

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca benden yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Kaya ÖZGEN'e, çeviri ve düzenleme konularında bana yardımcı olan Y.Mimar Ayşe İDEMEN'e ve Yüksek Lisans Destekleme Programı dahilinde çalışmama destek veren TÜBİTAK Bilim Adamı Yetiştirme Grubu'na teşekkür ederim.

Beni her konuda destekleyen ve tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2003

Fatih SÜTCÜ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Kesitlerde Hesap Esasları	1
1.1.1. Malzeme özellikleri	1
1.1.1.1. Çelik	1
1.1.1.2. Beton	2
1.2. Kompozit Kirişlerde Eğilme Teorisi	3
1.2.1 Kabuller	3
1.2.2. Kısa Süreli Yükleme (Sünme Etkisi Yok)	3
1.3. Kompozit Kirişlerde Yük Durumları	6
1.3.1. Genel	6
1.3.2. Yükler	7
1.3.3. Basit Kiriş	7
1.3.3.1. Kompozit Çalışma Sağlandıktan Sonra Etki Ettirilen Sabit Yükler ve Faydalı Yükler	7
1.3.4. Sürekli Kiriş	8
1.4 Negatif Momentler Bölgesinde Sürekli Kompozit Kiriş	8
1.4.1. Genel	8
1.4.2. Öngerilmesiz Sürekli Plak	9
1.4.2.1. Sürekli Olarak Çelik Kirişe Kamalı Sürekli Plak;	9
1.4.2.2. Orta Ayaklar Bölgesinde Çelik Kirişe Kamalanmayan Sürekli Plak	10
1.5 Kompozit Taşıyıcı Sistemlerin Boyutlandırılması	10

1.5.1. Tabliye	10
1.5.2. Çelik Ana Kirişler	10
1.5.2.1. Kiriş Yüksekliği	10
1.5.2.2. Enkesit Teşkili	11
1.6 Taşıma Emniyetinin Kontrolü	11
1.6.1. Taşıma Emniyeti Kontrolünün Gereği	11
1.6.3. Plastik Moment Hesabı (Sadece Eğilme Etkileri)	12
1.6.2.1. Beton Plak Basınç Bölgesinde	12
1.6.2.2. Beton Plak Çekme Bölgesinde	12
1.6.3. Taşıma Emniyetinin Tayini	13
1.7 Kompozit Çalışmayı Sağlayan Elemanların Teşkili ve Boyutlandırılması	13
1.7.1. Birleşim Elemanlarının Formları ve Taşıma Kapasiteleri	13
1.7.1.1. Hadde Profillerle Oluşturulan Kamalar	13
1.7.1.2. Bulon Kamalar	15
1.7.2. İşletme Yükleri Altında Kama Kuvvetlerinin Hesabı	17
1.7.2.1. İşaret Kabulü	17
1.7.2.2. Yayılı Boyuna Kayma Kuvvetleri	17
1.7.2.3. Tekil Boyuna Kayma Kuvvetleri	18
1.7.3. Kamaların Taşıma Emniyet Kontrolü	18
1.7.4. Beton Plakta Kayma Gerilmelerinin Kontrolü	19
2. MEVCUT STANDARTLARDA ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİ	21
2.1 Genel	21
2.2 Geleneksel Yapılar İçin Etkili Tabla Genişliği	22
2.3 Standartlardaki İlgili Maddeler	22
2.3.1. AASHTO LRFD (1994) İlgili Maddeleri	22
2.3.2. DIN 1075 İlgili Maddeleri	28
2.3.3. Eurocode 4 İlgili Maddeleri	29
2.3.4. AISC İlgili Maddeleri	31
2.4. Eksenel Kuvvetler İçin Etkin Tabla Genişliği	31
2.5. Eğilme Kuvvetleri İçin Etkin Tabla Genişliği	32
3. MÜHENDİSLİKTE ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİ	34
3.1 Genel	34
3.1.1. Deniz Mimarisi	34
3.1.2. Uçak Mühendisliği	37
3.1.3. Yapılar ve Köprüler	38

4. ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİNİN HESABI	41
4.1 Genel	41
4.2 Gerilme Analizi	42
4.3 Analizde Kullanılan Modeller	44
4.4 Sonlu Eleman Analizi Yöntemiyle Etkili Tabla Genişliğinin Hesabı	45
4.5 Elde Edilen Sonuçların İrdelenmesi	51
5. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	58

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Standartlarda kullanılan notasyonlar.....	29
Tablo 4.1 Sonlu eleman analizinde kullanılan modeller.....	44
Tablo 4.2 Ön hesapla belirlenen çelik profil boyutları.....	46
Tablo 4.3 Her model için kullanılacak kayma bağlantısı sayısı.....	48
Tablo 4.4 Her model için hesaplanmış etkili tabla genişliği değerleri.....	50
Tablo 4.5 Farklı kesitlerde hesaplanmış etkili tabla genişliği değerleri.....	51
Tablo 4.6 Açıklık ortasında b_{eff}/B oranları.....	52
Tablo 5.1 B/L oranının b_{eff}/B değerine etkisi.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Sıcaklık Farkı.....	2
Şekil 1.2 : Kompozit enkesit.....	4
Şekil 1.3 : İzostatik esas sistemde mesnet dönmeleri ve hiperstatik momentler.....	6
Şekil 1.4 : Çeşitli gerilme durumlarının süperpozisyonu.....	7
Şekil 1.5 : Göçme durumunda enkesitte deformasyon ve gerilmelerin yayılışı.....	12
Şekil 1.6 : T kamalar.....	13
Şekil 1.7 : Başlıkları kaynaklanmış T kamalar.....	14
Şekil 1.8 : Bulon kama çeşitleri.....	15
Şekil 1.9 : Kamaların taşıma yüklerinin kontrolü.....	19
Şekil 1.10 : Kayma gerilmesi kontrolü.....	19
Şekil 2.1 : Etkili tabla genişliği katsayıları (AASHTO 1994 Şekil 4.6.2.6.2-1).....	24
Şekil 2.2 : Etkili tabla genişliği katsayıları (AASHTO 1994 Şekil 4.6.2.6.2-2).....	25
Şekil 2.3 : Enkesitler ve eğilme-kesme etkileri için b_m , etkili tabla genişliği değerleri (AASHTO Şekil 4.6.2.6.2-3).....	26
Şekil 2.4 : Eksenel kuvvet etkileri için b_n , etkili tabla genişliği değerleri (AASHTO Şekil 4.6.2.6.2-4).....	27
Şekil 2.5 : Beton tabla etkin genişliği için eşdeğer açıklık değerleri (Eurocode4 şekil 4.3).....	30
Şekil 3.1 : Deniz araçları yüklemeleri (Nappi).....	35
Şekil 4.1 : Kompozit kesitte etkili genişlik.....	43
Şekil 4.2 : Modellenen kompozit döşeme sistemi.....	45
Şekil 4.3 : Tabla içinde, boyuna basınç gerilmesi değerleri, Model KD100-6.....	49
Şekil 4.4 : Standartların ve analiz sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği.....	50
Şekil 4.5 : Açıklığın ortasında ve $\frac{1}{4}$ 'ünde etkili tabla genişliği değerleri.....	52
Şekil 4.6a : $L=5m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi.....	53
Şekil 4.6b : $L=6m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi.....	53
Şekil 4.6c : $L=7m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi.....	54
Şekil 4.6d : $L=8m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi.....	54
Şekil 5.1 : B/L oranının b_{eff}/B değerine etkisi.....	56

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Beton kesit için etkili alan
A_s	: Çelik profilin alanı
B	: Kompozit döşemede kirişler arası uzaklık
E_b, E_{cm}	: Betonun elastisite modülü
E_{st}	: Çeliğin elastisite modülü
F_c	: Beton kesitin karşılayabildiği kuvvet
F_s	: Çelik profilin karşılayabildiği kuvvet
L	: Kompozit döşeme için kiriş açıklığı
P_{Rd}	: Bir bulonun karşılayabildiği kesme kuvveti
Q	: Tabladaki toplam basınç kuvveti
V_c	: Kompozit enkesitte, beton tablanın karşılayabildiği yatay kuvvet
V_s	: Kompozit enkesitte, çelik profilin karşılayabildiği yatay kuvvet
b_{eff}	: Etkili tabla genişliği
$b_1=b_2=b_i$	: Tabla genişliğinin (= kirişler arası uzaklık) yarısı
$b_{e1}=b_{e2}=b_{ei}$	: Yarım tabla için hesaplanmış etkili tabla genişliği
d	: Bulon çapı
f_{ck}	: Beton karakteristik dayanımı
f_y	: Karakteristik çelik dayanımı
n	: Açıklık boyunca kullanılması gereken bulon sayısı
β_w	: Beton küp basınç dayanımı
γ_c	: Beton için emniyet katsayısı
γ_a	: Çelik için emniyet katsayısı

KOMPOZİT DÖŞEMELERDE ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kompozit döşemelerde, eksenel kuvvetler ve eğilme etkileri altında, betonarme tablanın, çelik kirişle birlikte çalıştığı kabul edilen kısmı, etkili tabla genişliği olarak tanımlanmaktadır. Mevcut standartlarda, etkili tabla genişliği değerinin hesabı için çeşitli bağıntılar verilmiştir. Standartlara göre etkili tabla genişliği, döşeme açıklığına, kirişler arası uzaklığa ve tabla kalınlığına bağlıdır. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde, elastik yöntemlere göre bulunan bu bağıntılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, SAP2000 sonlu eleman analizi programında, çeşitli modeller üzerinde, etkili tabla genişliği değeri incelenmiştir. Modellerde kiriş açıklığı ve kirişler arası uzaklık değerleri değiştirilerek, sonuçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonlu eleman analizi yöntemiyle bulunan etkili tabla genişliği değerleri, standartlar yardımıyla hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Etkili tabla genişliği değerini etkileyen önemli parametreler üzerinde durulmuştur. Standartlarda açıklık ortasında hesaplanan bu değer, kiriş açıklığının çeşitli bölümleri için de hesaplanarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTIVE SLAB WIDTH FOR COMPOSITE FLOORS

SUMMARY

In composite floor systems, the portion of the concrete slab working with the steel beams, under axial forces and bending effects, is defined as the effective width of the slab. Actual codes give several equations about the effective width of the slabs. According to the codes, the effective width value of a slab depends on the span length of the slab, the distance between the beams and the thickness of the slab. Linear and non-linear analysis codes use the same effective width as computed for elastic analysis. In this study, the effective width value of several models defined on SAP2000 finite element analysis program is analysed. The span length and the distance between the beams is varied due to see the changes on the results. The results found out the finite element program and the ones calculated by the codes are compared. It is dwelled upon the parameters which the effective width value depended on. As the actual codes calculates this value at the midspan, in this study its calculated through different sections of the beam and compared the results.

1.GİRİŞ

Kompozit yapı tarzının (karma yapı) esası, beton tabliye ile çelik kirişlerinin aralarında kayma rijitliği oluşacak şekilde birbirine bağlanarak, müşterek çalışmalarının sağlanmasıdır. Bu nedenle, temas yüzeylerinde, kesme kuvvetlerinden doğan kayma kuvvetleri, güvenilir bir şekilde aktarılmalıdır.

Kompozit yapı tarzında çelik ve masif yapıların iyi özellikleri bir araya getirilmiştir. Beton tabliyeden, anakiriş enkesitinde başlık ve rüzgar perdesi olarak yararlanıldığından, sırf çelik kiriş kullanılması haline kıyasla önemli miktarda çelikten tasarruf sağlanır. Ayrıca betonun müşterek çalışması rijitliği oldukça arttırdığından, daha küçük kiriş yüksekliklerinde bile sehim koşulu sağlanır.

1.1.Kompozit Kesitlerde Hesap Esasları

1.1.1.Malzeme özellikleri

1.1.1.1.Çelik

İşletme yükleri altında çelik tamamen elastik olarak davranır ve Hooke kanununa uyar:

$$\epsilon_{st} = \frac{\sigma_{st}}{E_{st}} ; E_{st} = 2100 \text{ t / cm}^2 \quad (1.1)$$

Bu ilişki hem konstrüksiyon çeliği, hem de tabliye donatı çeliği için geçerlidir. Yük süresinin yapı çeliğine önemli bir etkisi tespit edilmemiştir. Öngerme kablolarında kullanılan yüksek mukavemetli çelikler bunun bir istisnasıdır. Sabit uzama altında öngerme çeliklerinde, gerilmeler zamanla azalmaktadır. Relaksasyon olarak isimlendirilen bu davranış, sünme olayının (sabit gerilme altında deformasyonların artması) bir başka şeklidir. Kompozit kirişlerde, kablolu öngerme sistemi pek sık uygulanmadığından, relaksasyonun geniş bir şekilde incelenmesinden burada vazgeçilmiştir.

1.1.1.2.Beton

Basınç emniyet gerilmelerini aşmayan, kısa süreli yüklemelerde veya uzun süreli yüklemelerin başlangıç safhasında betonun yaklaşık olarak elastik davrandığı kabul edilebilir. Betonun E_b elastisite modülü β_w küp basınç mukavemetine bağlı olarak

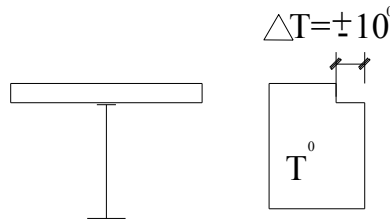
$$E_b = 19000 \sqrt{\beta_w} \quad (E_b \text{ ve } \beta_w \text{ kg/ cm}^2) \quad (1.2)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Örneğin kompozit köprülerde çokca kullanılan $\beta_{w28} = 450$ kg/ cm² lik bir beton için $E_{b28} = 403$ t/cm² veya $\sim 1/5 E_{st}$ olarak hesaplanır.

Sıcaklığın tüm yapı üzerine olan etkisi hesaplanmalıdır. Çelik kirişlerin enkesit alanı tabliyenin alanından büyük ise, emniyet tarafında kalmak için sırf çelik konstrüksiyonlar için hesaplarda kullanılan ekstrem sıcaklık değişimleri göz önünde tutulur, yani ortalama sıcaklığa göre $\pm 30^\circ$ değişim alınır.

Kiriş şeklinde mesnetli üst yapılarda senelik ısı değişimleri genel olarak kayıcı mesnetlerin veya tabliye geçişlerinin hareket miktarlarının hesaplanmasında kullanılır. Çerçeve taşıyıcılarda sıcaklık değişimi yatay reaksiyonların ve dolayısıyla kesit tesirlerinin değişmesine neden olur.

Kesiti oluşturan elemanların farklı ısınması, beton ile çelik kiriş arasında $\Delta t = \pm 10^\circ$ lik bir sıcaklık değişimiyle göz önüne alınır (Şekil 1.1). Her iki malzemenin içinde sıcaklık dağılımının sabit olduğu kabul edilir. Sıcaklık farkı, iyi bir sıcaklık iletim kapasitesi olan ince cidarlı çelik kirişin masif plağa nazaran hava sıcaklığında meydana gelen değişimlerden daha çok etkilenmesinden doğar.



Şekil 1.1: Sıcaklık Farkı

1.2.Kompozit Kesitlerde Hesap Esasları

1.2.1.Kabuller

Birçok halde, çelik ve beton arasındaki temas yüzeyinde kenar liflerin birbirlerine göre kaymadığı – rijit kompozit – kabul edilebilir. Bu takdirde eğilmede enkesitin düzlem kalma hipotezi kompozit kirişlere de uygulanabilir.

Bir kompozit kirişte gerilme ve sehim tahkikleri, homojen olmayan kesitlerin eğilme teorisine göre yapılır. Burada masif yapılara kıyasla şu farklar vardır:

- Donatının, yani çelik kirişin kendi atalet momenti ihmal edilemez.
- Kıyaslama modülü olarak çeliğin elastisite modülü E_{st} seçilir. Bu nedenle çelik alanı mevcut alanla, beton alanı $n=E_{st}/E_b$ oranına bölünerek hesaba girer. Gerçek beton gerilmeleri n defa, azaltılmış enkesit değerleriyle hesaplanan gerilmelere nazaran küçüktür.

Çelik ve beton arasında rijit bir bağlantı olması kabulü kompozitliği sağlayan birleşim araçlarında (kama, kesme bağlayıcısı olarak isimlendirilir), deformasyonların küçük olduğunu ifade eder. Kamaların esnek olması çelik gerilmelerinin (özellikle üst başlıkta) büyümesine, beton gerilmelerinin azalmasına sebep olur. Kamaların rijit ve yeter sıklıkta konulması, rijit kompozitlikle olan farkı ihmal edilebilir mertebede azdır.

Özel hallerde, örneğin mesnet bölgesinde beton çekme gerilmelerini azaltmak için, bilinçli şekilde elastik kompozitliğin sağlanması yoluna gidilir.

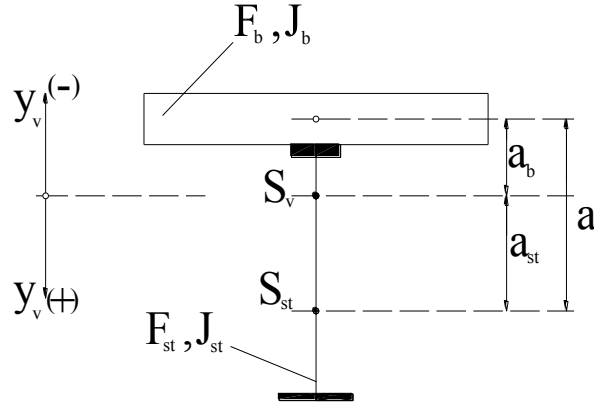
1.2.2. Kısa Süreli Yükleme (Sünme Etkisi Yok)

Kısa süreli yüklemede beton elastik davranır; aynı durum sürekli bir yükün etki etmeye başladığı andaki ($t=0$) durumu için de geçerlidir. Köprülerde aşağıdaki yükler kısa süreli kabul edilir:

- Trafik yükleri (karayolu ve demiryolu köprülerinde)
- Rüzgar yükleri
- Fren ve demaraj kuvvetleri
- Sıcaklık farkları (Bölüm 1.1.1.2)

$n = E_{st} / E_b$ malzeme özellikleri göz önünde tutularak hesaplanır.

Tarafsız eksenin, (şekil 1.2) beton plağın altından geçmesi normal hali için (tarafsız eksen indirgenmiş enkesitin S_v ağırlık merkezinden geçiyor) enkesit değerlerinin hesabı için aşağıdaki bağıntılar yazılır:



Şekil 1.2: Kompozit enkesit.

$$F_v = F_{st} + F_b/n \quad (1.3a)$$

$$a_b = \frac{F_{st}}{F_v} a \quad ; \quad a_{st} = \frac{F_b/n}{F_v} a \quad (1.3b)$$

$$I_v = I_{st} + F_s \cdot a_{st}^2 + I_b/n + F_b/n \cdot a_b^2 \quad (1.3c)$$

$$= I_{st} + I_b/n + F_v \cdot a_{st} \cdot a_b \quad (1.3d)$$

M_v kesit tesirinden:

$$\sigma_{st} = \frac{M_v}{I_v} y_v \quad (1.4a)$$

$$\sigma_b = \frac{1}{n} \frac{M_b}{I_v} y_v \quad (1.4b)$$

eğilme gerilmeleri elde edilir.

Çelik ile beton arasında, kamalar tarafından aktarılabak t kayma kuvveti için

$$t = Q \frac{S_v}{I_v} = Q \frac{a_b \cdot F_b/n}{I_v} \quad (\text{birim boy için}) \quad (1.5)$$

olup S_v , birleştirilecek enkesit elemanının, yani tabliyenin kompozit kesitin ağırlık merkezine göre alan momenti, I_v , kompozit kesitin atalet momenti, ifadesi yazılır. Plak boyuna donatısının göz önüne alınması halinde, yukarıdaki bağıntılarda F_b/n boyuna demir alanı kadar arttırılır.

İzostatik esas sistemde (basit kırşler dizisi) kesit tesirleri kolaylıkla tayin edilir. Kompozit kiriş etki eden $M_{\Delta t}$ momenti için

$$\begin{aligned} N_{b,\Delta T} : N_{b,\Delta T} a_b &= \alpha_T \cdot \Delta T \cdot E_{st} F_b/n \cdot a_b \\ N_{st,\Delta T} : -N_{st,\Delta T} a_{st} &= \alpha_T \cdot \Delta T \cdot E_{st} F_{st} a_{st} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad = \alpha_T \cdot \Delta T \cdot E_{st} a \frac{F_{st} F_{bn} / n}{F_v} \quad (1.6)$$

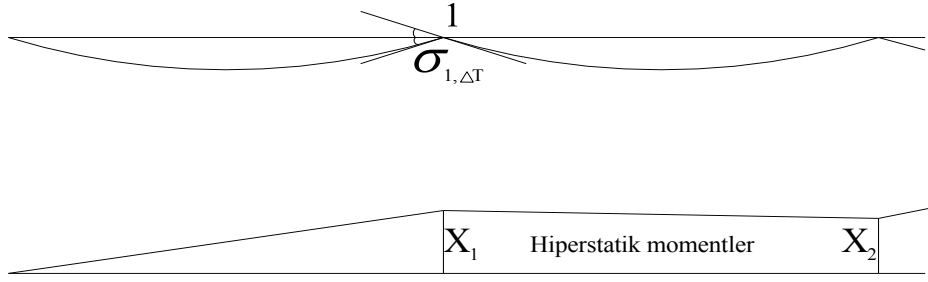
yazılır. Kompozit kırş lemanlarının M/EI eğrilikleri:

$$\frac{M_{\Delta T}}{E_{st} I_v} = \alpha_T \Delta T a \frac{F_{st} F_b/n}{F_v I_v} \quad (1.7)$$

olur. İzostatik esas sistemin $\delta_{i,\Delta t}$ mesnet dönmeleri virtüel iş teoremine göre elde edilir: burada $x_i = 1$ den dolayı momentler $\overline{M}_i$ olduğuna göre, mesnet dönmeleri için:

$$\delta_{i,\Delta t} = \int \frac{M_{\Delta T}}{E_{st} I_v} \overline{M}_i dx \quad (1.8)$$

bağıntısı yazılır. $\delta_{i,\Delta T}$ ‘ler üç moment denklemlerinde yerine konarak (n_0 kullanılarak) hiperstatik bilinmeyenler elde edilir. Bu momentler mesnetler arasında lineer olarak değışirler (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: İzostatik esas sistemde $\delta_{i,\Delta T}$ mesnet dönmeleri ve hiperstatik momentler

1.3. Kompozit Kirişlerde Yük Durumları

1.3.1.Genel

Bir kompozit kirişte değişik zamanlarda ortaya çıkan yük durumlarında farklı enkesit değerleri kullanıldığı için, yük durumlarının çok iyi bir şekilde birbirinden ayrılması gerekir. Bu nedenle belirli bir zaman süresi için eğilme momentleri değil, bunlara tekabül eden gerilmeler süperpoze edilir. Yük durumları, yapı safhaları ve işletme halleri göz önünde tutularak sıralanır.

Çelik ve beton kompozit çalışmaya başlamadan önce bütün yükler çelik kirişe etki eder. Çelik kiriş normal sıcaklıkta sünme yapmadığı için, bu yük durumunda meydana gelen gerilemeler sürekli olarak değişmeden kalır. Kompozit çalışma sağlandıktan sonra etki eden yükler kompozit kiriş tarafından aktarılır. Betonun zamana bağlı davranışı nedeniyle yüklerin etki süresi ihmal edilmeyecek bir rol oynar.

Çelik kirişte toplam gerilmeler kompozit çalışma sağlanmadan önceki ve sonraki gerilmelerin süperpozisyonunda elde edilir. Yük durumlarının saptanmasında aşağıdaki kriterler göz önünde tutulmalıdır:

- Yükün kompozit çalışma sağlanmadan önce ve sonra etki etmesi
- Yükün etki süresi (yalnız kompozit taşıyıcı için)

1.3.2.Yükler

Sisteme etkiyen yükler aşağıda sıralanmıştır:

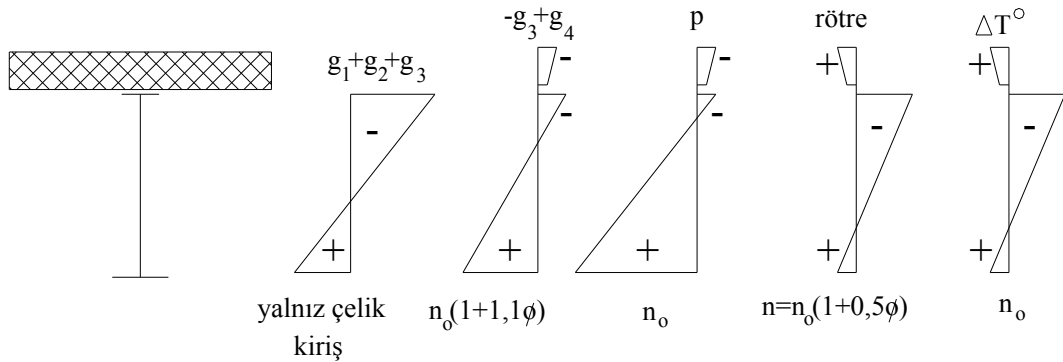
Çelik konstrüksiyon ağırlığı	g_1
Beton plak ağırlığı	g_2
Kalıp	g_3
Kompozit çalışmadan sonra etki eden sabit yükler (kaplama, prefabrik konsol başları, korkuluklar, hatlar, balast)	g_4
Faydalı yük	p

Kalıp yükü, kalıbın beton döküldükten sonra yapıda terkedilmesi halinde (çelik kirişi+ g_3); beton sertleştikten sonra alınması halinde (kompozit kiriş – g_3) olarak hesaplanır.

1.3.3.Basit Kiriş

1.3.3.1.Kompozit Çalışma Sağlandıktan Sonra Etki Ettirilen Sabit Yükler ve Faydalı Yükler

Çelik konstrüksiyon, beton dökümü esnasında açıklıklarda diğmelerle desteklenmemişse, tabliyenin g_2 yükünü yalnız başına aktarır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 1.4) çeşitli yük durumlarında meydana gelen gerilmelerin süperpozisyonları ve kullanılan n oranları verilmiştir.



Şekil 1.4: Çeşitli gerilme durumlarının süperpozisyonu

Prefabrike plak kullanılması halinde kama yuvaları bütün elemanlar döşendikten sonra döküldüğü için g_2 yükleri için kabul edilen çalışma şekli doğrudur. Yerinde dökme plaklarda ise betonlama programı önemlidir. Kısa uzunlukta bir tabliye genellikle bir defada betonladığı için bütün g_2 yükü kompozit çalışma sağlanmadan önce etki eder. Betonun aşamalı dökülmesi halinde $i+1$ aşamasının yükü, i . aşamaya kadar betonlanmış kompozit kiriş ve çelik kiriş kısımlarından oluşan karma sistem tarafından aktarılır. Yükün etki ettirildiği anda (diğer aşamanın ağırlığı) beton çok genç olduğu için, meydana gelen sünmeler nedeniyle büyük ölçüde müşterek çalışmaz. Gerilme tahkikinde ($t \rightarrow \infty$) g_2 için kompozit etki ihmak edilirse emniyet tarafında kalınır.

Çelik kirişe atolyede verilecek ters sehimlerin tesbitinde betonun aşamalar halinde dökülmesinde ortaya çıkan kısmi kompozit sistemlerin etkisi göz önünde tutulmalıdır.

Kompozit elemanların boyutlandırılmasında kısmi kompozitlikle meydana gelebilecek ilave kayma kuvvetlerinin etkisi de (beton derzde tekil kayma kuvvetleri de dahil olmak üzere) hesaba katılmalıdır.

1.3.4.Sürekli Kiriş

Sürekli kirişlerde de benzer kompozit çalışma şekilleri sağlanabilir. Burada esas problem plakta negatif momentler bölgesinde çatlak emniyetinin sağlanmasıdır.

1.4.Negatif Momentler Bölgesinde Sürekli Kompozit Kiriş

1.4.1.Genel

Sürekli bir köprünün üst başlıktaki tabliyesi orta ayaklar bölgesinde çekmeye çalışır. Beton, pratik olarak çekme mukavemeti olmadığından, diğer bir deyişle çekmede kopma uzama deformasyonu çok küçük olduğundan, gevrek davranış gösterir ve kendisine kayma rijitlikli olarak bağlı çelik üst başlığın küçük bir uzama yapması halinde çatlar. Donatının paslanmasına ve betonun don etkisiyle tahrip olmasına mani olmak için, projelendirme çekme gerilmeleri ve dolayısıyla çatlak genişlikleri, uygun önlemler alınarak belirli sınırlarda tutulmalıdır. Burada öncelikle yapı güvenliği değil, yapı sürekliliği söz konusudur.

1.4.2.Öngerilmesiz Sürekli Plak

1.4.2.1.Sürekli Olarak Çelik Kirişe Kamalı Sürekli Plak;

Çok sayıda betonarme sistemde yapılan uzun süreli gözlemler 2/10 mm genişliğindeki kılcal çatlakların tehlikesiz olduğunu göstermiştir. Kompozit köprülerde çatlak genişliğini sınırlayan önlemler alındığı takdirde, tabliye derzsiz olarak mesnetler üzerinde sürekli götürülebilir ve sürekli kamalanabilir:

- Boyuna donatı iyi bir şekilde dağıtılarak (küçük çap) çatlakların dağılması sağlanır. Bu halde çatlaklar $\sim 0,00003$ uzamada meydana gelir; 0,00004 veya 0,00005 uzamalarda açılan çatlaklar meydana gelmez. Bu nedenle bunlar tehlikeli değildir.
- Yalnız sabit g_4 yükleri ve p trafik yükleri için müşterek çalışma sağlanarak (bkz. Bölüm 1.3.3.1), kompozit taşıyıcı sistemde meydana gelen gerilmeler sınırlı tutulabilir. Tabliyenin aşamalar halinde dökülmesi durumunda, mesnet bölgeleri son aşamada dökülecek şekilde beton dökme programı ayarlanmalıdır.

Kompozit kirişlerin statik hesabı ve gerilme kontrolleri betonarme taşıyıcı sistemlere benzer şekilde yapılır:

- a) Çekme bölgesindeki çatlaklar, deformasyonları önemli derecede etkilemediğinden, statik hesapta hiperstatik bilinmeyenler bütün köprü boyunca kompozit enkesitin EI_v eğilme rijitliği kullanılarak hesaplanır.
- b) Emniyet tarafında kalmak için, mesnet bölgesinde kamaların boyutlandırılmasında genel olarak betonun müşterek çalıştığı kabul edilir.
- c) Çatlak güvenliğinin saptanmasında beton uzamaları betonun müşterek çalışması göz önünde tutularak hesaplanır.
- d) Gerilme tahkikinde, çekme bölgesinde beton etkisiz (çatlamış) kabul edilir. Bu nedenle orta ayak bölgesinde enkesit çelik kiriş ve boyuna donatıdan oluşur. Boyuna donatının enkesit hesabında göz önünde tutulması için, donatının yeterli bir şekilde ankre edilmesi gerekir. Donatı gerilmeleri, plağın boyuna doğrultuda eğilmesinden doğan gerilmelerle süperpoze edilir.

- e) Sünme veya ısı farkı etkilerinden doğan (HZ yükleme durumu) kesit etkileri ve gerilmeler, yaklaşık olarak, bütün uzunlukta çatlamamış kesitlerle hesaplanır.

1.4.2.2.Orta Ayaklar Bölgesinde Çelik Kirişe Kamalanmayan Sürekli Plak

Tabliye derzsiz yapılır; negatif momentler bölgesinde kamalanmayarak, kayıcı olarak mesnetlendirilir. (örneğin neophren şeritlerin kullanılması) Bu şekilde plak ile çelik kiriş arasında deplasman sağlanabilmektedir. Tabliye mesnet bölgesinde, kamalama yapılmayan kısımda bir gergi olarak çalışır. Bu nedenle sürekli kirişte moment sivrilikleri yuvarlanır; orta ayak bölgelerinde maksimum gerilmeler sürekli kamalama haline göre oldukça azalır.

1.5.Kompozit Taşıyıcı Sistemlerin Boyutlandırılması

1.5.1.Tabliye

Tabliyenin boyutları, genel olarak, ana kirişlerle müşterek çalışmasına göre değil, plak olarak yerel yüklerden doğan eğilme momentlerine göre belirlenir. Normal ana kiriş aralığında, köprü ekseninde plak kalınlığı genel olarak, karayolu köprülerinde 22-26 cm, balast tekneli, tek hatlı demiryolu köprülerinde 25-30 cm dir.

1.5.2.Çelik Ana Kirişler

1.5.2.1.Kiriş Yüksekliği

Normal koşullarda (sınırsız yapı yüksekliği, uygun nakliye koşulları v.s.) kiriş yüksekliğinin açıklığa oranı aşağıdaki sınırlar arasında bulunur:

Basit kiriş (St 37):

Karayolu köprüleri $h/l \approx 1/15-1/20$

Demiryolu köprüleri (tek hat) $h/l \approx 1/12-1/16$

Sürekli kiriş (l = orta gözün açıklığı; St37):

Karayolu köprüleri $h/l \approx 1/20-1/27$

Demiryolu köprüleri $h/l \approx 1/15-1/20$

Dar tabliyeli karayolu köprülerinde alçak kirişler, geniş tabliyeli karayolu köprülerinde ise yüksek kirişler ekonomik olmaktadır. Genel olarak, başlık ağırlıkları toplamın (bütün üst yapı uzunluğunda alt başlık+üst başlık) gövde levhası ağırlığına yaklaşık olarak eşit olması halinde (boyuna takviyeler dahil), kiriş yüksekliği doğru seçilmiş olmaktadır.

1.5.2.2.Enkesit Teşkili

Kompozit taşıyıcı sistemlerde çelik kirişler simetrik olmayacak şekilde teşkil edilir; özellikle açıklıkta üst başlık alanı, alt başlık alanına oranla oldukça küçüktür. Burada çok çeşitli yükleme durumlarının nazarı itibare alınması gerektiğinden, ön boyutlandırma oldukça zahmetlidir. Problem normal olarak deneme ile çözülür. Uygulanmış yapıların enkesitleri tutarlı tahminlerin yapılmasına yardımcı olur.

Gerekli alt başlık alanı 1.9 ifadesine göre tahmin edilebilir:

$$F_{altbaş} = \frac{M_{st} + W_{st}/W_v \cdot M_v}{h \cdot \sigma_{em}} - \frac{t \cdot h}{10 \sim 15} \quad (1.9)$$

M_{st} = Çelik kirişe etki eden moment (kompozit çalışma sağlamadan önce),

M_v = Kompozit kirişe etki eden moment,

$W_{st}/W_v \cong 2 / 3$,

h : gövde levhası yüksekliği,

t : gövde levhası kalınlığı.

Açıklıkta üst başlık işletme durumuna göre değil, montaj durumuna göre (örneğin söz konusu açıklığın betonlanması) boyutlandırılır. Yanal burkulma tahkikinde basınç başlığının tabliye tarafından bu safhada yanal olarak tutulmadığı bilinmelidir.

1.6.Taşıma Emniyetinin Kontrolü

1.6.1.Taşıma Emniyeti Kontrolünün Gereği

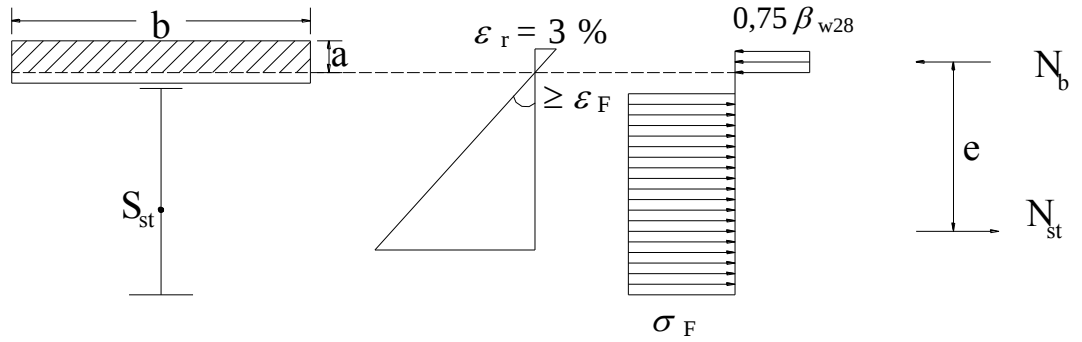
İç gerilme durumlarının çok sayıda olması ve aynı kesitte mukavemet momentlerinin çeşitli değerler alması nedenleriyle, özağırlık ve trafik yüklerinden oluşan yükleme durumu ile gerilme hali arasında bir orantı mevcut değildir. Bu nedenle, özellikle öngerilmeli kompozit taşıyıcı sistemlerde ilave olarak taşıma emniyetinin kontrolü

gerekli olmaktadır: Öngerilmenin tesiri sabit kalırken, dış yüklere düşünülen bir artış öngerilme verilmiş bölgede çok elverişsiz gerilmelerin doğmasına neden olabilir. Buradaki düşünce tarzı, öngerilmeli betonda göçme emniyeti tahkikini gerektiren düşünce tarzına anlogtur.

1.6.2. Plastik Moment Hesabı (Sadece Eğilme Etkileri))

1.6.2.1. Beton Plak Basınç Bölgesinde

Göçme durumunda tarfsız eksen daima beton plaktan geçer (Şekil 1.5). Tarafsız eksenin beton plağın üst kenarına olan a mesafesi beton basınç kuvveti N_{st} çekme kuvveti arasında denge koşulu yazılarak elde edilir:



Şekil 1.5: Göçme durumunda enkesitte deformasyon ve gerilmelerin yayılışı

$$N_b = a \cdot b \cdot 0,75 \beta_{w28} \quad ; \quad N_{st} = F_{st} \cdot \sigma_F \quad (1.10a)$$

$$N_b = N_{st} \rightarrow a \quad ; \quad M_p = e \cdot N_{st} = a N_b \quad (1.10b)$$

İfadeler beton basınç gerilmelerinin (= prizma basınç mukavemeti $0,75 \beta_w$) düzgün yayıldığı kabulüne göre türetilmiştir. Ayrıca taşıma gücüne erişildiği an üst başlık uzaması ϵ_F ($\sim 0,0002$) akma uzamasına ulaşmakta veya onu geçmektedir.

1.6.2.2. Beton Plak Çekme Bölgesinde

Göçme mukavemetinin bulunmasında beton plağın, öngerilme dahil bütün hallerde çatladığı kabul edilir. Enkesit bu takdirde çelik kiriş ve boyuna donatıdan oluşur. Burada boyuna donatının ankraj boyunun yeterli olmasına dikkat edilmelidir.

Tarafsız eksen genellikle kiriş gövdesinden geçer; konumu üstünde etkiyen kuvvetlerin toplamı, altında etkiyen kuvvetlerin toplamına eşitlenerek elde edilir. Burada enkesiti oluşturan her bir yüzey alanı, kullanılan çeliğin akma sınırı ile çarpılmalıdır (konstrüksiyon çeliği, donatı çeliği, öngerme çeliği). Bütün kuvvetlerin keyfi bir eksene göre, örneğin tarafsız eksene göre momenti, aranan plastik momenti verir.

1.6.3. Taşıma Emniyetinin Tayini

Hiperstatik sistemlerde taşıma emniyeti genel olarak taşıma yükü yöntemine göre enkesitlerin plastik deformasyon yapması (plastik mafsallar) göz önünde tutularak tayin edilir.

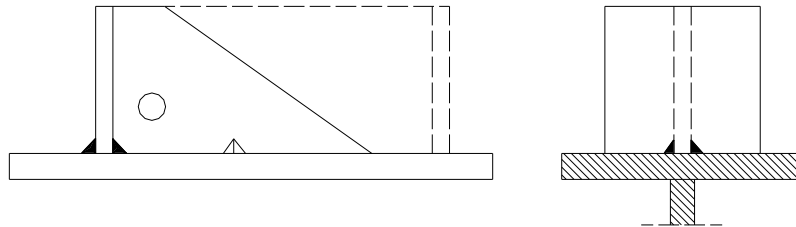
1.7. Kompozit Çalışmayı Sağlayan elemanların Teşkili ve Boyutlandırılması

Çelik kiriş ve beton plağın müşterek çalışması için her iki elemanın, kesme kuvvetlerinden doğan boyuna doğrultudaki kayma kuvvetlerini güvenlikle taşıyan ve kaymayı önleyen bir birleşim aracı ile bağlanması gerekir. Betonun çelik kirişe temas yüzeyinde doğal olarak yapışması birleşim olarak kabul edilmez ve ihmal edilir.

1.7.1. Birleşim Elemanlarının Formları ve Taşıma Kapasiteleri

1.7.1.1. Hadde Profillerle Oluşturulan Kamalar

En yaygın olanı, I profilinden eğik bir kesimle elde edilen T kesitinde kamalardır (zayıatsız olarak bir kesimle iki kama). Kama gövdesinde kayma donatısı geçirmek için delik açılmıştır (Şekil 1.6). Profil olarak kalın başlıklı hadde profilleri kullanılır. Kamalar, beton basınç gerilmeleri başlık dış yüzeyine etki edecek şekilde kiriş başlığına kaynaklanır.

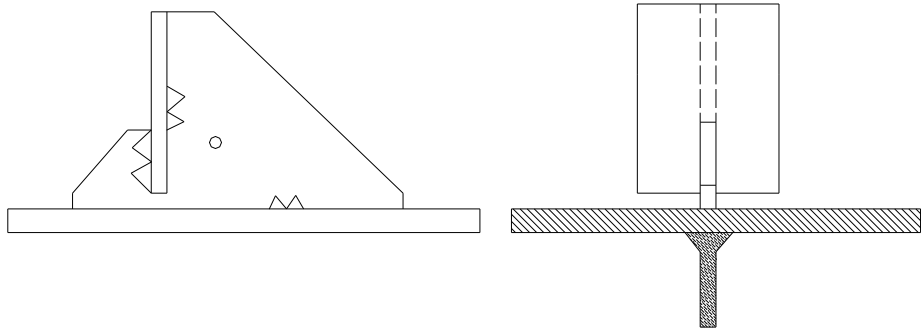


Şekil 1.6: T kamalar

Aşağıdaki değerlerden küçüğü kamanın emniyetle taşıyabileceği kuvvettir:

- a) Temas yüzeyinde betonun basınç kuvveti. Emniyet gerilmeleri, beton gerilmelerinin yerel olarak meydana geldiği göz önünde tutularak hesaplanır. Profil başlığının yeter kalınlıkta olması halinde gerilmelerin düzgün yayıldığı kabul edilir.
- b) Kama gövdesindeki dikişlerde kayma kuvveti. Kayma gerilmelerinin düzgün yayıldığı kabul edilir. Ayrıca basınç kuvvetinin dışmerkezliliğinden doğan eğilme gerilmeleri de, dikiş uzunluğunun kama yüksekliğinden büyük olması halinde ihmal edilebilir.

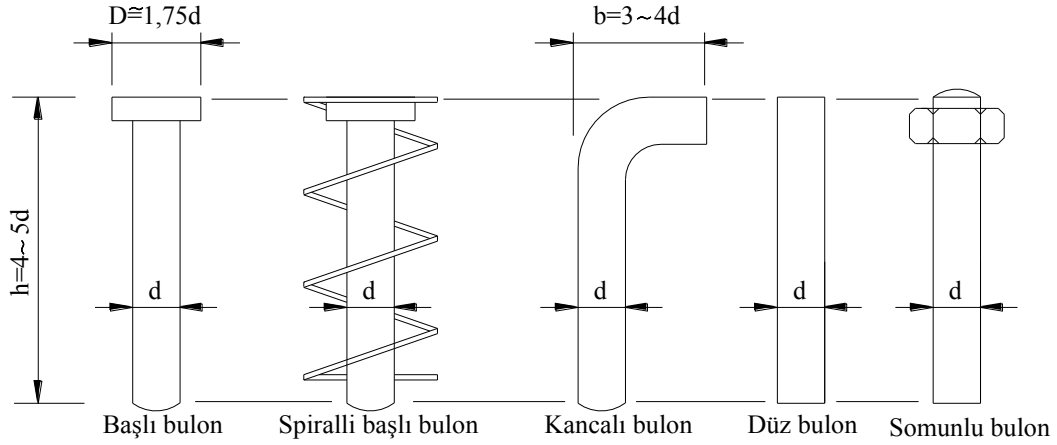
Kama göçme kuvvetleri de benzer şekilde tayin edilir. Sürekli kirişlerin üst başlıkları mesnet bölgelerinde çekmeye maruzdur. Bu bölgede kama başlıklarının kiriş başlığına birleştiren enine dikişler kirişin yorulma mukavemetine elverişsiz olarak tesir edebilir. Bu nedenle hiç olmazsa demiryolu köprülerinde orta ayak bölgelerinde kama başlıkları kiriş başlıklarına kaynaklanmamalıdır. (Şekil 1.7)



Şekil 1.7:Başlıkları kaynaklanmış T kamalar

1.7.1.2.Bulon Kamalar

Bulon kama çeşitleri Şekil 1.8’de görülmektedir:



Şekil 1.8: Bulon kama çeşitleri

Köprü yapılarında 3/4" ve 7/8" çapları (1" = 25,4 mm) kullanılır. Bulonlar direnç kaynağı prensibine göre bir tabanca yardımıyla otomatik olarak kaynaklanır.

Minimum ve maksimum bulon aralıkları:

Kompozit doğrultuda $e_{min} = 5 d$; $e_{max} = 50 d$

Kompozit doğrultuya dik $e_{min} = 4 d$; (d = bulon çapı)

Karayolu köprülerinde normal gerilme tahkikinde kama emniyet kuvveti

$$D_{em} = 50 d^2 \sqrt{\beta_{w28}} \text{ ; } d \text{ (cm) , } \beta_{w28} \text{ (kg/cm}^2\text{) (max. 450kg/cm}^2\text{)} \quad (1.11)$$

$$h / d > 4 \text{ , } D_{em} \text{ (kg)}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Taşıma emniyetinin tahkikinde kamanın göçme yükünün bilinmesi gerekir. Kamalarda göçme iki tarzda meydana gelir.

- a) Bulonun göçmesi; yapılan deneyler, göçme yükünün hesabında bulonun makaslama mukavemeti yerine, çekme mukavemetinin kullanılması gerektiğini göstermiştir:

$$0,8 \frac{\pi d^2}{4} \sigma_z \quad (1.12)$$

b) Betonun yerel olarak göçmesi; göçme yükü beton mukavemetine bağlıdır:

$$180 d^2 \sqrt{\beta_{w28}} \quad (h/d \geq 4) \quad (1.13)$$

Yorulma mukavemeti tahkikinde kamaların yorulma emniyet kuvveti kullanılır. yapılan deneylere göre kayma gerilmeleri

$$\text{Karayolu köprülerinde } \tau_{em} = \frac{0,85}{1-A/B} \quad \text{t/cm}^2 \quad (1.14a)$$

$$\text{Demiryolu köprülerinde } \tau_{em} = \frac{0,725}{1-A/B} \quad \text{t/cm}^2 \quad (1.14b)$$

olarak alınabilir. Minimum bulon kuvvetinin maksimum bulon kuvvetine oranı A/B nin hesabında işaretlere dikkat edilmelidir. B kama kuvveti A ya zıt yönde ise, A negatif olarak yerine konulmalıdır.

$B = \tau_{max} \leq \tau_{em}$ ve $A = \tau_{min}$ ile yukarıdaki ifade;

$$\tau_{max} - \tau_{min} \leq 0,85 \text{ veya } 0,725 \text{ t/cm}^2$$

şeklinde yazılabilir. Böylece ekstrem değerler yerine, kayma gerilmesi değişimi (veya kama kuvveti değişimi) kullanılır.

Yorulma mukavemeti kontrolü, genel olarak açıklık ortasında yapılır. Bunun sebebi bu bölgede kesme kuvvetlerinin küçük, A/B oranlarının -1 e yakın olmasıdır. Bu şekilde küçülen kayma emniyet gerilmeleri açıklık ortasında kamalamanın sık yapılmasını gerektirir. ($D \approx 1,75d$)

Başlı bulon kamaların çekmeye zorlanması halinde göçme iki şekilde meydana gelmektedir:

- Bulonun kopması:

$$\text{Akma yükü} \quad \frac{\pi d^2}{4} \quad \sigma_F \quad (1.15a)$$

$$\text{Emniyet yükü} = \frac{\pi d^2}{2} \sigma_F \quad (\text{emniyet katsayısı } n = 2 \text{ veya küçük}) \quad (1.15b)$$

- Bulonun sıyrılması

$$\text{Göçme yükü} = 0,47 D h_s \beta_{w28}$$

$$\text{Emniyet yükü} = 0,235 h_s \beta_{w28} \quad (\text{emniyet katsayısı } n = 2)$$

D = bulon başı çapı

$$h_s = \text{gövde boyu (h-k)}, \quad h_{\min} = 3,5 d$$

Kayma ve çekme zorlamalarının birlikte etkimesi halinde kayma mukavemeti aşağıdaki faktör ile azaltılır:

$$D_{\text{kay}} > D_{\text{çek}} \quad \frac{2}{2 + (D_{\text{kay}} / D_{\text{çek}})} \quad (1.16a)$$

$$D_{\text{kay}} \leq D_{\text{çek}} \quad \frac{2}{3} \quad (1.16b)$$

Çekme kuvvetleri 1.15 bağıntıları yardımıyla hesaplanır.

1.7.2.İşletme Yükleri Altında Kama Kuvvetlerinin Hesabı

1.7.2.1.İşaret Kabulü

Kama kuvveti pozitif kabul edilir., şayet betona etki eden basınç kuvveti artan beton basınç gerilmeleri (veya azalan çekme gerilmeleri) yönünde ise, çelik kirişe aynı kuvvet ters yönde etki eder.

1.7.2.2.Yayıllı Boyuna Kayma Kuvvetleri

Kama kuvvetleri, temas yüzeyinde etki eden yayıllı boyuna kayma kuvvetleri e kama aralıkları ile çarpılarak elde edilir:

$$D = t \cdot e = Q \cdot e \frac{S_v}{I_v} = Q \cdot e \frac{a_b F_b / n}{I_v} \quad (1.17)$$

Yük olarak yalnız kompozit taşıyıcı sisteme etki eden yükler göz önünde tutulmalıdır. Enkesit değerleri bölüm 1.6.3.2.ve 1.6.3.4 e göre n oranlarının çeşitli

değerleri ile hesaplanmalıdır. I_v nin hesabında boyuna donatı alınmış ise, F_b/n boyuna donatı enkesit alanı kadar arttırılmalıdır.

1.7.2.3. Tekil Boyuna Kayma Kuvvetleri

Tekil kayma kuvvetleri enkesitin değiştiği yerlerde, süreksizliklerde, kirişe tekil kuvvetlerin geçtiği noktalarda meydana gelir.

Enkesitin ani değiştiği yerde meydana gelen tekil kayma kuvvetlerinin hesabında, beton plakta normal kuvvet için:

$$N_b = \int \sigma_b dF = M_v \frac{S_v}{I_v} \quad (1.18)$$

bağıntısı yazılır. Ani enkesit değişimlerinde:

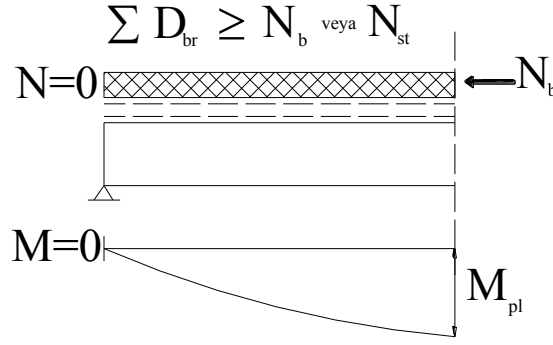
$$T = M_v \left[\left(\frac{S_v}{I_v} \right)_{sol} - \left(\frac{S_v}{I_v} \right)_{sağ} \right] \quad (1.19)$$

tekil kuvveti meydana gelir.

Açıklıkta enkesit ortaya doğru büyür. Çelik enkesiti büyüdükçe beton kuvveti daha da küçüldüğü için, tekil kayma kuvvetleri, Q_{max} dan doğan yayılı kayma kuvvetlerinin aksi yönünde meydana gelir. Bu nedenle bu kuvvetler boyutlandırmada hemen hemen hiç etkili olmazlar.

1.7.3. Kamaların Taşıma Emniyet Kontrolü

Her kompozit köprüde kamaların taşıma emniyeti tahkik edilmelidir. Sistem göçme yüküne ulaşmadan, kamaların göçmesiyle kompozit çalışmanın sona ermesini önlemek için, kiriş yeterince kamalanmalıdır: Kenar ayak veya moment sıfır noktası ile $M_p \lambda$ momentinin meydana geldiği nokta arasındaki kayma bölgesinde, kamaların toplam göçme kuvveti D_{br} göçme halinde olan betonun N_b kuvvetine eşit veya ondan büyük olmalıdır. (Şekil 1.9)



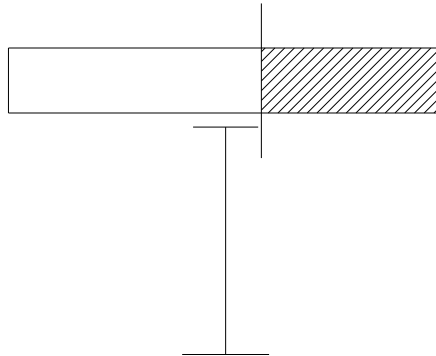
Şekil 1.9: Kamaların taşıma yüklerinin kontrolü.

D_{br} değerleri Bölüm 1.7.1.1. veya 1.12 ve 1.13 bağıntılarına göre, $N_b = N_{st}$ Bölüm 1.6.2.1 e göre hesaplanır. Negatif moment bölgesinde N_b nin yerini boyuna doantının akma yükü alır. (Bölüm 1.6.2.2.)

Bölüm 1.7.2. ye göre boyutlandırılan kamalar yukarıdaki koşulları sağlamadığı takdirde, kama sayısı arttırılmalıdır. Göçme durumunda kamaların dağılımı önemli değildir. Kama yoğunluğunun orantılı artması uygun olmaktadır.

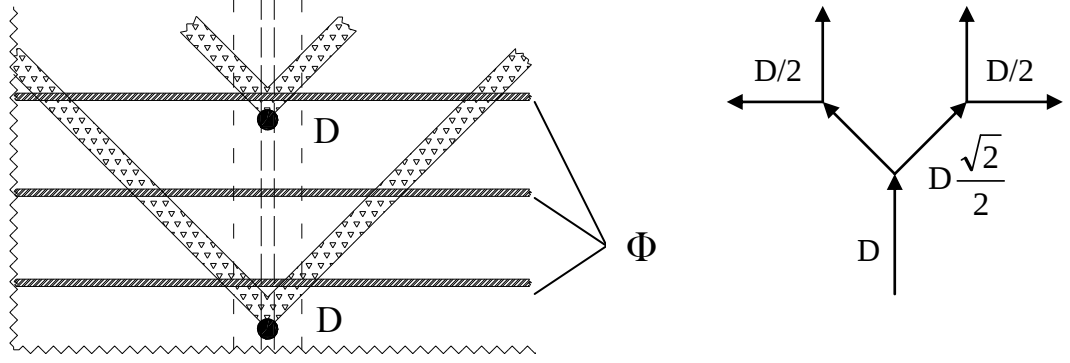
1.7.4.Beton Plakta Kayma Gerilmelerinin Kontrolü

Geniş tabliyeli veya alçak ana kirişli kompozit taşıyıcılarda boyuna kayma kuvvetleri önemli değerlere ulaşmaktadır. Şekil 1.10’da görülen kesitte beton kayma gerilmeleri (veya asal çekme gerilmeleri) kontrol edilir. Kritik kayma yüzeyi kamalar etrafında geçen en kısa kesit çizgisi boyunca da oluşabilir.



Şekil 1.10: Kayma gerilmesi kontrolü.

Emniyet gerilmeleri aşıldığı takdirde, yeterli mertebede kayma emniyeti sağlanmalıdır. Kama kuvvetinin 45° eğimli basınç diyagonalleriyle aktarılmasının kabul edilmesi halinde $D/2$ yatay bileşenleri iki kama arasında mevcut plak alt donatıları tarafından aktarılır. Yatay donatı yetersiz ise, bu donatı arttırılmalı veya kama kuvvetlerinin bir kısmı etriyelerle aktarılmalıdır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11: $D/2$ kuvvetlerinin aktarılması

2.MEVCUT STANDARTLARDA ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİ

2.1.Genel

Kirişli bir döşeme sistemi analizinde, tabladaki basınç bölgesi geniş bir basınç elemanı gibi davrandığından ve tablanın kiriş ile birlikte çalıştığı varsayılan genişliğinin hesabı için bir ön kabul gerekir.

Burada beton-çelik kompozit döşeme sistemlerindeki esas problem, 2 malzemenin elastik modülleri arasındaki gözle görülür farktır. Çelik kiriş, çekme gerilmelerini karşılarken göreceli olarak esnek olan beton oluşan basıncı karşılar ve bu da düzgün olmayan bir gerilme dağılımına yol açar. Bunların biri kirişten uzaklaşır yöndeysen, gövdeye yakın başlık elemanlarındaki kesme şekil değiştirmesine bağlı olarak, basınç gerilmesi dağılımında ani bir düşüş olur. Bu durum, kayma gecikmesi (shear lag) etkisi olarak adlandırılır.

Literatürde eğilme yükleri altında tablalı betonarme sistemlerin performansı ile ilgili oldukça fazla veri bulunmaktadır. Bu çalışmalar, köprü yapıları için **AASHTO (1994)** ve Alman standardı **DIN 1075 (1981)** gibi yabancı köprü standartlarının geliştirilmesinde rehber olarak kullanılmıştır. Temel düşünce, dış kuvvetleri karşılayacak olan etkili tabla miktarının gerçekçi bir şekilde belirlenmesidir.

Literatürde veya standartlarda yeterince üzerinde durulmamış olan ancak toplam tabla kesiti ile doğrudan ilişkili önemli bir konu da, kompozit sistemlerde mevcut olan eksenel kuvvetlerin karşılanmasında tablanın katılımıdır. **AASHTO LRFD (1994)** standartları beton kutu kirişlerin konstrüksiyonu ile ilgili olarak, beton kirişin alt köşelerinden çizilen 30 derecelik bir çizgiyle tablayı kesiştirmek suretiyle oluşturulmuş bir etkili tabla genişliği önerir. **DIN 1075 (1981)** yönetmeliği de 26 derecelik bir açı kabulü ile benzer bir öneri sunar .

Bu durumda, tablanın dayanıma katılım miktarını da göz önünde tutan sınırlı sayıda veri vardır. Bu yüzden, hesap aşamasında, düşük başlık basıncına maruz sistemler için, kompozit olmayan analiz metodlarından uyarlanan AASHTO ya da DIN yaklaşımlarından birini seçmek zorunda kalınır veya tablanın hesaba katılacak olan genişliği önceden kestirmek için yöntem geliştirilmelidir.

2.2.Geleneksel Yapılar İçin Etkili Tabla Genişliği

AASHTO (1996) standart yönetmeliğinde tablalı beton köprü sistemleri için yapılan geleneksel kabuller, açıklığa, tabla kalınlığına ve kirişler arası mesafeye bağlı olarak etkili genişliğin belirlenmesine izin verir. Özellikle, 10.38.3.1 ve 10.38.3.2 AASHTO bölümleri uyarınca:

10.38.3.1 kompozit kiriş yapımında T- kiriş başlık genişliği olarak kabul edilen, tablanın etkili genişliği aşağıdaki değerleri aşmamalıdır:

- kirişin tabla uzunluğunun 1/4'ü,
- kirişlerin eksenden eksene uzaklığı, kiriş aralıkları,
- en ince tabla kalınlığının 12 katı.

10.38.3.2 sadece tek tarafında tabla olan kirişler için, etkili tabla genişliği kiriş açıklığının 1/12 sini, tabla kalınlığının 6 katını ya da bir komşu kiriş ile eksenler arası mesafenin yarısını geçmemelidir.

Bu bağıntılar, yüklemelerin yalnızca kiriş düzlemlerinde ve tablaya dik olduğu temel prensibi üzerine kurulmuştur. Teorinin gelişimi, havacılık, gemicilik ve inşaat gibi farklı endüstrilerde ve farklı perspektiflerde gerçekleşmiştir.

Daha önce belirtildiği gibi, standartlarda, etkili tabla genişliği kavramının gelişimi, eksenel kuvvetler ve eğilme kuvvetleri için ayrı ayrı ele alınır. Bundan başka, eksenel yüklere göre yazılmış standartlar, öncelikli olarak tekil yük etkilerini gözönüne alırlar. Aşağıda, bu konudaki standartların bir kısmına değinilecektir .

2.3.Standartlardaki İlgili Maddeler

2.3.1.AASHTO LRFD (1994) İlgili Maddeler

AASHTO LRFD (1994) standartının 4.6.2 Yaklaşık Analiz Metodu başlıklı bölümünün, 4.6.2.6 etkili tabla genişliği bölümünde köprü yapıları için etkili tabla

genişliğinin belirlenmesinde yol göstermektedir. Anlatımın daha açık olması için, bu standartın ilgili bölümleri, altlarında açıklamasıyla birlikte verilmiştir:

4.6.2.6.1 Genel

Daha sade ve/veya daha özelleşmiş bir analizin yokluğunda, tüm sınır durumları için dayanımın/direnç belirlenmesinde kompozit davranışta etkin olarak alınan beton tablanın genişlik limiti, burada açıkça ele alınacaktır.

Etkili tabla genişliğini hesaplamada kullanılan etkili tabla açıklığı değeri, basit mesnetli döşemeler için tüm tabla açıklığı değeri ve sürekli döşemeler için yüklemenin geçici yükleme dönüşümleri arasındaki mesafe olarak alınır. Pozitif ve negatif momentler için aynı değer geçerlidir.

İç kirişler için, etkili tabla genişliği, aşağıda belirtilen değerlerin en küçüğü olacak şekilde alınabilir:

- etkili tabla açıklığının 1/4'ü,
- ortalama tabla kalınlığının 12 katına, kirişin üst başlık genişliğinin yarısı veya profil gövdesi kalınlığının büyük olanının ilave edilmiş hali,
- komşu kiriş ile arasındaki ortalama mesafe.

Dış kirişler için etkili tabla genişliği, komşu iç kirişin etkili genişliğin yarısına, aşağıdaki değerlerden en küçüğü ilave edilerek hesaplanabilir:

- etkili tabla açıklığının 1/8'i,
- ortalama tabla kalınlığının 6 katına, kirişin üst başlık kalınlığı 1/4'ü veya profil gövdesi kalınlığının yarısı değerlerinden büyük olanının ilave edilmiş hali,
- mesnet genişliği.

Başlıklardaki boyuna gerilme, düzlem içi kayma gerilmeleri tarafından profil başlığı ve kompozit döşeme tablası arasında paylaşılır. Bu yüzden, boyuna gerilme dağılımı düzgün değildir. Etkin tabla genişliği, gerçekte düzgün olmayan gerilme dağılımının tüm genişlik boyunca toplanmasıyla elde edilecek kuvvet değerine eşit kuvvet verecek bir sabit gerilme dağılımının genişliğidir. Dolayısıyla da azaltılmış bir değerdir.

Kapalı çelik kutular ve prefabrike beton kutu kesitler için, profil gövdesi kalınlığı, gövdenin en üst kısmında hesaplanmalıdır. Açık kutular için, kiriş aralıkları, profil gövdelerinin en üstünden hesaplanan mesafe olmalıdır.

4.6.2.6.2 Parçalı Beton Kutu Kirişler Ve Yerinde dökme Kutu Kirişler

Etkili tabla genişliği Şekil 2.1-2.4 arasında belirtildiği gibi alınabilir. Burada:

d_o = tabla derinliği (mm)

b = profil gövdesinin her 2 yanındaki tabla genişliği (mm)

$b_m = b_{mf}$ ve b_{ms} yi belirlemek için tabladaki ilgili kesitin açıklıktaki yerine bağlı Şekil 2.2 ile bağlantılı, genelleştirilmiş etkili tabla genişliği (mm)

b_{mf} = Bir açıklığın iç bölümleri için etkili genişlik (mm)

b_{ms} = iç mesnet veya konsol sistem için etkili flanş genişliği (mm)

a = Etkili tabla genişliği hesabında, Şekil 2.3’de gösterilen, gövdenin her 2 tarafındaki fiziksel tabla genişliği veya açıklığın 1/4’ünden küçük olanı olarak hesaplanan açıklık bölümü (mm)

l_1 = Şekil 2.2’de, b değerini belirlemek amacıyla şekil 1’de gösterilen açıklık miktarı

b_s = mesnet ve konsol sistemlerde etkili tabla genişliğini belirlemek için kullanılan katsayı

b_f = açıklığın iç bölümlerinde etkili tabla genişliğini belirlemek amacıyla kullanılan katsayı olmak üzere, aşağıdaki açıklamalar uygulanır:

- b gövdenin her tarafında tabla genişliği olarak alınacaktır. Şekil 2.3’deki b_1, b_2 veya b_3 ,
- $b \leq 0.3$ do için, tabla genişliğinde azaltma yapmaya gerek yoktur.
- $b > 0.3$ do için, etkili tabla genişliği Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’ye göre belirlenebilir.
- hiç bir durumda, ne b_{mf} ne de b_{ms} , b den daha büyük alınmayacaktır,
- simetrik olmayan yüklerin etkili tabla genişliği üzerindeki etkisi göz önüne alınmayabilir,
- b_{ms} nin değeri mesnete yakın olan etkili açıklık uzunluklarından büyük olan kullanılarak belirlenecektir, eğer bir açıklıkta b_{mf} , b_{ms} ’den küçükse, ilgili açıklık için etkili genişlik, komşu mesnet noktalarındaki etkili genişlikler olan b_{ms} ’leri birleştiren çizgi yardımıyla bulunur.

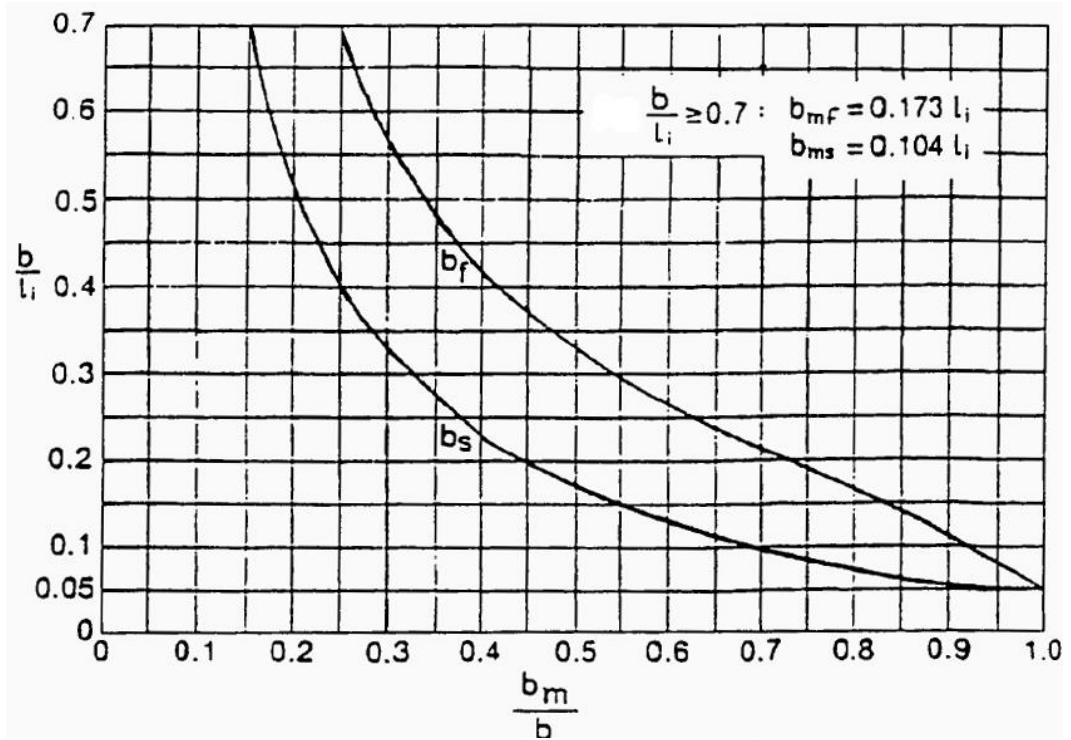
sistem	b_m/b değişimi
tek açıklıklı kiriş $l_i = 1,0 l$	
sürekli kiriş kenar açıklık $l_i = 0,8 l$ orta açıklık $l_i = 0,8 l$	
konsol sistem $l_i = 1,5 l$	

Şekil 2.1: Etkili tabla genişliği katsayıları (AASHTO 1994 Şekil 4.6.2.6.2-1)

Bu bölümde belirtilen prosedüre diğer bir seçenek de, 1983 Ontario Otoyol Köprü Tasarım Kodunun 3-10.2 nolu maddesinde bulunmaktadır. Bu maddede, eğilme dayanımı ve gerilme hesabında kullanılmak üzere, etkili tabla genişliğini belirlemek için bir bağıntı verilmiştir.

Tekerlek yükleri ve öncelikli boyuna eğilme gerilmelerine bağlı olan bölgesel 2 yönlü tabla eğilme gerilmelerinin süperpozisyonuna, normalde ihtiyaç yoktur.

Etkili tabla genişliği b_m ve b_{ms} , Şekil 2.2’de b_m/b olarak verilen b_f ve b_s katsayılarının ve Şekil 2.3 te belirtilen fiziksel uzaklık b ’nin yardımıyla hesaplanır.



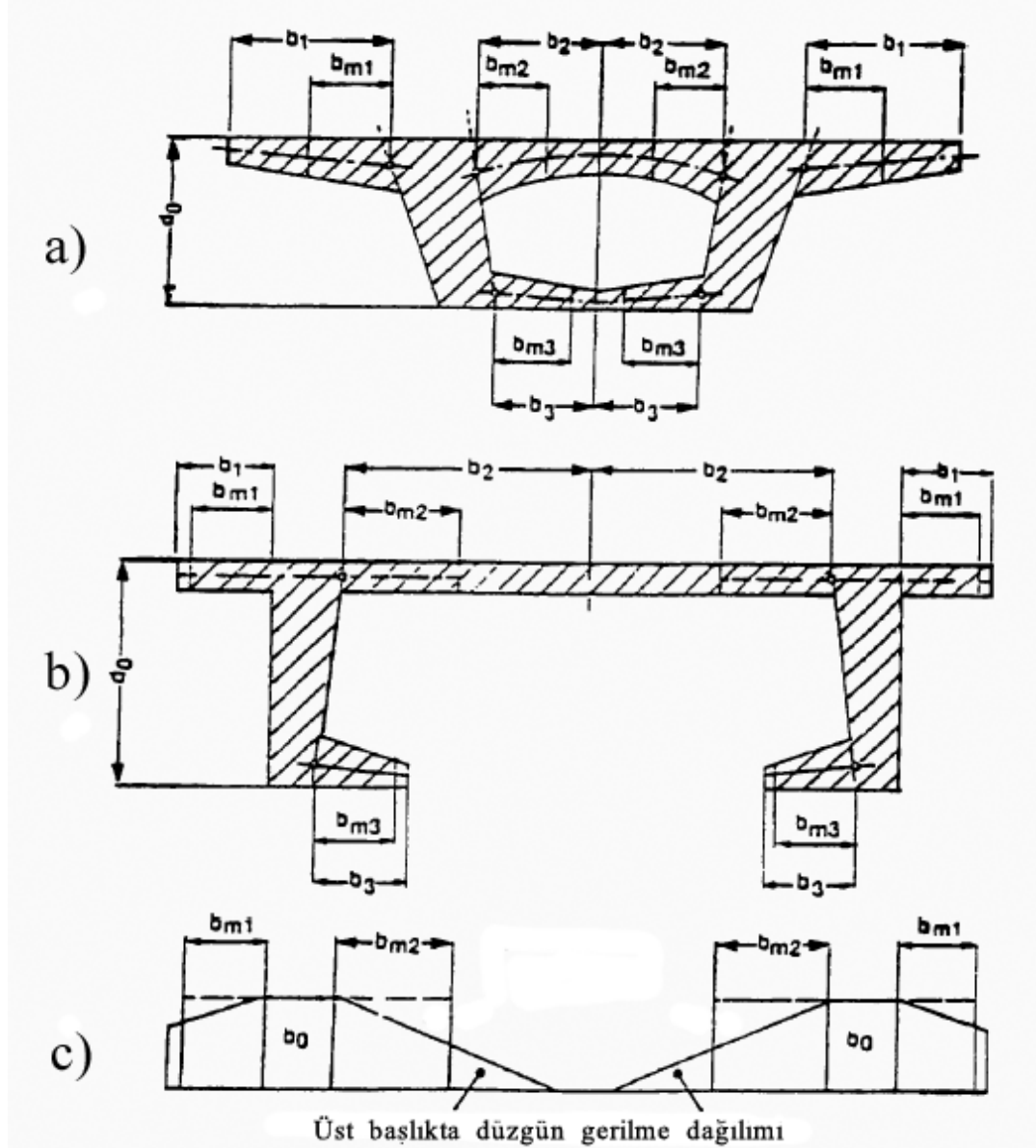
Şekil 2.2: Etkili tabla genişliği katsayıları (AASHTO 1994 Şekil 4.6.2.6.2-2)

Lokal ve global kuvvet etkilerinin süperpozisyonu için, global kuvvetlerin oluşturduğu gerilme dağılımı, Şekil 2.3 c ile uyumlu olarak düz bir çizgi şeklinde olduğu varsayılabilir.

Lineer gerilme dağılımı, başlık kuvvetinin değişmeden kalacağı ve gövdenin her 2 tarafındaki doğrusal gerilme dağılımının maksimum genişliğinin etkili başlık genişliğinin 2 katı olması koşullarını sağlayacak şekilde, sabit gerilme dağılımı kullanılarak belirlenmelidir.

Normal kuvvetler için kesit özellikleri, Şekil 4’deki verilere dayanarak ya da daha özenle yapılmış analizlerle belirlenebilir. Eğer lineer gerilme dağılımı maksimum genişliğe ulaşmadan serbest bir kenarı ya da birbirini kesiyorsa, lineer gerilme dağılımı bir trapezoiddir, aksi halde üçgendir. Bu, Şekil 2.3 c de gösterilmiştir.

Şekil 2.4 sadece art gerilme kablolarının ankrajlarına veya diğer tekil kuvvetlere bağlı dayanım hesapları için hazırlanmıştır ve kuvvet etkilerinin genel analizlerinde göz önüne alınmayabilir.



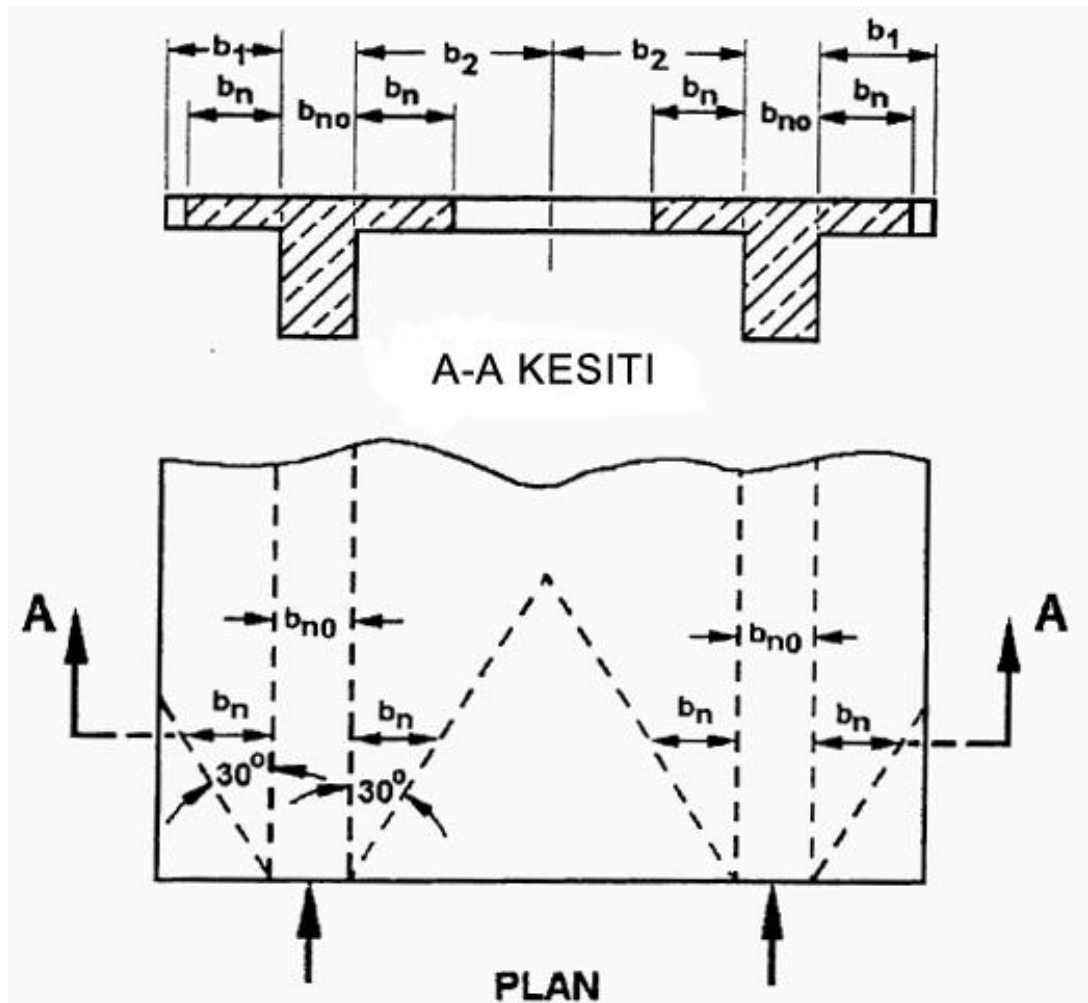
Şekil 2.3: Enkesitler ve eğilme-kesme etkileri için b_m , etkili tabla genişliği değerleri (AASHTO Şekil 4.6.2.6.2-3)

Yukarıda verilen standarttaki ifadeler ve açıklamalar, ilgili şekillerle birlikte kullanılarak, eğilme etkileri altında ortaya çıkacak olan tabla genişliğinin hesabı yapılabilir (ilgili şekiller Şekil 2.1'den Şekil 2.4'e kadar verilmiştir) . Bu değer,

sürekli açıklıklar için geçici yükleme dönüşümleri arasındaki mesafe olarak alınır ve hem artı hem de eksi momentler için geçerlidir

Özellikle belirtilmelidir ki, iç ve dış kirişlerin etkili tabla genişliği için verilen koşullar AASHTO (1996) standartlarında aynıdır.

Eksenel veya “normal” kuvvetler için etkili tabla genişliği Şekil 2.4 kullanılarak elde edilir. Komşu normal kuvvetlerin kesişim çizgileri haricinde tasarımda genişliğin sınırlandırılmış bir değeri için başka koşul verilmemiştir. Bunun mantıklı bir sonucu olarak, bu koşul, orijin noktasından yeterli bir uzaklıkta, tablanın tümünün eksenel kuvvet taşıdığı kabulünü doğuracaktır.



Şekil 2.4: Eksenel kuvvet etkileri için b_n , etkili tabla genişliği değerleri (AASHTO Şekil 4.6.2.6.2-4)

2.3.2.DIN 1075 İlgili Maddeler

Alman (DIN 1075) “Beton köprüler- Boyutlandırma ve İnşası ” yönetmeliği, “çalışan” veya etkili tabla genişliğinin belirlenmesi metodu için benzer bir öneri sunar. Bu standartın Çalışan Tabla Genişliği başlıklı bölümü olan 5.1.3, karşılaştırma amacıyla aşağıda yer almaktadır.

5.1.3 Çalışan tabla genişliği

5.1.3.1 Düzlem kesit parametrelerinin belirlenmesi için çalışan tabla genişliği

İzostatik ve hiperstatik sistemlerde, ön gerilme için düzlem kesit parametrelerini belirlerken, her durum için bir çalışan tabla genişliği kabulü yapılabilir.

Eğilme deformasyonlarını ve benzer birim deformasyonları belirlenirken, $b/I_i < 0.3$ koşulu altında tüm tabla genişliğinin çalıştığı kabul edilebilir. Bu amaçla, I_i Şekil 2.1’den alınabilir. $b/I_i > 0.3$ için, sabit bir çalışan tabla genişliği mesnetler arasında, yaklaşıklık olarak $b_m = p_f \times b$ değeri açıklığın merkezindeki değere eşittir kabulü yapılabilir (bakınız Şekil 2.2). Konsol sistemlerde, işlemlerde basitleştirme sağlamak amacıyla sabit bir çalışan genişlik $b_m = p_s \times b$ kullanılabilir (bakınız Şekil 2.2).

Tabla kalınlığındaki ve gövde yüksekliğindeki değişimlerden oluşan yataydaki gövde çıkma hareketlerinin ve çapraz kirişlerin etkilerinin çalışan tabla genişliği değeri üzerinde değişikliğe sebep olmadığı, genel bir kural olarak kabul edilebilir.

Boyuna kuvvetten kaynaklanan bölgesel yer parametreleri, giriş kısmındaki plak-teorisi sonuçları dikkate alınarak hesaplanabilir/tahmin edilebilir.

$0 \leq x \leq 2b$ şekil 2.4’dekine uygun olarak bir kuvvet artımı kabulü yapılabilir.

5.1.3.2 Boyutlandırma için çalışan tabla genişliği

Eğilme momentleri dolayısıyla oluşan gerilmelere maruz kirişlerin, eğilme ve kesme kuvveti boyutlandırması durumunda, Şekil 2.3 uyarınca, çalışan tabla genişliği daima göz önüne alınmalıdır. Antimetrik yük gruplarının sebep olacağı değişiklik genel bir kural olarak göz ardı edilebilir.

Başlık genişliklerinin $0.3 d_o \geq b$ olması durumunda, b_m tüm durumlarda b ’ye eşit kabul edilebilir (d_o , Şekil 2.3 uyarınca gövde yüksekliği). $b > 0.3 d_o$ durumu için çalışan tabla genişliği, eğer tatmin edici sonuç alınmazsa, Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 yardımıyla belirlenebilir. Bu bağlamda, açıklıkta $b_{mf} = p_f \times b$ ve mesnet üstünde $b_{ms} = p_s \times d$ olacaktır. Eğer gerekirse, sabit olmayan bir b değeri kullanılabilir.

ps nin belirlenmesi için, mesnete yakın olan etkili açıklıklardan büyük olanı baz alınır. Eğer bir açıklık bölgesinde $b_{mf} < b_{ms}$ ise, tüm tabladaki çalışan tabla genişliği, komşu mesnet noktaları üzerindeki çalışan genişlikler olan b_{ms} 'leri birbirine bağlayan çizgi ile uyumlu olacak şekilde seçilmelidir; bununla birlikte $b_m \leq b$ koşulu sağlanmalıdır.

Ön gerilmeden meydana gelen gerilmeler, normal kuvvet ve eğilme için ayrı ayrı belirlenir:

- Normal kuvvete halinde tabla genişliğinin tamamı.
- Eğilme momenti durumunda çalışan tabla genişliği değeri hesaplarda gözönüne alınır.

DIN 1075 yönetmeliğiyle ilgili şekiller, aşağıda yer alan AASHTO LRFD standartlarındakilere uygun biçimde şekil 2.1 dan 2.4'e kadar verilmiştir. Aşağıdaki tabloda şekiller arasındaki notasyon farkları belirtilmiştir.

Tablo 2.1: Standartlarda kullanılan notasyonlar.

Şekil	AASHTO	DIN 1075
2.1&2.2	b_f, b_s	p_f, p_s
2.3	b_o	σ_o
2.4	30°	26.5°

Halihazırda uygulanmakta olan bu standartlara ilişkin maddelerin uygulama ve açıklaması, bir sonraki bölümde yapılmıştır.

2.3.3.Eurocode 4 İlgili Maddeler

Eurocode 4 (1992) çelik ve beton kompozit yapıların tasarımı için hazırlanmış bir standarttır. **Eurocode 4 (1992)**'de kompozit döşemeler ve kirişlerde etkili tabla genişliğinin hesabına Bölüm 4.2.2'de yer verilmiştir.

4.2.2 Binalarda kompozit kirişler için etkili genişlik

4.2.2.1 Genel olarak etkili genişlik

- (1) Her bir kirişte açıklığın tümü için sabit bir genişlik değeri kabul edilebilir. Bu değer, iki ucundan mesnetli kirişlerde, açıklık ortasındaki etkili genişlik değeri, konsol sistemlerde ise mesnetteki etkili genişlik değeri olarak alınabilir.
- (2) Toplam etkili tabla genişliği, çelik kiriş gövdesi ekseninin iki yanında kalan tabla parçalarının etkili genişlik değerlerini (b_e) toplayarak elde edilir. Her bir parçanın etkili tabla genişliği, bir kirişe düşen toplam tabla genişliği olan b 'yi geçmemek üzere $b_e = l_o/8$ olacak şekilde hesaplanmalıdır.
- (3) Gerçek tabla genişliği olan b , bir kirişin gövde ekseninden, komşu kirişin gövde eksenine kadar olan mesafenin yarısı olacak şekilde göz önüne alınır ve beton tabla kalınlığının tam ortasında

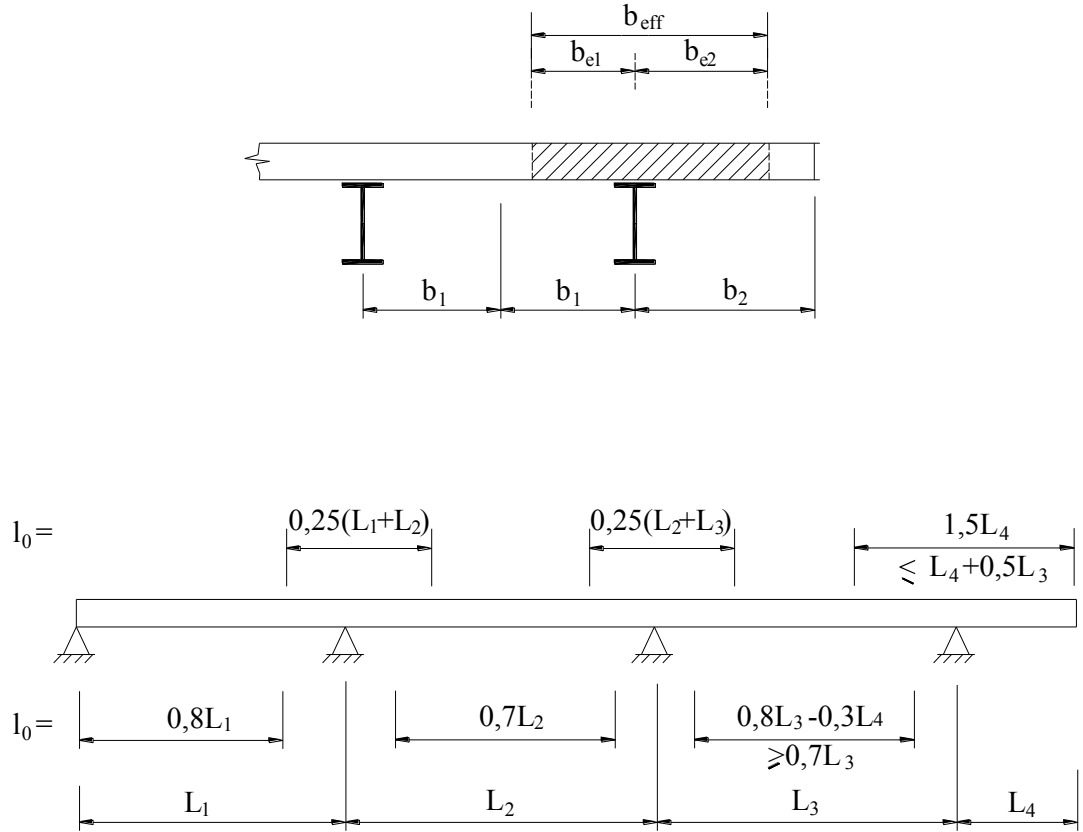
hesaplanır. Kenar kirişten sonra, tabla devam ediyorsa, b değeri, kiriş gövde ekseninden, boş uca kadar olan mesafe şeklinde göz önüne alınır.

- (4) l_0 değeri yaklaşık olarak eğilme momentinin sıfır olduğu noktalar arasındaki mesafedir. Basit kirişler için l_0 değeri kiriş açıklığına eşittir. Tipik sürekli kirişler için l_0 değeri Şekil 2.5'te gösterildiği gibi kabul edilebilir. Şekilde, mesnetlerdeki etkili genişlik bağıntıları kirişin üstünde, açıklıklardaki etkili genişlik bağıntıları ise kirişin altında gösterilmiştir.

4.2.2.2 Kesit kontrolleri için etkili genişlik değeri.

(1) Pozitif eğilme etkisindeki kesitlerde, 4.2.2.1'de verilen açıklık ortası değeri kullanılır.

(2) Negatif eğilme etkisindeki kesitlerde, 4.2.2.1'de verilen ilgili mesnete ait değer kullanılır



Şekil 2.5: Beton tabla etkin genişliği için eşdeğer açıklık değerleri (Eurocode4 şekil 4.3).

2.3.4.AISC İlgili Maddeler

Çalışan tabla genişliği b_{eff} ile ilgili olarak simetrik kesitlerde: I_x kirişler arası aks aralığı, l kiriş açıklığı, d tabla kalınlığı, b_{ao} çelik profil üst başlık genişliği olmak üzere:

$$b_{eff} \leq \begin{cases} I_x \\ l/4 \\ 16d_o + b_{ao} \end{cases}$$

değerlerinin alınmasını öngörmektedir.

2.4.Eksenel Kuvvetler İçin Etkin Tabla Genişliği

Doğrudan rijitlik analizi metodunun kullanılması, yapı içinde modellenen her bir eleman için eleman uç kuvvetleri üretir. 2 boyutlu bir analiz için, bu kuvvetler eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve momentlerden oluşur. 3 boyutlu model durumunda, eleman ve kuvvetler bu üçünün yanı sıra ek olarak enine kesme, enine moment ve burulma momenti de içerirler. Her iki durumda da boyuna kiriş sistem tasarımı kapsamında göz önüne alınması gereken kuvvetler sistemi, eksenel çekme ve basınç, esası eğilme momenti ve kesme kuvvetidir. Burulma kuvvetleri, enine kesme ve enine eğilme bu çalışma kapsamında yer almamaktadır. Ama tüm tasarım içinde en az diğerleri kadar önemlidir.

Sistem içerisindeki kompozit elemanlarda gerilme dağılımını belirlemek için, doğru kuvvet dağılımı hesaplanmalıdır. Bu sadece eğer elemanların rijitliği doğru modellenirse yapılabilir. Bu rijitlik terimleri daha sonra eleman yapısal rijitlik matrisinde yerlerine konur

Bir bileşik çubuk elemanının eksenel rijitliğini belirlemek için, kesit basit bir referans malzemeye dönüştürülür. Daha sonra 1.7.2 ve 1.7.3 bölümlerinde tanımlanmış standart maddelerinden yararlanılarak, boyuna kuvvetlerin uygulandığı bölgelerdeki boyuna elemanlarda etkili tabla genişliği belirlenir

Bir kez etkili tabla genişliği ortaya konduğunda, yapıdaki her bir boyuna çubuk için, rijitlik matrisinin eksen terimleri açıkça hesaplanabilir.

2.5.Eğilme Kuvvetleri İçin Etkin Tabla Genişliği

Geniş başlıklı kiriş kesitinin eğilme kuvvetleri için etkili tabla genişliği tasarımcıya daha büyük zorluk çıkarır. AASHTO ve Alman DIN 1075’de ele alınan standart maddeleri hemen hemen benzer olduğu halde, köprü tipi yapılara tam olarak uygulanması konusunda belirsizdir. Bölüm 1.7.2 de AASHTO LRFD standartlarında verilen kısaltmaları kullanarak, eğilme için etkili tabla genişliği değerleri b_{mf} ve b_{ms} aşağıdaki gibi hesaplanır.

Başlangıçtaki en kesit geometrisinden, Şekil 2.3 kullanılarak b sabiti elde edilebilir. Mevcut tabla genişliği “ b ” yi ortaya koymak için, her çubuk için “tahmini tabla uzunluğu” L_i ’ye gerek vardır. Bu parametre standartlarda, kablolu köprüler gibi elastik mesnetlenmiş kiriş sistemleri için açıkça belirtilmemiştir. Bununla birlikte, AASHTO LRFD standardı, bölüm 4.6.2.6.1, aşağıda rijit mesnetlenmiş kirişler için bir yöntem önermektedir:

Etkili tabla genişliğini hesaplamada kullanılan etkili tabla açıklığı değeri, basit mesnetli döşemeler için tüm tabla açıklığı değeri ve sürekli döşemeler için yüklemenin geçici yükleme dönüşümleri arasındaki mesafe olarak alınır. Pozitif ve negatif momentler için aynı değer geçerlidir.

Bu durumun mantıksal bir sonucu olarak, ilgili noktaya yerleştirilmiş birim yüke bağlı olarak oluşan moment işaret değiştirme noktaları, tabla uzunluğu boyunca tüm noktalar için tahmini L_i uzunluğunu belirlemede kullanılabilir. Başlangıç olarak rijitlik modelindeki tabla elemanlarına uygun olarak göreceli bir rijitlik tahmini yapılır.

Her bir kenar kiriş çubuğu için tahmini L_i uzunluğu atandıktan sonra, düşünülen yere bağlı olarak etkili tabla katsayıları b_f ve b_s yi belirlemek için Şekil 2.2 kullanılabilir. b_s kolon veya ankraj kolon yeri gibi rijit düşey mesnet bölgelerinde veya buna yakın yerlerde kullanılırken, b_f katsayısı, Şekil 2.1’de açıklandığı gibi açıklığın tüm iç bölümlerinde kullanılmaktadır. Yine bu bölgelerin sınırlarının belirlenmesinde standartlar yetersiz kalmaktadır ve tasarım-hesap sürecinin devamı için mühendislik öngörüsüne ihtiyaç vardır.

İlk etkili tabla genişliği belirlendiği zaman, tahmini uzunluk, kiriş kesitinin göreceli rijitliğine ilişkin orijinal kabulün sağlamasını yapmak için yeniden hesaplanmalıdır.

Genellikle tahmini uzunluğu önemli ölçüde değiştirmeyecek tatminkar bir etkili genişlik değeriinde fikir birliği sağlamak için tüm gereken basit bir iterasyondur.

şimdi, hem eğilme hem de eksenel kuvvet için etkili tabla genişliği hesaplanmış ve çalışma modeli standartlarda gereken çeşitli yükleme kombinasyonları ile analize hazır hale gelmiştir. Çubuk uç kuvvetleri gerekli yük kombinasyonlarının her biri için belirlendiği zaman, çubuk uç kuvvetlerini eksenel kompozit eleman ve eğilme kompozit eleman için ayrı ayrı uygulayarak gerilmeler hesaplanır. Eksenel kuvvetlerin ve eğilme etkilerinin birlikte olması durumunda, bulunan gerilmeler süperpoze edilir ve standartların dayanım ve servis durumu ile ilgili değeriileri karşılaştırılır.

Bu ön kabuller konuyla ilgili çeşitli analiz metotlarından elde edilen çok miktarda bilgiyi bir araya getirmektedir. Örneğin, Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges(1989)'in hazırlanmasında AASHTO LRFD standardındaki, Bölüm 4.6.2 “yaklaşık analiz metodu” ve Alman DIN standardı kullanıldı. Burada bahsedilen eksenel kuvvetler ve eğilme kuvvetleri kombinasyonu ile yüklü, elastik mesnetler üzerine oturan yapıların hesabı ile ilgili esasların, bu tasarım standartlarının hiçbirinde açıkça belirtilmediğinin özel olarak vurgulanmasında yarar vardır.

3.MÜHENDİSLİKTE ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİ

3.1.Genel

Bölüm 1.7 de, kompozit yapılar için etkili tabla genişliği ile ilgili tüm dünyada kullanılan mevcut standartlara değinilmiştir. Spesifik olarak , rijit mesnetlenmiş geleneksel yapılar için kullanılan standartlar olduğu gibi elastik mesnetlenmiş yapıların kullanımı için uyarlanmış alternatif bir metoda yer verilmiştir. Konu, sadece çelik ve beton kullanılan kompozit yapılarla sınırlanmış ve benzer uygulamaların yapıldığı diğer mühendislik alanları incelenmemiştir. Bu bölümde, tasarım için benzer etkili genişlik konseptleri kullanan diğer mühendislik alanları hakkında bir ön bilgi verilmeye başlanacak ve okuyucuya mühendislik tasarımında etkili genişliğin önemi ile alakalı bir tanıtım yapılacaktır.

3.1.1.Deniz Mimarisi

Bir yüzyıldan daha uzun süredir, gemi tasarımcıları öncelikli yapım malzemesi olarak çeliği kullanmışlardır. Bu gemilerin ekonomik tasarımı, güverte katmanları kadar dış kabuk yapısı için de, geniş ve göreceli olarak ince plaka kesitleri kullanımını gerektirmektedir. Normal yükleme durumlarında, omurganın üst ve alt bölümleri, mesnetlenme konfigürasyonuna bağlı olarak değişken boyuna çekme ve basınç yüklemelerine maruz kalmaktadır. Bu boyuna kuvvetlere ek olarak, çevredeki su basıncı ya da geminin taşıdığı herhangi bir iç kargo yükü nedeniyle oluşan bir normal kuvvet, dış kabuk üzerinde etkili olacaktır. Bu yükleme durumu şekil 2.1 de gösterilmiştir.

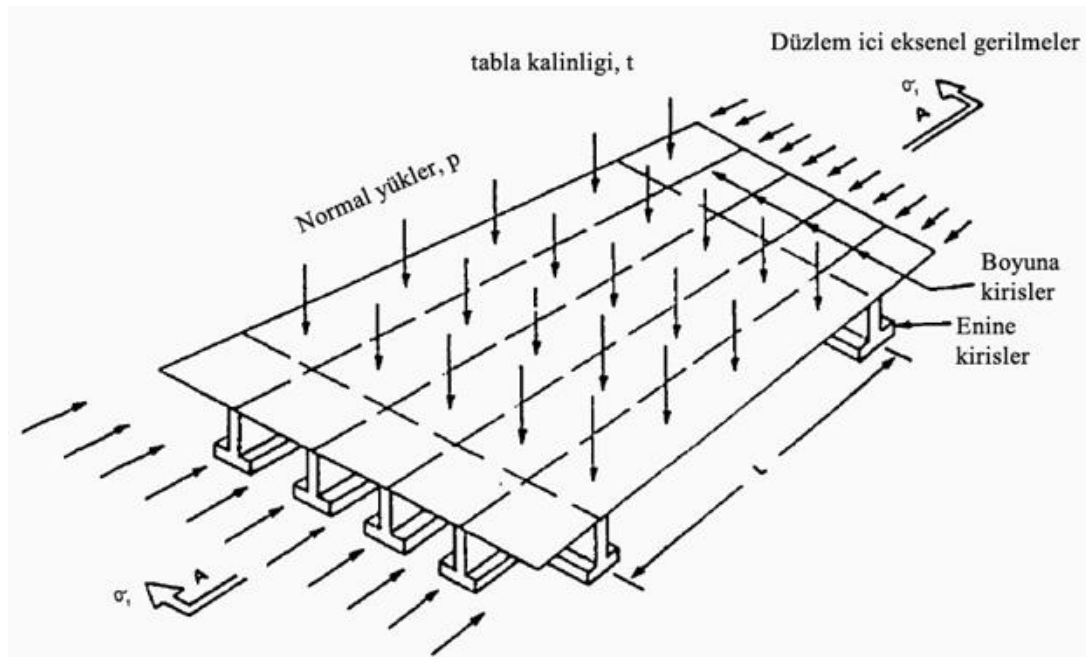
Birleşik Devletler Donanma Departmanı, Donanma Deniz Sistemleri Komuta Tasarım Veri Bildirisi DDS 100-4 (1982), “of kolonlar ve plak takviyeleri için etkili plak genişliği” için önerilerde bulunmaktadır. Bu dökümanda, etkili olduğu düşünülen “ b_e ” plak genişliği şu denklemle hesaplanabilir:

$$b_e = t \times 2 \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (3.1)$$

ve etkili genişlik b_e aşağıda yer alan 2 kriterden küçük olanını aşmamalıdır:

- çubuğun her 2 yanındaki açıklıkların toplamının yarısını
- mesnetsiz açıklığın (L) 33% ünü,

donanma gemileri tasarımı üzerine verdiği ders notlarında **Nappi(1998)**, etkili genişliği hesaplamak için yükleme durumuna bağlı olarak alternatif metodlar önermiştir.



Şekil 3.1: Deniz araçları yüklemeleri (Nappi)

Timoshenko (1961) Çekme ya da basınçla eksenel yüklenmiş plaklar için, plâğın burkulma dayanımına önem vermiştir ve nervürlü geniş plaklar için şu bağıntıyı kullanmıştır:

$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{max}}} \quad (3.2)$$

kenarlarından sürekli basit mesnetlenmiş kabul edilen bir plakta, sabit boyuna eksenel gerilme dağılımı bulunması halinde σ_{cr} değeri için:

$$\sigma_{cr} = \frac{4\pi^2 D h}{b^2} \quad (3.3)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntıda, h plak kalınlığı, D değeri plak sabitidir ve:

$$D = \frac{Eh}{12(1-\nu^2)} \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır. Bu iki denklemden yararlanarak σ_{cr} değeri için şu ifade bulunur:

$$\sigma_{cr} = 3,615E(h/b)^2 \quad (3.5)$$

Nappi incelenen plağın yeterli miktarda takviye edildiğini ve eksenel gerilmelerinin σ_{max} akma gerilmesini aşmayacak şekilde, bölgesel burkulmaları karşılayabileceği, kabulünü yapar. σ_{max} için F_y değeri yazılır ve 3.5 bağıntısı 3.2’de yerine yazılırsa b_e için şu ifade bulunur:

$$b_e = 1,9t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.6)$$

Bu bağıntı donanma tarafından **DDS 100-4 (1982)** bildirisindeki, burada 2.1’de verilen bağıntıyla benzerlik göstermektedir. Yazar bu çalışma sırasında bağıntılarla ilgili daha fazla türetme işlemi yapmamıştır.

Nappi, Eğilme etkisindeki plaklarda etkin genişliğin hesabı için **Schade (1951)** tarafından geliştirilmiş, geometriye dayanan şu bağıntıya atıfta bulunmuştur:

$$b_e = \frac{b(1,1)}{1 + 2(b/L)^2} \quad (3.7)$$

Bu bağıntıda L, takviye edilmiş plağın açıklık değeri, b ise takviyeler arası mesafedir.

Dowling ve Burgan, (1987) gemi inşasında etkin tabla genişliği ile alakalı pek çok başka çalışmalara atıflarda bulunmuşlardır.

Bu bölümdeki denklemler, yapısal mühendisliğin bu alanındaki etkili tabla genişliği kullanımına ilişkin temel bir bakış açısı kazandırmak amacıyla verilmiştir.

3.1.2.Uçak Mühendisliği

Etkili tabla genişliği kavramı üzerine ilk çalışmalar Birinci Dünya Savaşı döneminde havacılık endüstrisinde yapıldı. Kanatlarda kumaş yerine ince metal levhalar kullanılmaya başladıktan sonra, uçuş ekonomisi açısından toplam ağırlığı düşürmek daha da önemli bir hale geldi. Kanatları hafifletmek adına nervürlerle güçlendirilmiş metal kabuk elemanlar kullanılmaya başlandı. Bu kesitlerin hesabı basit eğilme teorisiyle ve düzlem yüzeyin düzlem kaldığı kabulüne göre yapıldı. Alınan numune kesitler üzerinde yapılan şekil fiziksel değiştirme ölçümlerinde, kabul edilenden çok daha karmaşık bir davranış biçimi gözlemlendi. Nervürlere yakın bölgelerdeki şekil değiştirme değerleriyle, nervürler arasında kalan kısımlardaki şekil değiştirmeler arasında ciddi farklar ortaya çıktı. Şekil değiştirmelerdeki bu farklılıkların, kesitin nervürlü bölgeleri civarında oluşan, büyük kesme deformasyonlarına bağlı olarak ortaya çıktığı düşünüldü. Nervürlü kesitlerdeki bu kesme kuvveti farklılıkları kayma gecikmesi (shear lag) etkisi olarak anılmaya başlandı ve **Dowling ve Burgan (1987)**'in yaptığı gibi, birçok araştırmaya yol açtı. Kiriş sehimini için yazılan diferansiyel denklemin çözümü için, enerji metodunu kullanan sonsuz trigonometrik seriler yazıldı ve 2.1 de verilen düşey kiriş sehimini bağıntısı kullanıldı.

Havacılık endüstrisinde bu ince ve nervürlü kesitlerin hesabı için, basitleştirilmiş kabuller yapıldı ve uzun yıllar bu konuyla ilgili daha ileri seviyede çalışma yapılmadı. Bu süre zarfında, hesaplamalarda, klasik eğilme teorisiyle elde edilen sonuçlar, düzeltme katsayıları uygulanarak kullanıldı. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, sonlu eleman analizi yöntemleri, daha büyük ve karmaşık problemlerin çözümlerine olanak tanımaya başladı. Bugün, sonlu eleman analizi kullanılarak, kayma gecikmesi etkisinin tüm etkilerini doğrudan hesaba katan, üç boyutlu modeller oluşturulmaktadır ve artık basitleştirilmiş analiz kabullerine gerek kalmamıştır.

3.1.3.Yapılar ve Köprüler

İnşaat mühendisleri de, genellikle bina döşeme sistemlerinde ve köprü tabliyelerinde bulunan düşey mesnetli, nervürlü plak elemanların tasarımında, etkili tabla genişliği kavramını kullanmışlardır. Bu yapı elemanları çok çeşitli boyutlarda ve biçimlerde olabilmekle birlikte genellikle yatay bir beton veya betonarme tabakanın, boyuna bir nervürle sürekli birleşimi şeklinde karşımıza çıkar. Bu tip bir yapıya en genel örnek olarak çelik kirişler ve üzerine oturan göreceli olarak ince bir beton plaktan oluşan geleneksel çelik ve beton bina döşeme sistemi verilebilir. Bu tip yapılarda, beton tabliye ve çelik kirişler, ara yüzlerinde kaynaklı bulonlar veya diğer kesme elemanları/kayma kamaları kullanılmak suretiyle, kompozit çalışma sağlanır. Bölüm 1’de bu tip bir konstrüksiyonun tanımı ve çalışma biçimi daha detaylı incelenmiştir. Etkin tabla genişliği kavramının kullanıldığı bir diğer yapı sistemi de ortotropik çelik sistemlerdir.

Moffatt ve Dowling (1975) , eğilme kuvvetleri etkisindeki çelik kutu kirişlerin etkili tabla genişliğinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmalarla, bu konuda önyak olmuşlardır. Moffat, tam olarak çalıştığı düşünülen tabla genişliği B_c ’nin esas tabla genişliği B ’ye oranı olarak, ψ , etkin tabla oranını kullanmıştır. Bu noktada detaya inilirse, B değeri, profil gövdesi eksen çizgileri arası mesafesinin yarısı veya profil gövdesi ekseninden tablanın boş ucuna kadar olan mesafe, olarak tanımlanmıştır. Farklı yükleme ve mesnetlenme biçimleri için ψ değerini veren bir bağıntı çıkarılmıştır. Açıklık değeri olan L , tabla genişliği olan B ve etkili tabla genişliği oranı olan ψ değerinin bilinmesi halinde, başlık-gövde birleşim bölgesindeki pik gerilme değeri hesaplanabilir. İlave olarak, Moffatt gövdeden uzaktaki bir başlık elemanındaki, ortotropik plaklardaki kayma gecikmesi (shear lag) etkisini de gözönüne alarak, boyuna gerilme miktarını belirlemek için de bir bağıntı sunmuştur.

$$\sigma_x = \sigma_m \left[\left(\frac{x}{4} \right)^4 + \frac{(5\psi - 1)}{4} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{B} \right)^4 \right\} \right] \quad (3.8)$$

Bu model, çelik kutu köprü sistemlerinin etkin tabla genişliğinin belirlenmesinde kullanılan standartların hemen tamamına bir temel teşkil etmektedir ve modifiye edilmiş benzer bir model **AASHTO (1994)** standartında bulunmaktadır.

Yapısal uygulamalarda, beton tabla ve çelik kirişlerden oluşan kompozit yapı sistemleri 1950’li yıllarda kullanılmaya başlandı. Başlangıcından itibaren, hesap aşamasında kolaylık sağlaması amacıyla pek çok kabuller yapıldı. Örneğin:

- Eğilme etkisi altında, düzlem kesit düzlem kalır.
- Eğilme etkileri altında, enkesitte düzgün bir boyuna gerilme dağılımı veren eşlenik gerilme bloğu, sistem kesitinde, çalışan beton bölgesini belirler/verir.
- Çelik ve beton arasında “tam kompozitlik” vardır ki bu, iki malzemenin, ara yüzeylerindeki şekil değiştirmelerin eşit olması anlamına gelir.

Lee (1962), havacılık ve gemi inşa endüstrilerinde kullanılan etkili tabla genişliği kavramının gelişiminde kullanılan teorilerin ve kabullerin, yapısal mühendislikteki kompozit kiriş ve döşemelerde uygulanamayacağını iddia eder. Lee’ye göre doğru olmayan kabuller öncelikle şunlardır:

- 1) Tablanın eğilme rijitliği, kirişin eğilme rijitliğiyle kıyaslandığında, ihmal edilebilir mertebededir.
- 2) Tablada oluşan gerilmeler, tabla kalınlığından bağımsızdır ve tabla kalınlığı boyunca değişmezler.
- 3) Tüm yükler, kirişlerin bulunduğu yerlerde ve çizgisel olarak etki eder.

Lee’nin çelik-beton kompozit döşeme sistemleri üzerine yaptığı incelemeler, tabla enine doğrultusundaki kayma gecikmesi (shear lag) kavramını açıklamaya yöneliktir fakat daha da önemlisi, bu çalışmalar, kompozit yapısal sistemlerin hesabındaki temel kavram olan etkili tabla genişliği ile ilgili çok önemli esaslar sunar.

Lee’nin etkili genişlik tanımı şöyledir:

Tablanın etkin genişliği, tabladaki boyuna gerilme değerinin, sabit ve kiriş gövdesinin üstündeki tablanın tarafsız ekseninde oluşan teorik gerilmeye eşit olması halinde, tabladaki gerçek kuvvete eşit kuvvet veren gerilme dağılımının genişliğidir.

Bu tanım, idealleştirilmiş, (dönüştürülmüş) bir sistemin hesabı için temel ilke olup, döşeme sisteminin tümünün veya bir bölümünün doğrusal rijitlik tekniği ile modellenmesinde kullanılır.

Adekola (1968), etkili tabla genişliğini, basit mesnetli, simetrik yüklü, eşit aralıklı çelik kirişler üzerine oturan bir beton plakta, yalnızca ölü yükler için inceledi. Bu çalışmada, çeşitli kiriş yüksekliği ve tabla kalınlığı kombinasyonları kullanıldı.

Adekola (1968)'nın çalışması konuyla ilgili iki noktaya dikkati çeker. Bunlardan ilki, basit mesnetlenmiş sistemlerde, açıklık boyunca, etkin tabla genişliği değerinin, noktasal yüklerin bulunduğu bölgelerde minimum değerini almasıdır. Ayrıca **Adekola (1968)**, büyük açıklıklı ve yeterli kalınlıktaki tablaya sahip sistemlerde, etkili genişlik değerinin, basit mesnetlenmiş sistemin açıklığı boyunca, fark edilir biçimde sabit olduğuna dikkat çekmiştir.

4.ETKİLİ TABLA GENİŞLİĞİNİN HESABI

4.1.Genel

Literatürde etkili tabla genişliği ile ilgilenen kaynaklar, etkili tabla genişliği kavramının tanımı konusunda birbiri içinde tutarlıdır ve Bölüm 1.7.1 de tanımlanan ve kullanımda olan standartların da temelini oluştururlar. Özellikle de **Lee (1962)** 'nin vermiş olduğu, yukarıdaki tanımdan yola çıkılarak denebilir ki, belirli bir kesit içinde, tabladaki boyuna gerilme değerleri biliniyorsa, tabladaki toplam kuvvet, bu gerilmelerin genişlik boyunca toplanıp, tabla alanıyla çarpılması suretiyle hesaplanabilir.

Kiriş açıklığının 1/25 inden daha kalın tablası olan kompozit döşeme sistemlerinde elastik analiz yaparken, kayma şekil değiştirmeleri büyük önem taşır. Aslında kesme yer değiştirmeleri normal gerilme dağılımının düzgün dağılı olmamasına ve tabla kesitinin düzlemselliğinin bozulmasına (kayma gecikmesi - shear lag phenomenon) sebep olur ki bu, De Saint Venant ilkesini yetersiz kılar.

Uygulamada, bu karmaşık analitik doğrusal hesaplamaların zorluğunu aşmak için etkin tabla genişliği ile ilgili kabuller yapılır. Bu hesapta döşemenin belirli kesitlerindeki maksimum gerilmeler elde edilir ve basit eğilme teorisi kullanılır.Kullanım kolaylığı açısından yönetmeliklerde ve standartlarda genellikle basitleştirilmiş formüller ve tablolar verilmektedir.Etkin tabla genişliği genellikle bazı parametrelerin fonksiyonu olacak biçimde ifade edilir. Bu parametreler şunlardır:

- Kirişler arası mesafenin ile döşeme açıklığının B/L oranı,
- Hesap yapılan kesitin kiriş boyuna doğrultusundaki yeri,
- Yükleme tipi ve kirişler için mesnetlenme şartları.

Plastik hesap için standartlarda genellikle elastik hesap için bulunan etkin tabla genişliği değerinin aynısının kullanılması önerilmektedir. Bu öneri, hesaplarda ciddi bir yaklaşıklığa sebep olur çünkü plastik hesapta, tabladaki normal gerilme, düzgün bir gerilme dağılımı verme eğilimindedir ve bu da etkin tabla genişliğinin artmasına yol açar. Etkin tabla genişliğindeki bu artış, yükleme kapasitesinde göz ardı edilemeyecek bir büyüme anlamına gelmektedir ki bu, özellikle de büyük açıklıklı döşemelerde ve kirişlerde, deneysel olarak incelenebilecek bir konudur.

Servis durumu için gerilme kontrolü yaparken kompozit kesitte kullanılan birleşim elemanlarının şekil değiştirebilme özellikleri önemli bir rol oynar. Ancak bu, etkin tabla genişliği hesabında genellikle ihmal edilir. Rijid bağlantı varsayımına göre yapılan hesaplarda bulunan etkin tabla genişliği, yarı esnek bağlantı varsayımına göre bulunan etkin tabla genişliğinden daha büyüktür. Bu durum, hem esnek kompozit hem de rijit kompozit durumlarında ortaya çıkar.

Lineer olmayan analiz yaparken, betonun çatlama durumu ve çeliğin de plastik davranış özellikleri hesaba katılmalıdır. Mevcut standartlardaki etkin tabla genişliği hesaplama yöntemleri ve halihazırdaki tablolar çoğunlukla elastik hesap ilkelerine göre düzenlenmiştir, dolayısıyla da plastik analize uygun değildirler. Plastik hesapta tabladaki normal gerilme tüm tabla boyunca neredeyse sabit olacak şekilde oluşur. Pozitif moment etkisi altında, plastik bölge, basınca maruz olan beton tablanın neredeyse tamamında artar. Benzer şekilde plastik bölge, negatif moment etkisi altında, çekmeye maruz tabla donatısının neredeyse tamamında artış gösterir. Bu durum yüksek b/l oranları için de geçerlidir. ($b/l > 0,40$)

4.2. Gerilme Analizi

Etkin tabla genişliği olan b_{eff} , elastik gerilme analizinde teorik olarak şöyle tanımlanır. Etkin tabla genişliği, tabladaki gerçek gerilme eğrisinin altında kalan alana eşit olan σ_{max} yüksekliğine sahip, sabit gerilme dağılımının genişliğidir. Gerilme dağılışı, tabla kalınlığı boyunca değişmektedir, bu yüzden etkin tabla genişliği tabla kalınlığının tam ortasındaki liflerde oluşan gerilme dağılımına göre belirlenir. Sonuç olarak kompozit bir kesit için şu genel bağıntı yazılabilir:

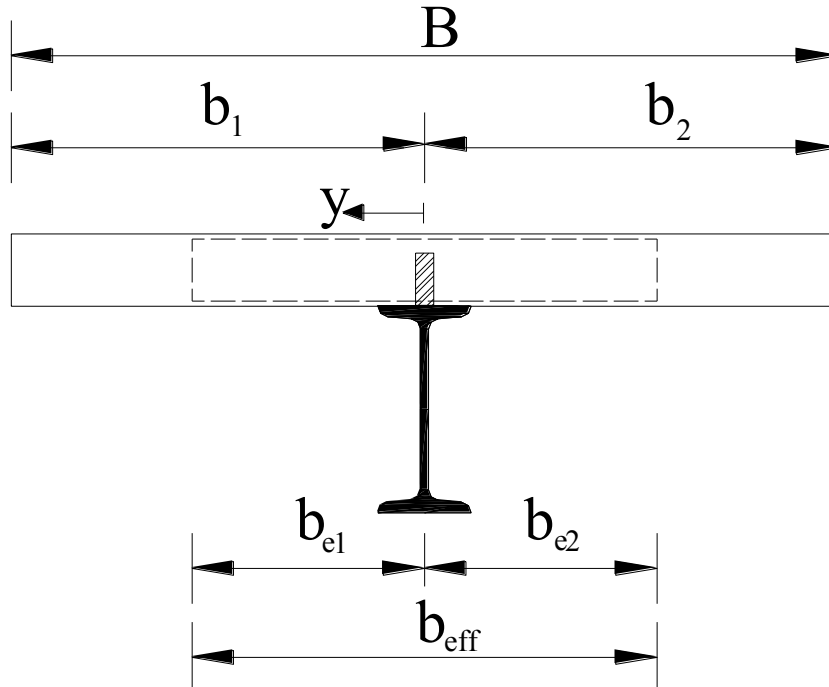
$$b_{ei} = \frac{1}{\sigma_{\max}} \int_0^{b_i} \sigma dy \quad (4.1)$$

Bu bağıntıda $b_1=b_2=b$ tabla genişliğinin yarısını göstermektedir. y eksenı kompozit kesitin simetri ekseninden geçmektedir. Toplam etkin tabla genişliği

$$b_{\text{eff}}=b_{e1}+b_{e2}$$

olup, b_{ei} yarım tabla için hesaplanmış etkin tabla genişliğidir. Tablanın etkin genişliği birçok parametreye bağlıdır:

- Tabla genişliğinin kiriş açıklığına oranı, B/L ,
- Hesap yapılan kesitin, kiriş boyuna doğrultusundaki yeri,
- Kompozit kirişin şekli,
- Çelik kirişin sınır ve yük koşulları,
- Tablanın sınır koşulları.



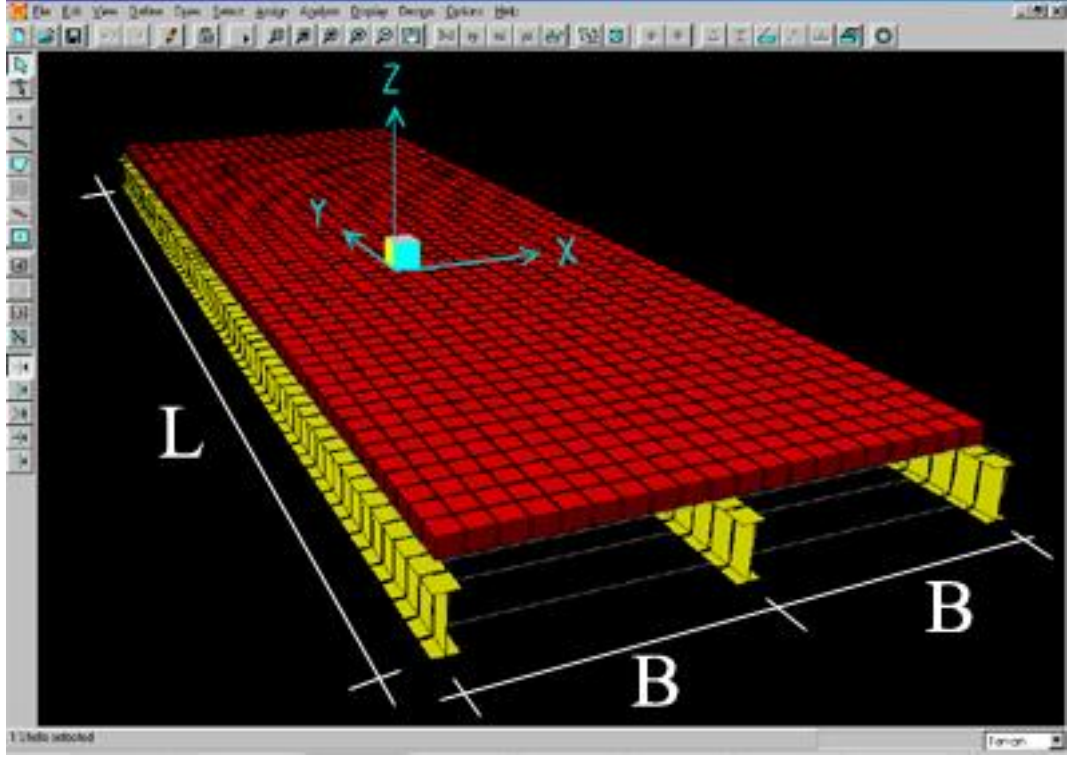
Şekil 4.1: Kompozit kesitte etkili genişlik.

4.3. Analizde Kullanılan Modeller

Etkin tabla genişliği hesabı için 20 farklı model kullanılmıştır. Bu modeller farklı kiriş açıklığı(L) ve kirişler arası mesafe(B) değerlerine sahiptirler. Modellerin L ve B değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Modellerdeki kompozit döşeme sistemleri 3 çelik kirişin üzerine oturan betonarme plaktan oluşmaktadır (Şekil 4.2). Kompozit döşeme iki ucundan basit mesnetlenmiştir. Betonarme tablanın kalınlığı, tüm modellerde sabit olacak şekilde 7 cm seçilmiştir. Beton kalitesi BS25 seçilmiştir. Betonarme tabla ile çelik kirişler arasında oluşacak kayma kuvvetini karşılamak üzere 16 mm çapında bulonlar kullanılmıştır. Yapılan analizlerle, her model için bulunan etkin tabla genişliği değerleri, karşılaştırmalı grafiklerde ve tablolarda özetlenmiştir.

Tablo 4.1: Sonlu eleman analizinde kullanılan modeller

Model ismi	B (Kirişler arası mesafe) cm	L(Döşeme açıklığı) m
KD50-5	50	5
KD50-6	50	6
KD50-7	50	7
KD50-8	50	8
KD75-5	75	5
KD75-6	75	6
KD75-7	75	7
KD75-8	75	8
KD100-5	100	5
KD100-6	100	6
KD100-7	100	7
KD100-8	100	8
KD125-5	125	5
KD125-6	125	6
KD125-7	125	7
KD125-8	125	8
KD150-5	150	5
KD150-6	150	6
KD150-7	150	7
KD150-8	150	8



Şekil 4.2: Modellenen kompozit döşeme sistemi.

4.4.Sonlu Eleman Analizi Yöntemiyle Etkili Tabla Genişliğinin Hesabı

Sonlu eleman analizi yöntemi, tasarım ve analiz aşamasında yapılan işlemleri basitleştirici kabullerin, ciddi hatalara yol açtığı bilindiği bir ortamda, üç boyutlu yapısal sistemlerin gerçekçi bir biçimde modellenmesine olanak tanır. Çalışmada sonlu eleman analizi programı olarak **SAP2000 v7.12** kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, kompozit döşeme sistemleri için, uygun bir üç boyutlu modelleme yaparak tabladaki boyuna gerilme dağılımının belirlenmesi ve beton tablanın, yük aktarımına katılan kısmının doğru biçimde hesaplanmasıdır.

Sonlu eleman analizi yöntemini kullanmadan önce, modeller üzerinde bir ön hesap yapılarak döşeme sistemini güvenli bir biçimde taşıyacak kiriş boyutları belirlenmiştir. Bunun için, her bir kirişin iki ucundan basit mesnetli olduğu ve iki tarafındaki döşeme alanının yarısını taşıdığı kabulü yapılmıştır. Bu kabullere göre yapılan hesaplarda, her bir döşeme modeli için seçilen kiriş boyutları, Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Ön hesapla belirlenen çelik profil boyutları.

Model ismi	Çelik kirişte oluşan maksimum moment (kgm)	Seçilen profil (NPI)
KD50-5	937,5	140
KD50-6	1350	160
KD50-7	1837,5	180
KD50-8	2400	200
KD75-5	1406,25	160
KD75-6	2025	180
KD75-7	2756,25	200
KD75-8	3600	220
KD100-5	1875	180
KD100-6	2700	200
KD100-7	3675	220
KD100-8	4800	240
KD125-5	2343,75	200
KD125-6	3375	220
KD125-7	4593,75	240
KD125-8	6000	260
KD150-5	2812,5	200
KD150-6	4050	240
KD150-7	5512,5	260
KD150-8	7200	280

Kompozit döşeme kesitinde, çelik kirişler ile beton döşeme arasındaki kayma kuvvetlerini güvenle aktaracak bulon sayısının belirlemesi gerekmektedir. Bulon sayısının hesabı için, hem beton kesitin hem de çelik profilin karşılayabildiği yatay kuvvet Eurocode 4, bölüm 6.2.1.1'e göre hesaplanmış ve bunlardan küçük olanı esas alınmıştır. Çelik profilin karşılayabildiği kuvvet için

$$F_s = \frac{A_s f_y}{\gamma_a} \quad (4.2)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntıda A_s çelik profilin alanı, f_y karakteristik çelik dayanımı ve γ_a çelik emniyet katsayısıdır. γ_a hesaplarda 1,15 alınmıştır.

Beton kesitin karşılayabildiği kuvvet

$$F_c = \frac{0,85A_c f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4.3)$$

bağıntısıyla elde edilmiştir. Bu bağıntıda A_c beton kesit için etkili alan, f_{ck} beton karakteristik dayanımı ve γ_c beton için emniyet katsayısıdır. γ_c hesaplarda 1,5 alınmıştır. A_c çalışan beton kesit alanı değeri için bir ön kabul yapmak gerekmektedir. Etkili tabla genişliği değeri için AISC’de belirtilen (bölüm 2.3.4) değerler öngörülmüştür.

Bulunan kuvvetin, kiriş üzerinde, artı momentin maksimum ve sıfır olduğu noktalar arasında, yeterli sayıda bulonla karşılandığı düşünülmektedir. Bir bulonun taşıdığı kesme kuvveti değeri Eurocode 4 bölüm 6.3.2.1’e göre:

$$P_{Rd} = 0,29\alpha d^2 \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{\gamma_v}} \quad (4.4)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntıda d bulon çapı, f_{ck} beton karakteristik dayanımı, E_{cm} beton için elastisite modülü değeri ve γ_v güvenlik katsayısıdır ve hesaplarda 1,25 alınmıştır. α , bulonun toplam boyunun çapına oranına h/d ’ye bağlı olarak belirlenir.

$$\alpha = 0,2[(h/d) + 1] \quad 3 \leq h/d \leq 4; \quad (4.5a)$$

$$\alpha = 1 \quad h/d > 4 \quad (4.5b)$$

Bir bulonun karşıladığı kuvvet hesaplandıktan sonra, kullanılması gereken bulon sayısı, karşılanması gereken kuvvetin, bulonun taşıyabildiği kuvvete bölünmesiyle hesaplanabilir:

$$n_{bulon} = \frac{\min(F_c; F_s)}{P_{Rd}} \quad (4.6)$$

Hesaplanan bulon sayısı, artı momentin maksimum ve sıfır olduğu noktalar arasına yerleştirilmesi gereken sayıdır. Döşeme sistemi iki ucundan basit mesnetli olduğu

için artı moment değeri açıklık ortasında maksimum değere ulaşır ve mesnetlerde sıfırdır. Bu durumda kirişteki toplam bulon sayısını hesaplamak için bulunan değer 2 ile çarpılır.

Sonlu eleman analizinde kullanılan modeller için yapılan ön hesapta bulunan bulon sayısı değerleri Tablo 4.3’de özetlenmiştir. Bu tabloda, V_c kompozit enkesit içerisinde, beton tablanın karşılayabildiği yatay kuvveti, V_s çelik profilin karşılayabildiği yatay kuvveti ve n, açıklık boyunca kullanılması gereken bulon sayısını göstermektedir.

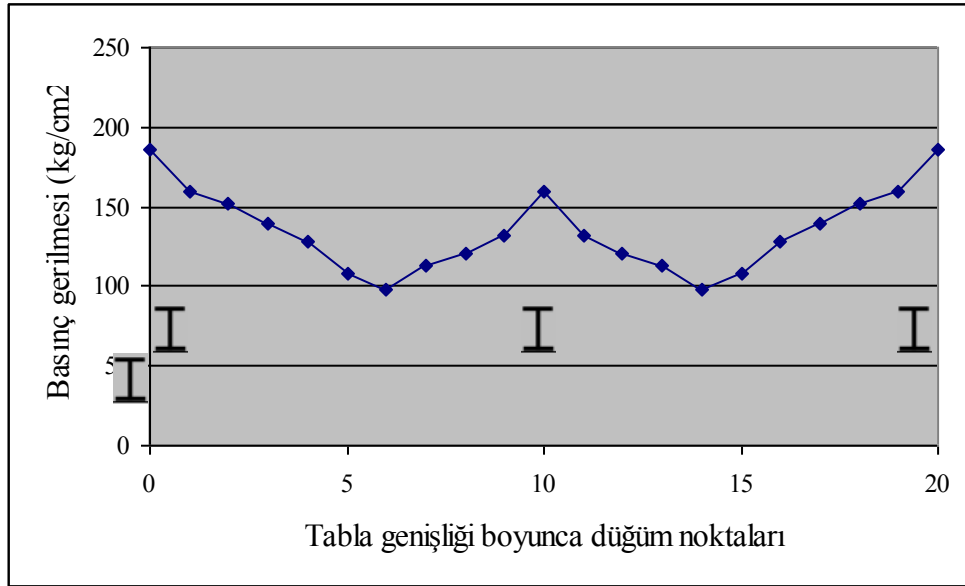
Tablo 4.3: Her model için kullanılacak kayma bağlantısı sayısı.

Model ismi	$V_c(t)$	$V_s(t)$	n (bulon sayısı)
KD50-5	39,67	21,96	14
KD50-6	39,67	27,36	18
KD50-7	39,67	33,48	22
KD50-8	39,67	40,20	25
KD75-5	59,50	27,36	18
KD75-6	59,50	33,48	22
KD75-7	59,50	40,20	26
KD75-8	59,50	47,52	30
KD100-5	79,33	33,48	22
KD100-6	79,33	40,20	26
KD100-7	79,33	47,52	30
KD100-8	79,33	55,32	35
KD125-5	95,99	40,20	26
KD125-6	96,63	47,52	30
KD125-7	97,26	55,32	34
KD125-8	97,82	64,08	41
KD150-5	95,99	40,20	26
KD150-6	97,26	55,32	35
KD150-7	97,82	64,08	41
KD150-8	98,29	73,32	47

İncelenen tüm kompozit kesitlerde, etkili tabla genişliği b_{eff} hesabı için aynı yöntem izlenmiştir. İlgili kesitlerdeki gerilme değerleri analizin ileri aşamaları için farklı bir dosyaya kaydedilerek bu kesitlerdeki toplam kuvvet, Q , kesit içindeki gerilmelerin tabla genişliği boyunca toplanmasıyla elde edilmiştir(Şekil 4.3):

$$Q = \sum_{i=1}^n \sigma_i t_s b_i \quad (4.7)$$

Bu bağıntıda, n bir kesit içerisinde gerilmeleri hesap edilen nokta sayısını, σ_i her noktadaki boyuna gerilme değerini, b_i ardışık noktalar arasındaki ortalama mesafeyi ve t_s , sabit tabla kalınlığı değerini göstermektedir.

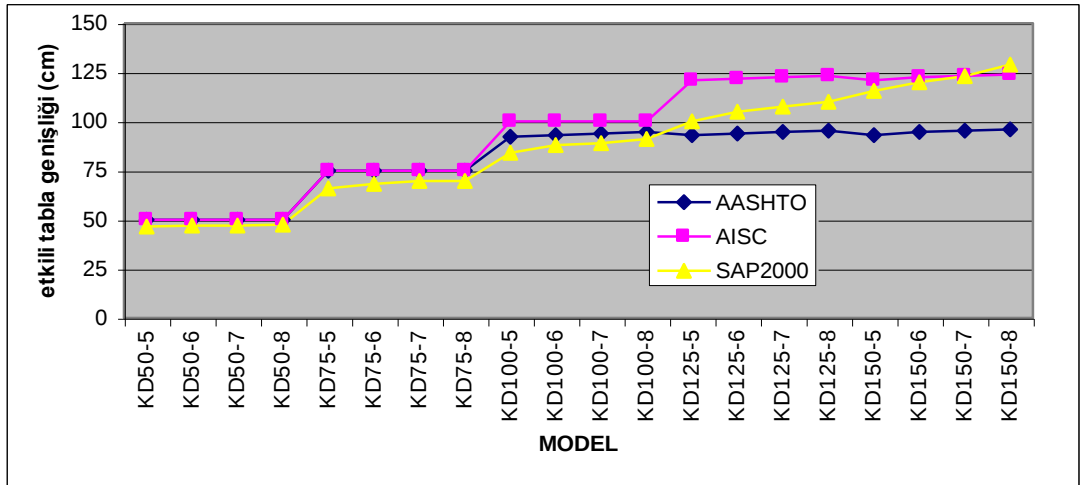


Şekil 4.3: Tabla içinde, boyuna basınç gerilmesi değerleri, Model KD100-6

b_{eff} etkili tabla genişliği değeri hesabı, tabladaki toplam kuvvet değeri, kesit içinde hesaplanan boyuna gerilme değerlerinden en büyük olanına bölünerek yapılmıştır. Her model için bulunan etkili tabla genişliği değerleri Tablo 4.4'de özetlenmiştir. Programla bulunan etkili tabla genişliği değerlerinin, mevcut standartlardan bulunan değerlerle karşılaştırması Şekil 4.4'de grafik olarak verilmiştir.

Tablo 4.4: Her model için hesaplanmış etkili tabla genişliği değerleri.

Model ismi	AISC (cm)	AASHTO (cm)	b_{eff} (cm)
KD50-5	50	50	46,5
KD50-6	50	50	47
KD50-7	50	50	47
KD50-8	50	50	47,5
KD75-5	75	75	66
KD75-6	75	75	68,25
KD75-7	75	75	69,75
KD75-8	75	75	69,75
KD100-5	100	92,2	84
KD100-6	100	93	88
KD100-7	100	93,8	89
KD100-8	100	94,6	91
KD125-5	121	93	100
KD125-6	121,8	93,8	105
KD125-7	122,6	94,6	107,5
KD125-8	123,3	95,3	110
KD150-5	121	93	115,5
KD150-6	122,6	94,6	120
KD150-7	123,3	95,3	123
KD150-8	123,9	95,9	129



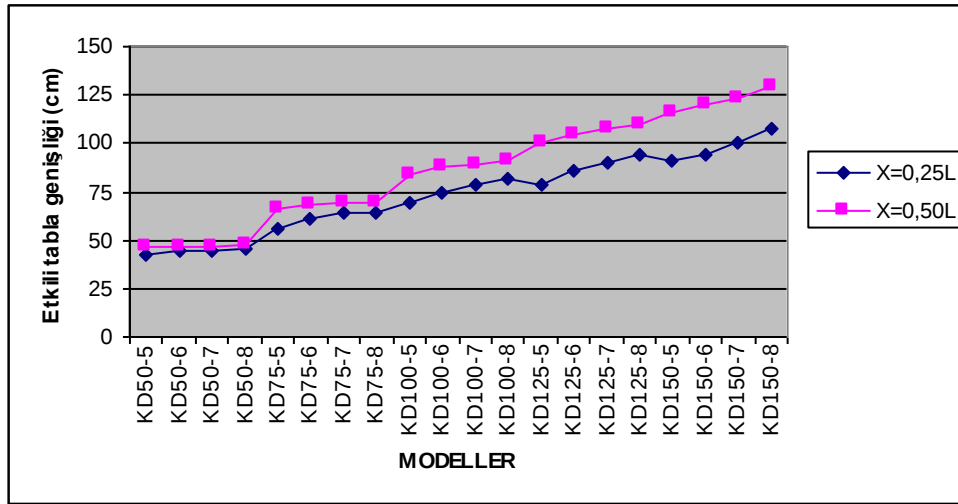
Şekil 4.4: Standartların ve analiz sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği.

4.5.Elde Edilen Sonuçların İrdelenmesi

Yapılan modellemede, etkili tabla genişliği değeri, açıklık ortasındaki kesitte ($x=0,50L$) hesaplandığı gibi, açıklığın $\frac{1}{4}$ 'ündeki kesitte de hesaplanmıştır ($x=0,25L$). Her model için bulunan etkili tala genişliği değerleri ve bu değerlerin kesit içindeki yüzdesi Tablo 4.5'de özetlenmiştir. Bu değerlerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Farklı kesitlerde hesaplanmış etkili tabla genişliği değerleri

Model ismi	beff ($x=0,25L$) (cm)	beff/B ($x=0,25L$)	beff ($x=0,50L$) (cm)	beff/B ($x=0,50L$)
KD50-5	42,5	0,85	46,5	0,93
KD50-6	44	0,88	47	0,94
KD50-7	44	0,88	47	0,94
KD50-8	45,5	0,91	47,5	0,95
KD75-5	56,25	0,75	66	0,88
KD75-6	61,5	0,82	68,25	0,91
KD75-7	63,75	0,85	69,75	0,93
KD75-8	63,75	0,85	69,75	0,93
KD100-5	69	0,69	84	0,84
KD100-6	75	0,75	88	0,88
KD100-7	79	0,79	89	0,89
KD100-8	82	0,82	91	0,91
KD125-5	78,75	0,63	100	0,8
KD125-6	86,25	0,69	105	0,84
KD125-7	90	0,72	107,5	0,86
KD125-8	93,75	0,75	110	0,88
KD150-5	91,5	0,61	115,5	0,77
KD150-6	94,5	0,63	120	0,8
KD150-7	100,5	0,67	123	0,82
KD150-8	108	0,72	129	0,86

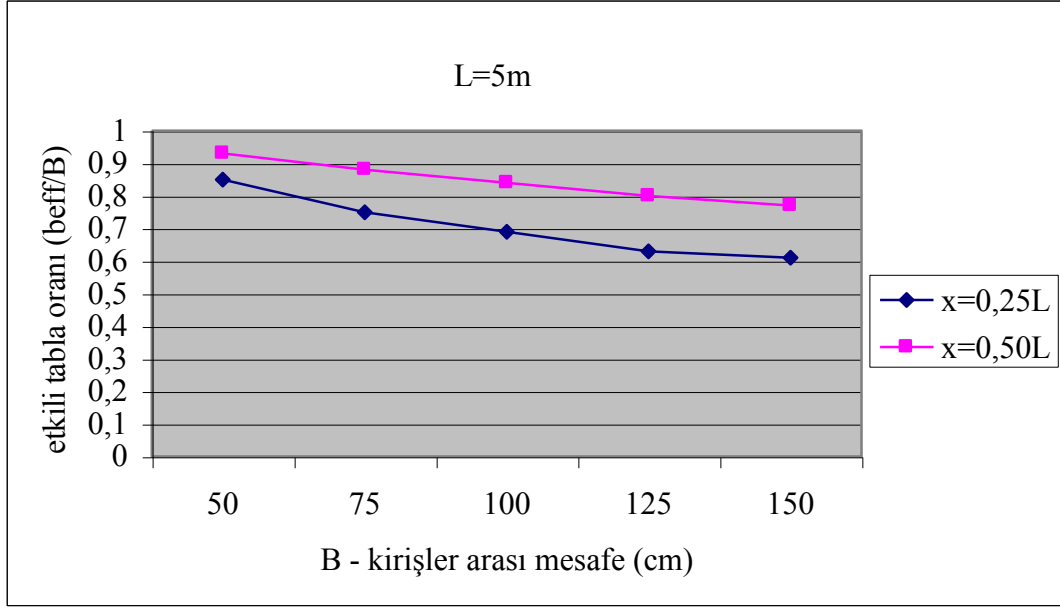


Şekil 4.5: Açıklığın ortasında ve $\frac{1}{4}$ 'ünde etkili tabla genişliği değerleri

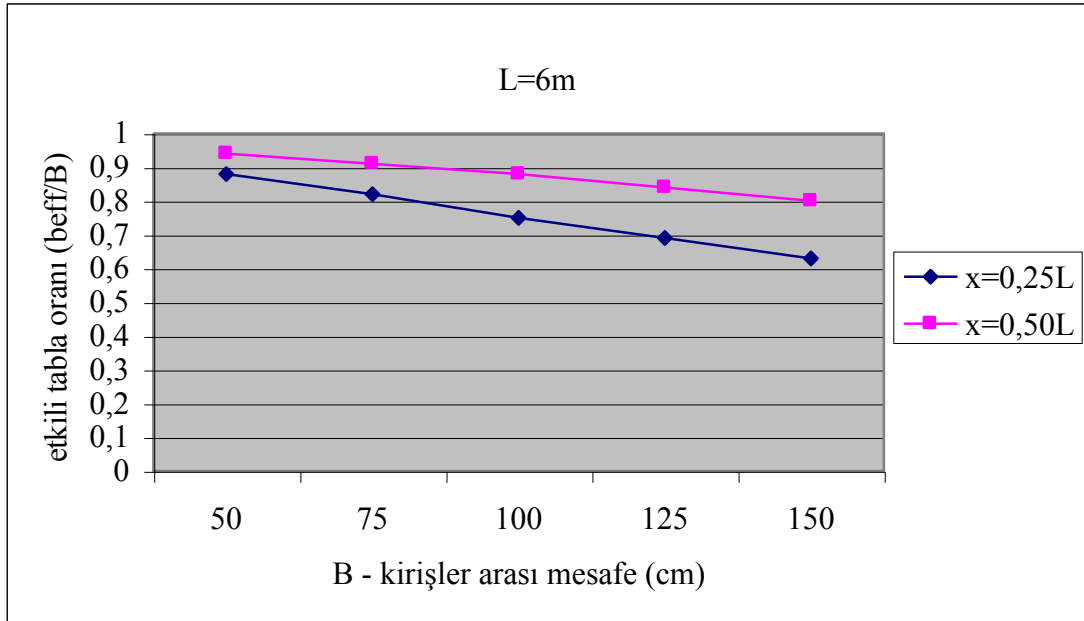
Kompozit döşemelerde kirişler arası mesafenin, etkili tabla genişliği değerine etkisini görmek için, üzerinde inceleme yapılan modeller açıklıkları sabit olacak şekilde gruplandırılmıştır. Böylelikle, döşeme açıklığı sabitken kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliği değerine etkisi açıkça görülmektedir. Bu değerler, Şekil 4.6a, 4.6b, 4.6c, 4.6d'de, açıklığın ortası ve $\frac{1}{4}$ 'ü için gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Açıklık ortasında b_{eff}/B oranları

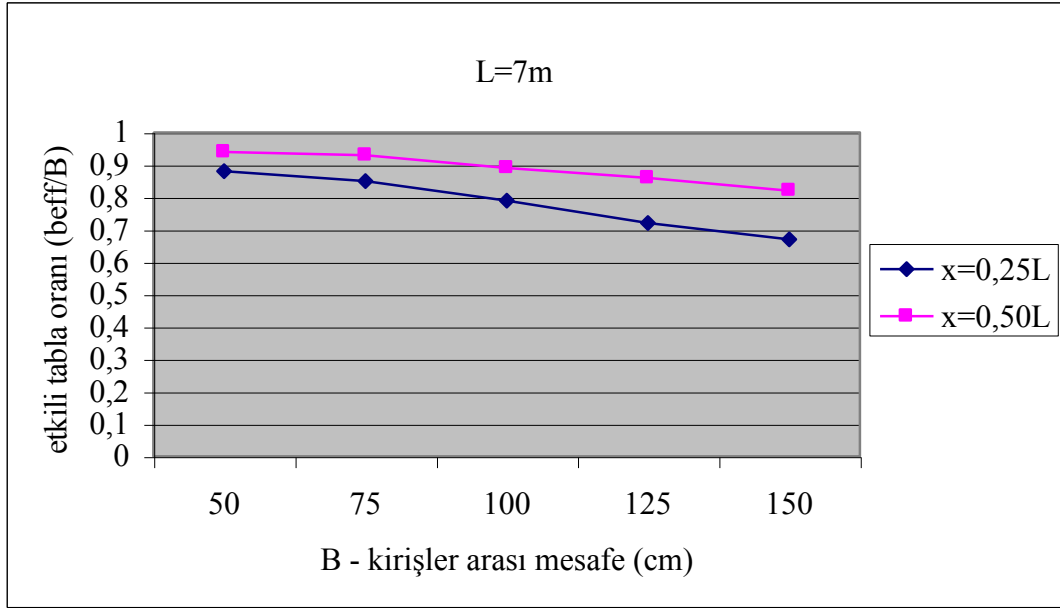
	L=5m	L=6m	L=7m	L=8m
B=50cm	0,93	0,94	0,94	0,95
B=75cm	0,88	0,91	0,93	0,93
B=100cm	0,84	0,88	0,89	0,91
B=125cm	0,80	0,84	0,86	0,88
B=150cm	0,77	0,80	0,82	0,86



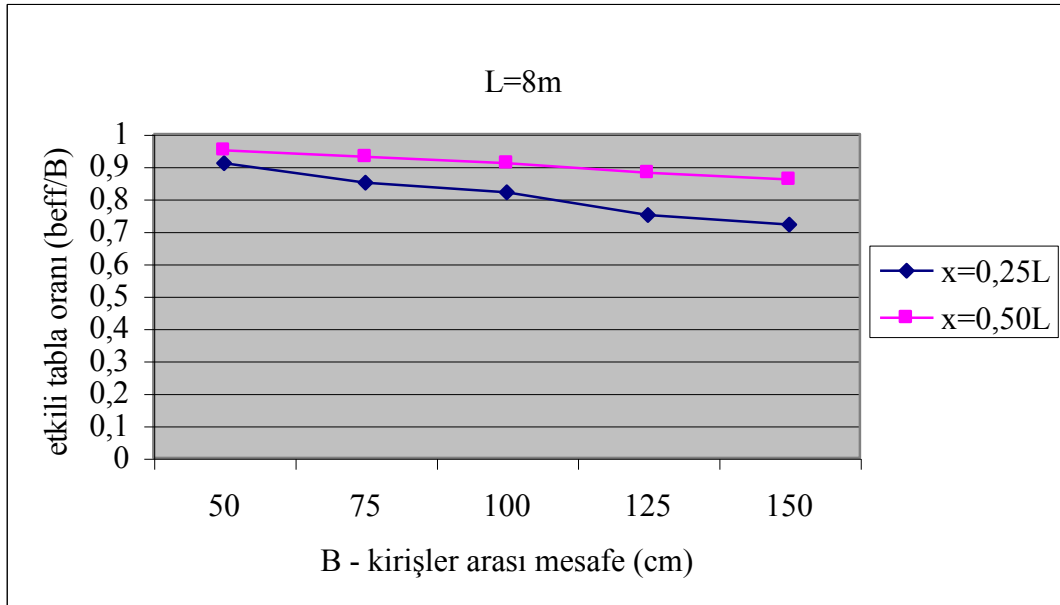
Şekil 4.6a: $L=5m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi



Şekil 4.6b: $L=6m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi



Şekil 4.6c: $L=7m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi



Şekil 4.6d: $L=8m$ için kirişler arası mesafenin etkili tabla genişliğine etkisi

5.SONUÇLAR

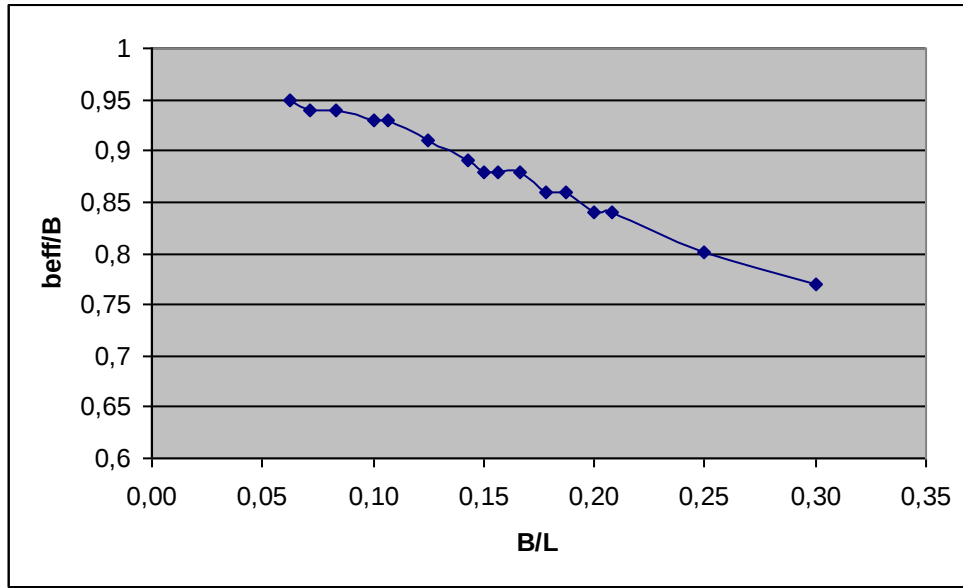
Yapılan çalışmalar sonucunda, kompozit döşemelerde, kiriş açıklığındaki (L) ve çelik kirişler arası mesafedeki (B) değişimlerin, etkili tabla genişliği değeri (b_{eff}) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İncelenen modellerde

- Döşeme açıklığının sabit olması halinde, kirişler arasındaki mesafe arttıkça, etkili tabla genişliğinin toplam tabla genişliğine oranının (b_{eff}/B) azaldığı.
- Kirişler arası mesafenin sabit olması halinde, döşeme açıklığı arttıkça, etkili tabla genişliğinin toplam tabla genişliğine oranının (b_{eff}/B) arttığı.

Görülmektedir. Buna göre, kirişler arası mesafenin döşeme açıklığına oranı (B/L) düşünülerek etkili tabla yüzdesi (b_{eff}/B) incelenirse, B/L oranındaki artışın b_{eff}/B değerini küçülttüğü gözlenmiştir. Bu durum Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1: B/L oranının b_{eff}/B değerine etkisi

B/L	b_{eff}/B
0,06	0,95
0,07	0,94
0,08	0,94
0,10	0,93
0,11	0,93
0,13	0,91
0,14	0,89
0,15	0,88
0,16	0,88
0,17	0,88
0,18	0,86
0,19	0,86
0,20	0,84
0,21	0,84
0,25	0,80
0,30	0,77



Şekil 5.1: B/L oranının b_{eff}/B değerine etkisi

Mevcut standartlarda, etkili tabla genişliği değeri açıklık ortasında hesaplanmıştır ve tüm açıklık boyunca aynı değer kullanılır. Yapılan çalışmada, açıklığın $1/4$ 'ünde etkili tabla genişliği değeri hesaplanmış ve açıklık ortasında hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. İki ucundan basit mesnetlenmiş bir kompozit döşemede, açıklık ortasından mesnetlere doğru ilerledikçe etkili tabla genişliği değerinin küçüldüğü görülmektedir.

Çalışma elastik hesap ilkelerine göre yapılmıştır. Mevcut standartlar hem elastik hem de plastik analiz için aynı etkili tabla genişliğinin kullanılmasını önermektedir. Bu durum plastik analiz için uygun değildir. Çünkü plastik analizde gerilmelerin yeniden dağılımı söz konusudur ve bu da etkili genişlik değerinin büyümesine yol açar. Ayrıca plastik hesapta göz önünde bulundurulması gereken başka parametreler de vardır. Bunlar, tabla donatısının miktarı ve sünegliği, negatif moment bölgesinde kolon bulunup bulunmaması, çelik kiriş kesitinin boyutları, kayma bağlantılarının sayısı ve özellikleri, tablanın kesme dayanımı ve yükleme tipi olarak özetlenebilir. Konuyu açıklığa kavuşturmak için, deneysel çalışmaların yapılması gerektiği açıktır.

KAYNAKLAR

AASHTO LRFD, (Load and Resistance Factor Design) 1994. Bridge Design Specification, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, USA.

AASHTO, 1996. Standart Specifications for Highway Bridges, Sixteenth Edition, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, USA.

AASHTO, 1994. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, USA.

Adekola, A.O., 1968. Effective Widths of Composite Beams of Steel and Concrete, *The Structural Engineer*, **46**, 285-289

AISC, 1980. Manual of Steel Construction 8th edition, *American Institute of Steel Construction*, Chichago

DDS 100-4, 1982. Strength of Structural Members, Design Data Sheet, *Department of the Navy, Naval Sea Command*, USA.

DIN 1075, 1981. *Deutsche Norm*, Berlin.

Dowling, P.J. and Burgan, B.A, 1987. Shear Lag in Steel and Composite Structures, a State of the Art Review, Composite Steel Structures, Narayanan Press, New York

Eurocode 4, 1992. Design of Composite Steel and Concrete Structures, *Eurocode Editorial Group*, Brussels, Belgium

Lee, J.A.N., 1962. Effective Width of Tee-Beams, *The Structural Engineer*, **40**, 21-27

Moffatt, K.R. and Dowling, P.J., 1975. Shear Lag in Steel Box Girder Bridges, *The Structural Engineer*, **53**, 439-448

Nappi, N.S., 1998. Lecture Notes on the Structural Design of Naval Sheeps, HNTB Corporation tarafından yayına hazırlanmıştır.

Schade, H.A., **1951**. The Effective Breadth of Stiffened Plate Under Bending Loads, *Trans SNAME*, **59**, 403-420

Timoshenko 1961. Theory of Elastic Stability, McGraw Hill Publishing Company, New York, London

ÖZGEÇMİŞ

Fatih SÜTCÜ 1979 yılında Konya’da doğdu. İlkokul Öğrenimini Ali İhsan Dayıoğlu İlkokulu’nda, orta ve lise öğrenimini Konya Anadolu Lisesinde tamamladı. 1996 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. Bu fakülteden 2000 yılında Ahşap ve Çelik Yapılar Bölümü’nden bitirme ödevi alarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programında lisans üstü programına başladı. 2001’de lisans üstü öğrenimine devam ederken, İ.T.Ü. Mimarlık fakültesi Yapı Anabilim Dalı’nın açmış olduğu araştırma görevlisi sınavını kazandı.

Halen aynı fakültenin Yapı Statik ve Betonarme Biriminde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.