac{\beta_R}{\sigma_F} \left[ \left( \frac{h_a}{2d} + 1 \right) - \sqrt{\left( \frac{h_a}{2d} + 1 \right)^2 - \frac{2M_v}{b \cdot d^2 \cdot \beta_R}} \right] \quad (7.10)$$

### 7.1.2 Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığında geçmesi (Beton basınç bölgesinde)



Şekil 7.3 Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığında geçmesi halinde  $M_{pl}$  momentinin hesabı (1)

$$D_b = b(d-e) \cdot \beta_R = b(d-e) \cdot 0,6\beta_{wN} \quad (7.11)$$

$$D_a = 2 \cdot b_f \cdot \sigma_F \cdot (X_{pl} - d) \quad (7.12)$$

Tarafsız eksen :

$$X_{pl} = d - \frac{N_{pl,a} - (d-e)b \cdot \beta_R}{2b_f \cdot \sigma_F} \quad (7.13)$$

Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığında geçmesi koşulu:

$$d \leq X_{pl} \leq d + t_f \quad (7.14)$$

$$\text{veya } 1 \leq \frac{X_{pl}}{d} \leq 1 + \frac{t_f}{d}$$

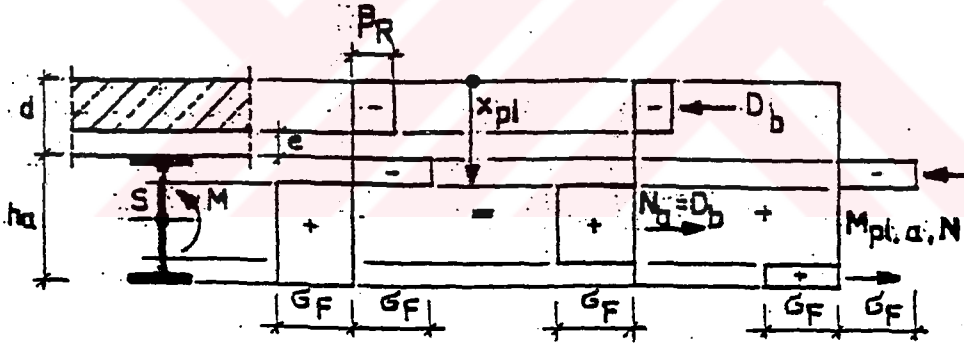
$M_{pl}$  plastik momenti

$$M_{pl} = A_a \cdot \sigma_F \left( z_a - \frac{d-e}{2} \right) - D_a \left( \frac{X_{pl} + e}{2} \right) \quad (7.15a)$$

çift simetri eksenli profillerde :

$$M_{pl} = A_a \cdot \sigma_F \left( \frac{h_a + d + e}{2} \right) - D_a \left( \frac{X_{pl} + e}{2} \right) \quad (7.15b)$$

### 7.1.3 Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi (Beton basınç bölgesinde)



Şekil 7.4 Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi (1)

Bu hal yüksek olmayan kesitler için söz konusudur. Aksi halde çelik kirişin basınca maruz gövde kısmı, en kesit tam olarak plastikleşmeden önce buruşabilmektedir.

$$D_b = b(d-e)\beta_R = b(d-e) \cdot 0,6 \cdot \beta_{wN} \quad (7.11)$$

$$D_f = 2 \cdot t_f \cdot b_f \cdot \sigma_F \quad (7.16)$$

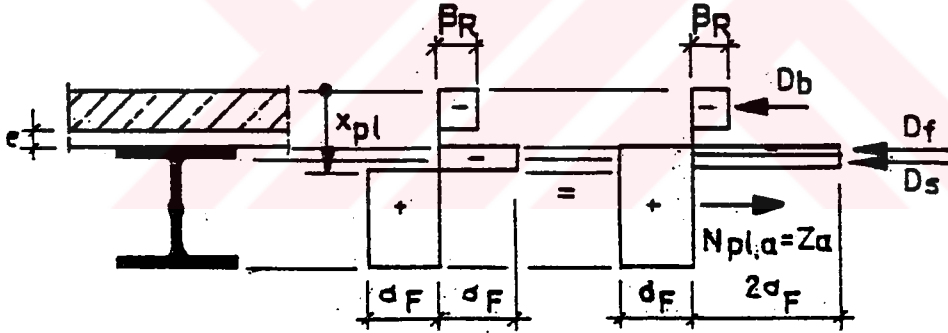
$$D_s = 2 \cdot s \cdot \sigma_F \cdot (X_{pl} - d - t_f) \quad (7.17)$$

$$X_{pl} = d + t_f + \frac{N_{pl,a} - D_b - D_f}{2 \cdot s \cdot \sigma_F} \quad (7.18)$$

$$M_{pl} = A_a \cdot \sigma_F \cdot \left( \frac{h_a + d + e}{2} \right) - D_f \left( \frac{d + t_f + e}{2} \right) - D_s \left( \frac{X_{pl} + t_f + e}{2} \right) \quad (7.19)$$

#### 7.1.4 Tarafsız eksenin çelik kiriş başlığından geçmesi (Beton basınç bölgesinde; Yaklaşık çözüm)

Çift simetri eksenli profillerde tarafsız eksenin profil gövdesinden geçmesi halinde, taşıma yükü yönetmeliğinde verilen M-N karşılıklı etki bağıntılarından yararlanarak boyutlandırma için basit denklemler çıkartılmıştır.



Şekil 7.5 Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi halinde  $M_{pl}$  plastik momentinin yaklaşık hesabı (1)

Taşıma yükü yönetmeliğine göre,

$$M_{pl,a,N=1,1} = M_{pl,a} \left( 1 - \frac{D_b}{N_{pl,a}} \right) \quad (7.20)$$

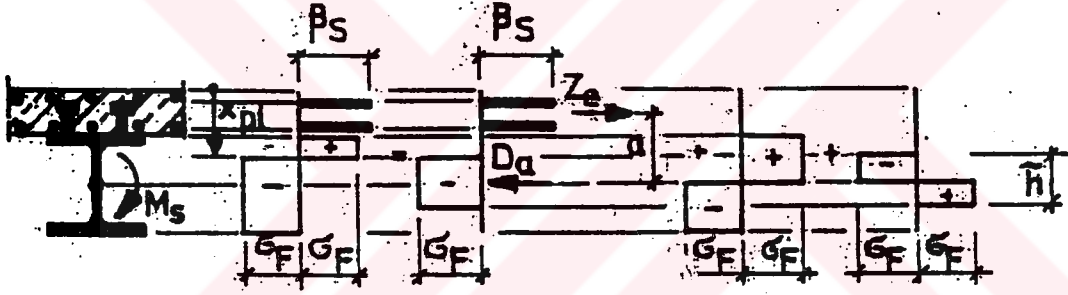
(7.11) denklemine göre,  $D_b = b(d-e)\beta_R$  'dir

Plastik moment

$$M_{pl} = 1,1 \cdot M_{pl,a} \left( 1 - \frac{D_b}{N_{pl,a}} \right) + D_b \frac{1}{2} (h_s + d + e) \quad (7.21)$$

### 7.1.5 Beton başlığın çekme bölgesinde kalması halinde plastik momentin hesabı

Bu halde yine yüksek olmayan kesitler için söz konusudur. Çekmeye maruz beton başlığın tabla genişliğine eşit kısmındaki donatı, yeter derecede ankre edilmiş ise hesaplarda göz önünde tutulabilir.



Şekil 7.6 Negatif moment bölgesinde  $M_{pl}$  plastik momentinin hesabı (1)

$\sum H = 0$  denge koşulundan

$$z_e = A_e \cdot \beta_s = D_a = s \cdot \tilde{h} \cdot \sigma_F$$

$$h = \frac{A_e \cdot \beta_s}{s \cdot \sigma_F} \quad (7.22)$$

elde edilir. (7.22) göz önünde tutularak plastik moment

$$M_{pl} = z_e \cdot a + M_{pl,a} - \frac{1}{4} \cdot a \cdot \tilde{h}^2 \cdot \sigma_F = M_{pl,a} + A_e \cdot \beta_s \cdot a \left( 1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{A_e}{s \cdot a} \cdot \frac{\beta_s}{\sigma_F} \right) \quad (7.23)$$

(7.22)'nin yukarıdaki şekilde yazılabilmesi için

$$\frac{\tilde{h}}{h_s} \leq 1 \quad \text{veya} \quad \frac{A_e}{a \cdot e} \leq \frac{h_s \cdot \sigma_F}{a \cdot \beta_s} \quad (7.24)$$

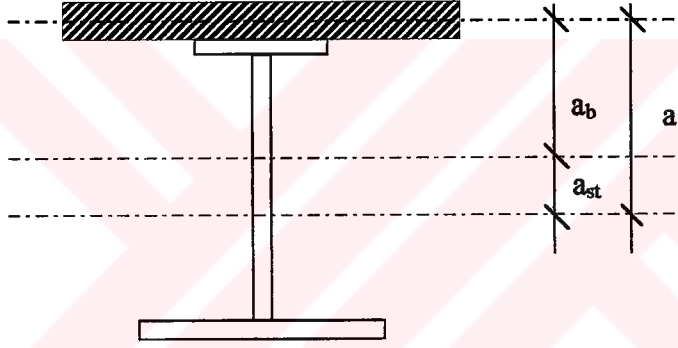
olmalıdır. (7.24) denklemini  $A_e$ 'ye göre 2. dereceden bir denklemdir ve  $A_e$ 'ye göre çözülürse

$$\text{ger} A_e = a \cdot s \cdot \frac{2\sigma_F}{\beta_s} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{M_v - M_{pl,a}}{\sigma_F \cdot s \cdot a^2}} \right) \quad (7.25)$$

elde edilir (1).

## 8. PAYLAŞTIRILMIŞ KESİT TESİRLERİ YÖNTEMİNE GÖRE GERİLME ANALİZİ

Paylaştırılmış kesit tesirleri metodunun esası kompozit kirişe gelen tesirlerin kirişi oluşturan elemanlara paylaştırılmasıdır. Çelik kiriş ve betonarme plaktan oluşan bir kompozit kirişte paylaştırma şu şekilde yapılmaktadır. Normal kuvvet ve eğilme momentinin etkileri, bu yöntemle göre ayrı ayrı paylaştırılması yapılacaktır. yani normal kuvvet paylaştırılması yapılarak normal kuvvetten gelen kesit tesirleri bulunacak, sonra aynı şekilde eğilme momenti paylaştırılması yapılacaktır. Eğilme momentinin paylaştırılmasında kompozit kirişi oluşturan elemanlarda, hem normal kuvvet kesit tesiri hem de eğilme momenti kesit tesiri oluşacaktır. Bu etkiler toplanarak gerilme hesabında kompozit elemanı oluşturan çelik kirişte ve betonarme plakta gerilmeler bulunacaktır (19).

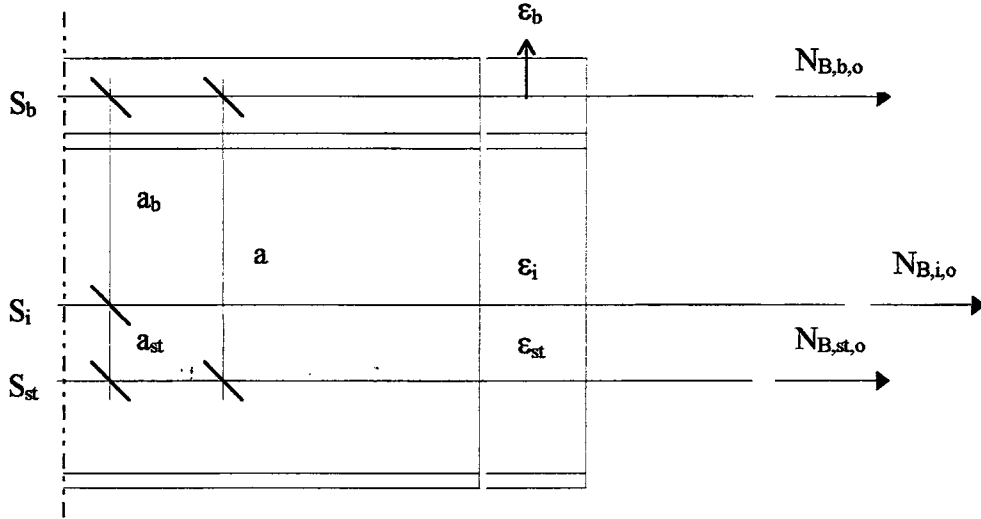


Şekil 8.1 Kompozit kiriş enkesiti

Paylaştırılmış kesit tesirleri metodunda ideal ağırlık eksenini, ideal alan ve ideal atalet momentine göre normal kuvvet ve eğilme momenti paylaştırılması yapılacaktır (19).

### 8.1 İdeal Alan

Burada, kompozit kirişin ağırlık merkezinde etkiyen bir normal kuvvet ele alınmıştır. (Şekil 8.2) Bu kuvvet ideal kesitin ağırlık merkezinde olduğundan kesit üniform olarak uzar. Buna göre



Şekil 8.2 İdeal alan (19)

$s_b$ : Beton ağırlık eksenini (Şekil 8.2)

$s_{st}$ : Çelik ağırlık eksenini (Şekil 8.2)

$s_i$ : İdeal kesit (kompozit kiriş) ağırlık eksenini (Şekil 8.2)

$$\epsilon_i = \epsilon_{st} = \epsilon_b \quad (8.1)$$

Hooke kanunundan faydalanılarak ve ideal kesit olarak çelik kullanıldığından ilgili bağıntılarda da çelik elastisite modülü ( $E_{st}$ ) kullanılacaktır (19).

$$\epsilon_i = \frac{N_{B,i,o}}{E_{st} \cdot A_i}, \quad \epsilon_{st} = \frac{N_{B,st,o}}{E_{st} \cdot A_{st}}, \quad \epsilon_b = \frac{N_{B,b,o}}{E_b \cdot A_b} \quad (8.2)$$

(8.1) ve (8.2)'den

$$\frac{N_{B,i,o}}{E_{st} \cdot A_i} = \frac{N_{B,st,o}}{E_{st} \cdot A_{st}} = \frac{N_{B,b,o}}{E_b \cdot A_b} \quad (8.3)$$

yazılır.

Ayrıca ideal kesit ağırlık ekseninde etkiyen  $N_i$ 'den dolayı betonda ve çelik kirişte, sırasıyla,  $N_b$  ve  $N_{st}$  oluşmaktadır. Burada,

$$N_{B,i,o} = N_{B,b,o} + N_{B,st,o} \quad (8.4)$$

yazılır.

(8.3) ve (8.4)'den kesit tesirleri, elimine edilir ve kompozit elemanın alanı için  $n = \frac{E_{st}}{E_b}$  ile düzenlenir.

## 8.2 İdeal Ağırlık Eksenini

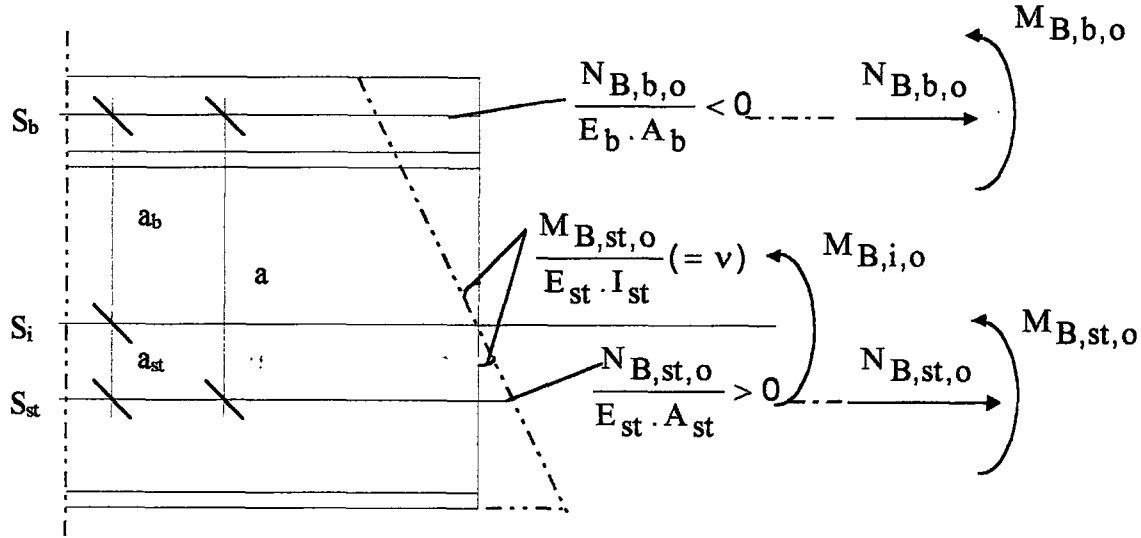
Şekil 8.1'de ve Şekil 8.2'de gösterilen ağırlık eksenlerinin aralıkları statik momentlerden faydalanılarak bulunabilmektedir.

$$a \cdot A_{st} = a_b \cdot A_i, \quad a \cdot \frac{1}{n} \cdot A_b = a_{st} \cdot A_i, \quad a_{st} + a_b = a \quad (8.5,6,7)$$

$$a_b = a \cdot \frac{A_{st}}{A_i}, \quad a_{st} = a \cdot \frac{\frac{1}{n} \cdot A_b}{A_i} \quad (8.8,9)$$

## 8.3 İdeal Atalet Momenti

İdeal kesitin atalet momentini bulmak için ideal kesite bir eğilme momenti  $M_i$  uygulanır.



Şekil 8.3 İdeal atalet momenti (19)

Bu momenti kompozit elemana paylaşırsak, betonarme plakta ve çelik kirişte eğilme momentleri ve normal kuvvetler oluşur.  $M_i$  eğilme momenti sonucu kompozit kesit elastik teoriye göre düzlemselliğini koruyarak eğilmektedir. Eksenel birim deplasmanlar normal kuvvetlerle, eksenel birim dönme miktarları da eğilme momentleri ile ilişkilidir. Buradan,

$$\varepsilon_b = \frac{N_{B,b,o}}{E_b \cdot A_b}, \quad \varepsilon_{st} = \frac{N_{B,st,o}}{E_{st} \cdot A_{st}}, \quad \varepsilon_b = \varepsilon_{st} - v \cdot a \quad (8.10,11,12)$$

$$v \ll 1, \quad v = \frac{\varepsilon_{st}}{a_{st}} = \frac{\sigma_{st}}{E_{st}} \cdot \frac{1}{a_{st}} \quad (8.13)$$

$$\sigma_{st}(s_i) = \frac{M_{B,st,o}}{I_{st}} \cdot a_{st}, \quad v = \frac{M_{B,st,o}}{E_{st} \cdot I_{st}} \quad (8.14,15)$$

$$v = \frac{M_{B,b,o}}{E_b \cdot I_b}, \quad v = \frac{M_{B,i,o}}{E_{st} \cdot I_i} \quad (8.16,17)$$

verilen yüklerin durumu için denge şartları (8.18)'deki gibidir.

$$N_{B,b,o} + N_{B,st,o} = 0 \quad (8.18)$$

Çelik kirişin eksenine göre moment

$$M_{B,i,o} = M_{B,b,o} + M_{B,st,o} - N_{B,b,o} \cdot a \quad (8.19)$$

#### 8.4 Süreklilik Şartları

Beher malzeme ve kompozit kesitin birim dönme miktarları birbirine eşittir (19).

$$\frac{M_{B,st,o}}{E_{st} \cdot I_{st}} = \frac{M_{B,b,o}}{E_b \cdot I_b} = \frac{M_{B,i,o}}{E_{st} \cdot I_i} \quad (8.20)$$

Brim boylama deplasmanlarla birim dönme açılarının ilişkisi:

$$\frac{N_{B,st,o}}{E_{st} \cdot A_{st}} - \frac{M_{B,st,o}}{E_{st} \cdot I_{st}} \cdot a = \frac{N_{B,b,o}}{E_b \cdot A_b}, \quad (\varepsilon_b = \varepsilon_{st} - v \cdot a) \quad (8.21)$$

Denge ve süreklilik şartlarından kesit tesirlerinin elimine edilmesiyle ideal kesit atalet momenti bulunmuştur.

#### 8.5 Statik moment

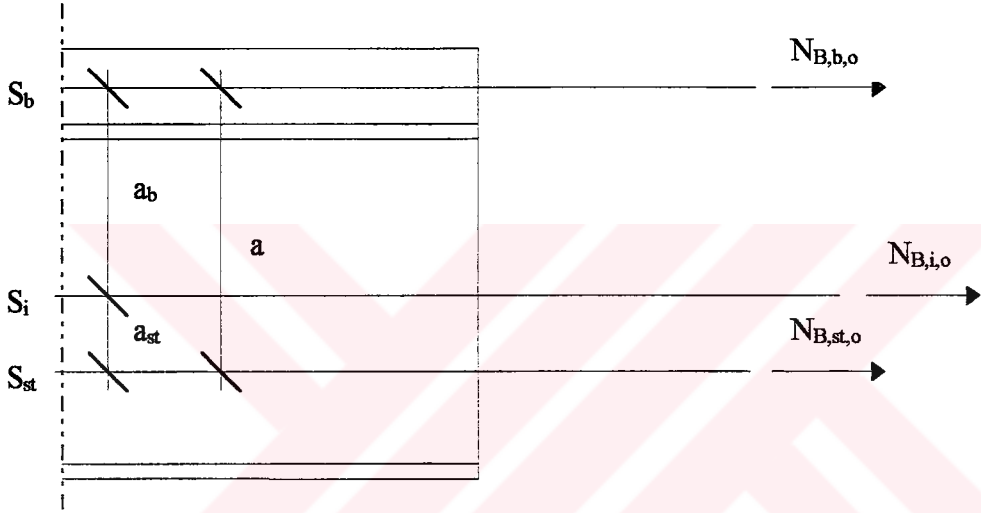
$$S_i = a_{st} \cdot A_{st} = a_b \cdot \frac{1}{n} \cdot A_b = a \cdot \frac{A_{st} \cdot \frac{1}{n} \cdot A_b}{A_i}, \quad I_i = I_{st} + \frac{1}{n} \cdot I_b + a \cdot S_i \quad (8.22,23)$$

Statik moment, ideal atalet momenti, beton alan ve atalet momenti değerlerini elastisite modülleri (n)'ye bölünerek çeliğe dönüştürmek ve ideal kesit ağırlık eksenine aktarmak süretiyle bulunmaktadır.

$$I_i = I_{st} + \frac{1}{n} \cdot I_b + a_{st}^2 \cdot A_{st} + a_b^2 \cdot \frac{1}{n} \cdot A_b \quad (8.24)$$

### 8.6 Normal Kuvvet

Şekil 8.4'de gösterilen ideal kesit ağırlık merkezindeki normal kuvvet kompozit elemanın ağırlık eksenlerinde etki eden normal kuvvetlere ayrılmaktadır. Bunun için ideal alanı bulurken çıkarmış olduğumuz (8.3) ve (8.4) bağıntılarından yararlanılmıştır. (19)

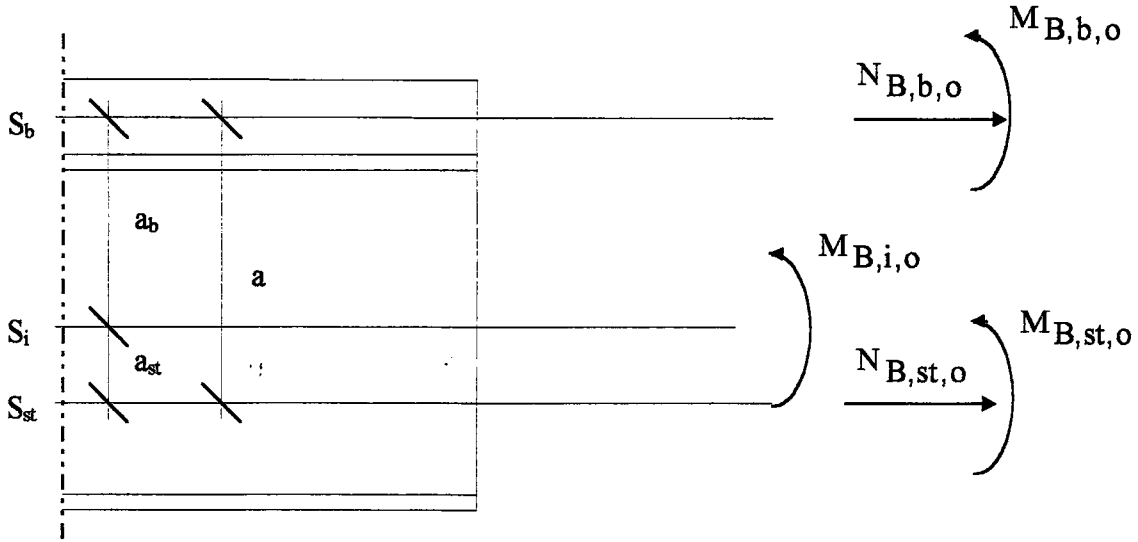


Şekil 8.4 Normal kuvvetin paylaşılması (19)

$$N_{B,b,o} = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_b}{A_i} \cdot N_{B,i,o}, \quad N_{B,st,o} = \frac{A_{st}}{A_i} \cdot N_{B,i,o} \quad (8.25,26)$$

### 8.7 Eğilme Momenti

Eğilme momentinin bulunuşu içinde gerekli denklemler ideal kesit atalet momenti aranırken yazılmıştır. Bunlardan yararlanarak Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'deki eğilme momentleri paylaşılmış değerleri bulunmuştur.



Şekil 8.5 Eğilme momentinin paylaşılması (19)

$$M_{B,b,o} = \frac{\frac{1}{n} \cdot I_b}{I_i} \cdot M_{B,i,o}, \quad M_{B,st,o} = \frac{I_{st}}{I_i} \cdot M_{B,i,o} \quad (8.27,28)$$

$$N_{B,b,o} = -\frac{S_i}{I_i} \cdot M_{B,i,o}, \quad N_{B,st,o} = \frac{S_i}{I_i} \cdot M_{B,i,o} \quad (8.29,30)$$

$$S_i = a_{st} \cdot A_{st} + a_b \cdot \frac{1}{n} \cdot A_b \quad (8.31)$$

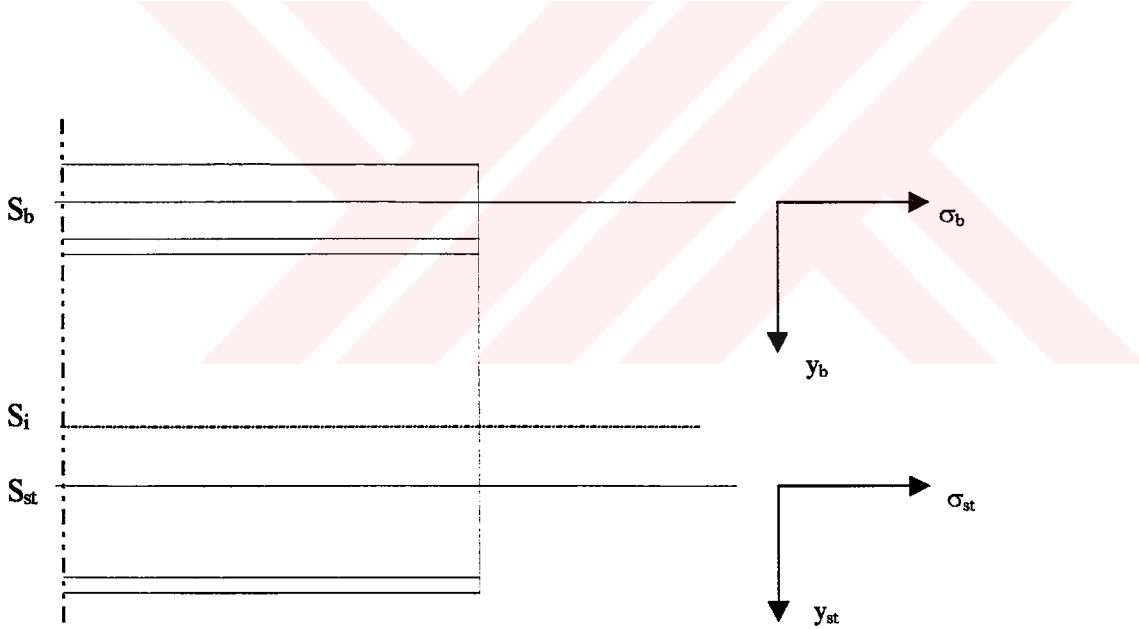
### 8.8 Gerilme Hesabı

Kompozit kiriş normal kuvvet ve moment olarak gelen etkilerin betonarme plak ve çelik kiriş paylaşılması, paylaşılmış kesit tesirleri metodu ile yapılmıştır. (İlk indis (R) ile toplam tesiri gösterir.)

Betonarme plak ve çelik kiriş gerilmeleri

$$\sigma_b = \frac{N_{R,b,o}}{A_b} + \frac{M_{R,b,o}}{I_b} \cdot y_b \quad (8.32)$$

$$\sigma_{st} = \frac{N_{R,st,o}}{A_{st}} + \frac{M_{R,st,o}}{I_{st}} \cdot y_{st} \quad (8.33)$$



Şekil 8.6 Kompozit kirişte gerilmenin oluştuğu eksenler (19)

## 9. SÜNME ve RÖTREDEN GELEN İLAVE KESİT TESİRLERİ

Betondaki sünme ve rötre olayları sonucu, kompozit elemanda paylaştırılmış kesit tesirlerine ilave olarak yeni kesit tesirleri meydana gelir. Bu yeni kesit tesirleri ilave kesit tesirleri adı altında toplanmaktadır. Bunlar inşaatın imalatının başlangıcında ( $t=0$  için) sıfırdır. Zamanla belli bir sonuç değere ulaşırlar. Sünme olayı sürekli yüklerle ilgili olduğundan, sürekli yüklerin zamansal durumu açısından şu ayırımı yapmak gerekir (19):

- a) Sabit sürekli yükler
- b) Zamanla değişen sürekli yükler

İlave kesit tesirlerinin bulunuşunda bir de şu noktalara dikkat edilmelidir (19).

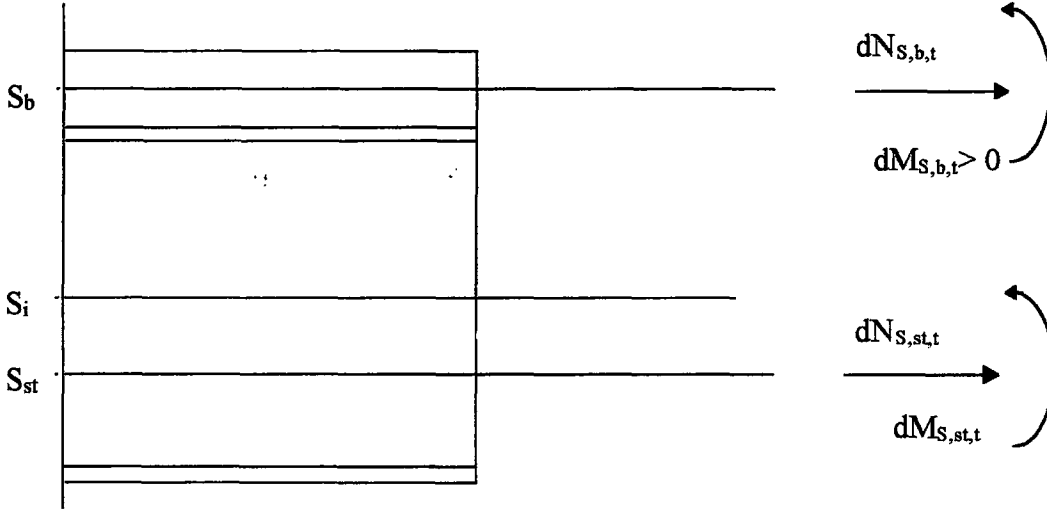
- a) Sürekli yükler hangi kesitte toplanmıştır?
- b) Sürekli yüklerden ileri gelen paylaştırılmış kesit tesirleri, hangi kesitte sünme olayını meydana getirmektedir?

Rötre ve sünmeden gelen ilave kesit tesirleri, birinci indis (S) ile gösterilmiştir.

Başlangıçta mevcut sürekli yükler nasıl sünme sonucu ilave kesit tesirleri meydana getiriyorsa, aynı şekilde bu ilave kesit tesirleri de başladıkları andan itibaren sürekli yük sayıldıklarından, onlar da ayrıca sünme deformasyonlarını oluştururlar (19).

Kompozitlik özelliğinden dolayı, betonarme plakta ve çelik kirişte rötre ve sünme olayı yüzünden ilave deformasyonlar meydana gelir.

### 9.1 Sabit Sürekli Yükleme Sonucu Sünme ve Rötreden Gelen İlave Kesit Tesirleri (Öngerilmesiz Kompozit Kesit)



Şekil 9.1 dt zamanı zarfındaki ilave kesit tesirleri (19)

Rötre ve sünme sonucu kesitte dt zamanı zarfında meydana gelen ilave (paylaştırılmış) kesit tesirleri, Şekil 9.1'den görüleceği gibi şunlardır:

Normal kuvvetler  $dN_{s,b,t}$ ,  $dN_{s,st,t}$ , eğilme momentleri  $dM_{s,b,t}$ ,  $dM_{s,st,t}$

### 9.2 dt Zamanı Zarfındaki İlave Çelik Deformasyonları

dt zamanı içinde, sürekli sabit yükleme sonucu kompozit kesitin çelik kiriş kısmında sünme ve rötre etkileri yüzünden aşağıdaki ilave deformasyonlar oluşmaktadır (19).

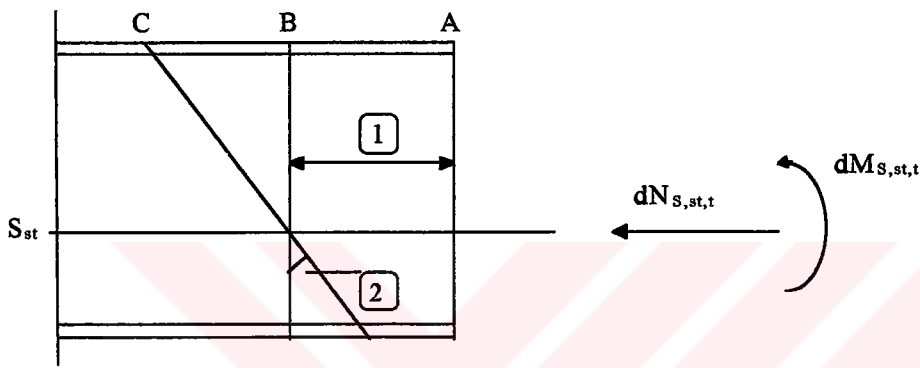
#### a) Normal kuvvet yüzünden kısalma

Rötre ve sünme olaylarında betonarme plak büzülme isteyecektir. Kompozitlik özelliğinden dolayı betonarme plaktan çelik kirişe basınç yönünde normal kuvvet gelir. Betonarme plak çelik kirişin üst kısmında olduğundan, bu kuvvet çelik kirişe eksantrik olarak etki eder. Bu yüzden, kompozit elemanda pozitif yönde bir eğilme görülür.

$$\frac{dN_{s,st,t}}{E_{st} \cdot A_{st}} \quad (9.1)$$

b) Eğilme momenti yüzünden dönme

Kompozit elemanda eksantriklik yüzünden ileri gelen eğilme momenti sonucunda ortaya çıkan birim dönme miktarı da şu kadardır:



Şekil 9.2 dt zamanı zarfında eğilme momentinden oluşan dönme (19)

$$\frac{dM_{s,st,t}}{E_{st} \cdot A_{st}} \quad (9.2)$$

A,B ve C noktaları rijit kompozitlik dolayısıyla beton ve çelik için müşterek noktalardır.

### 9.3 dt Zamanı Zarfındaki İlave Betonarme Plak Deformasyonları

a) Rötreden ileri gelen birim plastik kısalma

$$-\frac{\epsilon_s}{\theta_n} d\theta_t < 0 \quad (9.3)$$

b) Sünme yüzünden birim plastik kısalma

Sabit sürekli yüklerin ( $N_{R,b,0}$ ) dt zamanından evvel etki etmeye başlaması ile ( $t=0$ ) betonarme plakta oluşan birim plastik kısalma:

$$\frac{N_{R,b,0}}{E_{b,0} \cdot A_b} \cdot d\theta_t < 0 \quad (9.4)$$

c) Rötire ve sünme sonucu betonarme plak büzölmek isterken, kompozitlik yüzünden betonarme plak nasıl çelik kirişini beraber sürüklemek istiyorsa, çelik kiriş de aynı şekilde betonarme plağa karşı koyar. Bu durumda, çelik kirişten betonarme plağa eksantrik bir basınç kuvveti gelir. Çelik kirişin büzölmeye karşı koyması ile, çelik kirişe betonarme plak tarafından bir çekme kuvveti gelir. Rötire ve sünme olayları, belirli bir zaman içinde, sürekli olarak devam ettiklerinden, meydana gelen ilave kesit tesirleri de sürekli yükler sınıfına girer. Rötire ve sünme olaylarına paralel olarak bu yüklerin de zamanla değerlerini değiştirecekleri açıktır, ancak bu durum onların sürekli yükler sınıfına girmelerini engellemez. Betonarme plaktaki ilave normal kuvvet değerinin dt zamanındaki değişimi  $dN_{s,b,t}$  yüzünden de betonda birim elastik boy değişimi olur. Elastik boydeğişimi, o andaki beton elastisite modöülü ile hesaba girer.

$$\frac{dN_{s,b,t}}{E_{b,t} \cdot A_b} > 0 \quad (9.5)$$

d) İlave kesit tesirleri de sürekli yükler sınıfına girdiklerinden, bu yükler de sürekli dış yükler gibi sünme deformasyonları oluşturmaktadırlar. Sürekli dış yüklerden ileri gelen paylaştırılmış beton normal kuvvetlerinin yaptıkları sünmeden gelen birim plastik boy değişimi gibi t anındaki ilave beton normal kuvveti yüzünden dt zamanı zarfında betonarme plakta meydana gelen birim plastik boy değişimi (sünmeden dolayı) (9.6) gibi yazılır.

$$\frac{N_{s,b,t}}{E_{b,0} \cdot A_b} \cdot d\theta_t > 0 \quad (9.6)$$

dt zarfında betonarme plakta oluşan toplam birim boy değişimi aşağıda verilmiştir.

$$d\varepsilon_b = -\frac{\varepsilon_s}{\theta_n} d\theta_t - \frac{N_{R,b,0}}{E_{b,0} \cdot A_b} d\theta_t + \frac{N_{s,b,t}}{E_{b,0} \cdot A_b} d\theta_t + \frac{dN_{s,b,t}}{E_{b,t} \cdot A_b} \quad (9.7)$$

Paylaştırılmış beton eğilme momentlerinden gelen birim dönme miktarları:

a) Sünme yüzünden birim plastik dönme

İncelenen zamandan önce başladığı kabul edilen sabit sürekli yüklemekten betonarme plağa gelen paylaştırılmış eğilme momenti  $M_{R,b,0}$  yüzünden meydana gelen sünme sonucu betonarme plakta dt zamanı zarfında aşağıdaki birim plastik dönme oluşur:

$$\frac{M_{R,b,0}}{E_{b,0} \cdot I_b} \cdot d\theta_t \quad (9.8)$$

b) Betonarme plaktaki ilave eğilme momenti değerinin dt zamanı zarfındaki değişimi  $dM_{s,b,t}$  yüzünden dolayı elastik birim dönmesi:

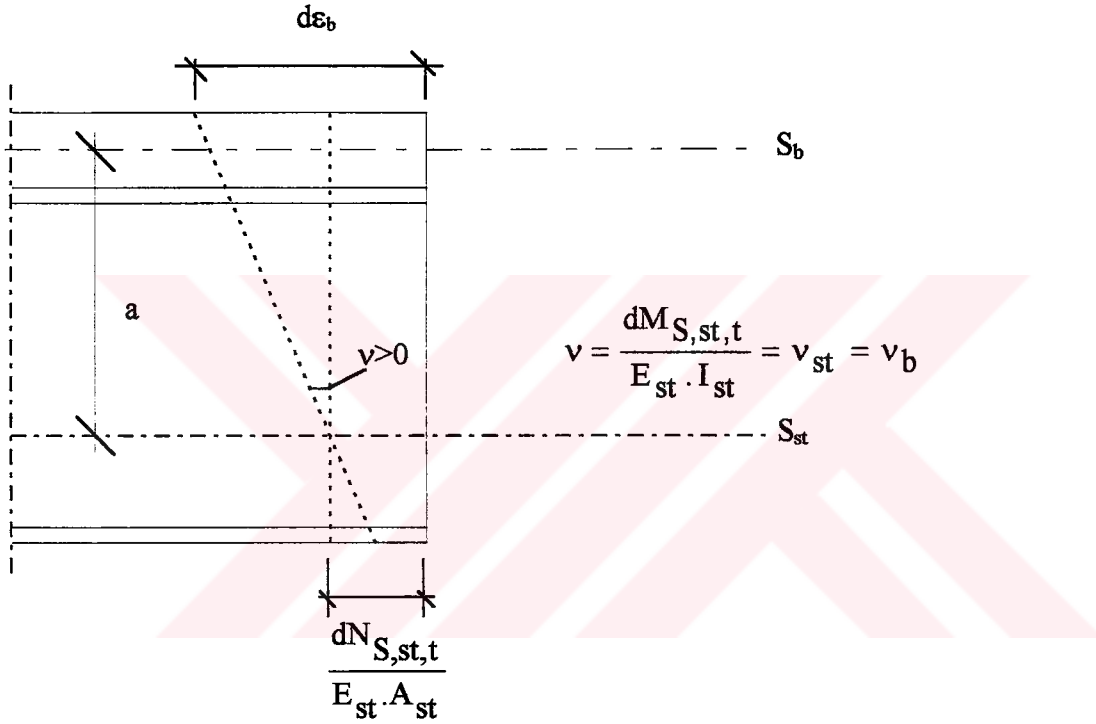
$$\frac{dM_{s,b,t}}{E_{b,t} \cdot I_b} \quad (9.9)$$

Bu değer için tabii teorik olarak o andaki beton elastisite modülü geçerlidir.

c) Betonarme plaktaki ilave eğilme momentinin dt zamanı zarfında, sünme yüzünden meydana getirdiği birim plastik dönme:

$$\frac{M_{s,b,t}}{E_{b,o} \cdot I_b} \cdot d\theta_t \quad (9.10)$$

Aşağıda verilen Şekil 9.3'den ve ileride verilen Şekil 9.4'den denge ve süreklilik şartları için söz konusu bütün deplasman ve dönme miktarları görülebilir.



Şekil 9.3 Sonuç plastik deformasyonlar (19)

#### 9.4 İlave Kesit Tesirleri İçin Denge ve Süreklilik Denklemleri

a) Denge Denklemleri:

Paylaştırılmış kesit tesirleri dış yükler ile dengede olduklarından, rötre ve sünme olayları sonucu ortaya çıkan ilave kesit tesirleri kendi kendilerine dengede olmaları gerekmektedir. Hesaplama işlemlerinin kısılması için rötre ve sünme etkileri birlikte incelenmektedir.

Birinci denge denklemi, betonarme plakta ve çelik kirişte ilave normal kuvvetlerin toplamının sıfır olma şartıdır:

$$N_{s,b,t} + N_{s,st,t} = 0 \quad (9.11)$$

İkincisi de bütün momentlerin toplamının sıfır olma şartıdır:

$$M_{s,b,t} + M_{s,st,t} - N_{s,b,t} \cdot a = 0 \quad (9.12)$$

Her iki denklemin zamansal türevlerini almakla da aşağıdaki bağıntılar bulunmuştur:

$$\frac{dN_{s,b,t}}{dt} + \frac{dN_{s,st,t}}{dt} = 0, \quad \frac{dM_{s,b,t}}{dt} + \frac{dM_{s,st,t}}{dt} - \frac{dN_{s,b,t}}{dt} \cdot a = 0 \quad (9.13,14)$$

b) Süreklilik denklemleri:

Rijit kompozitlik durumunda birim kısalmalarla birim dönme arasındaki aşağıdaki bağıntı vardır. Denklemlerdeki işaretlere dikkat edilmelidir. Rötire teriminin önüne rötire yüzünden boy kısalması meydana geldiğinden negatif işaret koyulmuştur. Keza betonarme plaktaki kısalma pozitif eğilme momenti ile meydana geldiğinden, eğilme momentinin önüne de negatif işaret koyulmuştur.

$$d\varepsilon_b = \frac{dN_{s,st,t}}{E_{st} \cdot A_{st}} - a \cdot \frac{dM_{s,st,t}}{E_{st} \cdot I_{st}} \quad (9.15)$$

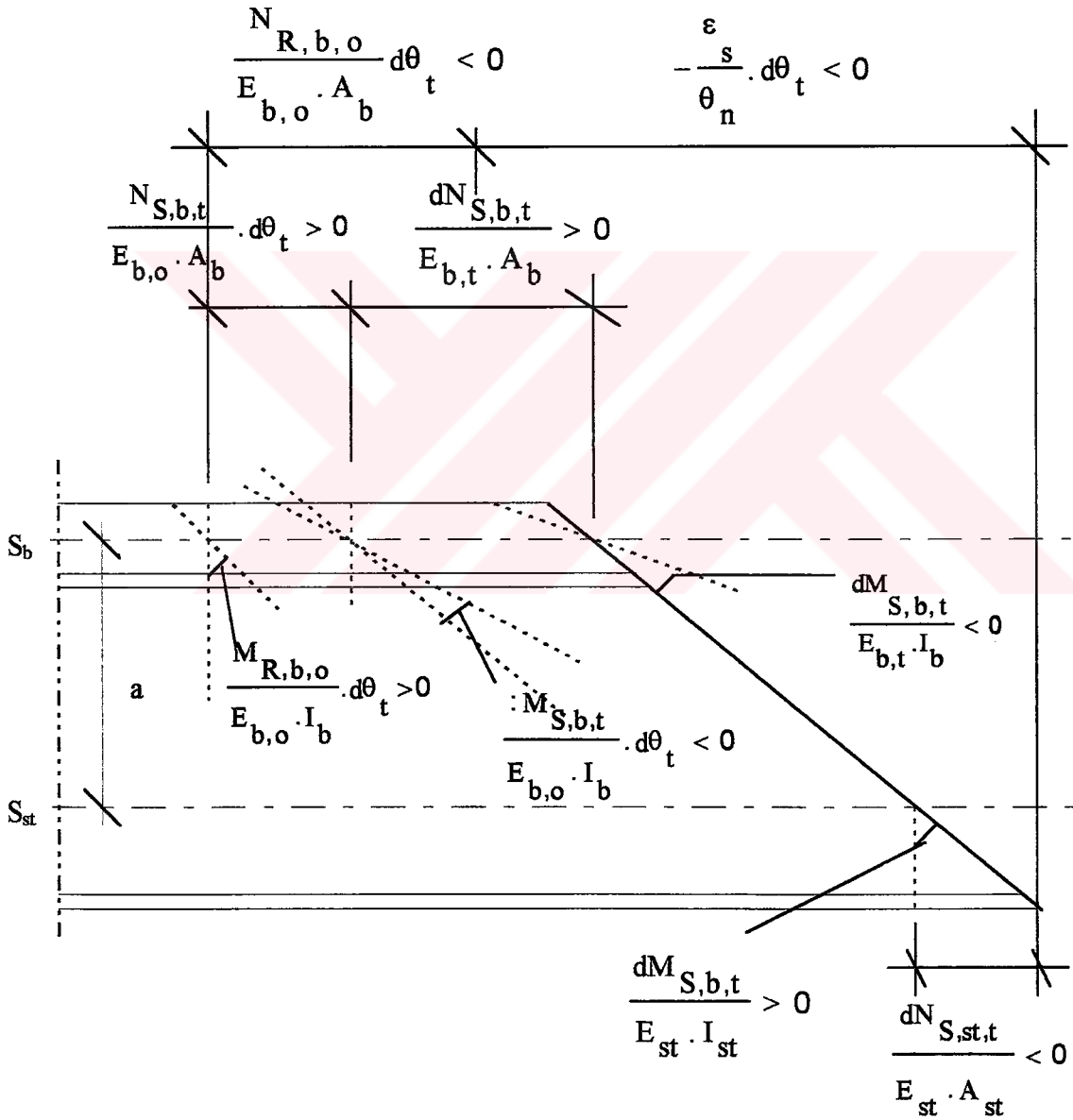
$$\frac{d\varepsilon_b}{dt} = \frac{1}{E_{st} \cdot A_{st}} \cdot \frac{dN_{s,st,t}}{dt} - \frac{a}{E_{st} \cdot I_{st}} \cdot dM_{s,st,t} \quad (9.16)$$

Rijit kompozitlik durumunda betonarme plakta birim dönme miktarı ile çelik kirişte birim dönme miktarı birbirine eşittir.

İkinci süreklilik şartı:

Rijit kompozitlik durumunda çelik kirişin ve betonarme plağın birim dönme açıları birbirinin aynı olmalıdır.

$$\frac{M_{R,b,0}}{E_{b,0} \cdot I_b} \cdot d\theta_t + \frac{M_{R,b,t}}{E_{b,0} \cdot I_b} \cdot d\theta_t + \frac{dM_{s,b,t}}{E_{b,t} \cdot I_b} = \frac{dM_{s,st,t}}{E_{st} \cdot I_{st}} \quad (9.17)$$



Şekil 9.4 dt zamanı zarfında kompozit kesitte meydana gelen birim plastik boy değişimleri ve birim plastik dönmeler (19)

(9.13) ve (9.14) ifadelerini  $dt$  ile çarpılır ve (9.15)'de betonarme plağın toplam birim değişimi için (9.7) değeri kullanılırsa, ilave kesit tesirleri için gerekli dört denklem elde edilir:

$$dN_{s,b,t} + dN_{s,st,t} = 0 \quad (9.18)$$

$$dM_{s,b,t} + dM_{s,st,t} - a \cdot dN_{s,b,t} = 0 \quad (9.19)$$

$$-\frac{d\varepsilon}{\theta_n} \cdot d\theta_t + \frac{N_{R,b,0}}{E_{b,0} \cdot A_b} \cdot d\theta_t + \frac{N_{s,b,t}}{E_{b,0} \cdot A_b} \cdot d\theta_t + \quad (9.20)$$

$$+ \frac{dN_{s,b,t}}{E_{b,t} \cdot A_b} = \frac{dN_{s,st,t}}{E_{b,t} \cdot A_{st}} - a \cdot \frac{dM_{s,st,t}}{E_{st} \cdot I_{st}}$$

$$\frac{M_{R,b,0}}{E_{b,0} \cdot I_b} \cdot d\theta_t + \frac{M_{R,b,t}}{E_{b,0} \cdot I_b} \cdot d\theta_t + \frac{dM_{s,b,t}}{E_{b,t} \cdot I_b} = \frac{dM_{s,st,t}}{E_{st} \cdot I_{st}} \quad (9.21)$$

İlave normal kuvvet terimleri aşağıda görüleceği gibi (9.18), (9.19) ve (9.12)'den bulunarak (9.20)'deki yerlerine konulur. İlave eğilme momentleri için birinci mertebeden iki çift diferansiyel denklem elde edilir.

(9.18) ve (9.19)'dan :

$$dN_{s,b,t} = \frac{1}{a} \cdot [dM_{s,b,t} + dM_{s,st,t}] \quad (9.22)$$

$$dN_{s,st,t} = -\frac{1}{a} \cdot [dM_{s,b,t} + dM_{s,st,t}] \quad (9.23)$$

Bu değerler ve  $N_{s,b,t}$  için de  $\frac{1}{a} \cdot [dM_{s,b,t} + dM_{s,st,t}]$  değeri (9.20)'ye yerleştirilir ve denklem  $a \cdot E_{b,0} \cdot F_b$  değeri ile çarpılırsa, aşağıdaki denklem oluşur:

$$\begin{aligned} & \frac{dM_{s,b,t}}{d\theta_t} \cdot \left[ \frac{E_{b,0}}{E_{b,t}} + \frac{\frac{1}{n} \cdot A_b}{A_{st}} \right] + \frac{dM_{s,st,t}}{d\theta_t} \cdot \left[ \frac{\frac{1}{n} \cdot A_b}{A_{st}} + \frac{a^2 \frac{1}{n} \cdot A_b}{I_{st}} + \frac{E_{b,0}}{E_{b,t}} \right] + \\ & + M_{s,b,t} + M_{s,st,t} + a \cdot [N_{R,b,0} - \frac{\epsilon_s}{\theta_n} \cdot E_{b,0} \cdot A_b] = 0 \end{aligned} \quad (9.24)$$

İkinci denklem (9.17)'nin aynıdır.

(9.24) denkleminde beton elastisite modülünün zamansal değişimi ihmal edilirse, rötrenin meydana getirdiği birim boy değişimini veren ideal bir kuvvet (İdeal Normal Kuvvet) tarif edilir:

$$N_s^* = \epsilon_s \cdot E_{b,0} \cdot A_b \quad (9.25)$$

Bu değer ile  $N_s = \frac{N_s^*}{\theta_n}$  kısaltması kullanılırsa, (9.24) bağıntısı aşağıdaki şekle dönüşür.

$$N_s = \frac{\epsilon_s}{\theta_n} \cdot E_{b,0} \cdot A_b \quad (9.26)$$

$$\frac{dM_{s,b,t}}{d\theta_t} \cdot \frac{A_i}{A_{st}} + \frac{dM_{s,st,t}}{d\theta_t} \cdot \frac{A_i (I_{st} + a \cdot S_i)}{A_{st} \cdot I_{st}} + M_{s,b,t} + M_{s,st,t} + a \cdot (N_{R,b,0} - N_s) = 0 \quad (9.27)$$

(9.17) denklemini de benzer şekilde

$$\frac{dM_{s,b,t}}{d\theta_t} - \frac{dM_{s,st,t}}{d\theta_t} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{I_b}{I_{st}} + M_{s,b,t} + M_{R,b,0} = 0 \quad (9.28)$$

Servis yüklerindeki kompozit kirişlerin doğrusal olmayan davranışı hakkında yapılan araştırmada toplam deformasyon aşağıdaki gibidir (4).

$$\varepsilon(t, \tau) = \frac{\sigma(\tau)}{E_c(\tau)} + \frac{\dot{\sigma}(\tau)}{E_c(\tau)} \cdot \phi(t, \tau) + \varepsilon_{sh}(t) \quad (9.29)$$

Burada sünme çekilirse, sünme deformasyonu aşağıdaki şekilde olur.

$$\varepsilon_{sh}(t) = \varepsilon(t, \tau) - \frac{\sigma(\tau)}{E_c(\tau)} - \frac{\sigma(\tau)}{E_c(\tau)} \cdot \phi(t, \tau) \quad (9.30)$$

Burada

$$\frac{\sigma(\tau)}{E_c(\tau)} + \frac{\sigma(\tau)}{E_c(\tau)} \cdot \phi(t, \tau) = \frac{\sigma(\tau)}{E_c(t, \tau)} \quad (9.31)$$

olarak alınırsa, sünme deformasyonu aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\varepsilon_{sh}(t) = \varepsilon(t, \tau) - \frac{\sigma(\tau)}{E_c(t, \tau)} \quad (9.32)$$

$$E_c(t, \tau) = \frac{E_c(\tau)}{1 + \phi(t, \tau)} \quad (9.33)$$

Sürekli kompozit kirişlerin sünme analizi için cebirsel yöntemler hakkında yapılan araştırma, statik hareketlere maruz kalan esnek kesme birleşimleri, mesnetlerin oturması, rötre ve öngerilmeli beton plağı olan kompozit kirişler için basitleştirilmiş zamana bağlı bir analizi

amaçlar. Problemi yöneten integral diferansiyel denklem, yaklaşık olarak diferansiyel bir denkleme indirgenir. Bu gerçek gerilme zamanını göz önüne alınarak problemin çözümlerini yaklaşık olarak sağlar Kaynaklarda bilinen cebirsel yöntemlerin birkaçı, yukarıda söylenen dört farklı etkiye maruz sürekli kompozit kirişlere uygulanır. Sonradan belirlenen nümerik sonuçlar, nümerik analiz sonuçları ile karşılaştırılır ve her iki basitleştirilmiş yöntemin geçerliliği tartışılır. Sonuç olarak, etkili modülün pratik uygulamasına ait bir kaç öneri ve bilgisayar programları verilir (7).

Yapılan araştırmada öngerilme etkisi düşünülmezse çıkarmış oldukları denklem Naci Yücefer'in yeterlik tezindeki gibidir.

Kompozit beton çelik enkesitlerin sünme oranı analizi üzerine yapılan araştırmada, sabit kalıcı yüklemeye maruz kalan kompozit kesitin zamana bağlı bir analizi verilir. Dischinger diferansiyel bünye denklemi, enkesitin betonarme plak kısımlarında zamanla oluşan elastik olmayan sünme ve rötre deformasyonlarını modelleme için kullanılır. Bu işlem, basite indirgenebilen bir matematiksel çözümü ve kesit davranışını açıklayan çift diferansiyel denklemin bir formülasyonunu içerir. Deformasyonun uyumluluğu enkesitteki her noktada korunur. Çözüm programlanabilir bir hesaplama kullanılarak çok gerçekçi bir şekilde elde edilebilir (13).

Yaptıkları bu araştırmaya göre toplam deformasyon:

$$\varepsilon' = \varepsilon'_o + \varepsilon'_c + \varepsilon'_{sh} \quad (9.34)$$

$$\varepsilon' = \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad \varepsilon'_o = \frac{\sigma'}{E_c}, \quad \varepsilon'_c = \frac{\sigma'}{E_c} \cdot \phi', \quad \varepsilon'_{sh} = \frac{\varepsilon_{sh}^*}{\phi_c^*} \cdot \phi' \quad (9.35,36,37,38)$$

$\phi$ : Sünme katsayısı (sabit bir kalıcı yüke maruz kalan betonda sünme deformasyonunun başlangıç ani deformasyonuna oranı olarak belirlenen zaman fonksiyonu)

$\varepsilon_{sh}^*$  ve  $\phi^*$  sırasıyla sonsuz zamandaki sonuç rötre deformasyonu ve sünme katsayısıdır.

Sonuç olarak, (9.36), (9.37), (9.38) değerleri (9.34) 'de konularak toplam beton deformasyonun değişmelerinin oranı (9.39)'da verildiği gibidir.

$$\varepsilon^* = \frac{\sigma'}{E_c} + \left[ \frac{\sigma}{E_c} + \frac{\varepsilon_{sh}^*}{\phi^*} \right] \cdot \phi' \quad (9.39)$$

## 10. KAYMA BİRLEŞİMLERİ

### 10.1. Tasarım Kabülleri

Betonarme plak ve çelik kirişler arasındaki kayma birleşimleri:

1. Yatay kaymanın transfer edilmesi,
2. Betonarme plak ve çelik kiriş arasındaki rölatif hareketin karşılanmasını sağlamaktadır (17).

Kayma birleşimleri, hem yatay hem de düşey kuvvetlere karşı mukavemetli olmalıdır (17).

Kayma birleşimleri, yapının ömrü esnasında kırılabilir olsa da, bu birleşimlere kayma kuvvetinin transferinde güven duyulmalıdır. Bununla beraber, kompozit elemanda etkili olan kuvvetlerle oluşan bütün kayma kuvvetleri, kayma birleşimleri ile iletilmelidir (17).

### 10.2 Yükleme Şartları

Kayma kuvveti, iskelenin kaldırılması ile, betonun sünmesi ve rötresine karşı yeterli mukavemeti kazanan beton plağa uygulanan hareketli yüklerden, darbe tesiri ve ölü yüklerden meydana gelen kuvvetlerdir (17).

Köprüler için hareketli yükler, genellikle kısa sürelidir ve daima kompozit kesit üzerinde etkimektedir. Bu nedenle, kayma birleşimleri darbe etkisini içine alan tüm hareketli yükler için tasarım edilmelidir. Hareketli yük, bir kayma bağlantısında gerilmelerin bozulmasına sebep olmaktadır (17).

Ölü yük, ya çelik kiriş ya da kompozit kesit tarafından taşınmaktadır. Kayma birleşimleri yalnızca kompozit kesit tarafından taşınan ölü yüke göre tasarlanmalıdır.

Sünmenin etkisi betonarme plakta gerilmeleri ve böylece kayma birleşimleri ile iletilen kuvvetleri azaltmaktadır. Sünme zamana bağlı bir olaydır. Zamanla gelişmekte ve

artmaktadır. Bundan dolayı sünmenin etkisi, kayma birleşimlerinin tasarımında dikkate alınmamalıdır (17).

Yapımdan sonraki ilk bir kaç ay sonrasında betonarme plak büzülmektedir. Büzülme, kayma birleşimleri ile karşılanmaktadır. Basit kirişlerde ve sürekli kirişlerin pozitif moment bölgelerinde kayma birleşimleri üzerindeki büzülme yükleri, ölü ve hareketli yük ile oluşan maksimum yatay kayma yönüne ters yönde etkimektedir. Sürekli kirişlerin negatif moment bölgelerindeki betonarme plak, çekmeye zorlanmakta ve tasarımda etkisiz olarak gözönüne alınmaktadır. Böylece negatif moment bölgelerindeki kayma birleşimlerinde oluşabilecek bir aşırı gerilme, rölatif olarak önem kazanmamaktadır. Bu nedenle, büzülme etkisi, kayma birleşimlerinin tasarımında gözönüne alınmamalıdır (17).

Betonun genleşmesi ve diferansiyel sıcaklık değişimleri, olağanüstü durumlarda gözönüne alınan diğer etkilerdendir. Bu etkileri gözönüne almak, darbeyi içine alan hareketli yük ve kompozit kesit tarafından taşınan ölü yük ile oluşan kuvvetlere göre yalnızca kayma birleşimlerinin tasarlanması için uygundur ve güvenlidir (17).

### 10.3 Yatay Kayma

Çelik kiriş ve betonarme plak arasındaki yatay kayma, aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$S = \frac{V_c \cdot m}{I_c} \quad (10.1)$$

Burada,

S: Betonarme plak ve çelik kirişten oluşan kesitte, çelik kirişin üst başlığındaki birim kayma kuvveti.

$V_c$ : Kompozit kesit üzerinde etkiyen düşey kesme kuvveti.

$m$ : ( $k n = E_s/E_c$  kullanılarak) Kompozit kesitin tarafsız eksenini civarında dönüştürülmüş beton alanının statik momenti veya negatif momente göre plağın içindeki donatı alanının statik momenti

$I_c$ : ( $k n = E_s/E_c$  kullanılarak) Dönüştürülmüş kompozit kesitin atalet momenti

#### 10.4 Bir Kayma Birleşimi İçin Tasarım Yüğü

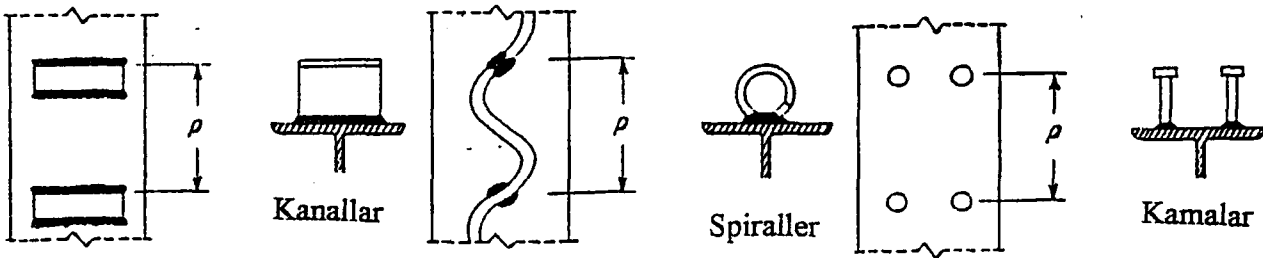
Bir kayma birleşiminin kapasitesi, güvenlik faktörü ile sağlanan yararlı kapasitedir.

$$Q = \frac{Q_{uc}}{FS} \quad (10.2)$$

Kayma birleşiminin yararlı kapasitesi,  $Q_{uc}$  birleşimin betonarme plak ve çelik kiriş arasında farkedilebilecek şekilde bir kaymaya izin verdiği yüküdür.

Değişik kayma birleşimlerinin yararlı kapasitesinin büyüklüğü, deneysel olarak elde edilmiştir.

Yapı tasarımındaki asıl amaç, bir yapının bütün bileşenlerini eşit gerilmeye göre tasarlamaktır. Zayıf noktasız olan bir yapı, minimum maliyette en büyük yükü taşımalıdır. Kompozit yapı için bu ilke, kompozit olarak etkiyen betonarme plağa ve kirişe mukavemetçe eşit kayma birleşimlerini gerektirmektedir.



Şekil 10.1 Kayma birleşimlerinin tipleri (17)

Kaynaklı kamaların testlerinde, bir kamanın yararlı kapasitesi aşağıdaki formüllerden hesaplanmaktadır.

$$h_s/d_s \geq 4.2 \text{ için } Q_{uc} = 330 d_s^2 \sqrt{f_c} \quad (10.3)$$

$$h_s/d_s < 4.2 \text{ için } Q_{uc} = 80h_s d_s \sqrt{f_c} \quad (10.4)$$

Burada

$Q_{uc}$ : Bir kamanın yararlı kapasitesi

$d_s$  : Kama yarıçapı

$h_s$  : Kama yüksekliği

$f_c$  : Betonun 28 günlük silindir basınç mukavemeti

Yapı çeliğinden yapılan kayma birleşiminin yararlı kapasitesi,

$$Q_{uc} = 180(h + 0,5t)w\sqrt{f_c} \quad (10.5)$$

ve spiral kayma birleşimi için yararlı kapasite,

$$Q_{uc} = 3,840d_{sp}\sqrt[4]{f_c} \quad (10.6)$$

Burada,

$h$ : Kanal Başlığının maksimum kalınlığı

$t$ : Kanal gövdesinin kalınlığı

$w$ : Kanal Birleşiminin genişliği

$d_{sp}$ : Spiral çubuğun çapı

$f_c$ : Betonun silindir basınç mukavemeti

## 10.5 Güvenlik Faktörü

Genelde ölü yükün bir kısmı yalnız çelik kiriş tarafından taşınır. Geriye kalan ölü yük ve hareketli yük kompozit kesit tarafından taşınır. Yapı aşırı yüklü ise ölü yük değişmeden kalmakta ama hareketli yük artmaktadır. Öyle ise, mukavemetce kompozit kirişe eşit kesme birleşimlerinin kabul edilen güvenlik faktörü:

1. Yalnız başına çelik kesitin mukavemetinin kompozit kesitin mukavemetine oranına,
2. Hareketli yükün ölü yüke oranına

bağlıdır. Aşağıdaki güvenlik faktörü denklemini, kayma birleşimlerinin tasarımı için tavsiye edilmektedir (17).

$$F_s = \frac{A(1+C_{mc} + C_{mi} \cdot C_s) + C_v}{1+C_v} \quad (10.7)$$

$$C_{mc} = \frac{\text{Kompozit kesite etkiyen DL ile oluşan maksimum moment}}{\text{LL ile oluşan maksimum moment}} = \frac{M_{DL}}{M_{LL}} \quad (10.8)$$

$$C_{mi} = \frac{\text{Sadece Çelik kesite etkiyen DL ile oluşan maksimum moment}}{\text{LL ile oluşan maksimum moment}} = \frac{M_{DS}}{M_{LL}} \quad (10.9)$$

$$C_s = \frac{\text{En uçta olan çekme lifleri için kompozit kesitin kesit modulu}}{\text{En uçta olan çelik kesit modulu}} = \frac{S_{bc}}{S_{bs}} \quad (10.10)$$

$$C_v = \frac{\text{Kompozit kesite etkiyen DL ile oluşan kesme kuvveti}}{\text{LL ile oluşan düşey kesme}} = \frac{V_{DL}}{V_{LL}} \quad (10.11)$$

A: Tasarım ihtiyaçlarına ve kompozit kesitin özelliklerine bağlı olan numerik katsayı

## 10.6 Birleşimlerin Aralığı

Kirişin bir enkesitinde bulunan bütün birleşimlerin yapısal kapasitesi, toplam yatay kaymaya eşit olmalıdır. Böylece birleşimlerin kiriş eksenine paralel olan aralığı:

$$P = \frac{N \cdot Q}{S} \quad (10.12)$$

ile belirlenmektedir.

Burada,

p: Kiriş eksen yönündeki birleşimlerin aralığı

N: Bir kiriş enkesitindeki birleşimlerin sayısı

Q: Tek birleşimin kapasitesi

S: Yatay kayma

## 10.7 Ölçülendirme

Aşağıdaki sınırlamalar kayma birleşimlerinin ölçülendirilmesi için tavsiye edilmiştir (17).

1. Birleşimlerin (p) aralığı 60,96 cm'(24 in.)den daha büyük olmamalı
2. Kirişin kenarı ve kesme birleşimlerinin kenarı arasındaki mesafe 2.54 cm'(1 in.)den daha az olmamalı
3. Kesme birleşimlerinin en üstündeki beton kaplamanın derinliği 2.54 cm'(1 in.)den daha az olmamalı
4. Birleşimler plağın üzerinde en az 5.08 cm (2 in.) yüksekliğinde olmalı

### 10.8 Kaynaklı Birleşimlerin Tasarımı

$$P = \frac{N \cdot Q_{uc}}{S_{DC} + \left(33,000 - \frac{f_{DL}}{f_{LL}}\right) S_{LL}} \quad (10.13)$$

$S_{DC}$  ve  $S_{LL}$  :Sırasıyla, kompozit ölü yük ve hareketli yük ile oluşan yatay kayma

$f_{DL}$  ve  $f_{LL}$  :Kirişte ölü yük ve hareketli yüklerden dolayı maksimum birim gerilmeler (minimum pozitif moment noktasında)

Kompozit kirişlerde kama kayma birleşimlerinin değerlendirilmesi veya birleşik statik ve yorulma tasarımı hakkında araştırmalar vardır (10).

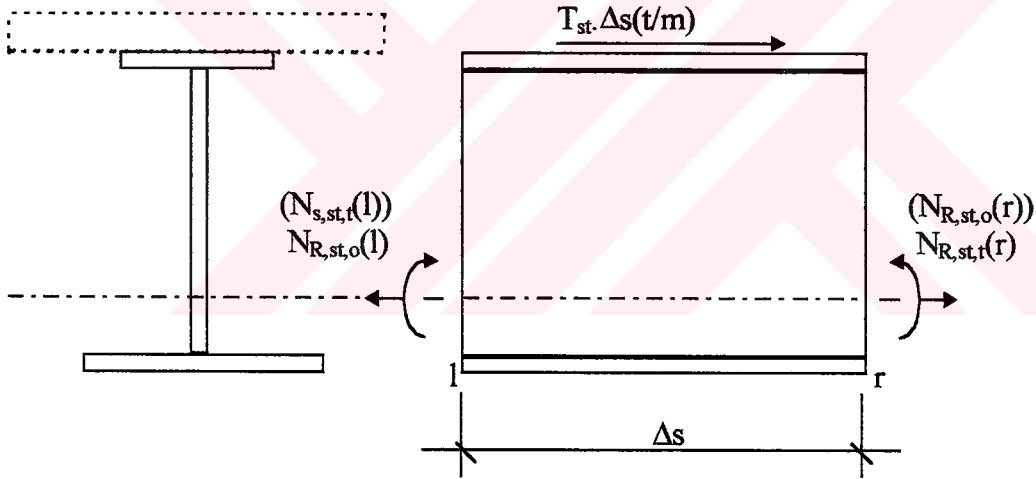
Çeşitli farklı modeller, kompozit kirişler için kaynaklı kama kayma birleşimlerinin yorulma mukavemeti için kullanılmaktadır ve rapor edilen test verilerinde çok tutarsızlık vardır. Bu verilerin kapsamlı statik analizleri, en iyi modeller ve parametreler için değerleri saptanmıştır ve normal olmayan durumların bir çoğu açıklanmıştır (10).

Statik kayma dayanımı, tekrarlanan yüklemeden oluşan hasarlarla hemen hemen lineer bir şekilde azalır. Böylece, statik ve tekrarlanan yükleme için tasarım kontrolleri bütünleşmelidir (10).

Kompozit köprü kirişlerinde kayma bağlayıcılarının tasarım ve değerlendirilmesi hakkında yapılan araştırma, açık bir şekilde kompozit köprü kirişlerindeki kama kayma birleşimlerinin mukavemetinin, yorulma yükleri kompozit köprü kirişlerine uygulandığı zaman doğrudan doğruya azaldığını gösterir. Aşırı yük, kayma birleşimlerinin mukavemetinin azalmasına sebep olur. Bu araştırma, mevcut yapılardaki birleşimlerde yorulma yükünden dolayı mukavemetteki azalmayı belirleyebilmek için kullanılabilir (16).

Mukavemet teorisinden de bilindiği gibi, üst üste konulan iki taşıyıcı elemanın birlikte taşıma görevinde bulunmaları için aralarında bağlantı bulunması gerekmektedir. Aksi halde her iki eleman da ayrı ayrı deformasyona uğrayacaklar, teorik olarak aralarında sürtünme olmadığı kabul edilirse, birbirlerine değdikleri düzlem üstünde birbirlerine ters yönde kayacaklardır. Beraber çalışmalarını sağlamak için beton ve çelikten oluşan kompozit sistemlerde de beton ve çelik arasında bağlantı sağlamak için bağlayıcı elemanlardan faydalanılmaktadır. Kompozit sistemlerde, tıpkı homojen kesitlerden bilindiği şekilde sistem eksenine paralel lifler, birbirinden bağımsız olarak hareket etmemektedirler. Bu durumda da aynı malzeme içindeki liflerde olduğu gibi beton ve çelik arasında da kayma kuvvetleri oluşmaktadır. Sonuç olarak bu kayma kuvvetlerinin beton ve çelik tarafından birbirlerine karşılıklı aktarılması bağlantı elemanları yoluyla sağlanmaktadır (19).

Kompozit sistemlerde kayma kuvvetlerini bulmanın en uygun yolu, bir taşıyıcı parçadaki normal gerilmelerle kayma gerilmeleri arasındaki denge şartından faydalanmaktır.



10.2 Kompozit kesitte kayma kuvvetleri (19)

Betondaki rötre ve sünme yüzünden kayma kuvvetlerinin de zamanla değişeceği açıktır. Bu yüzden kayma kuvvetlerini hem  $t = 0$  için hem de  $t = \infty$  için bulmak gerekmektedir.  $t = \infty$  zamanı için önce  $t = 0$  için paylaştırılmış kesit tesirlerinden kayma kuvveti, sonra ilave kesit tesirlerinden de ilave kayma kuvveti bulunmaktadır.

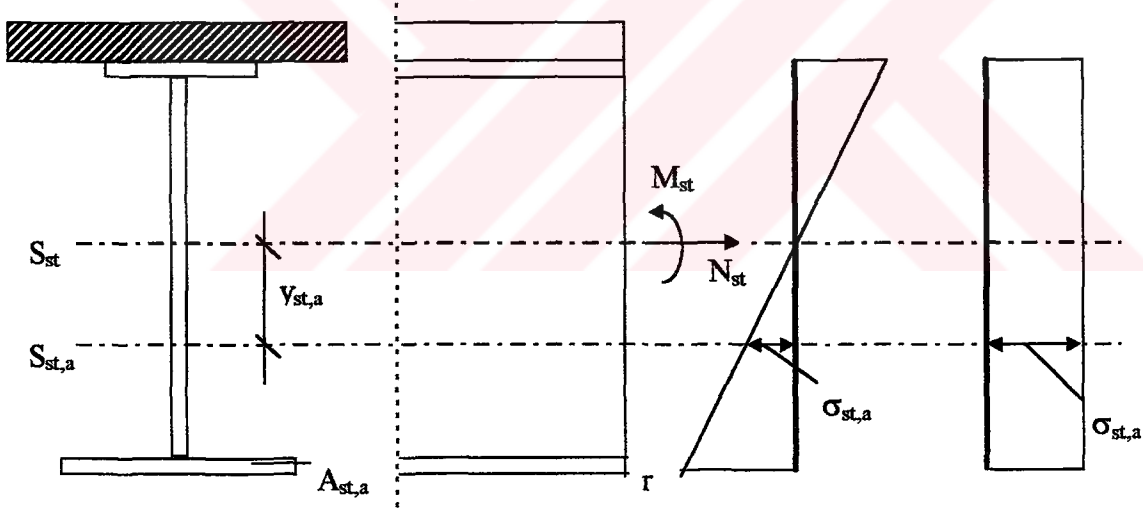
Beton ve çelikten oluşan kompozit sistemlerde denge şartını beton veya çelik kısım için aşağıda yazıldığı gibidir:

$$T_{st,t} = \frac{1}{\Delta s} [N_{R,st,t} (l) - N_{s,st,t} (r)] \quad (10.14)$$

$$T_{st,t} = \frac{1}{\Delta s} [N_{R,st,o} (l) - N_{R,st,o} (r)] \quad (10.15)$$

$$T_{st,\Sigma} = T_{st,o} + T_{st,t} \quad (10.16)$$

Beher malzemenin herhangi bir lifindeki kayma kuvveti (kayma gerilmesi) de hangi kesit tesirleri için isteniyorsa o tesirlerden gelen gerilmelerle kayma kuvvetleri arasındaki denge şartından bulunmaktadır. Bu aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.



Şekil 10.3 Kompozit kesitte meydana gelen kayma gerilmeleri (19)

$$M_{st} = M_{R,st,o} + M_{S,st,t} + \dots$$

$$N_{st} = N_{R,st,o} + N_{S,st,t} + \dots$$

$$\sigma_{st,a} = \frac{M_{st}}{I_{st}} \cdot y_{st,a} + \frac{N_{st}}{A_{st}} = M \sigma_{st,a} + N \sigma_{st,a}$$

$$N_{st,a} = F_{st,a} \cdot \sigma_{st,a} = N_{st,a} (r) \quad (10.17a,b,c,d)$$

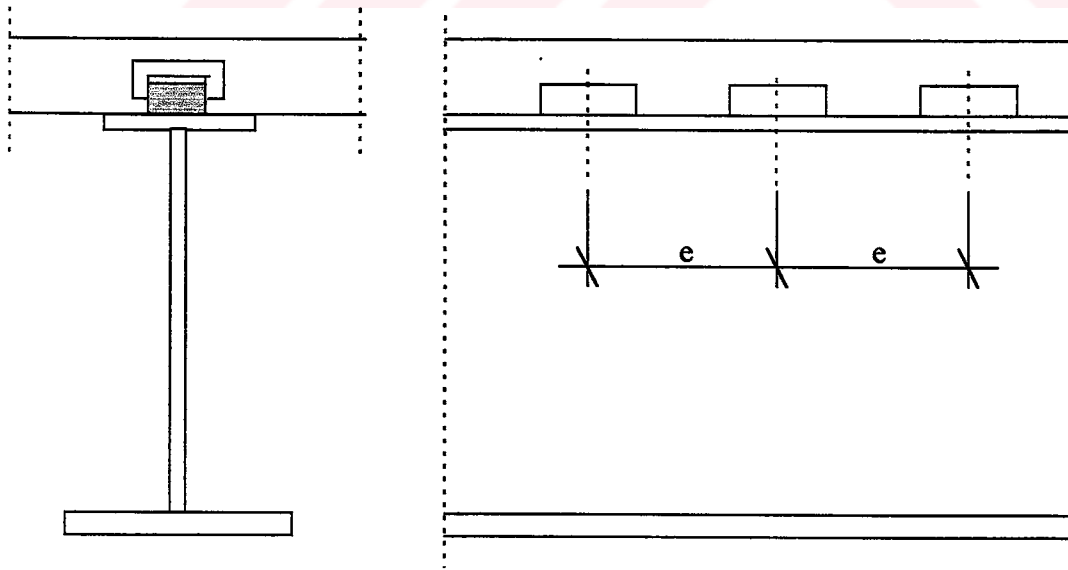
$\Delta s$  uzaklığındaki (1) kesitinde bulunacak değerlerle incelenen liftteki birim kayma kuvveti:

$$T_{st,a} = \frac{1}{\Delta s} \cdot [N_{st,a} (l) - N_{st,a} (r)] \quad (10.18)$$

Hareketli yükler için kısa yoldan, çeliğe dönüştürülmüş kompozit kesit atalet momenti  $I_i$  ve çelik statik momenti kullanılarak istenen kayma kuvvetleri de bulunabilmektedir (19).

$$T_{st,a} = T_{v,st,o} = - \frac{Q \cdot S_{st,a}}{I_i} \quad (10.19)$$

Kompozit sistemlerde beton ve çelik arasında rijit kayma bağlantısı, bağlayıcı olarak adlandırılan ankraj çubuklu veya çubuksuz takozlarla sağlanmaktadır.



Şekil 10.4 Takozların teşkili ve aralarındaki uzaklıklar (19)

Takozların kullanılışı ve pratikte bunların aktarabilecekleri kuvvetler için sayısız deneyler yapılmıştır. Deneylere dayanarak DIN 1078'in kabulüne göre bir takozun alabileceği emniyetli kuvvet:

$$D = F_D \cdot \sigma_{bD} + \mu \cdot F_e \cdot \sigma_e \quad (10.20)$$

Burada,

$F_D$ : Takoz alın alanı

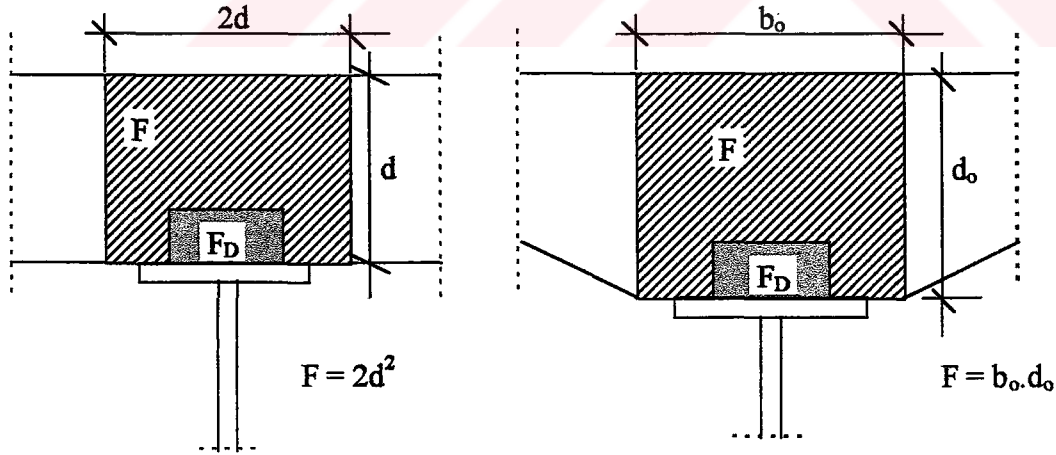
$\sigma_{bD}$ : Takoz alın alanındaki beton basınç emniyet gerilmesi. Bu değer DIN 4227'ye göre

$$\sigma_{bD} = \sigma_b \sqrt[3]{\frac{F}{F_D}} \leq \frac{W}{2} \quad (10.21)$$

formülü ile bulunmaktadır. Burada,

$\sigma_b$ : Beton basınç emniyet gerilmesi

$F$ : Dağıtma alanı (Şekil 10.5)



Şekil 10.5 Kompozit kesitte takoz alın alanı ve dağıtma alanı (19)

Dağıtma alanı, aynı yöndeki takoz alın kenarının en fazla beş katı olarak alınmaktadır:

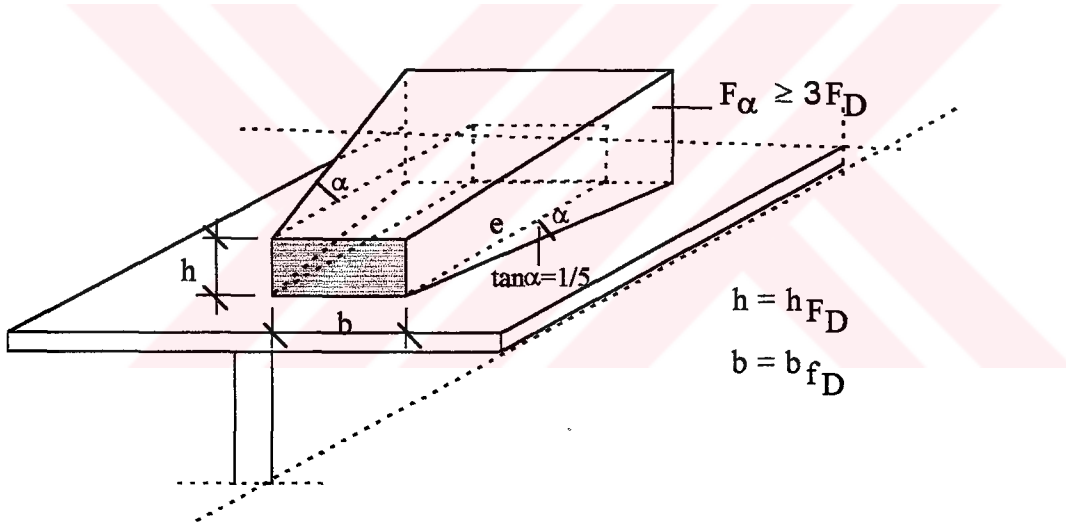
$$h_f \leq 5h_{FD}$$

$$b_f \leq 5b_{FD} \quad (10.22a,b)$$

Alın yüzeyinde daha yüksek basınç gerilmelerine izin verilmesi, mesnet levhaları altındaki beton elemanlardaki gibi, beton deformasyonlarının komşu bölgelerdeki beton kısımlar ile engellenmesine dayanmaktadır.

Her takoz arkasında bir kuvvet dağılım bölgesi bulunmalıdır. Bunun için yine DIN 1078'e göre:

Bir takoz alanının köşelerinden yatay ve düşey yönde 1/5 lik eğilmelerle bir sonraki alana geldiğinde elde edilen alan, takoz alanının en az üç katı olmalıdır (Şekil 10.6).



Şekil 10.6 Kompozit kesitte DIN 1078'e göre takoz boyutları (19)

Bu şarttan da konstrüktif olarak aksenal takoz aralıkları için olması gereken en küçük değer bulunmaktadır (19).

$$\min e = 2,5 \cdot [\sqrt{(h + 0,5b)^2 + 4 \cdot bh} - (h + 0,5)b] \quad (10.23)$$

Bu şart sağlanırsa yukarıda verilen emniyetli takoz kuvveti takozlarca karşılanmaktadır.

Beton ve çelik arasındaki kompozitliği sürekli olarak sistem boyunca sağlamak için de maksimum takoz aralıkları, plak kalınlığının iki veya üç katını aşmamalıdır (19).

$$\max e = 2d \sim 3d \quad (10.24)$$

Takoz kuvveti bağıntısındaki ikinci terim takozla bağlı olan ankraj elemanlarının etkisini vermektedir.

$\sigma_s$ : Çelik emniyet gerilmesi

$F_c$ : Bir takoz bölgesinde etkin donatı alanı

$\mu$ : Redüksiyon katsayısı

Kancalar için  $\mu=0.5$

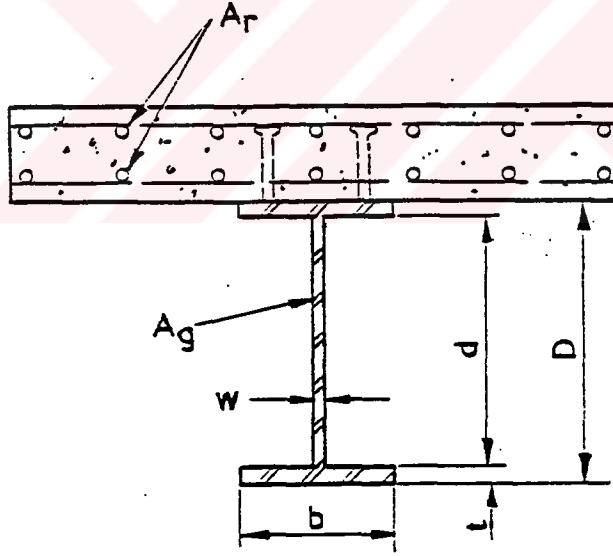
Halkalar için  $\mu=0.7$

Takozlar yerine veya takozlarla kombine edilerek yüksek mukavemetli öngerilme bulonları ile de uygun kompozitlik sağlanabilmektedir (19).

## 11. YEREL BURKULMA

Mesnetlerdeki mafsalların uygun dönme kapasiteleri var ise, sürekli kompozit kirişler, sadece basit plastik teori ile boyutlandırılabilir. Bu boyutlandırma, gövdelerin ve başlıkların yerel burkulmasına göre sıkı kontrol edilir. Negatif eğilme altındaki kompozit kirişlerin dönme kapasitesinde, yerel burkulmanın etkisini belirlemek için deneyler tanımlanmıştır. Karşılaştırmalar, çelik tasarımda sınırlı gövde ve başlık narinlik oranları ile yapılır. Mevcut düzenlemelerin bir kaçının kompozit kirişlere uygulanabildiği, fakat diğer düzenlemelerin hem çelik hem de kompozit kirişler için emniyetli olmadığı bulunmuştur (5).

Yerel burkulmanın çelik I kirişlerin dönme kapasitesindeki kötü etkisi iyi bilinir. Plastik teori ile tasarımda, limitler, bir çökme mekanizmasına katılmak için gereken elemanların gövdelerinin ve başlıklarının narinlik oranlarına göre bulunur. Kompozit kiriş ve çelik kirişlerin yerel burkulma karakteristikleri benzer oldukları halde, daha sonra geliştirilen kuralların kompozit sürekli kirişlere uygulanabildiği belli değildir (5).



Şekil 11.1 Kompozit kirişin enkesiti (5)

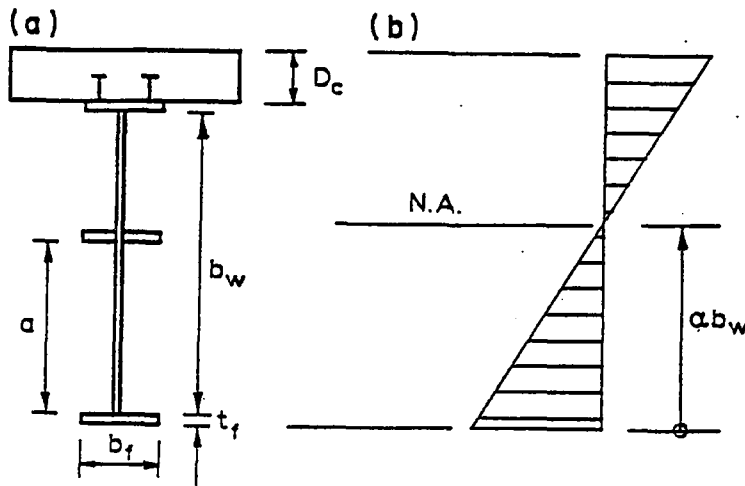
Şekil 11.1'deki kesit tipi için, tarafsız eksen alt başlığa doğru yön değiştirmekte ve negatif eğilmedeki kirişler basınç deformasyonlarının önemli bir şekilde etkisi altına girmektedirler (5).

İlave olarak, gövde genellikle bir çelik kiriştekinden orantılı olarak daha yüksek kesme yüklerini taşır. Yapılan araştırmalarda, yüksekliği az olan çelik kirişlerde de yerel burkulma oluşmaktadır (5).

Bu nedenle, bahsedilen çalışmada, yerel burkulmada daha çok bilgi sağlamaya ve onun kompozit sürekli kirişlerin negatif moment bölgelerinde, dönme kapasitesindeki etkiye işaret edilmiştir. Hem berkitmesiz hem de berkitmeli kesitlerde testler anlatılmakta ve karşılaştırmalar mevcut narinlik oranları ile birlikte yapılmaktadır. Sonuçlar kompozit kirişlerin tasarımında bu oranların kullanılmasında verilmekte ve öneriler gövde berkitmeleri için yapılmaktadır.

### 11.1 Berkitmesiz Gövdenin Elastik Yerel Burkulması

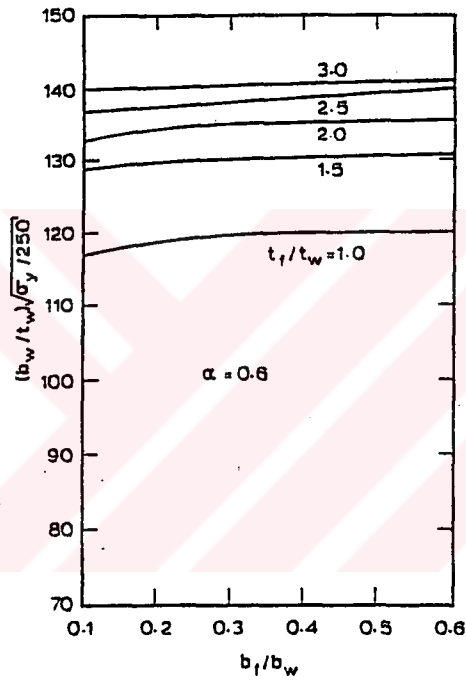
Moment eğilmesine maruz kalan kompozit kiriş kesiti Şekil 11.2' de gösterildiği gibidir. Kesitin yeterli olmadığı ve şekilde gösterildiği gibi doğrusal olarak değişen deformasyon dağılımına maruz kaldığı kabul edilir. Pratik durumlarda, plak donatısını içeren dönüştürülmüş kesit analizi, tarafsız eksenin alt başlığa makul bir şekilde yakın olduğunu ve yerel burkulmanın, gövde narin olduğu zaman akma meydana gelmeden önce oluşabildiğini gösterir. Buradaki çalışma için tarafsız eksenin  $\alpha=0.6, 0.7, 0.8, 0.9$  ve  $1.0$  alındığı yerdeki alt başlığın üzerinde bir  $\alpha.b_w$  yüksekliğinde olduğu kabul edilir.



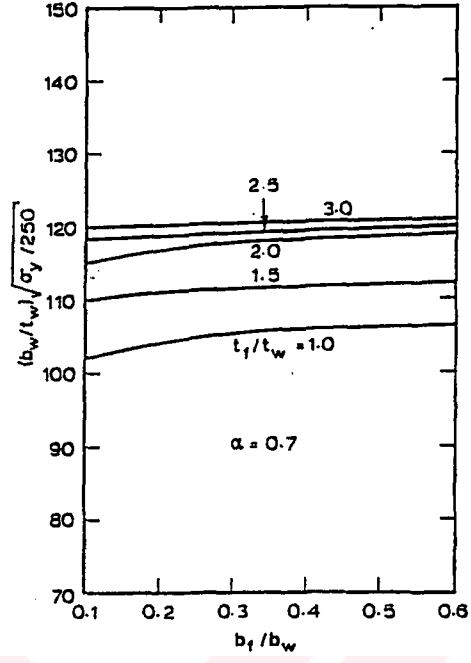
Şekil 11.2 Kompozit kesit a) Kesit, b) Deformasyonlar (5)

Gerilme dağılışı doğrusal olduğu için, yüklemenin özel bir durumu için  $\alpha$  parametresi beton ve herhangi donatı çeliği için çatlama için alan standart modüler dönme teorisinden belirlenebilir.

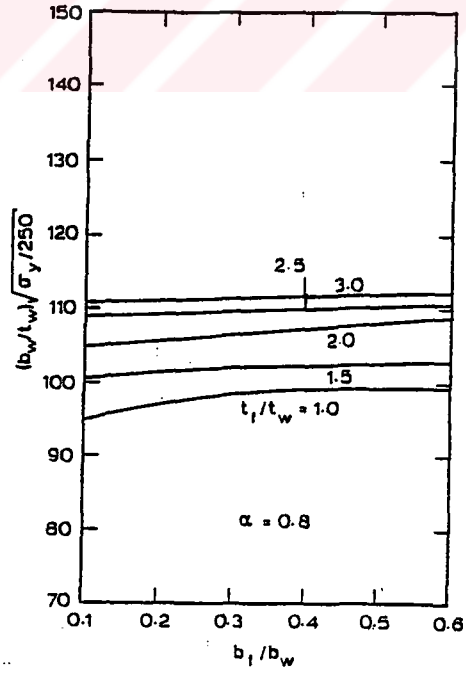
Basit eğilmede, akma ve yerel burkulmanın aynı zamanda oluşması için  $((b_w / t_w) \sqrt{\sigma_y / 250})$  değişiklik yapılan narinlik değerleri, tarafsız eksen parametresi ve başlığın gövde genişliğine oranının  $(b_f / t_w)$  farklı değerleri, Şekil 11.3-7'de gösterilmektedir. Değişiklik yapılan narinlik için ifadede ki  $\sigma_y$  MPa olarak çeliğin akma gerilmesidir (5).



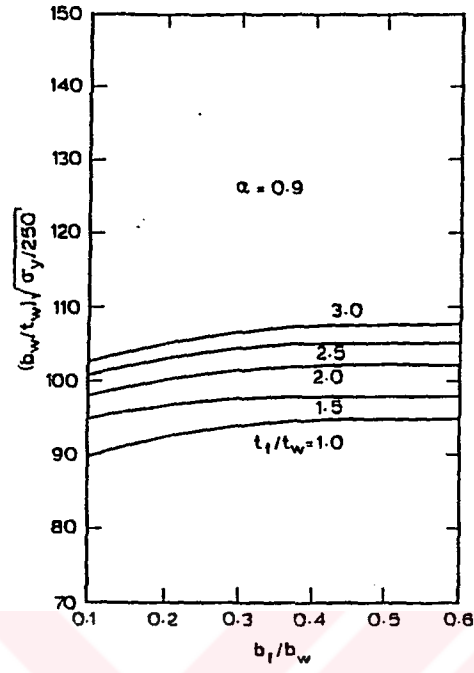
Şekil 11.3 ( $\alpha = 0.6$ ) Burkulmadan önce akmaya göre narinlik (5)



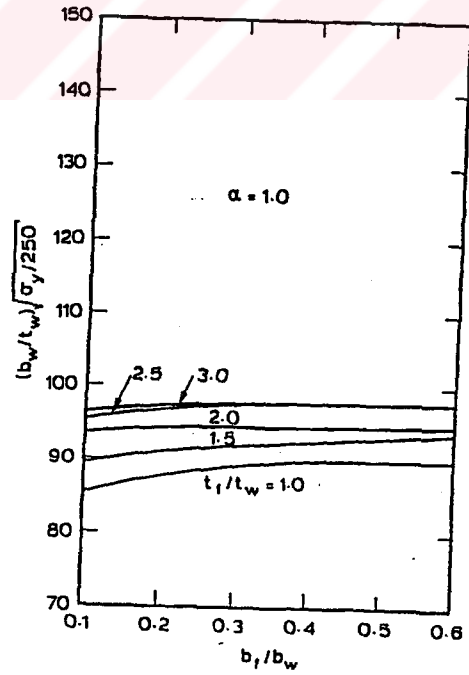
Şekil 11.4 ( $\alpha = 0.7$ ) Burkulmadan önce akmaya göre narinlik (5)



Şekil 11.5 ( $\alpha = 0.8$ ) Burkulmadan önce akmaya göre narinlik (5)



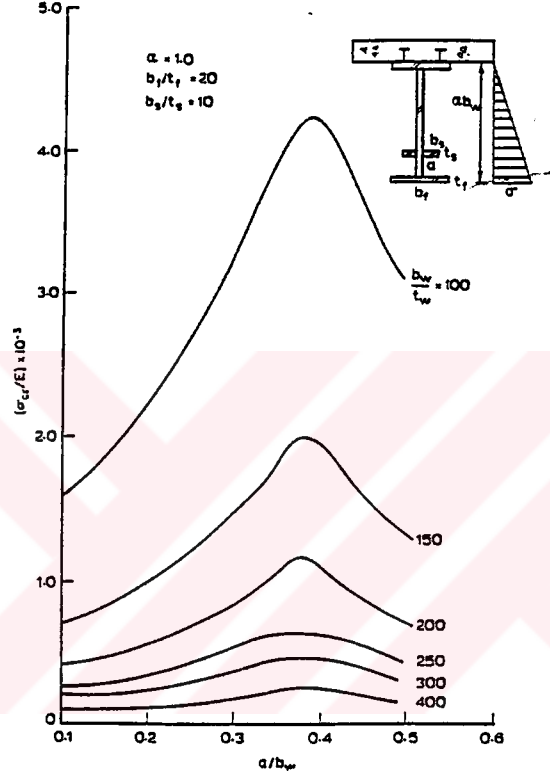
Şekil 11.6 ( $\alpha = 0.9$ ) Burkulmadan önce akmaya göre narinlik (5)



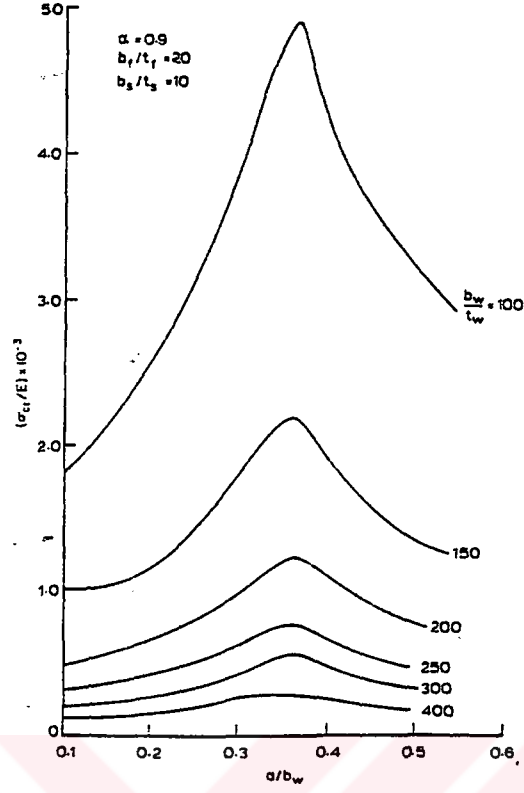
Şekil 11.7 ( $\alpha = 1.0$ ) Burkulmadan önce akmaya göre narinlik (5)

## 11.2 Berkitmeli Gövdelerin Elastik Yerel Burkulması

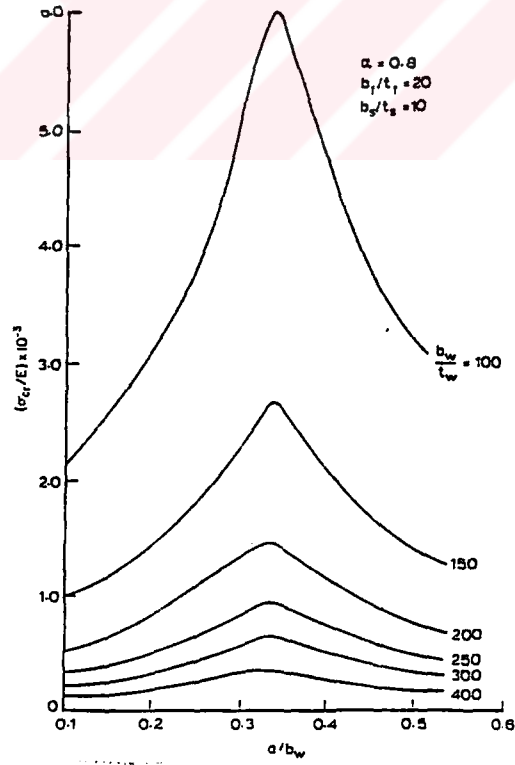
Çelik levha elemanlarında hızlı ve verimli bir çalışma ve ekonomi artışı yapmak için narin gövde levhası, boyuna berkitmelerle rijitlenebilir. Boyuna berkitmelerin asıl fonksiyonu, eğilmede gövdenin yerel burkulma kapasitesini artırmaktır (5).



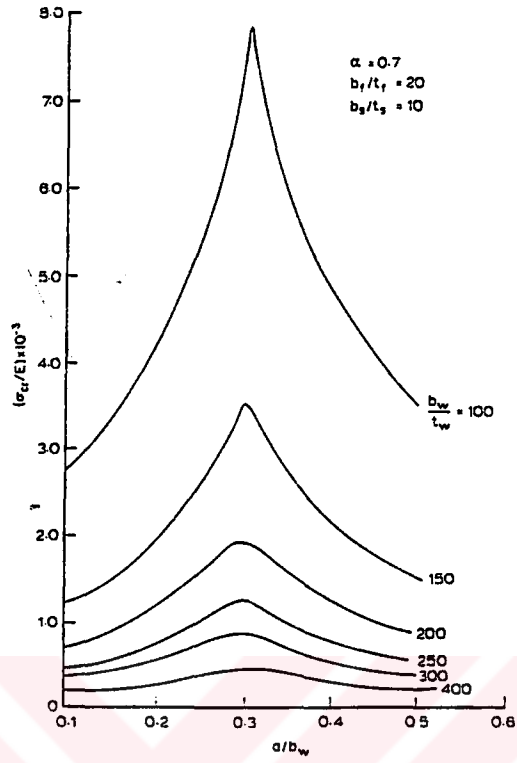
Şekil 11.8 ( $\alpha = 1.0$ )Elastik kritik gövde gerilmesi (3)



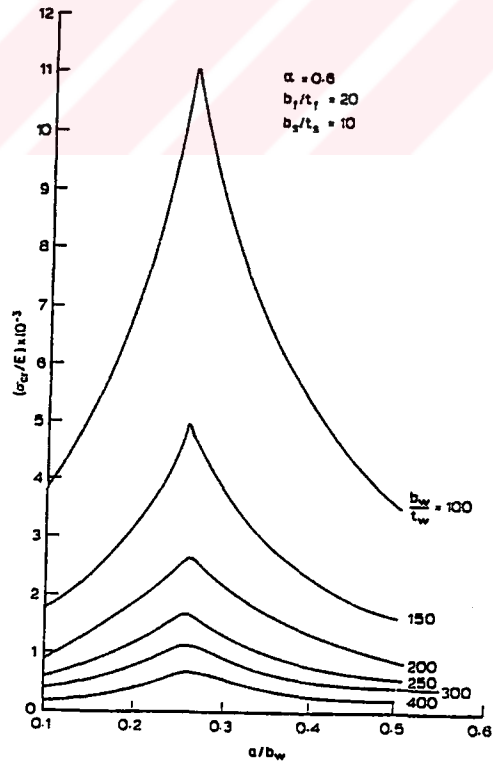
Şekil 11.9 ( $\alpha = 0.9$ )Elastik kritik gövde gerilmesi (3)



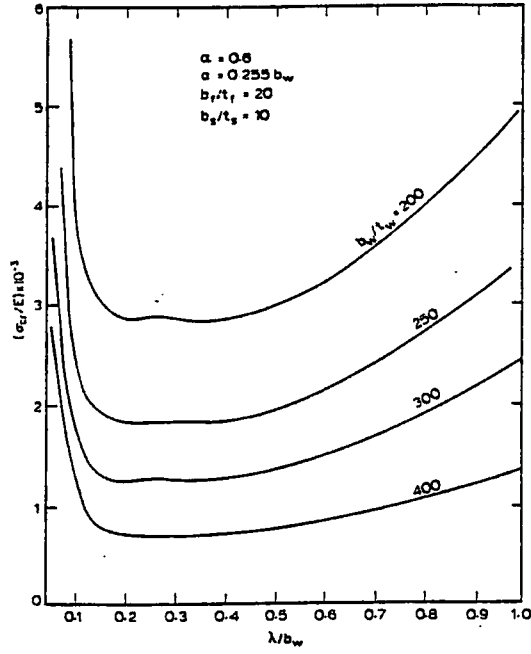
Şekil 11.10 ( $\alpha = 0.8$ )Elastik kritik gövde gerilmesi (3)



Şekil 11.11 ( $\alpha = 0.7$ )Elastik kritik gövde gerilmesi (3)



Şekil 11.12 ( $\alpha = 0.6$ )Elastik kritik gövde gerilmesi (3)



Şekil 11.13 Burkulma gerilmesi (3)

$\alpha$  parametrelerinin farklı değerleri için, elastik kritik levha elemanlarının gerilmeleri Şekil 11.8-12'de gösterildiği gibidir. Bu gerilmeler,  $a/b_w$  değişken boyutlu berkitmelerin yükseklikleri için elastik kompleks sonlu şerit metodu kullanılarak belirlenmiştir. Burkulma gerilmelerini maksimum yapmak için berkitmelerin optimum durumu  $\alpha = 0.6$  için  $a = 0.255 .b_w$ ;  $\alpha = 0.7$  için  $a = 0.360.b_w$  ve  $\alpha = 0.8$  için  $a = 0.375.b_w$  olarak bulunmuştur (3).

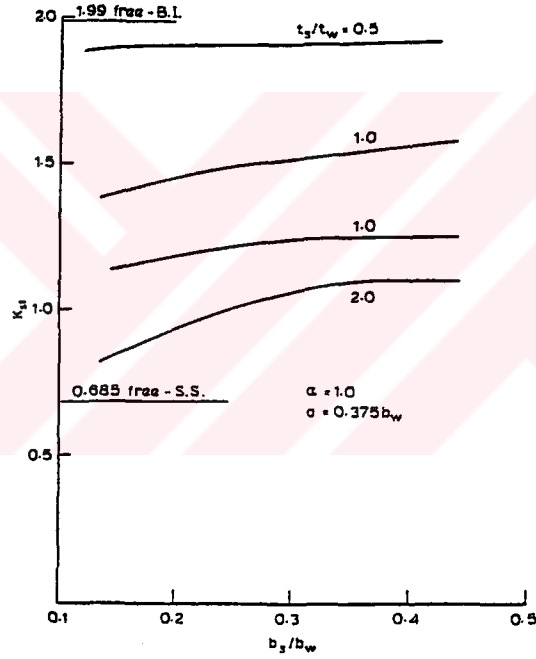
Boyuna bir şekilde berkitmeli kompozit kirişin analizinde bir kaç önemli nokta vardır. İlk olarak,  $b_f / t_f$  başlıkların narinliği ve  $b_s / t_s$  boyuna gövde berkitmelerinin narinliği, gövde burkulmasının ilk oluşumu için seçilmiştir. İkinci olarak tarafsız eksenin yukarıya hareket etmesi halinde, berkitmeler için optimum durum oluşur. Sonuç olarak, boyuna berkitmelerin yeri, gövde yerel burkulmasının gövdenin en yukarısında ve en aşağısında oluşmasına göre belirlemiştir. Optimum berkitme yeri, yerel burkulmanın gövdenin üstünde ve altında aynı zamanda olduğu yer olarak bulunmuştur. Bu, boyuna burkulmanın yarım dalga boyu  $\lambda$ 'a karşı rijitlikli gövde yerel burkulma gerilmesini gösteren Şekil 11.13'de ispat edilir.  $\alpha = 0.6$  ( $a = 0.225.b_w$ ) olduğunda berkitmelerin optimum pozisyonlarının durumu için, minimum

kritik gerilme, berkitmeli gövdenin alt ve üst kısımlarının burkulmasına karşılık gelen iki yarım dalga boyunda meydana gelir (3).

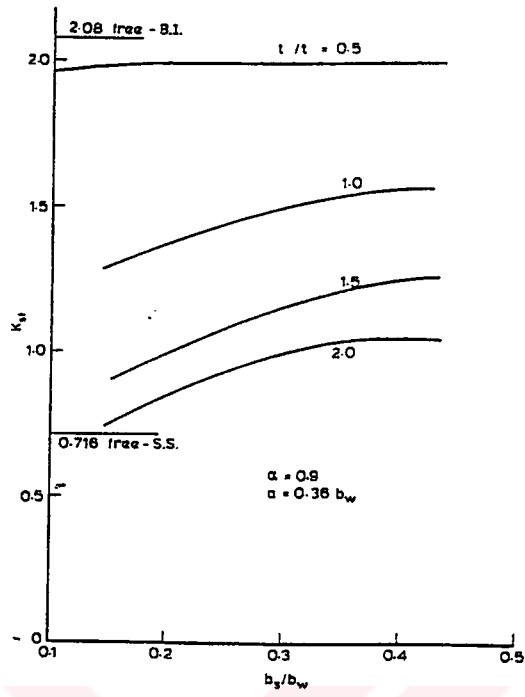
### 11.3 Boyuna Berkitmelerin Burkulması

Boyuna berkitmelerinin  $\sigma_{ols}$  yerel burkulma gerilmesini belirlemek için, kompleks sonlu şerit metodu, aşağıdaki formüle uyularak kullanılmıştır (3).

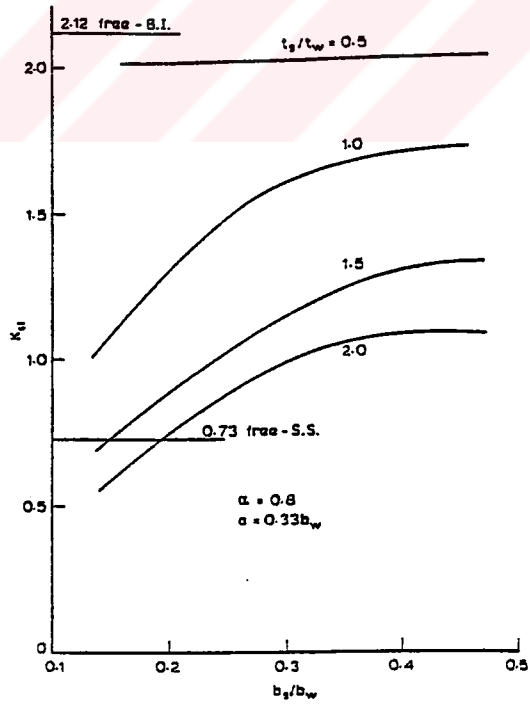
$$\sigma_{ols} = k_{st} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t_s}{b_s} \right)^2 \quad (11.1)$$



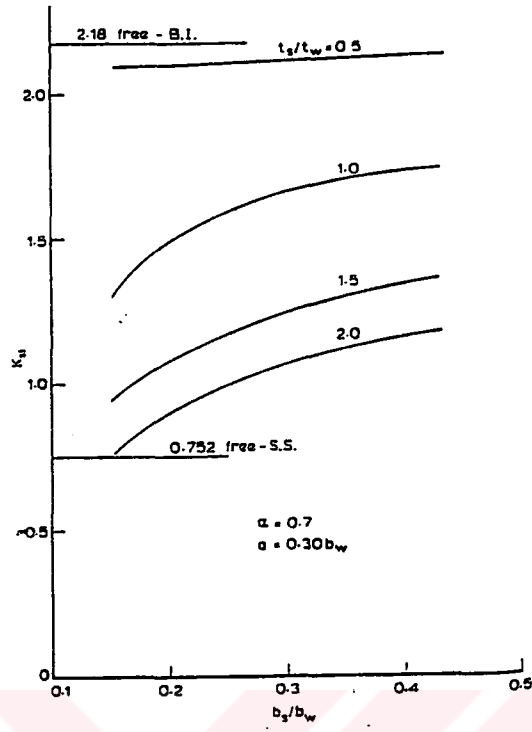
Şekil 11.14 ( $\alpha = 1.0$ ) Berkitmelerin yerel burkulma katsayısı (3)



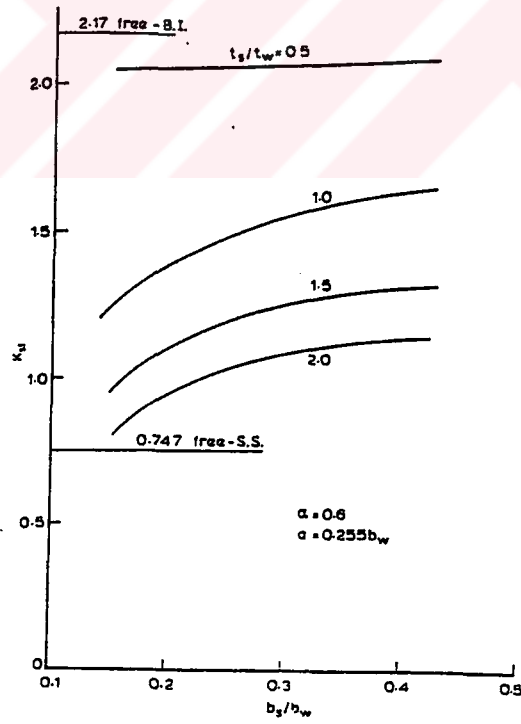
Şekil 11.15 ( $\alpha = 0.9$ )Berkitmelerin yerel burkulma katsayısı (3)



Şekil 11.16 ( $\alpha = 0.8$ )Berkitmelerin yerel burkulma katsayısı (3)



Şekil 11.17 ( $\alpha = 0.7$ )Berkitmelerin yerel burkulma katsayısı (3)



Şekil 11.18 ( $\alpha = 0.6$ )Berkitmelerin yerel burkulma katsayısı (3)

Burada  $t_s$  ve  $b_s$  sırasıyla boyuna berkitmelerin her bir çiftinin genişliği ve kalınlıklarıdır.  $\nu$ :Poisson oranı, bu çalışmada 0.3 olarak alınmıştır ve  $k_{st}$ :berkitme burkulma katsayısıdır. Gerçekte, gövdeye birleştirilen levha berkitme elemanının sınır şartları, ankastre-serbest ve basit mesnetli-serbest değerleri arasındadır. Şekiller 11.14-18 farklı kesit geometrileri ve tarafsız eksen parametresi  $\alpha$  için  $k_{st}$ 'nin değişimini göstermektedir (3).

#### 11.4 Kesme ve Eğilmenin İlişkisi

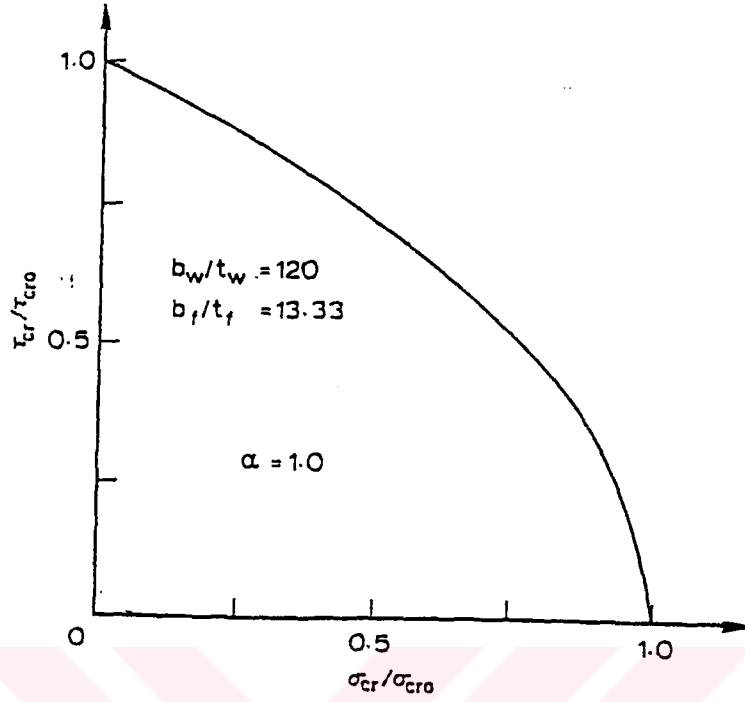
$$\left( \frac{\tau_{cr}}{\tau_{cro}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{cro}} \right)^2 = 1 \quad (11.2)$$

Kesme ve eğilme arasındaki burkulma ilişkisini belirlemek için, ilk olarak, eğilmenin yokluğunda  $\tau_{cro}$ , kritik kesme gerilmesini hesaplamak ve kesmenin yokluğunda  $\sigma_{cro}$ , kritik eğilme gerilmesini hesaplamak gereklidir. Bu, daha sonra plak ile tutulduğu için üst başlığın serbestlik derecesini önlemek ile kompleks sonlu şerit metoduyla yapılmıştır (3).

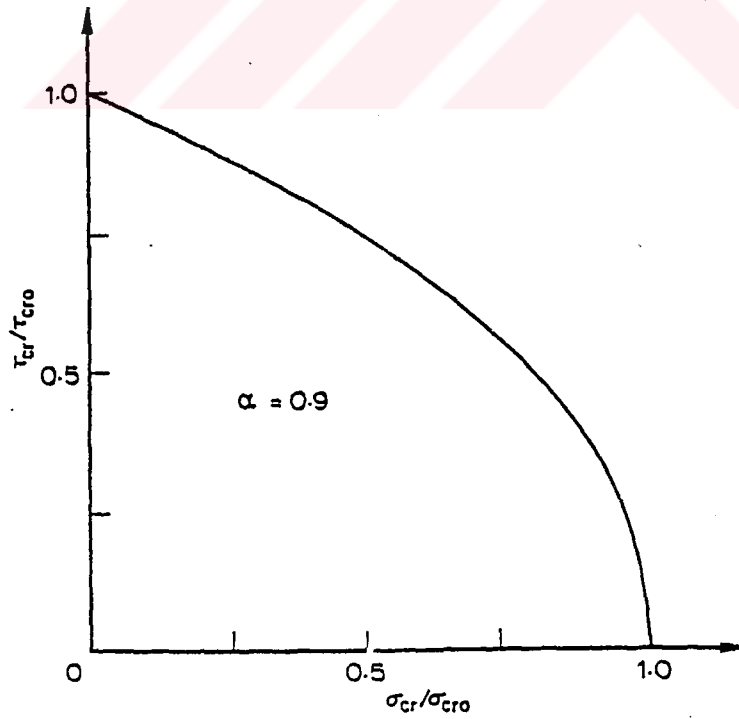
$$b_w / t_w = 120 \quad (11.3)$$

$$t_f / t_s = 1.5 \quad (11.4)$$

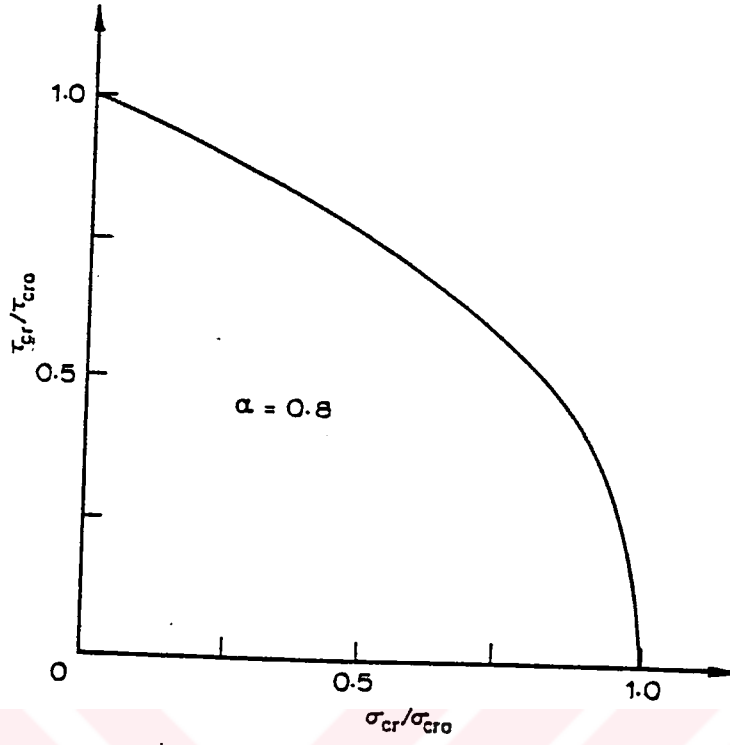
olarak seçilmiştir.



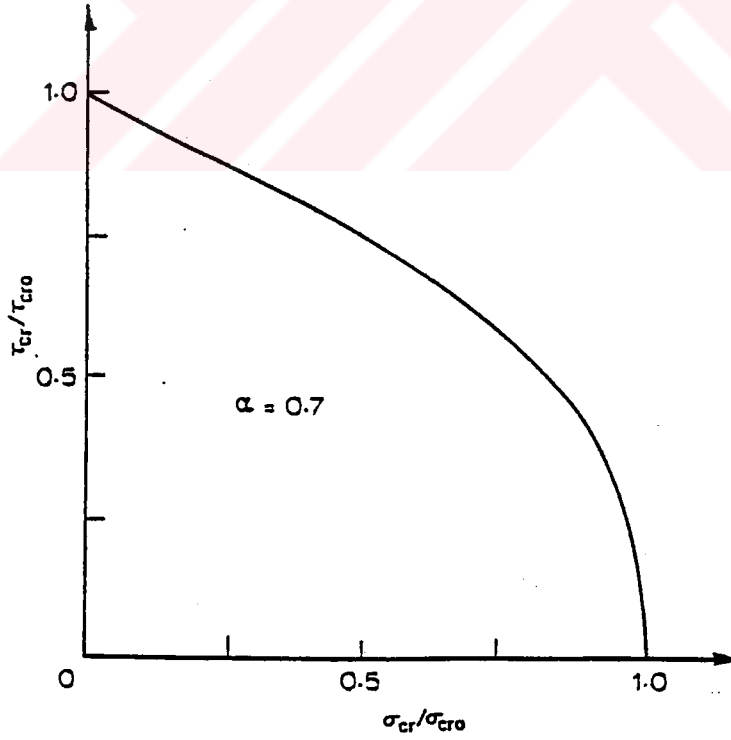
Şekil 11.19 ( $\alpha = 1.0$ ) Eğilme-kesme ilişkisi (3)



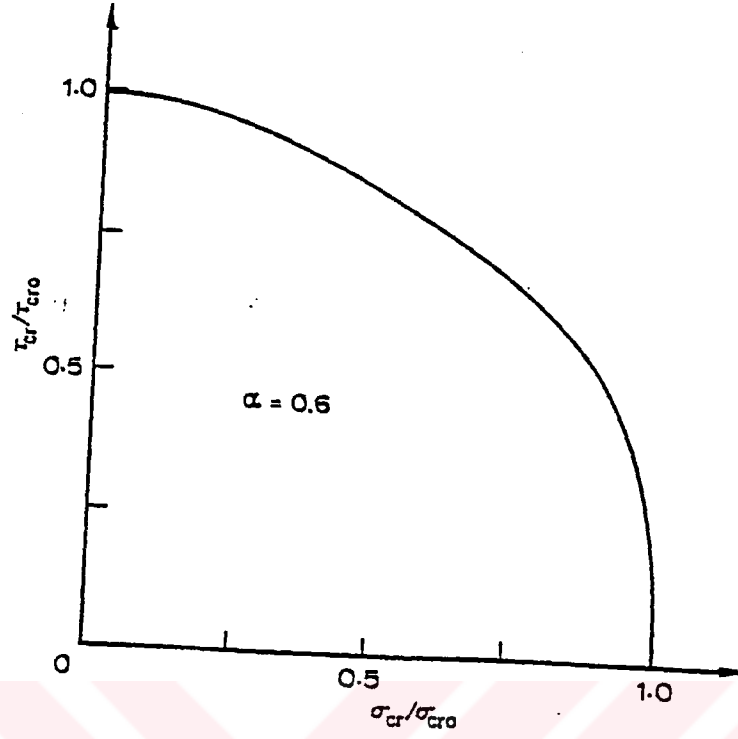
Şekil 11.20 ( $\alpha = 0.9$ ) Eğilme-kesme ilişkisi (3)



Şekil 11.21 ( $\alpha = 0.8$ )Eğilme-kesme ilişkisi (3)

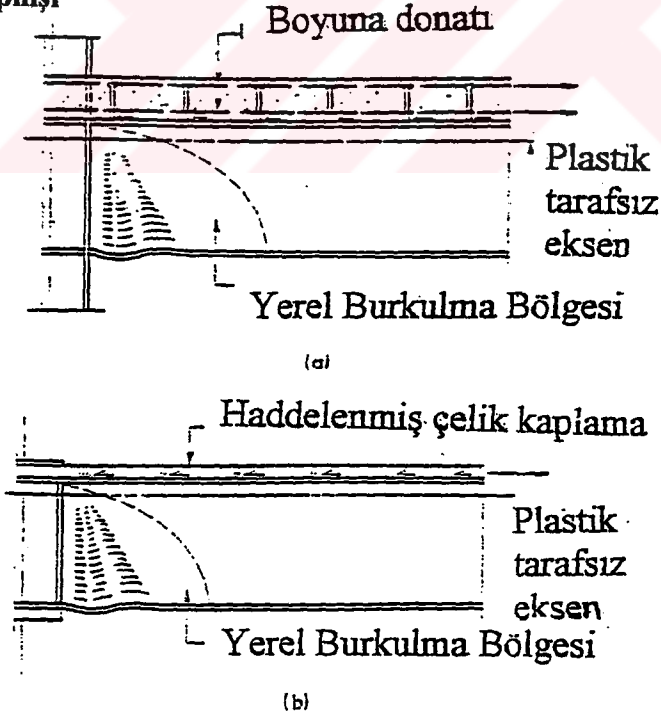


Şekil 11.22 ( $\alpha = 0.7$ )Eğilme-kesme ilişkisi (3)



Şekil 11.23 ( $\alpha = 0.6$ ) Eğilme-kesme ilişkisi (3)

### 11.5 Deneylerin Yapılışı



Şekil 11.24 a) Beton ve kesme bağlantılarından kuvvetin aktarılması  
b) (Kaynaklı olanlar) Kesme birleşimlerinden kuvvetin aktarılması (5)

Genellikle yerel burkulma ile etkilenen küçük bölgelerde, momentin eğimi doğrusal olarak ve kesme kuvveti sabit olarak gözönüne alınabilir. Bu nedenle, numuneler yalnızca merkezde ve uçlarda uygulanan nokta yükleri ile çift bir konsol şeklinde test edilmiştir (5).

Şekil 11.24 a'da gösterildiği gibi, betonun asıl etkisi kesme birleşimlerinin bulunduğu yerlerdeki kirişin alt başlığına, donatıdaki yatay kuvveti aktarmaktır. Bu, deneylerin bir çoğunda, aralıklı kaynaklarla çelik kirişe bağlanan haddelenmiş bir çelik kaplama ile plağa yerleştirilerek basitleştirilmiştir (Şekil 11.24 b); aksenal yük, farklı yerlerdeki kirişlere aktarılır (5).

Yapılardaki kolonlar genellikle kat plaklarının içinden geçerler ve bu nedenle yüksek burkulma rijitliğine sahiptirler. Bundan dolayı numunelerin merkez kısımlarının burkulması, çelik bağ çubukları ile yükleme çerçevesine birleştirilen uçlar, yatay bir kesit elemanı alt başlığa kaynaklanarak engellenmiştir.

Bütün elemanlarda da yanal burkulma engellenmiştir. Çelik kiriş, betonarme plak ile yanal olarak tutulduğu için, yanal burkulma pratikte oluşmaz (5).

Deneyler sonunda gövde narinliği ( $d/w$ ) ve başlık narinliği ( $b/t$ ) belirlenmiştir.

Başlık narinliği( $b/t$ )

Kanada tasarımının önerisi:

$$b/t = 0.628 / \sqrt{\varepsilon_o} \quad (11.5)$$

$\varepsilon_o$ : Akma uzaması

Bu araştırmada tasarım için bulunan başlık narinliği,  $b/t$ , formülü aşağıdaki gibidir.

$$M_b = \frac{1}{2} \cdot M_p \left(1 + \frac{f_u}{f_o}\right), h = 100 - 33 \frac{f_u}{f_o} \quad (11.6)$$

$$\frac{b}{t} = \frac{0.70}{\sqrt{(\epsilon_o) \left(3.18 - \frac{f_u}{f_o}\right)}} \quad (11.7)$$

## 11.6 Berkitmesiz Kesitler

Deneyle, negatif moment bölgelerindeki yerel burkulmanın önemliliğini doğrular. Dönmede kontrol yapılmadığı zaman, kesit, geçerli kurallardan daha sınırlayıcı olan (11.7) ve (11.8) denklemlerini doğruluyorsa, bu elemanın normal yapı uygulamasındaki plastik tasarım için yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu kabul edilebilir. Bu kuralların kompozit kirişlere uygulanamazlığı, kompozit ve kompozit olmayan çelik yapı arasındaki farklılıklardan dolayı tek bir şekilde değildir. Bu nedenle, çelik kirişlere kuralların uygulanabilirliği, yeniden değerlendirme gerekir (5).

## 11.7 Berkitmeli Kesitli Kirişlerin Plastik Tasarımı

1. Sürekli kompozit kirişlerde kullanılan haddelenmiş I kesitler için

$$b / t \leq 0.70 / \left( \sqrt{\epsilon_o \left(3.18 - \frac{f_u}{f_o}\right)} \right) \quad (11.8)$$

$$d / w \leq (2.44 / (\sqrt{\epsilon_o})) (1 - 1.4\phi), 0 \leq \phi \leq 0.28 \quad (11.9)$$

$$d / w \leq 1.48 / \sqrt{\epsilon_o}, 0.28 < \phi \quad (11.10)$$

Burada  $\epsilon_o$ :akma uzaması ve  $\phi = A_x f_x / A_y f_y$ ,  $f_u / f_o$  oranı özel Grade çeliği için önerilen minimum  $f_u$  hesaplanmalıdır (5).

2. Başlık narinlik oranı değeri, denklem (11.7) ile verilmiş olandan daha az ve denklem (11.9) ile verilmiş olandan daha büyükse, kesit, gerekli dönme kapasitesi sağlanarak kullanılabilir (5).

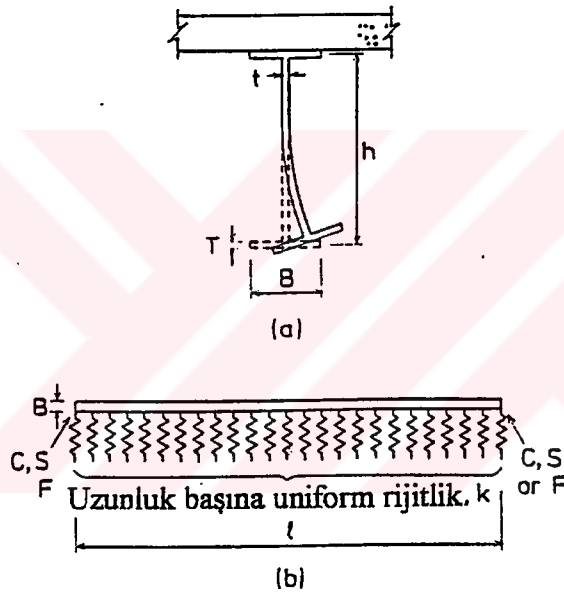


## 12. ÇARPILMA BURKULMASI

Araştırma, Şekil 12.1(a)'da gösterildiği gibi, çelik kirişin alt başlığı, mesnetler dışında serbest olduğu, üst başlığı da betonarme plağa rijit bir şekilde bağlı olduğu kabul edildiği yerdeki kompozit kirişler üzerinedir. Burada,

$$k = \frac{E_s \cdot t^3}{4 \cdot (1 - \nu^2) \cdot h^3} \quad (12.1)$$

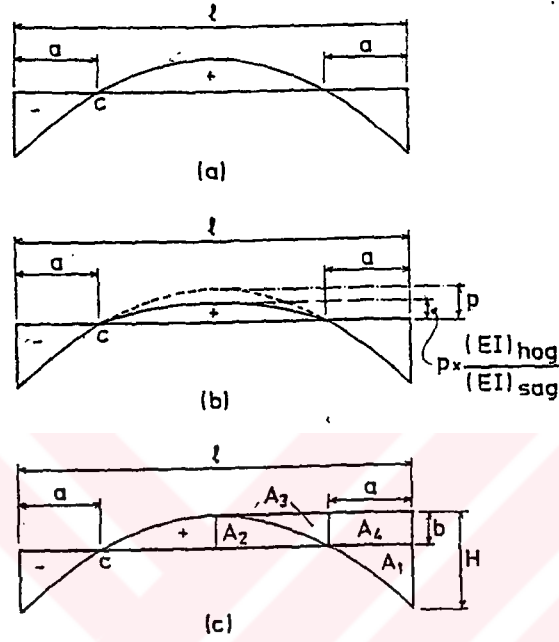
$t$  ve  $h$  Şekil 12.1(a)'da gösterildiği gibidir  $E_s$  ve  $\nu$ , sırasıyla, çelik için Young modülü ve poisson oranıdır.



Şekil 12.1 Kiriş ve rijit plak a) Kiriş ve rijit plağın enkesiti, b) Elastik bir şekilde mesnetlenen kolon olarak modellenen başlığın planı(C, S ve F, sırasıyla, ucu ankastre, basit mesnetli veya serbest) (9)

Şekil 12.2 (b), moment diyagramının eğilme rijitliğine bölünerek bulunan eğrilik diyagramını gösterirken, Şekil 12.2 (a), düzgün yayılı yük taşıyan sabit uçlu bir kiriş için parabolik eğilme momenti diyagramını gösterir. Bu nedenle, eğrilik diyagramında paraboliktir. Bu nedenle, sabit uçları olan bir kiriş için Şekil 12.2 (c)'nin negatif alanı  $A_1$ ,  $A_2$  pozitif alanına eşit olmalıdır. Çünkü, eğim uçlarda ve kirişin merkezinde sıfırdır. Uçtan  $a$  kadar uzaklıkta olan C noktasında süreklidir. Bununla beraber, dönmeyi engelleyen ilave elastik mesnet

rijitliği  $k^*$  ile basit mesnetli olanlar tarafından değiştirilse de, eğrinin ucundaki eğim sıfır değildir. ve bu yúzden,  $EM/k^* A_1$ 'e ilave edilmelidir. Buradan, Şekil 12.2 (c) kullanılarak,



Şekil 12.2 Egilme momenti ve eğrilik diyagramı: (a) Egilme momenti diyagramı, (b) Eğrilik diyagramı, (c)  $A_1$ - $A_4$  alanlarını gosteren egilme momenti diyagramı (9)

Burada, hogging, pozitif işaretli eğilme momenti eğrisini, sagging de negatif işaretli eğilme momenti eğrisini göstermektedir.

$$\frac{A_1}{(EI)_{\text{hog}}} + \frac{(H-b)}{k^*} = \frac{A_2}{(EI)_{\text{sag}}} \quad (12.2)$$

Burada  $A_1$  ve  $A_2$  aşağıda verilmektedir.

$$A_1 - \frac{1}{3}H\frac{1}{2} = A_3 - A_4 \quad (12.3)$$

$$A_3 = \left(\frac{L}{2} - a\right)\frac{b}{3} \text{ ve } A_4 = a \cdot b \text{ ve } A_2 = \frac{2}{3}\left(\frac{L}{2} - a\right)b \quad (12.4)$$

$(EI)_{hog}$  ile (11.2) çarpılarak aşağıdaki ifade elde edilmiştir.

$$A_1 + (EI)_{hog} \frac{(H - b)}{k^*} = \frac{A_2}{\alpha} \quad (12.5)$$

Burada  $\alpha = \frac{(EI)_{sag}}{(EI)_{hog}}$  'dir ki o beton plağın eşdeğer çeliğe dönüştürülmesinden sonra ikinci

atalet momentlerinin oranına da eşittir. Yani  $\frac{I_{sag}}{I_{hog}}$  'dir.

$$\delta = \frac{k^* \cdot I}{(EI)_{hog}} \quad (12.6)$$

Sonra (12.5) denkleminde (12.3), (12.4) ve (12.6) yerine koyularak b'ye bölerek yeniden düzenlenirse aşağıdaki denklem oluşmaktadır.

$$\frac{H}{b}L\left(\frac{1}{6} - \frac{1}{\delta}\right) - L\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{\delta} + \frac{1}{3\alpha}\right) - \frac{2}{3}a\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) = 0 \quad (12.7)$$

Parabolün özelliğinden Şekil 12.2(c) aşağıdaki ifadeyi vermektedir.

$$\frac{H}{b} = \frac{L^2}{(L - 2a)^2} \quad (12.8)$$

Bununla beraber (12.7)'de (12.8) yerine konulup  $(L-2a)^2$  ile çarpılırsa (12.9) elde edilir.

$$-\frac{L^3}{3\alpha} + 2\left(\frac{2}{\delta} + \frac{1}{\alpha}\right)aL^2 + 2\left(1 - \frac{2}{\delta} - \frac{2}{\alpha}\right)a^2L + \frac{8}{3}\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)a^3 = 0 \quad (12.9)$$

O zaman  $\frac{3\alpha}{L^2}$  ile (12.9) çarpılarak aşağıdaki ifade elde edilir.

$$-1 + 6\left(\frac{2\alpha}{\delta} + 1\right)X + 6\left(\alpha - \frac{2\alpha}{\delta} - 2\right)X^2 + 8(1 - \alpha)X^3 = 0 \quad (12.10)$$

Burada,  $X = a / L$ 'dir.

İki kontrol söz konusudur. İlk olarak ankastreler için  $k \rightarrow \infty$  ve buradan  $\delta \rightarrow \infty$  verilmiştir. Böylece (12.10) denklemi oluşmaktadır.

$$-1 + 6X + 6(\alpha - 2)X^2 + 8(1 - \alpha)X^3 = 0 \quad (12.11)$$

İkinci olarak basit mesnetli mesnetler için  $k^* \rightarrow 0$  ve buradan (12.6) ve  $\delta = 0$  bulunur. Böylece (12.10), (12.12) oluşur.

$$12\alpha - 12\alpha X^2 = 0 \quad (12.12)$$

Şekil 12.2(c)  $a$ 'nın  $L / 2$ 'yi aşmadığını gösterdiği için burada ya  $a = 0$  kesin çözümü verilen  $X = 0$ , ya da  $a = 1$  için verilen  $X = 1$  mümkün değildir.

Denklem (12.10) herhangi bir yöntem ile çözülebilen  $X$ 'e bağlı kübik bir polinomdur.  $\delta$ 'nın herhangi bir seçilmiş değeri için,  $\alpha$  ( $\alpha = (EI)_{\text{sag}} / (EI)_{\text{hog}}$ )'ya karşı  $a / L$ 'nin eğrileri elde edilmiştir ve buradan Şekil 12.2(c)'nin hogging ve sagging eğrilerinin denklemleri elde edilmiştir. O zaman, sagging eğrisi, eleman boyunca aksenal kuvvetin değişimini gösteren eğriler oluşturmak için uygun bir katsayı ile ölçeklendirilir.

$$\lambda_{el} = \frac{P_{cr}}{\left( \frac{\pi^2 E_s I_L}{L^2} \right)} \quad (12.13)$$

Bu denklem William ve Janah tarafından (1987) önerilmiştir. Burada,

$P_{cr}$ : Kritik burkulma yükü,

$E_s I_L$ :  $E_s TB^3/12$ , komşu düzleminde eğilme için daha düşük başlığın eğilme rijitliğidir.

Buradan

$$\beta L = L \left( \frac{k}{E_s I_L} \right)^{1/4} = \left[ \frac{3t^3}{(1-\nu^2)h^3 TB^3} \right]^{1/4} L \quad (12.14)$$

bulunmuştur.

William (1990) kritik eğilme gerilmesi için aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$\sigma_{el} = \lambda_{el} \sigma_E A_F \quad (12.15)$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E_s I_L}{A_L L^2}, \quad A_F = \frac{A_L}{A_L^*} \quad (12.15.a, 15.b)$$

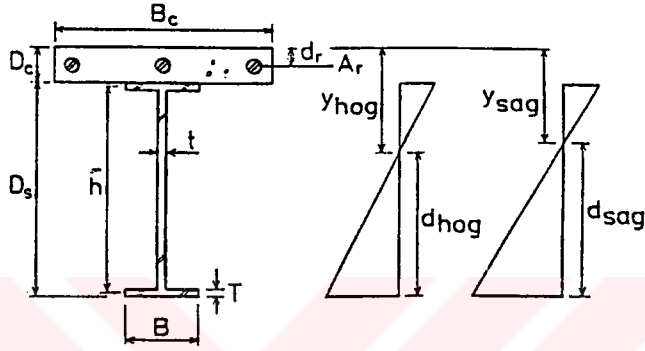
$$A_L = BT, \quad A_L^* = A_L + \frac{0.15ht}{(1-\nu)} \quad (12.16.a, 16.b)$$

Burada  $A_L$  alanı gövde alanının %  $[15(1-\nu)]$ 'i kabul edilerek elde edilir. Örneğin basınç altındaki alanın % 15'i, gövdenin yer değiştirmesi ve gerilme dağılışı için müsaade edilene göre  $\sigma_{el}$  hesaplandığında, alt başlık alanına eklenmektedir (9).

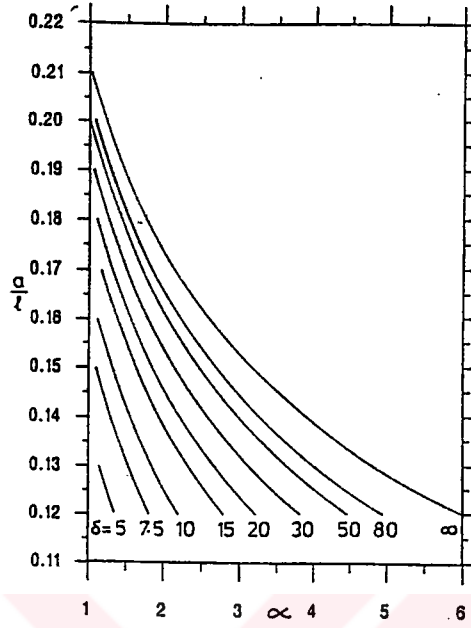
Burada  $\gamma$ , aksenal gerilmeler arasındaki veya alt ve üst başlıklardaki deformasyonlar arasındaki negatif orandır.

$$\gamma = \frac{D_c - y_{hog}}{d_{hog}} \quad (12.17)$$

Burada  $d_{hog}$  gelecek kesitte belirlenir ve  $d_{hog} = (D_s + D_c - y_{hog})$ 'dir.



Şekil 12.3 Hogging ve sagging gerilme dağılımı gösterilen kompozit kirişin kesiti (9)



Şekil 12.4 Gösterilen  $\delta$ 'nin değerleri için  $\alpha$ 'ya karşı  $a/L$  eğrileri (9)

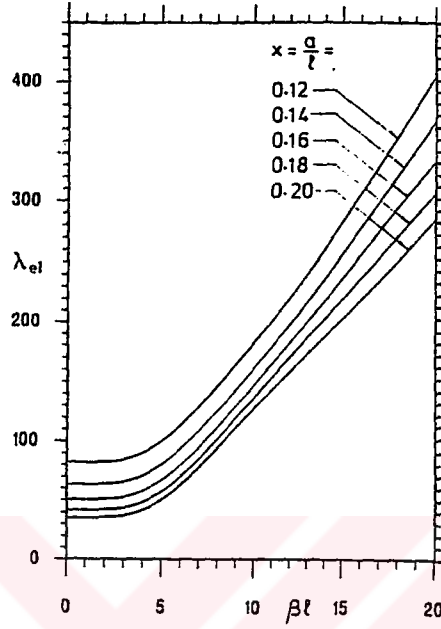
Tasarımcı, düzgün yayılı yükün ( $w_{el}$ ) kritik değeri ile beraber  $\sigma_{el}$ 'ye karşılık gelen mesnetteki  $M_{el}$  kritik kiriş momentini bulmayı arzu edebilir; bunlar aşağıdaki denklemler (12.18) ve (12.19) ile, sırasıyla, verilmiştir. Burada, eğilme momentini ve eğilme gerilmesini açıklayan standart formül, aşağıda verilir.

$$M_{el} = \sigma_{el} \left( \frac{I_{hog}}{d_{hog}} \right) \quad (12.18)$$

ve  $H = \omega_{el} L^2 / 8$  ve  $H-b = M_{el}$  Şekil 12.2(c)'ye parabolün geometrisinin uygulanışı ile

$$\omega_{el} = \frac{2M_{el}}{\frac{a}{L} \left( 1 - \frac{a}{L} \right) L^2} \quad (12.19)$$

ifadesi elde edilmiştir.

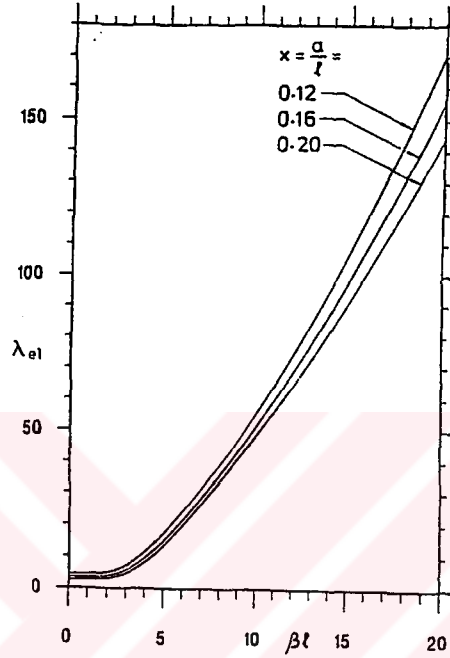


Şekil 12.5  $d_{\text{sag}}/d_{\text{hog}} = 1$  ve  $\delta \rightarrow \infty$  olduğunda C-C durumu için burulma eğrileri (9)

$n = E_s/E_c$  kullanılarak beton plak alanı eşdeğer bir çelik alanına dönüştürülür. Şekil 12.3, aşağıda verilen dönüştürülmüş kesitin tarafsız eksenden plağın üstüne uzaklığı olan  $y_{\text{sag}}$ 'in olduğu yerde  $d_{\text{hog}}$ ,  $d_{\text{sag}}$ ,  $y_{\text{sag}}$  ve  $d_{\text{hog}}$  değerleri olan kompozit kirişin kesitinin boyutlarını göstermektedir (9).

$$y_{\text{sag}} = \frac{\frac{A_c D_c}{2n} + A_r d_r + (D_c + \frac{D_s}{2}) A_s}{\frac{A_c}{h} + A_r + A_s} \quad (12.20)$$

Burada  $A_c = B_c D_c$ , betonun alanı,  $A_s = 2BT + (h - T)$  veya çizelgelerden çelik kirişin alanı ve  $A_r$  donatının alanıdır.



Şekil 12.6  $d_{\text{sag}}/d_{\text{hog}} = 1$  ve  $\delta \rightarrow \infty$  olduğunda S-S durumu için burkulma eğrileri (9)

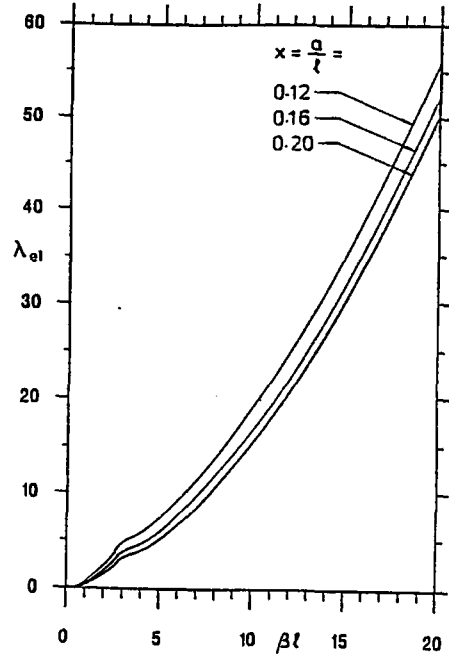
$$I_{\text{sag}} = \left[ I_s + A_s \left( D_c + \frac{D_s}{2} - y_{\text{sag}} \right)^2 + \frac{A_c}{n} \left( y_{\text{sag}} - \frac{D_c}{2} \right)^2 + \frac{A_c D_c^2}{12n} + A_r (y_{\text{sag}} - d_r)^2 \right] \quad (12.21)$$

Burada  $I_s$ , kuvvetli eksenindeki çelik kirişin ikinci atalet momentidir. Hogging için  $y_{\text{hog}}$  ve  $I_{\text{hog}}$  denklem (12.21)'de  $y_{\text{hog}}$  ile  $y_{\text{sag}}$  değiştirilir ve denklemler (12.20)'den ve (12.21)'den  $A_c$ 'yi gerektiren terimleri koyularak elde edilir (9).

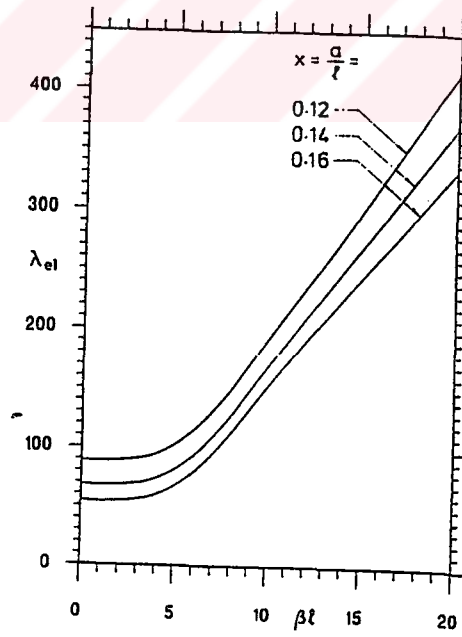
### 12.1. $\sigma_{el}$ , $M_{el}$ ve $\omega_{el}$ 'nin Hesaplanması İçin İşlemler

- 1) Kesitin özelliklerinden  $A_c$  ve  $A_s$ 'yi hesaplanması
- 2)  $A_c = 0$  ile denklem (12.20)'den  $y_{hog}$  ve denklem (12.20)'den  $y_{sag}$  hesaplanması
- 3)  $y_{hog}$  ile değiştirilen  $y_{sag}$  ve  $A_c = 0$  ile denklem (12.21)'den  $I_{hog}$  ve denklem (12.21)'den  $I_{sag}$ 'in hesaplanması
- 4)  $\alpha$ 'nın hesaplanması ( $I_{sag}/I_{hog}$ )
- 5) Denklem (12.6)'dan  $\delta$ 'nin hesaplanması
- 6)  $\delta$  kullanıldığında gerekli ise enterpolasyon ile Şekil 12.4'den  $a/L$ 'nin hesaplanması
- 7) Denklem (12.17)'den  $\gamma$  ve  $d_{hog} = (D_s + D_c - y_{hog})$ , denklem (12.14)'den  $\beta I$ 'nin hesaplanması
- 8) Denklem (12.16)'dan  $\sigma_E$  ve  $A_F$ ,  $A_L^*$ ,  $A_L$  'lerin hesaplanması
- 9) Gerekli ise enterpolasyon ile Şekiller 12.5-10'un uygun birisinden  $\lambda_{el}$ 'nin elde edilmesi
- 10) Denklem (12.15)'den  $\sigma_{el}$ 'nin hesaplanması
- 11) Denklem (12.18)'den  $M_{el}$ 'nin hesaplanması
- 12) Denklem (12.19)'den  $\omega_{el}$ 'nin hesaplanması (9).

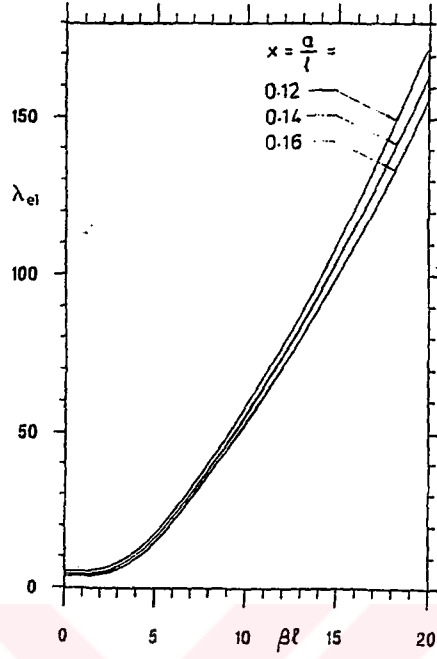
Bu adımlar, gelecek kesitte gösterildiği gibi, ilk olarak denklemler (12.20) ve (12.21)'de  $A_c$  elde edilerek, ikinci olarak,  $A_F = 1.0$  alınarak gösterilmesi (buradan  $I_{hog} = I_s$ ,  $y_{hog} = D_c + D_s/2$ ,  $d_{hog} = D_s/2$ ) yaklaşık sonuçlar hariç hız vermek için basitleştirilebilir (9).



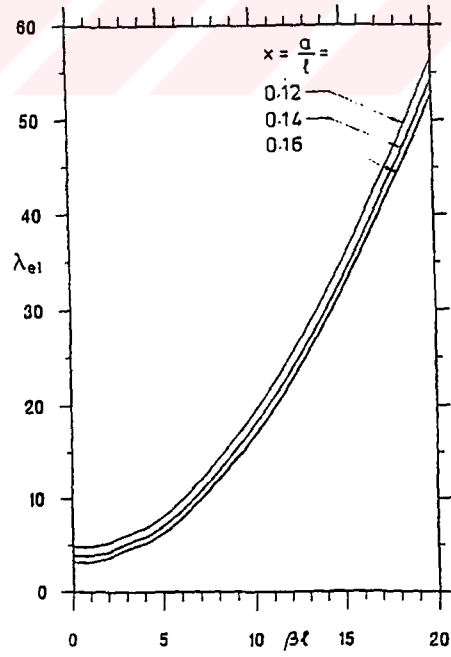
Şekil 12.7  $d_{\text{sag}}/d_{\text{hog}} = 1$  ve  $\delta \rightarrow \infty$  olduğunda F-F durumu için burkulma eğrileri (9)



Şekil 12.8  $d_{\text{sag}}/d_{\text{hog}} = 1$  ve  $\delta = 10$  olduğunda C-C durumu için burkulma eğrileri (9)



Şekil 12.9  $d_{sag}/d_{hog} = 1$  ve  $\delta = 10$  olduğunda S-S durumu için burkulma eğrileri (9)



Şekil 12.10  $d_{sag}/d_{hog} = 1$  ve  $\delta = 10$  olduğunda F-F durumu için burkulma eğrileri (9)

### 13. YERDEĞİŞTİRME ANALİZİ

Kompozit sistemlerde betonun sünme ve rötre etkisi ile ilgili deplasmanlar dışındaki deplasmanlar (elastik deplasmanlar) prensip itibariyle aynen homojen kesitli sistemlerdeki gibi hesaplanabilmektedir (19).

Hareketli yükler için eğer daha hassas hesap yapılmak isteniyorsa, geçici yükün bulunduğu andaki beton elastisite modülünü kullanmak gerekmektedir (19).

Elastik deplasmanların hesabı için yapı statüğinden bilinen bağıntılar aşağıdaki gibidir.

a- P yükü için (i) noktasındaki yer değiştirme:

$$\delta_{ip} = \int_s M_{si} \cdot M_{sp} \cdot \frac{ds}{E \cdot I} + \int_s N_{si} \cdot N_{sp} \cdot \frac{ds}{E \cdot F} \quad (13.1)$$

b- Düzenli ısı değişimi ( $t_c$ ):

$$\delta_{it} = \int_s N_{si} \cdot a_t \cdot t_c \cdot ds \quad (13.2)$$

c-Yükseklik boyunca doğrusal ısı farkı: ( $\Delta t$ )

$$\delta_{it} = \int_s M_{si} \cdot \frac{\alpha_t \cdot \Delta t}{h} \cdot ds, \quad \Delta t = t_u - t_o \quad (13.3)$$

c-Mesnet Çökmesi

$$\delta_{iw} = - \sum_k W_{ki} \cdot \Delta_k \quad (13.4)$$

### 13.1 İzostatik Kompozit Sistemler (Elastik Deplasmanlar)

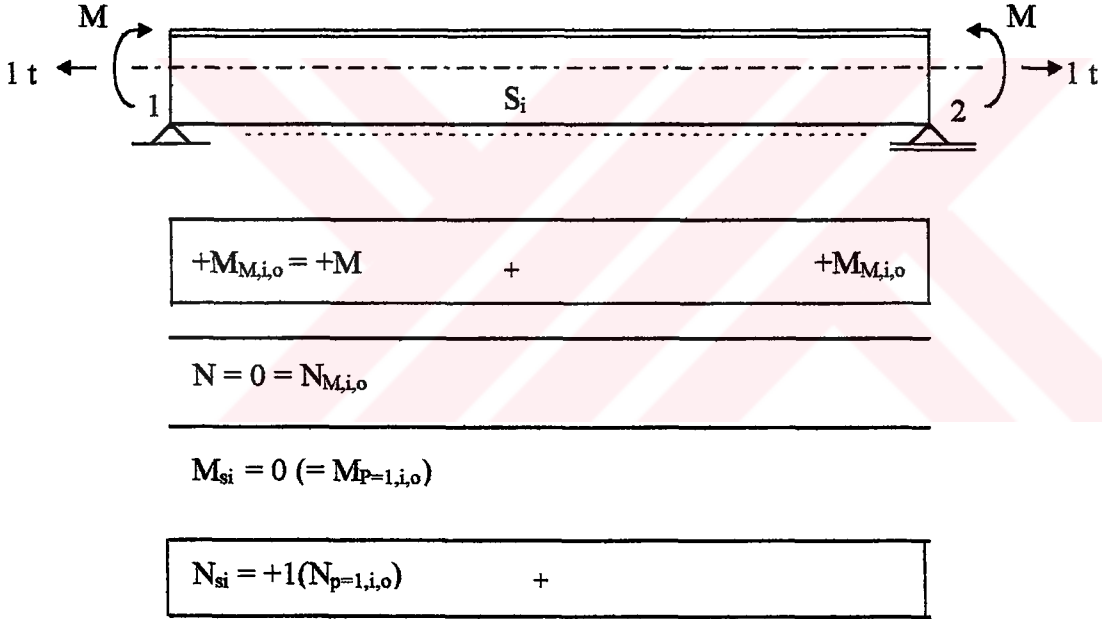
İncelemeler aşağıda verilen basit bir kompozit sistem üstünde yapılmaktadır. Dış yük olarak sağ ve sol uçlarda gösterildiği şekilde verilen eğilme momentine göre  $t=0$  zamanı için istenen yer değiştirmeleri (19):

a-Kompozit kesit üzerinden,

b-Çelik kesit üzerinden,

c-Beton kesit üzerinden

hesaplamak mümkündür.



Şekil 13.1 Kompozit kesitte verilen yükleme ile kesit tesirleri diyagramı (19)

Verilen eğilme momentleri için paylaştırılmış kesit tesirleri:

$$N_{M,b,0} = -\frac{S_i}{J_i} \cdot M_{M,i,0}, \quad N_{M,st,0} = +\frac{S_i}{J_i} \cdot M_{M,i,0} \quad (13.4,5)$$

$$M_{M,b,o} = + \frac{1}{n} \cdot \frac{J_b}{J_i} \cdot M_{M,i,o}, \quad M_{M,st,o} = + \frac{J_{st}}{J_i} \cdot M_{M,i,o} \quad (13.6,7)$$

Kompozit elemanın yerdeğiştirmesiyle ilgili iki soru karşımıza çıkabilir.

Soru 1-Kompozit sistemin ağırlık eksenleri üstündeki (1) ve (2) uç noktalarının birbirlerine göre yaptıkları yatay deplasman ne kadardır?

a)Kompozit kesit üzerinden hesap:

Aranan deplasmanı verecek olan virtüel (yardımcı) yükleme ile bu yüklemeye ait kompozit sistem kesit tesirleri yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

$$M_{p=1,i,o}=0, \quad N_{p=1,i,o}=+1,00$$

Aranan deplasmanın denklemleri:

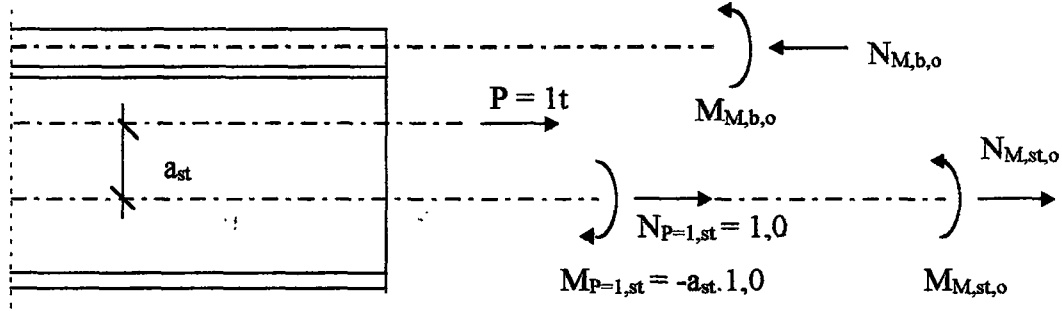
$$\delta_{M,i,o} (1,2) = \int_0^L M_{p=1,i,o} \cdot M_{M,i,o} \cdot \frac{dx}{E_{st} \cdot J_i} + \int_0^L N_{p=1,i,o} \cdot N_{M,i,o} \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot F_i}$$

Birinci integraldeki yardımcı yükleme eğilme momenti ile ikinci integraldeki asal yükleme normal kuvveti sıfır olduğundan, aranan deplasmanın da sıfır olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim i- ekseninin kompozit kesitin tarafsız eksenini olduğu düşünülürse, bu sonucun çıkacağı önceden de tahmin edilebilmektedir.

b-Çelik kesit üzerinden hesap:

Yardımcı yükleme yine deplasmanın arandığı i- eksenini üstündedir. Ancak hesap çelik kesit üzerinden yapıldığından, yardımcı yüklemenin çelik eksenine göre kesit tesirleri

alınmaktadır. Bunu paylaştırılmış çelik kesit tesirleri ile karıştırmamalıdır. Dış yükleme için de çelik kısma düşen paylaştırılmış kesit tesirlerini kullanmak gerekmektedir.



Şekil 13.2 Çelik kesit üzerinden hesapta kompozit kesite gelen etkiler (19)

$$\delta_{M,i,0}(1,2) = \int_0^L M_{p=1,st} \cdot M_{M,st,0} \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot I_{st}} + \int_0^L N_{p=1,st} \cdot N_{M,st,0} \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot A_{st}}$$

$$= -\frac{a_{st}}{E_{st} \cdot I_i} \cdot M_{M,i,0} \cdot L + 1 \cdot \frac{S_i}{E_{st} \cdot A_{st}} \cdot \frac{1}{I_i} \cdot M_{M,i,0} \cdot L = 0, \left( a_{st} = \frac{S_i}{A_{st}} \right)$$

c-Beton kesit üzerinden hesap:

Bu defa da yardımcı yükleme kesit tesirlerini beton ağırlık eksenine göre tespit etmek ve bu değerleri kullanmak gerekmektedir. Sonuç olarak bu hesapla da aynı değer bulunmaktadır.

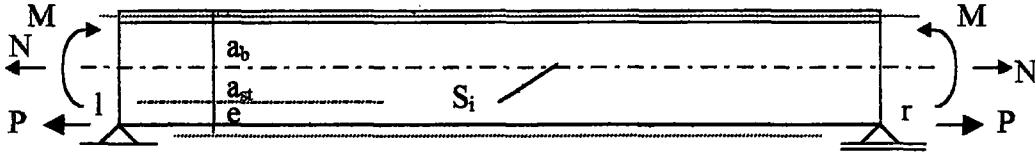
$$M_{p=1,b} = +a_b, N_{p=1,b} = 1,00$$

$$\delta_{M,i,0} = \int_0^L a_b \cdot \frac{\frac{1}{n} \cdot I_b \cdot M_{M,i,0}}{I_i} \cdot \frac{ds}{E_b \cdot I_b} + \int_0^L 1,00 \cdot \left( -\frac{S_i}{I_i} \cdot M_{M,i,0} \right) \cdot \frac{ds}{E_b \cdot A_b}$$

$$= a_b \cdot \frac{L \cdot I_b}{n \cdot I_i} \cdot \frac{M_{M,i,0}}{E_b \cdot I_b} - \frac{S_i}{I_i} \cdot \frac{M_{M,i,0} \cdot L}{E_b \cdot A_b}, \left( \frac{1}{n} \cdot a_b = \frac{S_i}{A_b} \right)$$

$$= a_b \cdot \frac{M_{M,i,0} \cdot L}{n \cdot I_i \cdot E_b} - a_b \cdot \frac{M_{M,i,0} \cdot L}{n \cdot I_i \cdot E_b} = 0$$

Soru 2-Şekilde verilen basit kiriş için mesnetlenme noktaları  $r$  ve  $\ell$ 'nin birbirlerine göre yaptıkları yatay deplasman ne kadardır ?



$M_{R,i,0} = M$	+
$N_{R,i,0} = N$	+
$M_{P=l,i,0} = +(a_{st}+e) \cdot l, 0$	+
$N_{P=l,i,0} = +1, 0$	+

Şekil 13.3 Kompozit kesitte verilen yüklemeler ve kesit tesirleri diyagramları (19)

Verilen yükleme için paylaştırılmış kesit tesirleri:

\*R ile toplam tesir ifade edilmiştir.

$$N_{R,b,0} = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_b}{A_i} \cdot N - \frac{S_i}{I_i} \cdot M, \quad N_{R,st,0} = \frac{A_{st}}{A_i} \cdot N + \frac{S_i}{I_i} \cdot M \quad (13.8,9)$$

$$M_{R,b,0} = \frac{1}{n} \cdot \frac{I_b}{I_i} \cdot M, \quad M_{R,st,0} = \frac{I_{st}}{I_i} \cdot M \quad (13.10,11)$$

a-Kompozit kesit üzerinden hesap:

Yardımcı yüklemeye ait kompozit sistem kesit tesirleri ve dış yüke ait kompozit sistem kesit tesirleri kullanılarak aşağıdaki deplasman formülü yazılır.

$$\delta_{R,i,0}(r,l) = \int_0^l (a_{st} + e) \cdot M_{R,i,0} \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot I_i} + \int_0^l 1 \cdot N_{R,i,0} \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot A_i}$$

b-Çelik kesit üzerinden hesap:

$$\begin{aligned} \delta_{R,i,0}(r,l) &= \int_0^l e \cdot \left( \frac{I_{st}}{I_i} \cdot M_{R,i,0} \right) \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot I_{st}} + \int_0^l 1 \cdot \left( \frac{A_{st}}{A_i} \cdot N_{R,i,0} + \frac{S_i}{I_i} \cdot M_{R,i,0} \right) \cdot \frac{ds}{E_{st} \cdot A_{st}} \\ &= \int_0^l e \cdot \frac{M_{R,i,0}}{E_{st} \cdot I_i} \cdot ds + \int_0^l \frac{N_{R,i,0}}{E_{st} \cdot A_i} \cdot ds + \int_0^l a_{st} \cdot \frac{M_{R,i,0}}{E_{st} \cdot I_i} \cdot ds = \delta_{R,i,0}(r,l) \end{aligned}$$

c- Beton kesit üzerinden hesap:

Burada, statik sistemin durumuna göre deplasman hesaplarında normal kuvvetlerin virtüel iş denklemlerindeki katkılarını, eğilme momentlerinden gelen değerler yanında ihmal etmek gerekir.

$$\delta_{ip} = \int M_{si} \cdot M_{sp} \cdot \frac{ds}{E \cdot y} + \text{ihmal edilen normal kuvvetin etkisi} \quad (13.12)$$

Kompozit sistemlerin hesabında da normal kuvvetlerin etkisi ihmal edilmiştir. Ancak hesaplama için kompozit kesit yerine çelik veya beton kısım kullanıldığında, eğilme momentlerinden gelen paylaştırılmış normal kuvvet tesirlerini de ihmal etmek gerekir (19).

$$\delta_{R,i,0} (1,2) = \int_0^L (e + a_{st} + a_b) \cdot \left( \frac{1}{n} \cdot \frac{I_b}{I_i} \cdot M_{R,i,0} \right) \cdot \frac{ds}{E_b \cdot I_b} +$$

$$+ \int_0^L 1 \cdot \left( \frac{1}{n} \cdot \frac{A_b}{A_i} \cdot N_{R,i,0} - \frac{S_i}{I_i} \cdot M_{R,i,0} \right) \cdot \frac{ds}{E_b \cdot A_b}$$

Sünme oranı yöntemine göre analiz için zamana bağlı bir metodu kullanarak sabit yükler altında kompozit elemanın yerdeğiştirmesi hesaplanmıştır Kesit analizi monosimetrik bir kompozit kesite uygulanabilir ve Dishinger diferansiyel bünye bağıntısı, elastik olmayan sünme ve betonda zamanla gelişen rötre deformasyonlarını modelleme için kullanılır. (14)

Kısmi kesme birleşimli kompozit kirişlerin yerdeğiştirmesi ile ilgili analiz, farklı yüklemeler altındaki kısmi birleşimleri olan basit mesnetli kompozit kirişlerin orta açıklığındaki yerdeğiştirmeleri belirlemek için yapılmıştır. Sonuçlar, genel bir formda verilmektedir. Böylece kompozit kirişlerin yerdeğiştirmelerine karşılık gelen bir çizelge düzenlenmektedir. Buradaki çizelge, kısmi kesme birleşimleri olan basit mesnetli kirişlerin merkez yerdeğiştirmelerinin belirlenişinde kolaylık sağlamaktadır. Bu çizelge, kiriş geometrisi veya malzeme özelliklerine bağılı olan yüklemeler tiplerindeki değişimlere bakmaksızın kullanılabilir.

Doğrusal kısmi ilişki teorisi kompozit kirişlerin yerdeğiştirmesinde kayma etkisinin analizinde kullanılır. Bu teori aşağıda verilen bir çok kabul üzerine tesis edilmektedir (15).

1. Beton ve çelik lineer elastik bir malzemedir ve her ikisi de çekme ile basınçta aynı elastisite modülüne sahiptirler.
2. Çelik kiriş ve betonarme plak arasındaki kayma birleşimi kiriş boyunca devam etmektedir.
3. Bir kayma birleşimi ile izin verilen kayma miktarı, yük aktarımıyla doğru orantılıdır.
4. Betonarme plak ve çelik kiriş, kiriş boyunca bütün noktalarda eşit olarak yerdeğiştirirler.
5. Kayma birleşimleri eşit modüle sahip ve kiriş boyunca eşit aralıklıdırlar.

Bu teori kullanılarak kiriş elemanın süreklilik ve denge denklemleri kompleks halden diferansiyel denklemlere indirgenebilir.

Bu çalışmada uygulanan form :

$$y = y_s + \frac{d}{E_s \cdot R_1 \cdot (I_c + I_s)} F \quad (13.13)$$

Burada F, aşağıdaki diferansiyel denklemin çözümüdür.

$$\frac{d^2 E}{dx^2} - R_1 \cdot F = -R_2 \cdot M \quad (13.14)$$

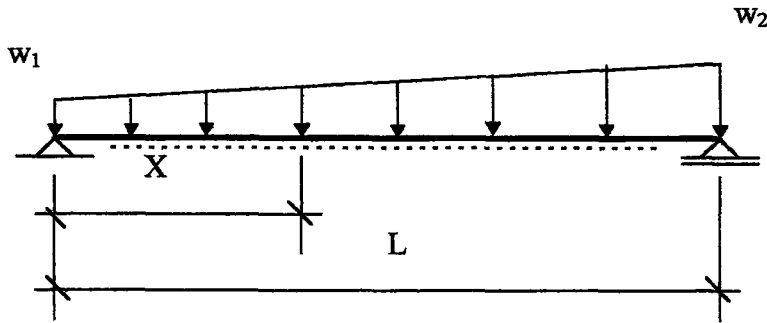
$$R_1 = kn_c \left( \frac{1}{A_{ct}} + \frac{1}{A_s} \right) / (P \cdot E_s) \quad (13.15)$$

$$R_2 = kn_d / [P \cdot E_s (I_{ct} + I_s)] \quad (13.16)$$

$$C = I / (I_{ct} + I_s) \quad (13.17)$$

Denklemler, farklı yükleme durumları altındaki basit mesnetli kompozit kirişlerin bir seri analizi için kullanılmaktadır. Bunlar, trapez biçimli yayılı yük, tekil yük, üniform yayılı yük, açıklık ortasında tekil yük, aralıkları eşit olan ikili tekil yük katarıdır. (15)

### 13.2. Trapez biçimli yayılı yük



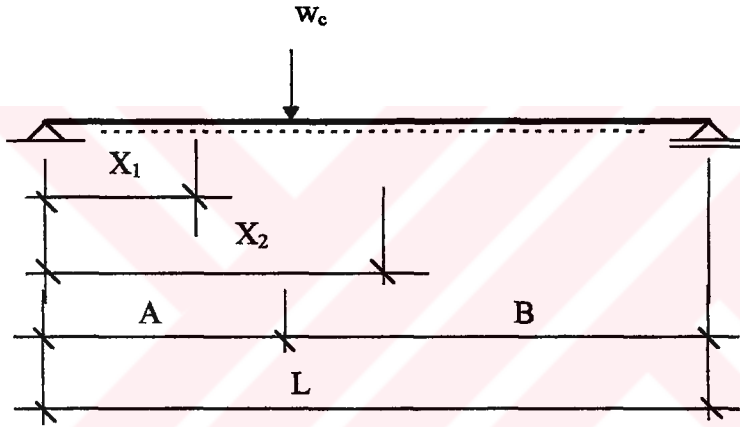
Şekil 13.4 Trapez yayılı yük altındaki basit mesnetli kiriş (15)

$$y_s = \frac{(8w_1 + 7w_2).L^3}{360E_s.I} X - \frac{(2w_1 + w_2).L}{36E_s.I} X^3 + \frac{w_1}{24E_s.I} X^4 + \frac{(w_2 - w_1)}{120E_s.I.L} X^5 \quad (13.18)$$

$$\frac{y_m}{y_{sm}} = 1 + \frac{48(C-1)}{5K^2} \left[ \frac{1}{K^2} \left( \frac{\sinh(K)}{\sinh(2K)} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{4} \right] \quad (13.19)$$

$$K = \frac{L \cdot \sqrt{R_1}}{2} \quad (13.20)$$

### 13.3 Tekil yük

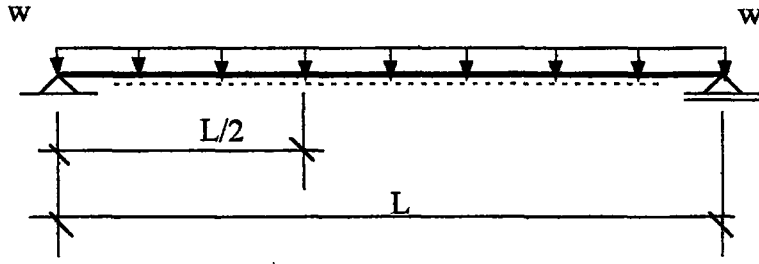


Şekil 13.5 Tekil yük altındaki basit mesnetli kiriş (15)

$$\frac{y_m}{y_{sm}} = 1 + \frac{96(C-1)}{11K^2} \left[ \frac{\sinh(K/2)}{K} \left( \frac{\sinh(K)}{\tanh(2K)} - \cosh(K) \right) + \frac{1}{4} \right] \quad (13.21)$$

$$y_{sm} = \frac{11}{768} \cdot \frac{w_c \cdot L^3}{E_s \cdot I} \quad (13.22)$$

### 13.4 Üniform yaylı yük

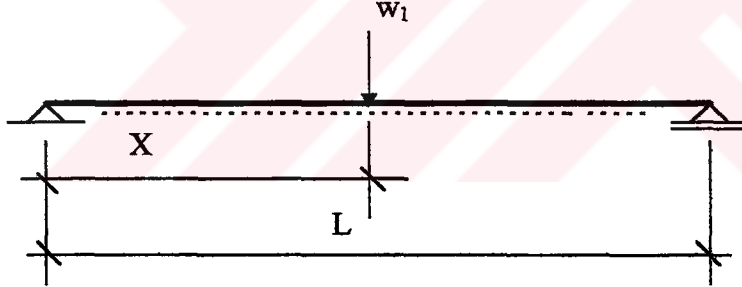


Şekil 13.6 Üniform yaylı yük altındaki basit mesnetli kiriş (15)

$$\frac{y_m}{y_{sm}} = 1 + \frac{24(C-1)}{5K^2} \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{K^2} \{1 - \cosh(K) + \tanh(K)\sinh(K)\} \right] \quad (13.23)$$

$$y_{sm} = \frac{5}{384} \frac{w.L^4}{E_s.I} \quad (13.24)$$

### 13.5 Açıklık ortasındaki tekil yük



Şekil 13.7 Açıklık ortasından tekil yük etkileyen basit mesnetli kirişler (15)

$$\frac{y_m}{y_{sm}} = 1 + \frac{3(C-1)}{K^2} \left[ 1 - \frac{1}{K} \tanh(K) \right] \quad (13.25)$$

$$y_{sm} = \frac{w_1.L^3}{48E_s.I} \quad (13.26)$$

**13.6 Eşit aralıklı ikili tekil yük katarı**

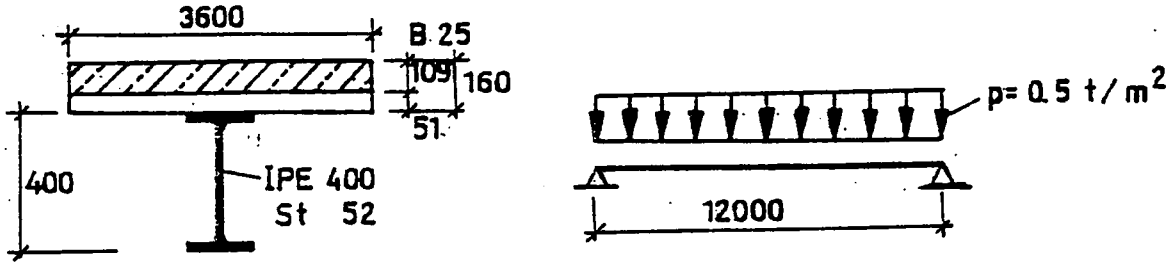
$$\frac{y_m}{y_{sm}} = 1 + \frac{48(C-1)}{11K^2} \left[ \frac{1}{2} - \frac{\sinh(K/2)}{K \cdot \cosh(K)} \right] \quad (13.27)$$

$$y_{sm} = \frac{11}{384} \cdot \frac{w_1 \cdot L^3}{E_s \cdot I} \quad (13.28)$$



## 14. KOMPOZİT KİRİŞLERDE PLASTİK HESAP TEORİSİ İÇİN ÖRNEKLER

### 14.1 ÖRNEK 1 (Bölüm 7.1.1)



Şekil 14.1 Statik sistem ve enkesit

Sistem ve yükler:

$$P=0,500.3,6=1,80 \text{ t/m}$$

$$g_a=0,07 \text{ t/m}$$

$$g_b=0,16.3,60.2,4=1,38 \text{ t/m}$$

$$q=3,25 \text{ t/m (toplam)}$$

$$q_v = 1,7.3,25=5,52 \text{ t/m (I. Yükleme hali, } v=1,7)$$

Kesit Etkileri:

$$M_v = q_v \cdot \frac{l^2}{8} = 5,52 \cdot \frac{12^2}{8} = 99,86 \text{ tm}$$

$$Q_v = q_v \cdot \frac{l}{2} = 5,52 \cdot \frac{12}{2} = 33,12 \text{ t}$$

Çalışan tabla genişliği :

$$b_m \leq \frac{1}{3} \cdot l = \frac{12}{3} = 4 \text{ m} > \text{mev. } b=3,60 \text{ m}$$

$b_b = \text{mev. } b$

Çelik profil enkesit alanının tayini :

Seçilen profil IPE 450,  $h_a = 45 \text{ cm}$ ,  $A_a = 98,8 \text{ cm}^2$

$$(7.9) \text{ ger}A_a = \frac{2,9936}{3,6 \cdot (45 + 16 + 5,1)} = 83,51 \text{ cm}^2 < 98,8 \text{ cm}^2$$

Seçilen kesit IPE 400  $h_a = 40 \text{ cm}$ ,  $A_a = 84,5 \text{ cm}^2$

$$(7.10) \text{ ger}A_a = 360 \cdot 16 \cdot \frac{0,6 \cdot 0,250}{3,6} \cdot \left[ \left( \frac{40}{2 \cdot 16} - 1 \right) - \sqrt{\left( \frac{40}{2 \cdot 16} + 1 \right)^2 - \frac{2,9936}{360 \cdot 16^2 \cdot 0,6 \cdot 0,250}} \right]$$

$$= 83,05 \text{ cm}^2 < 84,50 \text{ cm}^2$$

Kontrol :

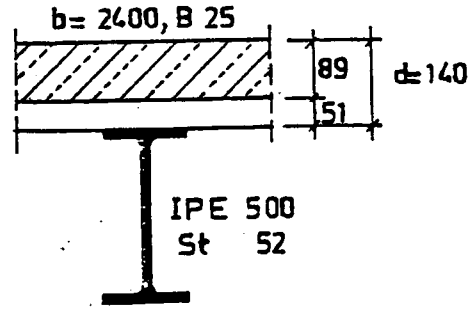
$$(7.8b) \frac{A_a}{b \cdot d} = \frac{84,5}{360 \cdot 16} = 0,014 < 0,0417 \cdot \left( 1 - \frac{5,1}{16} \right) = 0,028$$

Enkesitin belli olması halinde moment tahkiki :

$$(7.4), (7.8a) x_{pl} = \frac{84,5 \cdot 3600}{360 \cdot 0,6 \cdot 250} = 5,63 \text{ cm} < d - e = 10,9 \text{ cm}$$

$$(7.7a) M_{pl} = 84,5 \cdot 3,6 \cdot \left( 0,20 + 0,16 - \frac{0,0563}{2} \right) = 100,94 \text{ tm} > M_v = 99,4 \text{ tm}$$

## 14.2 ÖRNEK 2(Bölüm 7.3)



Şekil 14.2 Enkesit

a) Kesin çözüm (Tarafsız eksen giriş başlığından geçiyor, beton basınç bölgesinde)

$$(7.11), D_b = 8,9 \cdot 2400 \cdot 0,15 = 320,4 \text{ t}$$

$$N_{pl,a} = 116,3,6 = 417,6 \text{ t}$$

$$(7.13), x_{pl} = 14 + \frac{417,6 - 8,9 \cdot 2400 \cdot 0,15}{2 \cdot 20 \cdot 3,6} = 16,675 \text{ cm} < 15,6 \text{ cm}$$

$$(7.12), D_a = 2 \cdot 20 \cdot 3,6 \cdot (14,675 - 14) = 97,2 \text{ t}$$

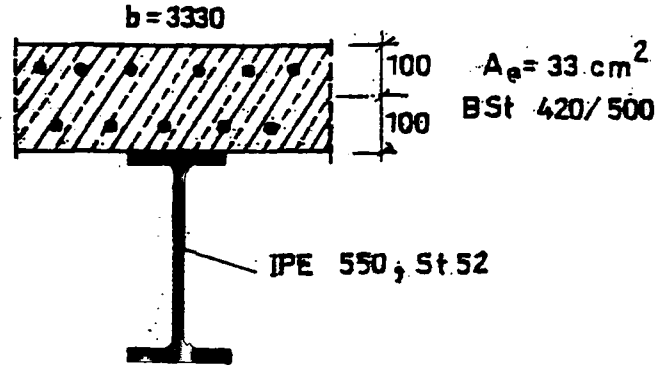
$$(7.15b), M_{pl} = 417,6 \cdot \frac{1}{2} (0,50 + 0,14 + 0,051) - 97,2 \cdot \frac{1}{2} (0,14675 + 0,051) = 134,7 \text{ tm}$$

b) Yaklaşık çözüm

$$(7.21) M_{pl} = 1,1 \cdot 1,14 \cdot 19,30 \cdot 3,6 \left( 1 - \frac{320,4}{417,6} \right) + 320,4 \cdot \frac{1}{2} (0,50 + 0,14 + 0,051) = 130,98 \text{ tm}$$

Bu değer kesin değerden % 2,7 fark etmektedir.

## 14.3 ÖRNEK 3



Şekil 14.3 Çekme başlığındaki donatıyı hesaba katarak  $M_{pl,Q}$  plastik momentinin hesabı

$Q_v = 91,35 \text{ t}$ ,  $Q_{pl} = 119 \text{ t}$  değerleri için  $\frac{Q_v}{Q_{pl}} = 0,77 > 0,3$  bulunur.

$$a = \frac{55}{2} + 10 = 37,5 \text{ cm}$$

$Z_e = 33 \cdot 4,2 = 138,6 \text{ t}$ ,  $N_{pl,Q} = 134 \cdot 3,6 = 482,4 \text{ t}$  değerleri için  $\frac{Z_e}{N_{pl,Q}} = 0,287$  bulunur.

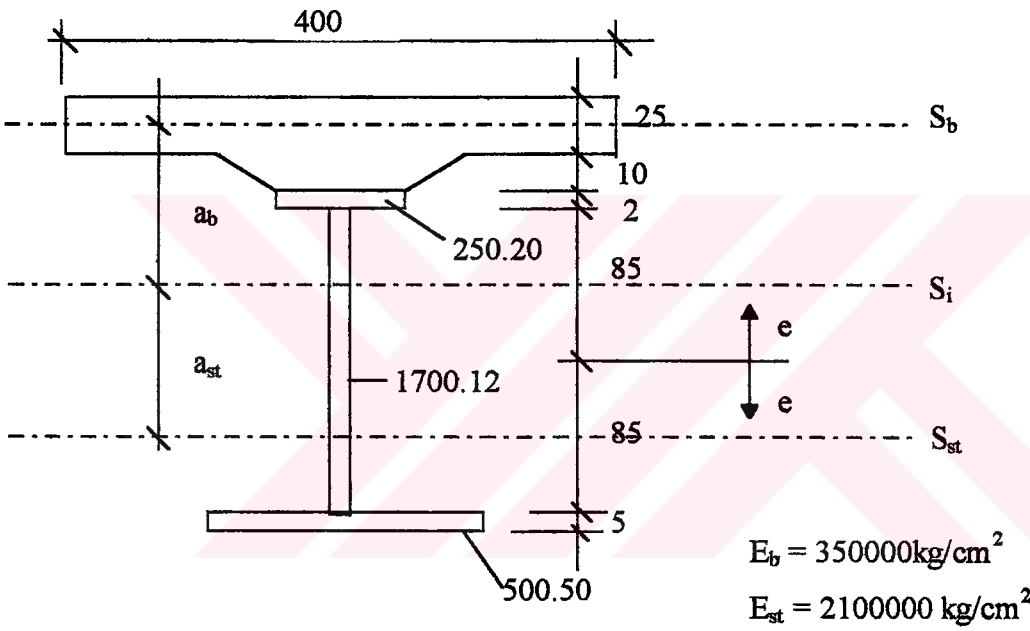
$$M_{pl,Q} = 138,6 \cdot 0,375 + 1,14 \cdot 24,40 \cdot 3,6 (1,1 - 1,1 \cdot 0,287 - 0,3 \cdot 0,77) = 107,38 \text{ tm}$$

## 15. PAYLAŞTIRILMIŞ KESİT TESİRLERİ YÖNTEMİ İÇİN ÖRNEKLER

### 15.1 ÖRNEK 1

Şekilde bir izostatik öngerilmemiş kompozit sistemin kesiti verilmiştir. Bu kesite gelen sürekli (g) ve hareketli (p) yüklere ait kesit tesirleri ve gerekli diğer doneler aşağıda verilmiştir.

Rötre ve sünme etkisini de dikkate alarak kesitteki sonuç beton ve çelik gerilmelerini bulunuz.



Şekil 15.1 Kompozit kesite ait değerler

1-Kesit karakteristikleri:

a-Beton:

$$A_b = 400 \cdot 25 = 10000 \text{ cm}^2, A_b \cdot \frac{1}{n} = 1670 \text{ cm}^2$$

$$I_b = \frac{400 \cdot 25^3}{12} = 520000 \text{ cm}^4, I_b \cdot \frac{1}{n} = 86666 \text{ cm}^4$$

b-Çelik:

Profil	A (cm <sup>2</sup> )	e (cm)	A.e	e <sub>s</sub> *	A.e <sub>s</sub> *	I <sub>o</sub>	I (cm <sup>4</sup> )
250/20	50	86	4300	121	732000	≈0	732000
1700/12	204	0	0	-35	250000	492000	742000
500/50	250	-87.5	-21900	-52.5	690000	≈0	690000
Σ	504	-	-17600	-	-	-	2164000

$$*e_s = \frac{\Sigma A.e}{A} = -\frac{17600}{504} = -35,0$$

Beton ve çelik ağırlık eksenleri uzaklığı:

$$a = 12,5 + 10,0 + 2,0 + 120,0 = 144,5 \text{ cm}$$

c-İdeal çelik karakteristikleri:

$$A_i = A_{st} + \frac{1}{n} \cdot A_b = 504 + 1670 = 2124 \text{ cm}^2$$

$$a_b = a \cdot \frac{A_{st}}{A_i} = 144,5 \cdot \frac{504}{2124} = 34,3 \text{ cm}, a_{st} = a \cdot \frac{A_b \cdot \frac{1}{n}}{A_i} = 110,2 \text{ cm}, a = a_{st} + a_b$$

$$S_i = a_{st} \cdot A_{st} = 55500 \text{ cm}^3$$

$$I_i = I_{st} + \frac{1}{n} \cdot I_b + a \cdot S_i = 2164000 + 86666 + 144,5 \cdot 55500 = 10280000 \text{ cm}^4$$

## 2-Paylaştırılmış kesit tesirleri:

Sürekli yükler sünme yüzünden ilave kesit tesirlerinin doğmasına sebep olacaktır. Bu yüzden bunların paylaştırılmış kesit tesirleri ayrı olarak hesaplanacaktır:

### a-Sürekli yükler için:

$$M_{g,i,o} = 400 \text{ tm}, N_{g,i,o} = -30 \text{ t}$$

$$N_{g,b,o} = \frac{\frac{1}{n} \cdot A_b}{A_i} \cdot N_{g,i,o} = \frac{1670}{2142} \cdot (-30) = -22,90 \text{ t}$$

$$N_{g,st,o} = \frac{A_{st}}{A_i} \cdot N_{g,i,o} = \frac{504}{2124} \cdot (-30) = -7,10 \text{ t}$$

$$M_{g,b,o} = -\frac{S_i}{I_i} \cdot M_{g,i,o} = -\frac{55000}{10280000} \cdot 40000 = -216 \text{ t}, M_{g,st,o} = 216 \text{ t}$$

$$M_{g,b,o} = \frac{\frac{1}{n} \cdot I_b}{I_i} \cdot M_{g,i,o} = \frac{86666}{10280000} \cdot 400 = 3,29 \text{ tm}$$

$$M_{g,st,o} = \frac{I_{st}}{I_i} \cdot M_{g,i,o} = \frac{2164000}{10280000} \cdot 400 = 84,5 \text{ tm}$$

$$N_{g,b,o} = -22,9 - 216,0 = -238,9 \text{ t}, M_{g,b,o} = 3,29 \text{ tm}$$

$$N_{g,st,o} = -7,1 + 216,0 = 208,9 \text{ t}, M_{g,st,o} = 84,5 \text{ tm}$$

b-Hareketli yükler için:

$$M_{p,i,o} = 550 \text{ tm}, \quad N_{p,i,o} = -40 \text{ t}$$

$$N_{p,b,o} = -30,5 \text{ t}, \quad N_{p,st,o} = -9,5 \text{ t}$$

$$M_{p,b,o} = -297 \text{ t}, \quad M_{p,st,o} = 297 \text{ t}$$

$$N_{p,b,o} = -327,5 \text{ t}, \quad N_{p,st,o} = 287,5 \text{ t}$$

$$M_{p,b,o} = 4,52 \text{ tm}, \quad M_{p,st,o} = 11,62 \text{ tm}$$

3-t = 0 zamanı için gerilme hesabı:

$$W_{b1} = \frac{I_b}{12,50} = 41600 \text{ cm}^3, \quad W_{st1} = \frac{I_{st}}{122} = 17750 \text{ cm}^3$$

$$W_{b2} = \frac{I_b}{22,5} = 23100 \text{ cm}^3, \quad W_{st2} = \frac{I_{st}}{55} = 39400 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{g,b,o} (1) = -\frac{238,9}{10000} - \frac{329}{41600} = -0,032 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{g,b,o} (2) = -\frac{238,9}{10000} + \frac{329}{23100} = -0,010 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{g,st,o} (1) = \frac{208,9}{504} + \frac{8450}{17750} = -0,061 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{g,st,o} (2) = \frac{208,9}{504} + \frac{8450}{35400} = 0,629 \text{ t/cm}^2$$

Dikkat edilirse betondaki gerilmeler aynı noktada olabilecek çelik gerilmelerinden elastisite modülleri  $n$ 'ye bölünerek elde edilmektedir.

4-Sünme ve rötrenin sona ermesi durumu için ( $t = \infty$ ) ilave kesit tesirleri

Bu değerler Bandel'e göre bulunmuştur. Basitleştirilmiş bağıntıların kullanılması için tahkik:

$$I_{st} = \frac{\frac{1}{n} \cdot A_b \cdot \frac{1}{n} \cdot I_b}{A_{st} \cdot I_{st}} = \frac{1670.86666}{504.2164000} = 0,125 < 0,2$$

$\Psi = 0,65$  (Bandel katsayısı)

$\theta_n = 2,00$  (Sonuç sünme katsayısı)

$\varepsilon_s = 20 \cdot 10^{-5}$  (Sonuç rötre miktarı) Bu değerler ile teorik kısımda verilen bağıntılarla:

$\phi_{st} = 1 + \Psi_{st} \cdot \theta_n = 1 + 0,65 \cdot 2,0 = 2,30$  ve

$$N_s = \frac{\varepsilon_s}{\theta_n} \cdot E_{b,o} \cdot A_b = \frac{20 \cdot 10^{-5} \cdot 350000 \cdot 10000}{2,0 \cdot 10^3} = 350 \text{ t}$$

değerleri kullanılarak:

İlave kesit tesirleri:

$$N_{s,b,t} = \frac{(N_s - N_{g,b,o}) \cdot \theta_n}{\phi_{st} + \frac{1}{n} \cdot \frac{A_b}{A_{st}} + \frac{a^2 \cdot \frac{1}{n} \cdot A_b}{I_{st}}} = \frac{(350 + 238,9)}{2,3 + \frac{1670}{504} + \frac{144,5^2 \cdot 1670}{2164000}} = 54,8 \text{ t}$$

$$N_{s,st,t} = -N_{s,b,t} = -54,8 \text{ t}$$

$$M_{s,st,t} = a \cdot N_{s,b,t} = 144,5 \cdot 54,8 = 79,2 \text{ tm}$$

$$M_{s,b,t} = [-M_{g,b,o} \cdot \theta_n + M_{s,st,t} \cdot \frac{\frac{1}{n} \cdot I_b}{I_{st}}] \cdot \frac{1}{\phi} = [-3,29 \cdot 2,0 + 79,2 \cdot \frac{86666}{2164000} \cdot \frac{1}{2,3}] = -1,52 \text{ tm}$$

Bu ilave kesit tesirleri ile paylaştırılmış kesit tesirleri superpoze edilerek sürekli yükler için sonuç kesit tesirleri bulunur:

$$N_{g+s,b,t} = N_{g,b,o} + N_{s,b,t} = -238,9 + 54,8 = -184,1 \text{ t}$$

$$N_{g+s,st,t} = N_{g,st,o} + N_{s,st,t} = 208,9 - 54,8 = 154,8 \text{ t}$$

$$M_{g+s,b,t} = 3,29 - 1,52 = 1,77 \text{ tm}$$

$$M_{g+s,st,t} = 84,5 + 79,2 = 163,7 \text{ tm}$$

Gerilme formüllerinde sonuç değerleri kullanılarak da sonuç gerilmeleri bulunur.

5-Beton ve çelikteki sonuç gerilmeler:

Beton üst sınırı:

$$\sigma_{g+s,b,t} (1) = -\frac{184,1}{10000} - \frac{177}{41600} = -0,023 \text{ t/cm}^2$$

Beton guse alt kenarı :

$$\sigma_{g+s,b,t} (2) = -\frac{184,1}{10000} + \frac{177}{23100} = -0,0111t/cm^2$$

Çelik üst kenarı:

$$\sigma_{g+s,st,t} (1) = \frac{154,8}{504} - \frac{16370}{17750} = -0,616 t/cm^2$$

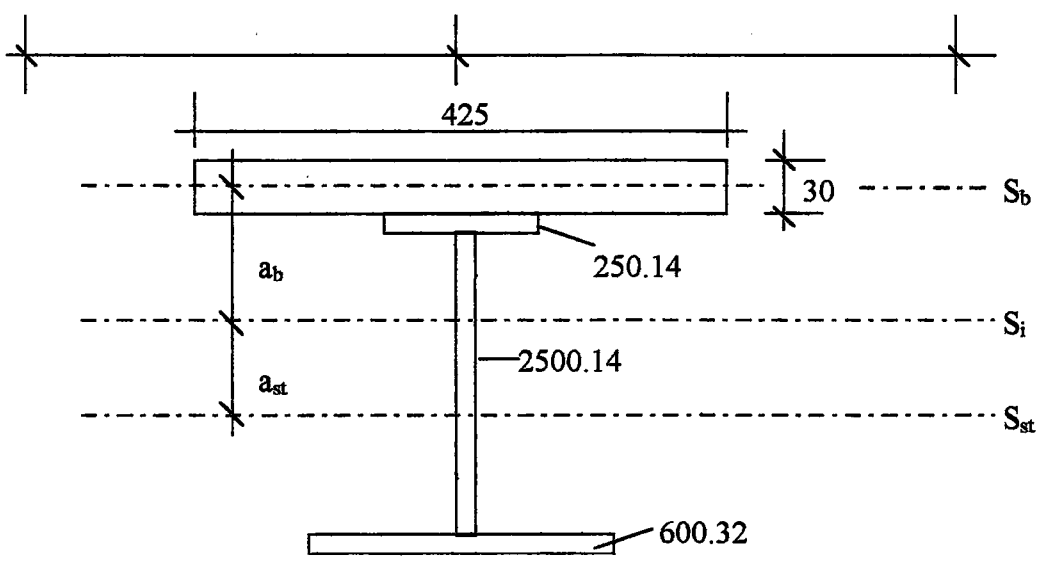
Çelik alt kenarı:

$$\sigma_{g+s,st,t} (2) = \frac{154,8}{504} + \frac{16370}{39400} = 0,721t/cm^2$$

Gerek ilave kesit tesirlerinin işaretlerini gerekse başlangıç ve sonuç gerilmeleri incelersek betonun sünme ve rötre sonucu başlangıçtaki taşıma görevinin bir bölümünü zamanla çelik kısma devrettiği görülmektedir.

Hareketli yüklerden gelen kesit tesirleri ile de hareketli yük gerilmeleri elde edilir Bunun için ya bu kesit tesirleri tamamen aynı şekilde paylaştırılarak yukarıda verilen gerilme formülleri kullanılır ya da bu kesit tesirleri ve ideal kesit karakteristikleri kullanılarak gerilmeler ideal kesit üzerinden hesaplanır.

Hareketli yükler için işlemin tekrarına gerek görülmemiştir (19).



Şekil 15.2 Taşıyıcı sistem ve yükleme durumu, kompozit kirişe ait değerler

$$E_b = 350000 \text{ kg/cm}^2, n = 6$$

1-Beton, çelik ve ideal (çelik) kesit karakteristikleri ve ağırlık eksen uzunlukları:

$$a = 176,6 \text{ cm}, a_b = 37,6 \text{ cm}, a_{st} = 139,0 \text{ cm}$$

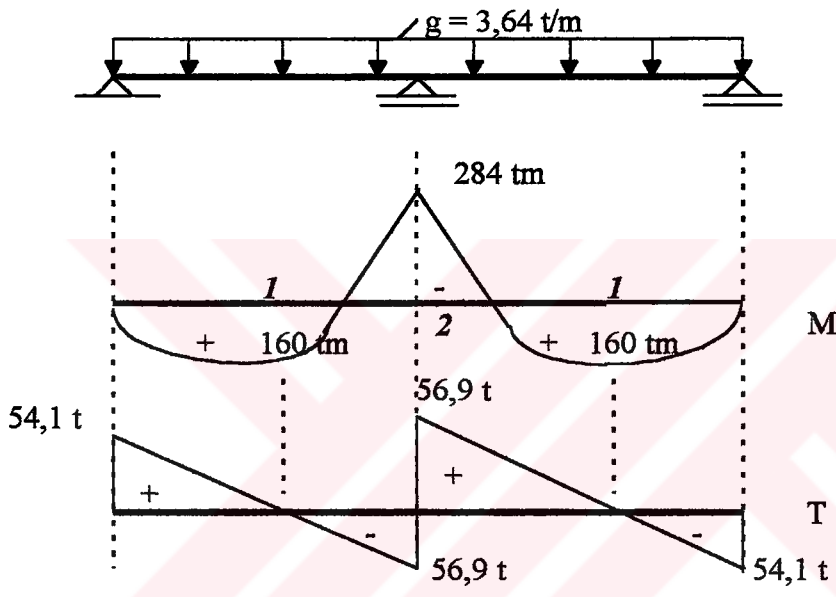
$$A_b = 12750 \text{ cm}^2, A_{st} = 577 \text{ cm}^2, A_i = 2707 \text{ cm}^2$$

$$I_b = 955000 \text{ cm}^4, I_{st} = 4768000 \text{ cm}^4, I_i = 19028000 \text{ cm}^4$$

$$S_i = 80000 \text{ cm}^3, \frac{S_i}{I_i} = 0,421 \text{ m}^{-1}$$

2-Yükleme durumu için ( $t = 0$ ) için çözüm :

Bu durumda montaj momenti H mevcuttur. Beton henüz yük alabilecek durumda olmadığından gerek betonun ağırlığını gerekse çeliğin ağırlığını sadece çelik kısım taşımaktadır.



Şekil 15 3 Taşıyıcı sisteme ait moment ve kesme kuvveti diyagramı

$$M_{g,st} = -\frac{g \cdot l^2}{8} = -284 \text{ tm}$$

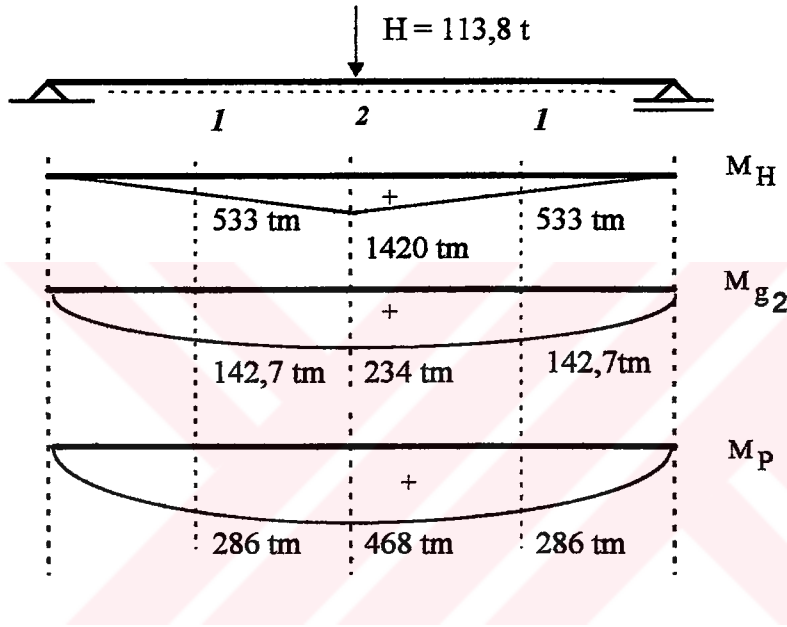
$$M_{g,st} (a) = 0,0703 \cdot g \cdot l^2 = 160 \text{ tm}$$

$$Q_{g,st A} = \frac{3,64 \cdot 25}{2} + \frac{285}{25} = 54,1 \text{ t}$$

$$Q_{g, st H} = \frac{3,64 \cdot 25}{2} + \frac{284}{25} = 56,9 \text{ t}$$

### 3-Yüklem durumu II:

Geçici orta mesnet çelik ile beton arasında kompozitlik sağlandıktan ve beton taşıma olanağına kavuştuktan sonra kaldırılır. Bu durumda orta mesnet reaksiyonu H dış yükler gibi kompozit kesit tarafından alınır. (Şekil 15.4)



Şekil 15.4 Taşıyıcı sistem ve verilen yükleme altındaki  $M_H$ ,  $M_{g2}$ ,  $M_P$  diyagramları

### 4-Yüklem durumu III:

Ara mesnet kaldırıldıktan sonra kompozit kesite sürekli sabit yük olarak  $g = 0,75 \text{ t/m}$  gelmektedir. (Şekil 15.4)

### 5-Yüklem durumu IV:

Verilen kesite ayrıca hareketli yük olarak  $p = 1,5 \text{ t/m}$  gelmektedir. Bu yük ile ilgili moment diyagramı da Şekil 15.4'de verilmiştir.

### 6-Paylaştırılmış kesit tesirleri:

Yükleme durumu I sadece çelik kısma geldiğinden paylaşırma yapılmaz. Yüklem durumu II ve yüklem durumu III sürekli yükler olarak kompozit kesite geldiklerinden hem paylaşılacaklar, hem de bunlardan gelen ilave kesit tesirleri bulunacaktır.

a-Yüklem durumu II ve yüklem durumu III için toplam paylaştırılmış kesit tesirleri:

$$M_{R,i,o} (1) = 533 + 143 = 676 \text{ tm ve}$$

$$M_{R,i,o} (2) = 1420 + 234 = 1654 \text{ tm ile:}$$

(1) noktalarında:

$$N_{R,b,o} = -\frac{S_i}{I_i} \cdot M_{R,i,o} = -0,421.676 = -285 \text{ t}$$

$$N_{R,st,o} = \frac{S_i}{I_i} \cdot M_{R,i,o} = 0,421.676 = 285 \text{ t}$$

$$M_{R,b,o} = \frac{1}{n} \cdot \frac{I_b}{I_i} \cdot M_{R,i,o} = \frac{0,167.955000}{19028000} \cdot 676 = 5,7 \text{ tm}$$

$$M_{R,st,o} = \frac{I_{st}}{I_i} \cdot M_{R,i,o} = \frac{4768000}{19028000} \cdot 676 = 169,5 \text{ tm}$$

(2) noktalarında:

$$N_{R,b,o} = -697 \text{ t, } N_{R,st,o} = 697 \text{ t, } M_{R,b,o} = 13,9 \text{ tm, } M_{R,st,o} = 415,0 \text{ tm}$$

b-Yükleme durumu IV için:

(1) noktasında:  $M_{v,i,o} = 286 \text{ tm}$

$N_{v,b,o} = -120,5 \text{ t}$ ,  $N_{v,st,o} = 120,5 \text{ t}$ ,  $M_{v,b,o} = 2,4 \text{ tm}$ ,  $M_{v,st,o} = 71,6 \text{ tm}$

(2) noktasında:  $M_{v,i,o} = 468 \text{ tm}$

$N_{v,b,o} = -197,3 \text{ t}$ ,  $N_{v,st,o} = 197,3 \text{ t}$ ,  $M_{v,b,o} = 2,4 \text{ tm}$ ,  $M_{v,st,o} = 117,4 \text{ tm}$

7-Sürekli yükler için ilave kesit tesirleri:

Bandel'e göre basitleştirilmiş bağıntılar için tahkik:

$$I = \frac{\frac{1}{n} \cdot A_b \cdot \frac{1}{n} \cdot I_b}{A_{st} \cdot I_{st}} = \frac{\frac{1}{36} \cdot 12750 \cdot 955000}{577 \cdot 4768000} = 0,123 < 0,2 \text{ sağlamaktadır.}$$

Bandel'e göre:

$\psi = 0,65$ ,  $\theta = 2,0$ ,  $\phi = 1 + 0,65 \cdot 2 = 2,30$  ile:

$$N_s = \frac{\varepsilon_s}{\theta_n} \cdot E_{b,o} \cdot A_b = \frac{20 \cdot 10^{-5}}{2,0} \cdot 350 \cdot 12750 = 223 \text{ t}$$

ilave kesit tesirleri: (1) noktasında:

$$N_{s,b,t} = -N_{s,st,t} = \frac{(223 + 285) \cdot 2,0}{2,3 + \frac{\frac{1}{6} \cdot 12750}{577} + \frac{176,6^2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 12750}{4768000}} = 51,1 \text{ t}$$

$$M_{s,st,t} = 1,766 \cdot 51,1 = 90 \text{ tm}$$

$$M_{s,b,t} = \left[ -5,7 \cdot 2,0 + 90 \cdot \frac{\frac{1}{6} \cdot 955000}{4768000} \right] \cdot \frac{1}{2,3} = -3,65 \text{ tm}$$

(2) noktasında:

$$N_{s,b,t} = -N_{s,st,t} = \frac{(223 + 667) \cdot 2,0}{19,9} = 92,5 \text{ t}$$

$$M_{s,st,t} = 1,766 \cdot 92,5 = 163 \text{ tm}$$

$$M_{s,b,t} = \left[ -139 \cdot 2,0 + 163 \cdot \frac{\frac{1}{6} \cdot 95500}{4768000} \right] \cdot \frac{1}{2,3} = -9,72 \text{ tm}$$

8-Toplam kesit tesirleri:

$t = \infty$  zamanı için sonuç kesit tesirleri (1) ve (2) noktaları için aşağıda verilmiştir. Burada bu değerlerin bulunuşu ile yetinilmiştir. Gerilmeler de ( $t = \infty$  için aranıyorsa) aşağıdaki değerleri kullanarak bulunur.

(1) noktasında:

$$N_{\Sigma,b,t} = N_{R,b,o} + N_{v,b,o} + N_{s,b,t} = -285 - 120,5 + 51,1 = -354,1 \text{ t}$$

$$M_{\Sigma,b,t} = M_{R,b,o} + M_{v,b,o} + M_{s,b,t} = 5,7 + 13,9 - 3,65 = 16,0 \text{ tm}$$

$$N_{\Sigma,st,t} = N_{R,st,o} + N_{v,st,o} + N_{s,st,t} = 285 + 120,5 - 51,1 = 354,1 \text{ t}$$

$$M_{\Sigma, st, t} = M_{R, st, o} + M_{v, st, o} + M_{s, st, t} = 169,5 + 71,6 + 90 = 331,1 \text{ tm}$$

(2) noktasında:

$$N_{\Sigma, b, t} = -N_{\Sigma, st, t} = -697 - 197,3 + 92,5 = -802 \text{ t}$$

$$M_{\Sigma, b, t} = 13,9 + 3,9 - 9,72 = 8,1 \text{ tm}$$

$$M_{\Sigma, st, t} = 415,0 + 117,4 + 163 = 695,4 \text{ tm}$$

15.2 Örnek 2, (19)'dan alınmıştır.



## 16. SONUÇLAR

Betonarme plak ile çelik kirişten oluşturulan bir kompozit kiriş kesiti paylaştırılmış kesit tesirleri ve plastik hesaba göre incelenmiştir.

Kompozit kiriş kesitinin paylaştırılmış kesit tesirleri yöntemiyle incelenmesinde normal ve kayma gerilmeleri, sünme ve rötire, yerdeğiştirme analizleri yapılmıştır. Paylaştırılmış kesit tesirleri yöntemi emniyet gerilmeleri yöntemine dayanan ve günümüze kadar geçerliliğini sürdürmüş olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kompozit kirişlere ait kaynaklara bakıldığı zaman bir çoğunun emniyet gerilmeleri yöntemi temel alınarak hazırlandığı görülmektedir.

Paylaştırılmış kesit tesirlerini ve bu yöntemle benzeyen emniyet gerilmeleri yöntemini temel alan çözümler, rötire ve sünme etkisinin hareketli ve ölü yükler yanında etkilerinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğunu göstermektedirler. Ayrıca kayma birleşimleri analizinde rötire ve sünme etkisi ihmal edilmektedir (17).

Plastik hesap teorisine göre yapılan incelemelerde kompozit kirişte tarafsız eksenin bulunduğu yere göre kesitin taşıyabileceği moment ve momente bağlı olarak gerilmeler bulunmuştur. Plastik hesap teorisine göre yapılan hesaplarda kompozit kirişte göçme durumuna ulaşma sözkonusu olduğundan emniyet açısından paylaştırılmış kesit tesirleri yöntemi ve emniyet gerilmeleri temel alınarak hazırlanan çözümler, uygulamaya daha uygundur. Ayrıca kompozit kirişte çelik, betonarmeye göre daha emniyetli (basınç ve çekme mukavemeti yönünden) olduğu ve betonarme plağa göre aşırı yük taşıdığı için bu yöntem plastik hesap teorisine göre daha güvenilir bulunmuştur.

Kompozit kirişte betonarme plak çelik kirişe hareket etme olanağı sağlamadığı için yanal stabilite tahkiki yapmaya gerek duyulmamıştır (2).

Kompozit kirişte yerel burkulma ve çarpılma burkulması analizinde çelik kiriş boyutu için gerekli şartlara uyulduğu takdirde böyle bir analizin yapılmasına lüzum olmadığı sonucuna varılmıştır.



## KAYNAKLAR

1. Arda T., S., (1983), "Kompozit Kirişlerde Plastik Hesap Teorisine Göre Gerilme Hesabı", ÇEYSE, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
2. Arda T., S. ve Uzgider E., (1986), Çelik Yapılarda Taşıma Gücü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gümüşsuyu
3. Azhari M. and Bradford M. A., (1993), "Elastic Local Buckling of Composite Tee-Beams with Longitudinal Stiffeners", Canada Journal of Civil Engineering, 20, page:923-930
4. Bradford M. A., (1989), "Non-linear Behaviour of Composite Beams at Service Loads", The Structural Engineer, volume 67/no.14, page:263-268
5. Climenhaga J. J. and Johnson R. P., (1972), "Local Buckling in Continuous Composite Beams", The Structural Engineer, volume 50/no.9, page:367-374
6. Çelik Yapılar Elkitabı, (1985), İzmir İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir
7. Dezi L., Leoni G. and Tarantino A. M., (1996), "Algebraic Methods for Creep Analysis of Continuous Composite Beams", Journal of Structural Engineer, April, volume 122/no.4, page:423-430
8. Eurocode 4, (1992), Design of Composite Steel and Concrete Structures, B-1050 Bruxelles
9. Freed W. W. and Adel K. J., (1993), "Distortional Buckling Curves for Composite Beams", Journal of Structural Engineering, July, volume 119/no.7, page:2134-2149
10. Johnson R. P. and Oehlers D. J., (1996), "Integrated Static and Fatigue Design or Assessment of Stud Shear Connections in Composite Bridges", The Structural Engineer, volume 747no.14, page:236-240
11. Kaltakçı Y., (1994), Betonarme Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya
12. Karaduman M., (1989), Çelik Yapılar, Cilt 1, Selçuk Üniversitesi Yayınları No:56, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No:2, Ersitesi Basımevi, Konya
13. Lawther R. and Gilbert R. I., (1990), "A Rate-of-creep Analysis of Composite Cross-sections", The Structural Engineer, volume 68/no.11, page:208-213
14. Lawther R. and Gilbert R. I., (1992), "Deflections Analysis of Composite Structures Using The Rate-of-Creep Method", The Structural Engineer, volume 70/no.12, page:220-223

15. N. Abdulrazzaq Jasim and A. A. Mohammed Ali, (1997), "Deflections of Composite Beams with Partial Shear Connections", The Structural Engineer, volume 75/no.4, page:58-61
16. Oehlers D. J., (1995), "Design and Assessment of Shear Connectors in Composite Bridge Beams", Journal of Structural Engineering, February, volume 121/no.2, page:214-223
17. Singleton V. F., (1958), Composite Contruction in Steel and Concrete
18. TS 500, (1984), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, UDK 69.001/693.55, I. Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
19. Yücefer N., (1976), Kompozit Sistemler, İ.D.M.M.A., Yeterlik Tezi, İstanbul



**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KÜLTÜR  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	17.08.1974	
Doğum yeri	Sivas	
Lise	1989-1991	Sivas Lisesi
Lisans	1991-1996	Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

**Çalıştığı kurumlar**

1995-1996	Yazgım Mühendislik Ltd.Şti.,Konya
1996-3 Ay	Alpay İnşaat Ltd. Şti.,Ankara
1996-Devam ediyor	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi