KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN TASARIM ESASLARININ İRDELENMESİ VE TASARIM TABLOLARININ HAZIRLANMASI

MESUT CAZİM AKÇELİK

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN TASARIM ESASLARININ İRDELENMESİ VE TASARIM TABLOLARININ HAZIRLANMASI

MESUT CAZİM AKÇELİK

Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç. Dr. Fuad OKAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Dr. Öğr. Üyesi Melis TAŞKIN
Jüri Üyesi, Süleyman Demirel Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında, ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'te tanımlanan çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarım ilkeleri detaylıca incelenmiş, ülkemizde çelik yapı tasarımı yapan mühendis ve mimarların, çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarımında kullanabilecekleri pratik tasarım denklemleri geliştirilerek tasarım tabloları oluşturulmuştur.

Kocaeli Üniversitesi'ndeki eğitim sürem boyunca gerek lisans gerek yüksek lisans gerekse tez danışmanlığı döneminde ben ve tüm öğrencileri için hiç bir yardımı esirgemeyen, sadece bir eğitimci değil bir abla, bir arkadaş gibi öğrencilerinin daima yanında olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU'na gönülden teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi açıdan sürekli yanımda olan kıymetli aileme ve sevgili eşim Semiha Betül AKÇELİK'e de sonsuz minnetlerimi sunuyorum.

Ocak– 2020 Mesut Cazim AKÇELİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET xi
ABSTRACT xii
GİRİŞ 1
1. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLER 4
1.1. Tarihsel Gelişim 4
1.2. Kompozit Etkileşim 8
1.3. Üstün ve Zayıf Özellikler 10
1.4. Kompozit Davranış 12
1.4.1. Etkin döşeme genişliği 12
1.4.2. Etkin döşeme kalınlığı 13
1.4.3. Elastik davranış 14
1.4.4. Elastik ötesi davranış 22
1.5. Güncel Araştırmalar 26
2. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN TASARIM ESASLARI 30
2.1. Genel Esaslar 31
2.2. Dayanım Hesaplarında Kullanılan Yöntemler 32
2.3. Malzemeler İçin Sınır Koşullar 33
2.4. Etkin Döşeme Genişliği 34
2.5. Yapım Aşamasındaki Dayanım 35
2.6. Eğilme Rijitliği 35
2.7. Tasarım Eğilme Momenti Dayanımı 39
2.7.1. Pozitif karakteristik eğilme momenti dayanımı 39
2.7.2. Negatif karakteristik eğilme momenti dayanımı 42
3. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN KARAKTERİSTİK EĞİLME DAYANIMI HESABINDA KULLANILABİLECEK PRATİK TASARIM DENKLEMLERİNİN ÇIKARILMASI 45
3.1. PTE'nin Betonarme Döşemeden Geçtiği Durum 45
3.2. PTE'nin Çelik Profilden Geçtiği Durumlar 46
4. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLER İÇİN TASARIM TABLOLARININ OLUŞTURULMASI 56
4.1. Dayanım Tablolarının Oluşturulması 57
4.1.1. Tasarım denklemlerinin çıkarılması 57
4.1.2. Örnek profiller için dayanım tablolarının oluşturulması 65
4.1.3. Dayanım Tabloları 74
4.2. Atalet Momenti Tablolarının Oluşturulması 76
4.2.1. Atalet momenti denklemlerinin çıkarılması 77
4.2.2. Örnek bir profil için atalet momenti tablolarının oluşturulması 77
4.2.3. Atalet momenti tabloları 79
4.3. Tasarım Tablolarının Kullanılması 80
4.4. Tasarım Tablolarından Elde Edilen Dayanımların Etabs Progamından Elde Edilen Sonuçlarla Karşılaştırılması 84

5. AVRUPA I VE H-PROFİLLİ KOMPOZİT KİRİŞLERİN POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 86
5.1. Çelik Profillerin Tasarım Plastik Moment Dayanımlarının Karşılaştırılması 86
5.2. Kompozit Etkileşimin Pozitif Tasarım Eğilme Momenti Dayanımına Etkisi 88
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 98
KAYNAKLAR 103
EKLER 106
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 184
ÖZGEÇMİŞ 185

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Gömme kompozit kirişler 4
Şekil 1.2. Çelik ankrajlı kompozit krişler 4
Şekil 1.3. Kompozit kirişlerde kullanılan çelik kayma elemanları....5
Şekil 1.4. Kompozit kirişlerde kullanılan başlıklı çelik ankrajlar....6
Şekil 1.5. Spiral telden ve U-profilden oluşan çelik ankrajlar....6
Şekil 1.6. Kompozit köprü kirişleri....7
Şekil 1.7. Kompozit döşeme ile birlikte çalışan çelik ankrajlı kompozit kirişler 7
Şekil 1.8. Etkileşimsiz (solda) ve tam etkileşimli (sağda) kompozit kirişlerin düzgün yayılı yük altındaki eğilme davranışlarının karşılaştırılması 8
Şekil 1.9. Çelik bir kirişle betonarme döşemenin (a) etkileşimsiz, (b) kısmi etkileşimli ve (c) tam etkileşimli çalışması durumunda, bileşik kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımları 9
Şekil 1.10. Çelik bir kirişle betonarme döşemenin (a) etkileşimsiz, (b) kısmi etkileşimli ve (c) tam etkileşimli kompozit şekilde çalışması durumunda, bileşik kesitte oluşan normal gerilme dağılımları 10
Şekil 1.11. Çelik bir kirişle kompozit çalışan sonsuz genişliğe sahip olduğu düşünülen betonarme bir döşemede oluşan gerilmelerin gerçek ve yaklaşık dağılımları....12
Şekil 1.12. İç ve dış kompozit kirişlerde etkin döşeme genişliği 13
Şekil 1.13. Sac hadvelerine dik yerleştirilmiş bir kompozit kirişte etkin döşeme kalınlığı....14
Şekil 1.14 Sac hadvelerine paralel yerleştirilmiş bir kompozit kirişte etkin döşeme kalınlığı 14
Şekil 1.15. Kompozit çalışmayan I-kesitli çelik bir kirişte basit eğilme etkisinde oluşan normal gerilmelerin kesit yüksekliği boyunca dağılımı 15
Şekil 1.16. Basit eğilme etkisindeki tam etkileşimli kompozit bir kirişte oluşan (a) şekil değiştirme dağılımı (b) elastik gerilme dağılımı (c) dönüştürülmüş kesitte oluşan elastik gerilme dağılımı 16
Şekil 1.17. Dönüştürülmüş kompozit kiriş kesitinin elde edilmesi....17
Şekil 1.18. Alt-sınır atalet momenti hesabında kullanılan kompozit enkesit 22
Şekil 1.19. Plastik gerilme dağılımı yönteminde malemeleriçin kullanılan idealleştirilmiş gerilme şekil değiştirme ilişkileri....23
Şekil 1.20. Taşıma gücüne ulaştığında tipik bir kompozit kiriş kesitinde oluştuğu kabul edilen plastik gerilme dağılımı....24
Şekil 1.21. Plastik gerilme dağılımı yönteminde kullanılan idealleştirilmiş gerilme şekil değiştirme ilişkileri....25
Şekil 1.22. Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde olası plastik gerilme dağılımı 25
Şekil 2.1. ÇYTHYEY'ye göre etkin döşeme genişliği 34
Şekil 2.2. Kompozit kirişlerde rötre etkilerinin hesaplanması 38
Şekil 2.3. Kompozit kirişte pozitif eğilme momenti için genel plastik gerilme yayılışı....41
Şekil 2.4. Negatif moment etkisindeki çelik ankrajlı kompozit kirişlerde plastik gerilme dağılımı gösterimi....43
Şekil 3.1. PTE'nin betonarme döşemenin içinden geçtiği durumda kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı 46

Şekil 3.2. PTE'nin çelik profilden geçtiği durumlarda, kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımları 47
Şekil 3.3. PTE'nin çelik profilin eğrilik bölgesinde kaldığı durumda, kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı 51
Şekil 3.4. PTE'nin çelik profilin gövdesinde kaldığı durumda, kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı 53
Şekil 4.1. Dayanım tablolarında kompozit kiriş dayanımların listelendiği yedi PTE konumu 57
Şekil 4.2. PTE'nin (7) numarlı konumunun başlıkta kaldığı durum gösterimi..... 60
Şekil 4.3. PTE'nin (6) ve (7) konumunun eğrilik bölgesinde kaldığı durum gösterimi..... 61
Şekil 4.4. PTE'nin (6) konumunun eğrilik bölgesinde, (7) konumunun ise düz gövde bölgesinde kaldığı durum gösterimi..... 61
Şekil 4.5. PTE'nin (6) ve (7) konumunun düz gövde bölgesinde kaldığı durum gösterimi..... 62
Şekil 4.6. ÇYTHYEY Uygulama Kılavuzu Örnek 12.9 kompozit kiriş yerleşim planı 80
Şekil 4.7. S355 çelik kalitesine sahip IPE 450 profilin kullanıldığı tam etkileşimli kompozit kirişin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımının tasarım tablosundan okunması 82
Şekil 4.8. S355 çelik kalitesine sahip IPE 450 profilin kullanıldığı % 66 etkileşimli kompozit kirişin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımının tasarım tablosundan okunması 83
Şekil 4.9. S355 çelik kalitesine sahip IPE 450 profilin kullanıldığı % 66 etkileşimli kompozit kirişin alt-sınır elastik atalet momentinin tasarım tablosundan okunması..... 84
Şekil 4.10. ÇYTHYEY Uygulama Kılavuzu'nda Örnek 12.7'den uyarlanmış bir kompozit kiriş..... 84
Şekil 4.11. Şekil 4.10'da tanımlanan kompozit kirişin farklı kompozitlik oranlarındaki tasarım dayanımları için ETABS programından ve tasarım tablosundan elde edilen sonuçların karşılaştırılması..... 85
Şekil 5.1. S235 çelik kalitesine sahip HEA, HEB ve HEM çelik profillerin tasarım plastik moment dayanımlarının karşılaştırılması..... 87
Şekil 5.2. S235 çelik kalitesine sahip IPE ve IPN çelik profillerin plastik moment taşıma kapasiteleri..... 87
Şekil 5.3. (a) Y_2=50 mm, (b) Y_2=300 mm için, HEB profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın kompozitlik oranıyla değişimi..... 89
Şekil 5.4. Farklı Y_2 değerine ve %100 kompozitlik oranına sahip HEB profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın profil numarasıyla değişimi 90
Şekil 5.5. (a) Y_2=50 mm, (b) Y_2=300 mm için, %100 kompozitlik oranına sahip kirişlerde, farklı profil türlerinde gözlenen dayanım artışının profilin numarasıyla değişimi..... 91
Şekil 5.6. Farklı Y_2 değerine sahip HEB 100 profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın kompozitlik oranıyla değişimi..... 92
Şekil 5.7. Farklı kompozitlik yüzdelerine (k değerlerine) sahip HEB100 profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın Y_2 değerleriyle değişimi..... 92
Şekil 5.8. Farklı kompozitlik yüzdelerine (k değerlerine) sahip HEB1000 profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın Y_2 değerleriyle değişimi..... 93

Şekil 5.9. Y_2=50 mm ve farklı kompozitlik oranları için, HEA, HEM, IPE ve IPN profil gruplarındali en büyük ve en küçük numaralı profiller için elde edilen dayanım artışları.....94
Şekil 5.10. Y_2=300 mm ve farklı kompozitlik oranları için, HEA, HEM, IPE ve IPN profil gruplarındali en büyük ve en küçük numaralı profiller için elde edilen dayanım artışları.....95

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Pozitif eğilme momenti etkisindeki çelik ankrajlı kompoizt kirişlerde PTE′nin konumuna göre kirişin tasarım eğilme momenti dayanımını veren pratik denklemler 55
Tablo 4.1. Tezin kapsamında ele alınan I-enkesitli Avrupa hadde profilleri 56
Tablo 4.2. PTE′nin Şekil 4.1'de tanımlanan 7 farklı konumu için çıkarılan tasarım denklemleri 64
Tablo 4.3. S275 çelik kaliteli HEA 240 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları 66
Tablo 4.4. S355 çelik kaliteli HEB 360 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları 69
Tablo 4.5. S235 çelik kaliteli IPE120 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları 71
Tablo 4.6. S355 çelik kaliteli HEB800 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları 74
Tablo 4.7. S355 çelik kaliteli HEB800 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y_2=50 mm için alt-sınır elastik atalet momentleri 79
Tablo 4.8. Şekil 4.10'da tanımlanan kompozit kirişin farklı kompozitlik oranlarındaki tasarım dayanımları için ETABS programından ve tasarım tablosundan elde edilen sonuçların karşılaştırılması 85
Tablo 5.1. Y_2= 50 mm için, %100 ve ≅%25 kompozitlik oranlarında, ele alınan her profil grubundaki en küçük ve en büyük numaralı profil için hesaplanan dayanım oranları (artışları) 97
Tablo 5.2. Y_2= 300 mm için, %100 ve ≅%25 kompozitlik oranlarında, ele alınan her profil grubundaki en küçük ve en büyük numaralı profil için hesaplanan dayanım oranları (artışları) 98
Tablo A.1. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları 107
Tablo A.2. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları 126
Tablo A.3. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları 145
Tablo B.1. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları 165

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΣQ_n	:	Kompozit kirişte pozitif eğilme momentinin değerinin en büyük olduğu nokta ile sıfıra eşit olduğu nokta arasına yerleştirilen kayma elemanlarının toplam kayma dayanımı
σ_c	:	Betonda oluşan normal gerilme (N/mm^2)
σ_{max}	:	Kesitte oluşan en büyük normal gerilme (N/mm^2)
σ_s	:	Çelikte oluşan normal gerilme (N/mm^2)
σ_z	:	Normal gerilme (N/mm^2)
ε_c	:	Betonun birim şekil değiştirmesi
ε_s	:	Çelik profilin birim şekil değiştirmesi
Ω_b	:	Eğilme momenti için güvenlik katsayısı
Φ_b	:	Dayanım katsayısı
a	:	Kompozit etkileşime giren beton kalınlığı (mm)
b_e	:	Etkin döşeme genişliği (mm)
b_f	:	Başlık genişliği (mm)
d	:	Çelik profilin yüksekliği (mm)
d_1	:	Beton basınç kuvvetinin etkime noktası ile çelik profilin en üst kotu arasındaki dik uzaklık (mm)
d_2	:	Çelik enkesitte oluşan basınç kuvvetinin etki noktasının çelik profilin en üst kotu ile arasındaki dik uzaklık (mm)
d_3	:	P_{yt} kuvveti ile çelik profilin en üst kotu arasındaki mesafe (mm)
f_{ck}	:	Döşeme betonunun karakteristik basınç dayanımı (N/mm^2)
h	:	Düz gövde yüksekliği (mm)
h_r	:	Hadve yüksekliği (mm)
k	:	Kompozitlik oranı
n	:	Modüler oran
n	:	Çelik profilin eğrilik yarıçapı (mm)
t_c	:	Döşeme kalınlığı (mm)
$t_{c,eff}$	:	Etkin döşeme kalınlığı (mm)
t_f	:	Başlık kalınlığı (mm)
t_w	:	Gövde kalınlığı (mm)
t_{wd}	:	Dönüştürlmüş dikdörtgen genişliği (mm)
w_r	:	Hadve genişliği (mm)
y	:	Gerilme hesabının yapıldığı noktanın x eksenine dik uzaklığı (mm)
A_c	:	Beton alanı (mm^2)
A_e	:	Eşdeğer eğrilik alanı (mm^2)
A_s	:	Çelik profilin enkesit alanı (mm^2)
A_f	:	Başlık enkesit alanı (mm^2)
C, C_c	:	Döşemede oluşan basınç kuvveti (N)
C_{st}	:	Çelik profilde oluşan basınç kuvveti (N)
E_c	:	Betonun elastite modülü (N/mm^2)
E_s	:	Yapısal çelik için elastisite modülü (200000 MPa)
F_u	:	Yapısal çelik için karakteristik çekme dayanımı (N/mm^2)
F_y	:	Yapısal çelik için karakteristik akma gerilmesi (N/mm^2)
I	:	Elemanın enkesitinin eğilme düzlemindeki atalet momenti (mm^4)
I_{equiv}	:	Eşdeğer atalet momenti (mm^4)
I_{eff}	:	Etkin atalet momenti (mm^4)

I_{LB}	:	Alt-sınır atalet momenti (mm^4)
I_s	:	Çelik profilin atalet momenti (mm^4)
I_{tr}	:	Dönüştürülmüş kesitin elastik tarafsız eksene göre atalet momenti (mm^4)
I_x, I_y	:	Asal eksenlere göre atalet momenleri (mm^4)
I_{pos}	:	Döşemenin basınç etkisinde kaldığı pozitif eğilme momenti bölgesinde hesaplanan etkin atalet momenti (mm^4)
I_{neg}	:	Döşemenin çekme etkisinde kaldığı negatif eğilme momenti bölgesinde hesaplanan etkin atalet momenti (mm^4)
L	:	Eleman boyu (mm)
L	:	Açıklık (mm)
M_n	:	Karakteristik eğilme moment dayanımı (kNm)
M_{px}	:	Kuvvetli eksen etrafında plastik eğilme momenti (kNm)
M_x	:	Kuvvetli eksen etrafında eğilme momenti (kNm)
Q	:	Hareketli yük (kN)
P_{yc}	:	Çelik profilin akma sınır durumunda eksenel basınç kuvveti dayanımı (N)
P_{yt}	:	Çelik profilin akma sınır durumunda eksenel çekme kuvveti dayanımı (N)
R_a	:	GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım
R_n	:	Karakteristik dayanımı
R_u	:	YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım -
S_1	:	Çelik kirişler arasındaki mesafe (mm)
T_s	:	Döşemedeki boyuna donatıda oluşan toplam çekme kuvveti (N)
T_{st}	:	Çelik profilde oluşan çekme kuvveti (N)
Y_{ENA}	:	Elastik tarafsız eksenin çelik profilin alt kotundan mesafesi (mm)
$\overline{Y}$	:	Çelik profilde oluşan çekme kuvvetinin etki noktasının plastik tarafsız eksene olan uzaklığı (mm)
Y_c	:	Çelik profilde oluşan basınç kuvvetinin etki noktasının plastik tarafsız eksene olan uzaklığı (mm)
Y_1	:	Plastik tarafsız eksenin çelik profilin üst kotuna olan mesafesi (mm)
Y_2	:	Betonarme döşemedeki basınç bloğunun ağırlık merkezi ile çelik profilin üst kotu arasındaki mesafe (mm)
W_{ex}	:	Kuvvetli eksen etrafında elastik mukavemet momenti (mm^3)
$W_{e,equiv}$	:	Etkin elastik mukavemet momenti (mm^3)
$W_{e,s}$	:	Profilin çekme başlığına göre hesaplanan elastik mukavemet momenti (mm^3)
$W_{e,tr}$	:	Çatlamamış tam etkileşimli kompozit kesit için hesaplanan dönüştürülmüş kesit atalet momentinden çelik profilin çekme başlığına göre hesaplanan elastik mukavemet momenti (mm^3)
W_p	:	Plastik mukavemet momenti (mm^3)

Kısaltmalar

AISC	:	American Institute of Steel Construction (Amerika Çelik Yapı Enstitüsü)
ÇYTHYEY	:	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği
TBDY	:	Türk Bina Deprem Yönetneliği
GKT	:	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
PTE	:	Plastik Tarafsız Eksen
SDCSS	:	Specification for Design and Construction of Steel Structures (Çelik Yapıların Tasarım ve Yapımına Dair Yönetmelik)
SCM	:	Steel Construction Manual (Çelik Yapı Kılavuzu)
TS	:	Türk Standartları
YDKT	:	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN TASARIM ESASLARININ İRDELENMESİ VE TASARIM TABLOLARININ HAZIRLANMASI

ÖZET

Çelik ankrajlı kompozit kirişler, yapısal çelik profillerle betonarme döşeme arasındaki aderansın çelik ankrajlarla sağlandığı kompozit yapı elemanlarıdır. Kompozit kirişlerin eğilme momenti dayanımı, döşeme ile profil arasındaki etkileşim miktarına bağlıdır. Yeterli sayıda ankraj kullanıldığında, yüksek dayanımlı tam-etkileşimli kompozit kirişler elde edilebilirken, ankraj sayısı azaltılarak nispeten daha düşük dayanımlı ancak daha ekonomik kısmi-etkileşimli kompozit kirişler tasarlanabilmektedir. Ülkemizde, kompozit kirişlerin tasarım esasları, 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Dair Yönetmelik'te (ÇYTHYEY) Bölüm 12'de tanımlanmıştır. Bu tezin amaçlarından biri, I-kesitli çelik ankrajlı kompozit kirişler için ÇYTHYEY'de tanımlanan tasarım esaslarının, bu esasların alındığı temel yönetmelik olan AISC 360-16 yönetmeliğinde verilen esaslar çerçevesinde kapsamlı bir şekilde irdelenmesidir. Bu amaçla, iki yönetmelik karşılaştırılarak aralarındaki temel farklılıklar ortaya konmuştur. Çalışmanın diğer bir amacı, ÇYTHYEY'de tanımlanan tasarım esasları ile Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım (YDKT) yöntemini kullanarak, farklı etkileşim oranlarına sahip çelik ankrajlı kompozit kirişlerin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımlarını veren pratik tasarım formülleri türetmektir. Türetilen bu formüllerden yararlanılarak, ülkemizde yaygın şekilde kullanılan Avrupa I-profilli kompozit kirişlerin, Amerika Çelik Yapı Enstitüsü tarafından yayınlanan Çelik Yapı Kılavuzu'nda tanımlanan 7 farklı plastik tarafsız eksen konumu için, eğilme momenti dayanımları hesaplanmıştır. Farklı kesit/malzeme özellikleriyle farklı etkileşim oranlarına sahip elemanların dayanımları karşılaştırılarak, kompozit kirişlerin tasarım dayanımlarını belirleyen temel parametreler tespit edilmiştir. Çalışmanın bir diğer amacı da, ülkemizde kompozit kiriş tasarımı yapan mühendis ve mimarlara pratik tasarım tabloları sunmaktır. Bu amaçla tezde, Amerikan I-profilli kompozit kirişler için Çelik Yapı Kılavuzu'nda sunulan tasarım tablolarına benzer tablolar, ülkemizde yaygın şekilde kullanılan kompozit kirişler için de oluşturulmuş ve sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYEY), Kısmi Etkileşim, Kompozit Kiriş, Pozitif Tasarım Eğilme Momenti Dayanımı, Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım (YDKT).

REVIEW OF DESIGN RULES FOR COMPOSITE BEAMS WITH STEEL ANCHORS AND PREPARATION OF DESIGN TABLES

ABSTRACT

Composite beams with steel anchors are composite structural members in which the bond between the reinforced concrete slab and the structural steel beam is provided through steel anchors. The flexural strength of a composite beam depends on the amount of interaction between the slab and the beam. In Turkey, the design rules for composite beams are defined in Specification for Design and Construction of Steel Structures (SDCSS) which was published in 2016. One of the objectives of this thesis is to review thoroughly the design rules given in SDCSS within the framework of the guidelines defined in the reference specification AISC 360-16. With this purpose, two specifications are compared and the main differences between them are revealed. Another aim of the study is to derive practical design expressions for the design positive flexural strengths of composite beams with different interaction ratios by using the guidelines given in SDCSS and the Load and Resistance Factor Design (LRFD). By utilizing the derived expressions, the flexural strengths of composite beams comprised European I-shaped steel profiles widely-used in Turkey are computed for seven different positions of plastic neutral axis defined in Steel Construction Manual (SCM) published by American Institute of Steel Construction. By comparing the flexural strengths computed for different sectional/material properties as well as different interaction ratios, the principal parameters controlling the design strength of composite beams are determined. The thesis also presents practical design tables similar to those given in SCM for engineers and architectures who design composite beams in our country.

Keywords: Specification for Design and Construction of Steel Structures (SDCSS), Partial Interaction, Composite Beam, Design Positive Flexural Strength, Load and Resistance Factor Design (LRFD).

GİRİŞ

Kompozit yapı elemanları; çelik, beton, ahşap, alüminyum, lifli polimer gibi farklı gerilme-şekil değiştirme ilişkisine sahip yapı malzemelerinin aralarında yeterli bağ (aderans) sağlanarak beraber çalıştırıldığı taşıyıcı elemanlardır. Beton ile donatı çeliğinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen betonarme yapı elemanları, inşaat sektöründe uzun yıllardır kullanılan kompozit yapı elemanlarına tipik bir örnektir.

Her ne kadar iki veya daha fazla farklı malzemeden bir araya gelen bütün elemanlar kompozit eleman olarak adlandırılsa da, bina ve köprülerde genellikle kompozit malzeme denildiğinde yapısal çelik ve betonarme, kompozit yapı elemanı denildiğinde de kompozit kiriş ve kolonlar akla gelmektedir [1]. Özellikle büyük eksenel yüklere maruz kalan düşey taşıyıcı elemanların tasarımında, içine beton doldurulmuş (beton dolgulu) ya da betonun içine gömülmüş (gömme) yapısal çelik profillerden oluşan kompozit kolonların kullanımı yalnız dünyada değil, ülkemizde de hızla artmaktadır. Benzer şekilde, taşıdıkları betonarme döşeme için kalıp görevi gören çelik sacın döşemeyle birlikte çalıştırılmasıyla elde edilen kompozit döşemeler de tasarımda ekonomiklik, montajda hız sağlamaları nedeniyle özellikle yüksek yapılarda sıklıkla tercih edilmektedir. Betonarme döşemelerin ankrajlarla çelik kirişlere bağlanmasıyla elde edilen kompozit kirişler ise tasarımda çok daha küçük kiriş kesitlerinin kullanımına izin vermeleri nedeniyle modern köprü ve binalardaki döşeme sistemlerinin vazgeçilmez elemanları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapısal çelik dayanım, rijtlik ve sünekliğinin yüksek olması nedeniyle, gerek büyük açıklıkların aşılmasında gerekse deprem ve benzeri dinamik etkileri karşılamada oldukça etkilidir. Bununla birlikte, korozyona ve yangına karşı direncinin düşük olması, ısıyı ve sesi iyi iletmesi çeliğin en belirgin zayıf özelliklerindendir. Betonla kaplama veya betonun içine gömme, başta korozyon ve yangın zaafiyeti olmak üzere yapısal çeliğin çoğu zayıflığını ortadan kaldırır. Bu tür uygulamalarda, çelik profillerle betonun beraber çalışması sağlanarak kompozit davranışın üstünlüklerinden de faydalanabilir. Kompozit tasarım, malzemelerin üstün özelliklerinden aynı anda yararlanma imkanı sunarken, zayıf özelliklerinin de iyileştirilmesini sağlar. Bu nedenle, yapılarda çelik-beton kompozit elemanların kullanımı, çoğu zaman güvenli, ekonomik, estetik ve pratik tasarımları beraberinde getirir.

Üst başlıklarından betonarme veya kompozit döşemeye bağlanan yapısal çelik profillerden oluşan kompozit kirişlerde, kompozit davranışın elde edilebilmesi için iki malzeme arasında oluşan kaymanın önlenmesi gerekir. Kompozit kirişlerde, çelik-beton arayüzünde oluşan kesme kuvveti çoğu zaman, çelik profillerin başlıklarına kaynaklanan kayma elemanları vasıtasıyla taşınır. Çelik ankrajlı kompozit kirişlerde, kayma elemanı olarak farklı ankraj çeşitleri kullanılıyor olmakla birlikte, ülkemizde ve dünyada başlıklı çelik ankrajların (kayma çivilerinin) kullanımının daha yaygın olduğu bilinmektedir.

Kompozit bir kirişin eğilme momenti dayanımı, döşeme ile çelik kiriş arasında oluşan yatay kesme kuvvetinin ne kadarının ankrajlarla çelik profile aktarıldığına bağlıdır. Yeterli sayıda ankraj kullanıldığında, "tam etkileşimli" kompozit kirişler elde edilebilirken, ankraj sayısı azaltılarak dayanımı daha düşük ancak daha etkin "kısmi etkileşimli" kompozit kirişler tasarlanabilmektedir. Uygulamadaki kolaylığı ve ekonomikliği nedeniyle, kısmı etkileşimli kompozit kirişlerin tam etkileşimli kompozit kirişlere kıyasla daha çok tercih edildiği bilinmektedir.

Ülkemizde, çelik kirişlerin tasarımında kompozit etkinin çoğu zaman ihmal edildiği görülmektedir. Bunun belki de en önemli nedeni, 1980 yılında yayınlanan ve 36 yıl boyunca ülkemizde yürürlükte kalan çelik tasarım standardı olan TS 648'de [2] kompozit tasarım esaslarının bulunmayışıdır. Çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarım esasları, 2016 yılında yayınlanan ve ülkemizde şu anda yürürlükte olan "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'te (ÇYTHYEY)" [3] Bölüm 12'de tanımlanmıştır. Bu yönetmelikle birlikte, kompozit tasarımın tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de yaygınlaşması beklenmektedir.

Bu çalışmanın üç temel amacı vardır. İlk olarak, I-kesitli çelik ankrajlı kompozit kirişler için ÇYTHYEY [3]'de tanımlanan tasarım esaslarını, bu esasların alındığı temel yönetmelik olan "Yapısal Çelik Binalar için Yönetmelik" (Specification for Structural Steel Buildings) başlıklı AISC 360-16 [4] yönetmeliğinde verilen esaslar ve bu yönetmeliğin Yorum (Commentary) bölümünde verilen bilgiler çerçevesinde, kapsamlı bir şekilde irdelemektir. Çalışmanın ikinci amacı, ÇYTHYEY'de tanımlanan tasarım esasları ile Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım (YDKT) yöntemini kullanarak, farklı etkileşim oranlarına sahip çelik ankrajlı kompozit kirişlerin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımlarını veren pratik tasarım denklemleri elde etmektir. Tezde elde edilen tasarım denklemleri, ülkemizde yaygın şekilde kullanılan Avrupa I-profilli kompozit kirişlerin, Amerika Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel

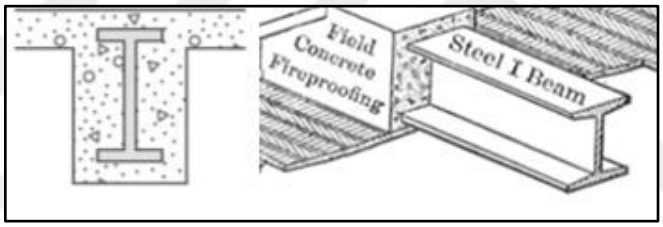
Construction, AISC) tarafından yayınlanan Çelik Yapı Kılavuzu'nun 14. baskısında (Steel Construction Manual, 14th edition) [5] tanımlanan 7 farklı plastik tarafsız eksen konumu için, eğilme momenti dayanımlarının hesabında kullanılarak, tezin kapsamında incelenen kompozit kirişlerin tasarım dayanımlarını belirleyen temel parametrelerin belirlenmesinde hedeflenmektedir. Çalışmanın üçüncü amacı ise, Çelik Yapı Kılavuzu'nda Amerikan I-profilli kompozit kirişlerin plastik eğilme dayanımları ve alt sınır atalet momentlerin belirlenmesi için sunulan tasarım tablolarına benzer tabloları, ülkemizde yaygın şekilde kullanılan Avrupa I-profilli kompozit kirişler için oluşturmaktır. Tasarımcıların tasarımları için gerekli ekonomik kesitleri hızlı ve pratik bir şekilde seçmelerini sağlayacak bu tabloların, çelik ankrajlı kompozit eğilme elemanlarının tasarımını oldukça kolaylaştıracağı ve kompozit elemanların ülkemizde kullanımının artmasına yardımcı olacağına inanılmaktadır.

Çalışmada, sıcak haddelenmiş kiriş kesiti olarak, ülkemizde yaygın şekilde kullanılan IPE, IPN, HEA, HEB ve HEM kesitli Avrupa profiller ele alınmıştır. Tasarım dayanımları üç farklı çelik sınıfı S235, S275 ve S355 için hesaplanmış; tasarım tabloları incelenen her bir çelik sınıfı için ayrı ayrı sunulmuştur. Tasarım tablolarında, en küçük kompozitlik oranı %25 ile sınırlandırılmıştır. Tezde incelenen kompozit kirişlerin yalnız pozitif eğilme momenti etkisindeki dayanımları hesaplanmış ve tablolaştırılmıştır. Bu durumda, betonarme döşemenin tamamı veya bir kısmı basınç etkisinde kalmakta, etkileşim miktarına göre, çelik profilin tamamı ya da bir kısmı çekme etkisinde kalmaktadır. Dayanım hesaplarında, betonun çekme dayanımı ile betonarme döşemedeki donatıların etkileri ihmal edilmiştir. İncelenen çelik profillerin tamamının enkesitleri kompakt olduğundan, tezde yalnız plastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılmıştır. Kompozit kiriş dayanımları YDKT yöntemi kullanılarak hesaplanmış, tasarım tablolarında kompozit kirişlerin yalnız tasarım eğilme momenti dayanımları listelenmiştir. Bununla birlikte, tasarımda Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yönteminin kullanılması durumunda tablolarda verilen tasarım dayanımları güvenlik katsayısının dayanım katsayısına oranı olan 1,50 değerine bölünerek güvenli dayanım değerlerine kolayca çevrilebilir.

1. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLER

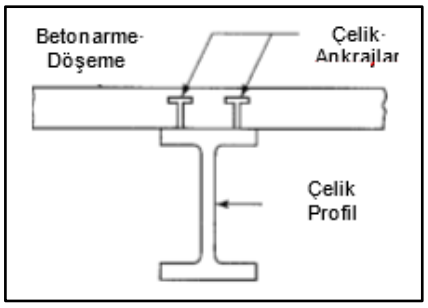
1.1. Tarihsel Gelişim

Kompozit kirişler ilk olarak, yirminci yüzyılın başlarında, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, betonun içine gömülmüş çelik kirişler (gömme kompozit kirişler) olarak karşımıza çıkmaktadır [6]. 1894 yılında ABD'nin Indiana eyaletinde inşa edilen kemer şeklindeki bir köprüde kullanılan gömme kompozit kirişler, kompozit kirişlerin köprülerdeki kullanımına ilk örneklerdendir [7]. Gömme kompozit kirişlerde, betonun asli görevi çelik kirişin yangına karşı direncini artırmaktır. Bununla birlikte, kirişi sargılayan betonun kirişin yük taşıma kapasitesini de artırdığı fark edilmiş; bazı tasarımlarda bu dayanım artışından da yararlanılmıştır.



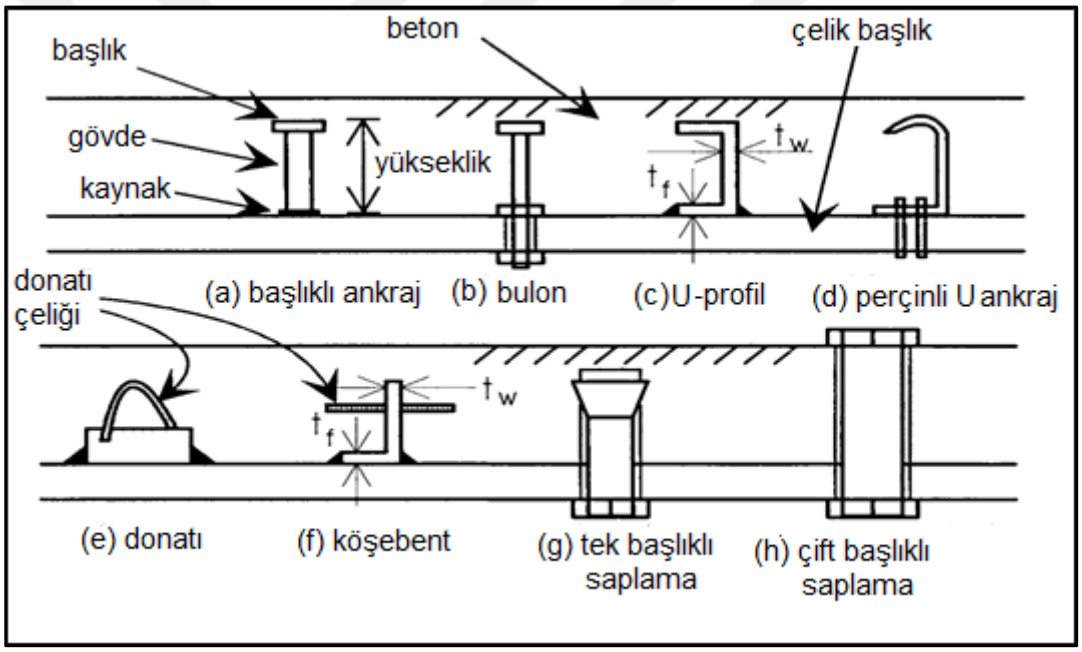
Şekil 1.1. Gömme kompozit kirişler [8,9]

Çelik elemanların yangın direncini artıran daha hafif malzemelerin ve daha ekonomik yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte gömme kompozit kirişlerin kullanımı azalmıştır [1]. Günümüzde hemen hemen bütün uygulamalarda çelik ankrajlı kompozit kirişlerin gömme kompozit kirişlerin yerini aldığı görülmektedir. Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, çelik ankrajlı kompozit kirişlerde, çelik profilin başlığına kaynaklanan ankrajlar, çelik profilin betonarme döşemenin bir parçasıyla birlikte çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.2. Çelik ankrajlı kompozit kirişler [10]

Aslında, çelik kirişlerin betonarme döşemelerle birlikte kullanımı yeni değildir. Isı ve ses yalıtımı açısından üstün özelliklere sahip olması nedeniyle sıkça tercih edilen betonarme döşemelerin çelik kirişlerle birlikte kullanıldığı döşeme sistemleri oldukça eskilere dayanır. Ancak bu ilk uygulamalarda, betonarme döşeme ile çelik kirişlerin arasında yük aktarımı sağlanmadığından, çelik profillere kıyasla çok daha az yük taşıyan döşemenin kirişlerin dayanımına katkısı tasarımda çoğu zaman ihmal edilmiştir. Yapısal kaynağın yaygınlaşmasıyla birlikte, kiriş başlıklarına kaynaklanan mekanik kayma elemanları (ankrajlar) (Şekil 1.3) döşeme ile kiriş arasındaki aderansı sağlayarak, kirişlerin kompozit yapı elemanları olarak çalışmasını sağlamıştır [6]. Yapılan çalışmalar, döşemeyle kompozit çalışan çelik kirişlerin dayanımlarının, kompozit etki nedeniyle %50'lere varan (hatta aşan) oranlarda arttığını göstermiştir [11].

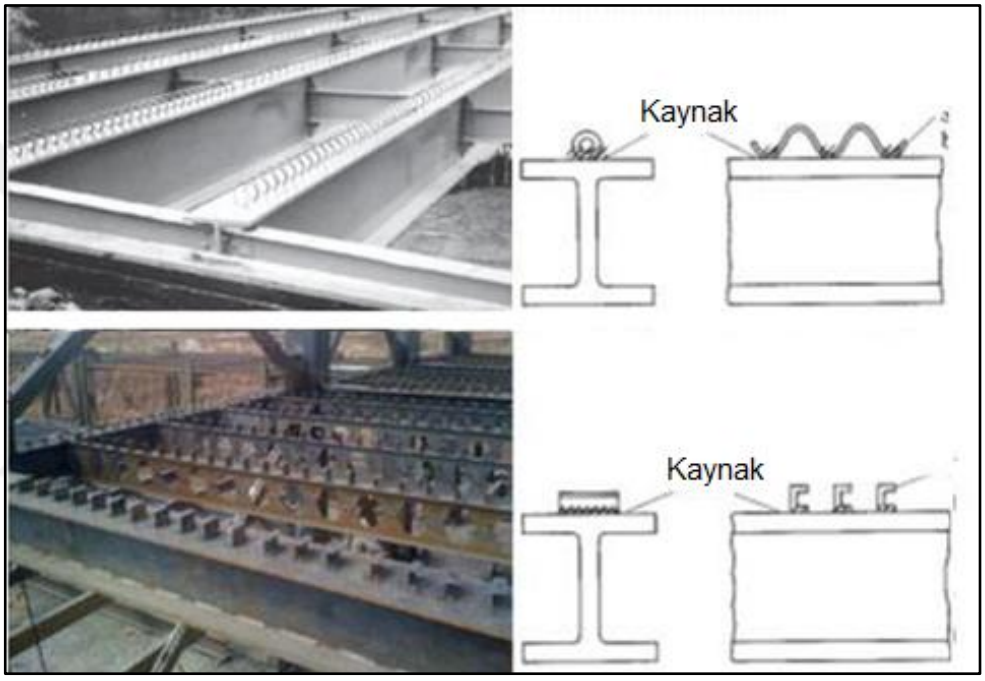


Şekil 1.3. Kompozit kirişlerde kullanılan çelik kayma elemanları (ankrajlar) [12]

Geschwindner vd. çelik ankrajlı kompozit kirişlerin ABD'de1935'li yıllarda ilk olarak köprü tasarımında kullanıldığını, özel bir alet (tabanca) ile çelik kirişe kolayca kaynaklanabilen başlıklı çelik ankrajların (Şekil 1.3(a) ve Şekil 1.4) icadına kadar, döşeme ile kiriş arasındaki kompozit bağın kiriş başlıklarına kaynaklanan spiral şeklindeki tellerle (Şekil 1.5, üst) veya kısa U profilleriyle (Şekil 1.3(c) ve Şekil 1.5, alt) sağlandığını belirtmektedir [8]. Günümüzde, kompozit kiriş uygulamalarının çoğunda, başlıklı çelik ankrajların kullanıldığı bilinmektedir [12,8].

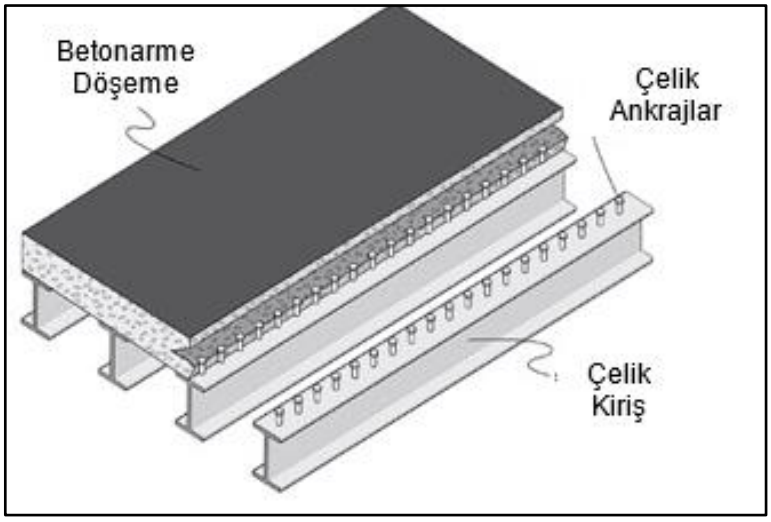


Şekil 1.4. Kompozit kirişlerde kullanılan başlıklı çelik ankrajlar [13,14]



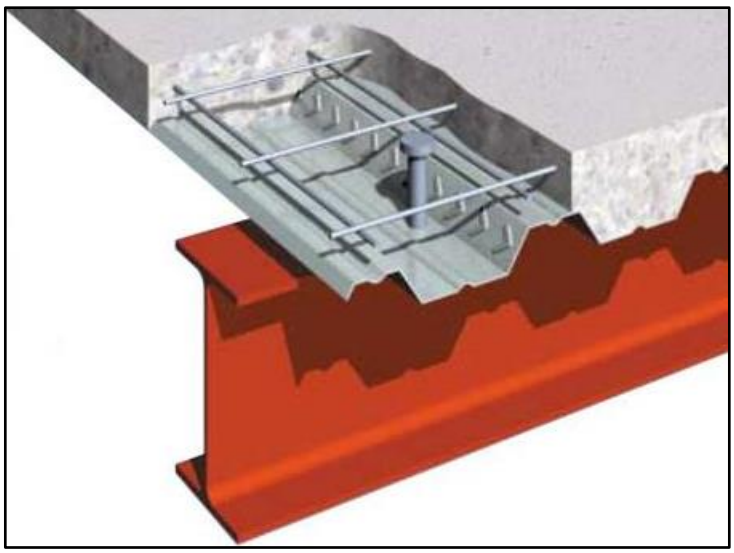
Şekil 1.5. Spiral telden ve U-profilden oluşan çelik ankrajlar [8,11]

Kompozit elemanlar için tasarım kuralları içeren ilk yönetmelik 1930 yılında yayınlanan New York bina yönetmeliğidir [7]. Hemen sonrasında, 1944 yılında, kompozit tasarım kurallarının Amerikan köprü yönetmeliğinde (AASHTO) tanımlanmasıyla birlikte, kompozit kirişlerin özellikle köprülerdeki kullanımı ABD'de hızla yayılmıştır [11]. Kompozit köprü kirişlerinde, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi, betonarme tabliye ile tabliyeyi taşıyan çelik kirişler arasındaki kompozit etki, iki elemanın ara yüzüne yerleştirilen çelik ankrajlar vasıtasıyla sağlanmaktadır.



Şekil 1.6. Kompozit köprü kirişleri [11,15]

Kompozit kiriş tasarımı, Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction, AISC) tarafından hazırlanan çelik bina yönetmeliğine 1952 yılında eklenmiştir. Yönetmeliğin bu baskısında yalnız gömme çelik kirişler için tasarım esasları sunulmuş olup, çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarım esasları ise yönetmeliğin dört yıl sonra yayınlanan baskısında yönetmeliğe eklenmiştir [8]. Kompozit yapı elemanlarının bina inşasında kullanımı, ancak 1960'lı yılların başında ekonomik hale gelmiştir [6]. Günümüzde, çelik binalarda kullanılan kompozit kirişler, çoğunlukla, Şekil 1.7'de gösterildiği gibi, soğuk şekillendirilmiş sacla imal edilen kompozit döşemelerin I-kesitli çelik kirişlere kayma bağlantılarıyla birleştirilmesiyle elde edilmektedir.

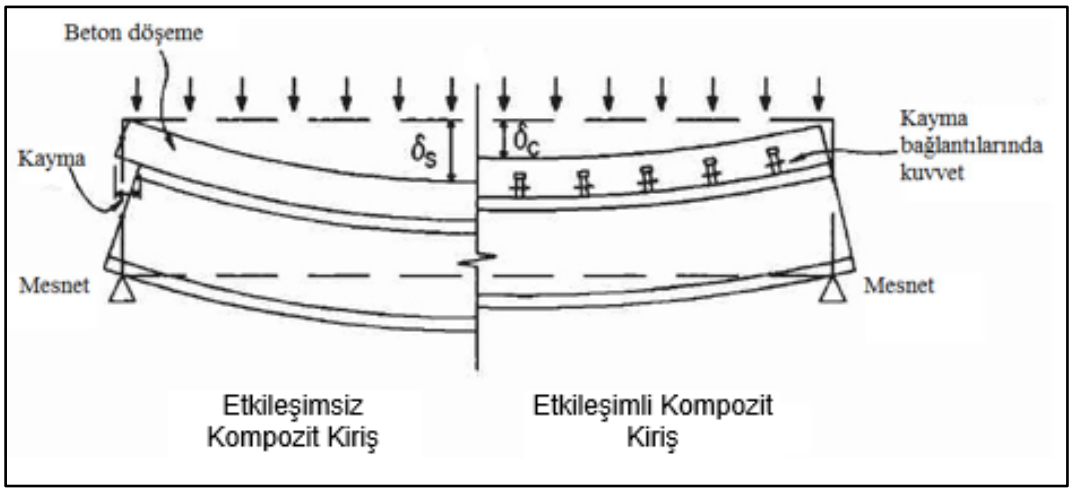


Şekil 1.7. Kompozit döşeme ile birlikte çalışan çelik ankrajlı kompozit kirişler [10]

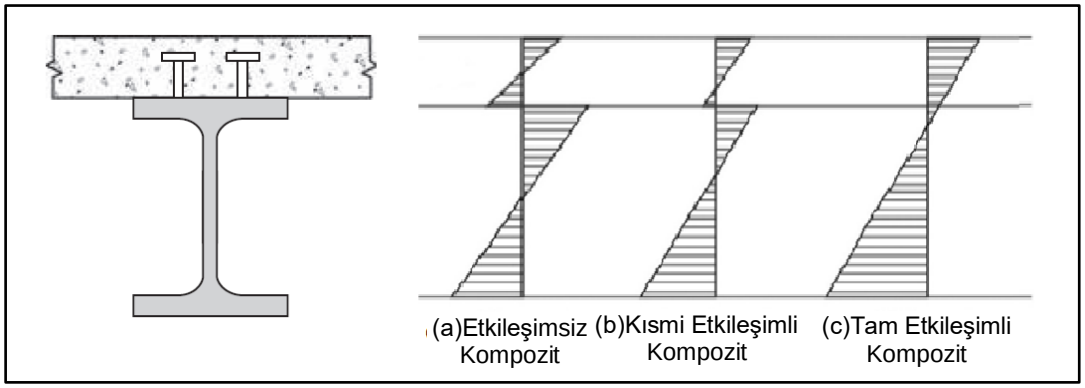
Kompozit döşemede, çelik sacın birincil görevi, betonarme döşeme için kalıp olarak çalışmaktır. Çelik sacın klasik kalıplardan en önemli farkı betonun dayanımını kazanmasından sonra da yerinde kalmasıdır. Yapılan çalışmalar, döşeme ile çelik sac arasında yeterli aderansın sağlanması durumunda, çelik sacın döşemenin dayanımını ve rijitliğini önemli miktarda artırdığını göstermiştir. Günümüzde çelik sac ve betonarme döşemenin beraber kullanıldığı uygulamaların hemen hemen hepsinde, çelik sac ile döşeme arasındaki kompozit etkiden yararlanılmaktadır.

1.2. Kompozit Etkileşim

Şekil 1.8'de, belirli genişlikteki bir betonarme döşeme parçasını taşıyan I-kesitli bir çelik profilin düzgün yayılı yük altındaki davranışı gösterilmektedir. Kirişin sol tarafında, döşeme ile profil birbirine bağlanmamıştır; yani, kayma elemanları kullanılmamıştır. Şekilden de görülebileceği gibi, bu durumda, döşeme ile profil arasında herhangi bir etkileşim oluşmamakta, iki eleman birbirinden bağımsız çalışmaktadır. Bu nedenle, döşemenin alt yüzündeki lifler çekme etkisinde uzamakta, çelik profilin üst yüzündeki lifler ise basınç etkisinde kısalmaktadır. Diğer bir ifadeyle, döşeme ile profilin arasında bir kayma oluşmaktadır. Şekil 1.9'da etkileşimsiz kompozit durum için çizilen birim şekil değiştirme dağılımından da fark edilebileceği gibi bu durumda, elemanın enkesitinde biri döşemenin diğeri kirişin geometrik merkezinden geçen iki ayrı elastik tarafsız eksen bulunur. Bu nedenle, bileşik kirişin eğilme momenti dayanımı, betonarme döşemenin ve çelik kirişin eğilme momenti dayanımlarının toplamına eşittir.



Şekil 1.8. Etkileşimsiz (solda) ve tam etkileşimli (sağda) kompozit kirişlerin düzgün yayılı yük altındaki eğilme davranışlarının karşılaştırılması [16]



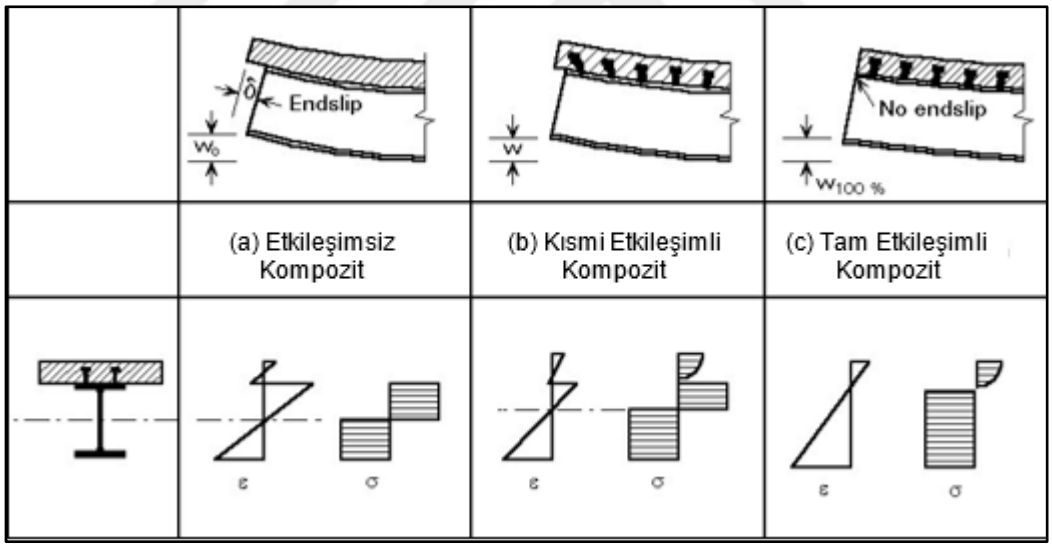
Şekil 1.9. Çelik bir kirişle betonarme döşemenin (a) etkileşimsiz, (b) kısmi etkileşimli ve (c) tam etkileşimli çalışması durumunda, bileşik kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımları

Farklı gerilme-şekil değiştirme ilişkisine sahip malzemelerden bir araya gelen kompozit kirişlerde, kompozit davranış ancak ve ancak malzemelerin temas yüzeylerinde eğilme etkisiyle oluşan boyuna kesme kuvvetlerinin aktarılmasıyla elde edilir. Çelik ankrajlı kompozit kirişlerde, döşeme ile profil arasındaki etkileşim kiriş başlığına kaynaklanan kayma elemanlarıyla (ankrajlarla) sağlanır. Bu tür kirişlerde, döşemenin kirişle ne kadar etkileşime gireceği, diğer bir ifadeyle, kompozit davranıştan ne kadar yararlanılacağı, kullanılan kayma elemanı sayısına bağlıdır. Döşeme ile profilin temas yüzeyinde oluşan kesme kuvvetinin tamamının aktarılmasını sağlayacak sayıda kayma elemanının kullanıldığı kirişler “tam etkileşimli kompozit kirişler” olarak adlandırılır. Buna karşın, tam etkileşimin sağlanması için gereken sayıdan daha az sayıda kayma elemanı kullanılan kirişlerde, döşeme ile profil arasındaki kompozit etki kısmen sağlandığı için, bu tür kirişler “kısmi etkileşimli kompozit kirişler” olarak adlandırılır [3].

Şekil 1.8’de gösterilen kirişin sağ tarafında, döşeme ile profil arasındaki kompozit davranıştan yararlanabilmek amacıyla kayma elemanları kullanılmıştır. Böylece, arayüzde oluşan ve kayma elemanlarıyla aktarılan kesme kuvveti, döşemenin alt yüzündeki lifleri kısaltıp, profilin üst yüzündeki lifleri uzatarak, arayüzdeki sürekliliği sağlamıştır. Diğer bir deyişle kiriş, bu durumda tam etkileşimli kompozit kiriş olarak çalışmaktadır. Şekil 1.9’da tam etkileşimli kompozit durum için gösterilen birim şekil değiştirme dağılımından da fark edilebileceği gibi, bu durumda hem döşeme hem de profil aynı tarafsız eksen etrafında eğilmektedir. Bu eksen, döşemenin geometrik merkezi ile çelik profilin geometrik merkezleri arasında yer almaktadır. Bu şekilde elde edilen kompozit kirişin tarafsız eksen etrafındaki atalet momenti, beton döşemenin ve çelik kirişin atalet momentlerinin toplamından çok daha büyük olduğundan, kompozit

elemanın hem eğilme momenti dayanımı hem de eğilme rijitliği kompozit olmayana göre çok daha yüksek olmaktadır.

Döşeme ile profil arasında tam etkileşimin sağlanması için gerekenden daha az kayma elemanı kullanılması durumunda oluşan kısmi etkileşimli kompozit kirişlerin davranışı, Şekil 1.8'de gösterilen iki sınır davranış arasında yer alır. Kirişin davranışı kullanılan kayma elemanının sayısı arttıkça sağ tarafta gösterilen tam etkileşimli kompozit davranışa, azaldıkça sol tarafta gösterilen etkileşimsiz kompozit davranışa yaklaşır. Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, kayma elemanları arayüzdeki kaymayı tamamen engelleyemediği için (Şekil 1.10, kısmi etkileşimli kompozit durum), kompozit kirişi oluşturan her bir eleman, etkileşimsiz kompozit durumda olduğu gibi, ayrı elastik tarafsız eksen etrafında eğilir; ancak bu durumda oluşan tarafsız eksenler birbirlerine daha yakındır. Şekil 1.10'da farklı etkileşim miktarlarına sahip kompozit kirişlerde oluşan normal gerilme dağılımları gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, döşeme ile profil arasındaki etkileşim miktarı arttıkça çelik profilde oluşan basınç gerilmeleri azalmaktadır.



Şekil 1.10. Çelik bir kirişle betonarme döşemenin (a) etkileşimsiz, (b) kısmi etkileşimli ve (c) tam etkileşimli kompozit şekilde çalışması durumunda, bileşik kesitte oluşan normal gerilme dağılımları [17]

1.3. Üstün ve Zayıf Özellikler

Çok katlı çelik yapılarda, tipik bir bina döşeme sistemi, betonarme (ya da kompozit) döşemeler ile bu döşemeleri destekleyen ve onlardan gelen yükleri ana taşıyıcı kirişlere aktaran döşeme kirişlerinden (ikincil kirişlerden) oluşur. Bu tür yapılarda, kompozit kirişlerin kullanılması durumunda, betonarme döşemeden iki kere

yararlanılmış olur; zira asli görevi üzerine etkiyen yükleri taşımak olan döşeme, yükün ikincil kirişlerden ana taşıyıcı kirişlere aktarılmasına da yardımcı olmaktadır [8].

Bununla birlikte, kompozit bir kirişte, betonarme döşeme basınca, çelik profilin büyük bir bölümü (veya tamamı) çekmeye çalıştırılarak, her iki malzemenin de üstün özelliklerinden aynı anda yararlanılmaktadır [11]. Benzer şekilde, döşemenin profille birlikte çalışması sağlandığında, kirişin etkin yüksekliği döşeme kalınlığı kadar artmaktadır [8]. Bu nedenle, kompozit kirişler kompozit olmayanlara göre hem daha dayanımlı hem de daha rijittir.

Kompozit dayanımın yüksek olması, çoğu kompozit kirişte çelik profilin küçülmesine ve dolayısıyla yüksekliğinin ve ağırlığının azalmasına neden olur. Salmon vd. [6], kompozit sistemin tüm avantajlarından yararlanılması durumunda, çelik ağırlığında %30'lara varan tasarruf sağlanabileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, kiriş yüksekliğindeki azalma nedeniyle, çok katlı bir yapının toplam yüksekliğinde oluşacak düşüşün, yapıda bulunan duvar, merdiven, tesisat, asansör ve benzeri yapısal olmayan elemanlarda kullanılan diğer yapı malzemelerinde de önemli miktarda tasarrufa neden olacağı bilinmektedir [11].

Kompozit kirişler kompozit olmayan kirişlere göre daha yüksek rijitliğe sahip olduklarından, sehimleri de kompozit olmayanlara göre daha azdır (%20-30 seviyelerindedir) [11]. Kirişlerin kompozit etki sağlanana kadar desteklenmesi durumunda, sabit yükler nedeniyle döşemede oluşan sehimler de önemli miktarda azalmaktadır [6].

Kompozit kirişlerin en belirgin dezavantajı, kompozit etkinin sağlanması için kullanılan kayma bağlantı elemanlarının ve bu elemanların kaynaklanmasının getirdiği ilave maliyettir. Dayanımdaki artış sonucu elde edilen çelik ağırlığındaki tasarrufun, çoğu durumda, bu ilave maliyetin çok üstünde olmaktadır; bu nedenle, bu durumun aslında bir dezavantaj gibi görülmemelidir [8]. Kayma elemanlarının ek maliyetinin açıklığın ve yükün küçük olduğu durumlarda gerçek maliyeti artırabilmektedir [11].

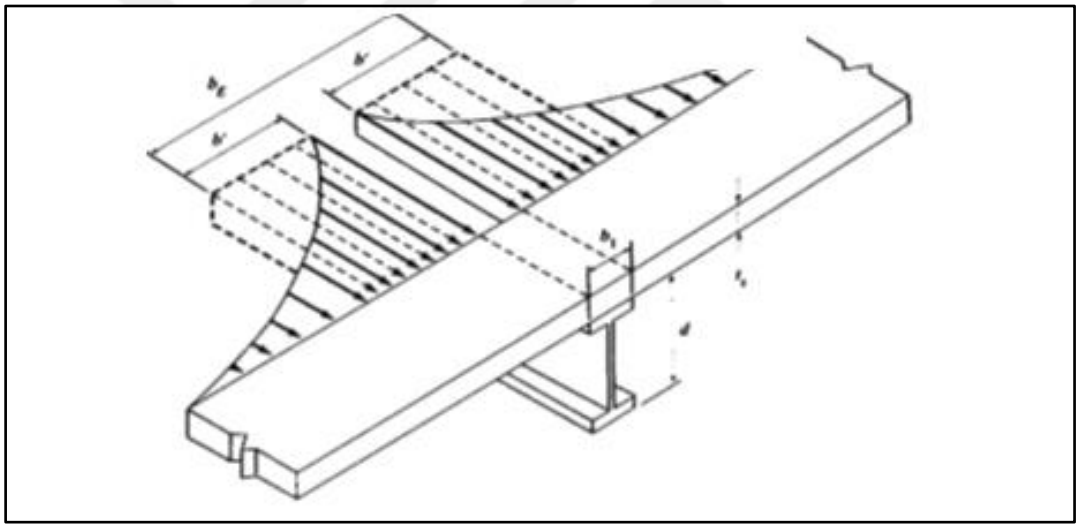
Kompozit tasarımda, betonla yapısal çeliğin beraber kullanılması nedeniyle ortaya çıkan bazı sınırlamaların olduğu da unutulmamalıdır. Çok açıklıklı sürekli kirişler olarak kullanılan kompozit kirişlerde, eğilme momentinin negatif olduğu bölgelerde kirişin dayanım ve rijitliğinin, çekme etkisinde kalan betonun çatlaması nedeniyle, eğilme momentinin pozitif olduğu bölgelerdeki dayanım ve rijitliğinden farklı olabileceği tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, sünme ve büzülme

nedeniyle betonda oluşan zamana bağlı sehimlerin kiriş tasarımında etkili olabileceği de akılda tutulmalıdır.

1.4. Kompozit Davranış

1.4.1. Etkin döşeme genişliği

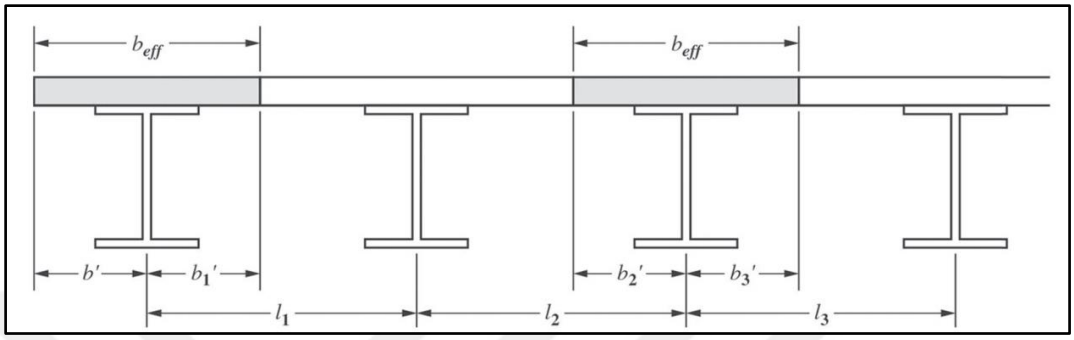
Etkin genişlik kavramı, çelik yapı elemanlarının tasarımında kesitindeki gerilme dağılımı düzgün olmayan çelik yapı elemanların dayanımı hesaplanırken sıklıkla kullanılır. Şekil 1.11'de, tam etkileşimli kompozit bir kirişte, sonsuz uzunluğa sahip olduğu kabul edilen beton döşemenin üst yüzündeki liflerde oluşan en büyük basınç gerilmelerinin döşemenin genişliği boyunca değişimi gösterilmiştir [6]. Şekilden de anlaşılabileceği gibi, döşemede oluşan en büyük gerilmeler döşemenin çelik kirişin üzerinde kalan parçasında oluşmakta, çelik kirişten uzaklaştıkça gerilmeler doğrusal olmayan bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 1.11. Çelik bir kirişle kompozit çalışan sonsuz genişliğe sahip olduğu düşünülen betonarme bir döşemede oluşan gerilmelerin gerçek ve yaklaşık dağılımları [6]

Yönetmelikler, hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla, kompozit kiriş tasarımında döşemenin sadece bir kısmının etkin olduğunu ve etkin olan bu kısımda oluşan gerilmelerin genişlik boyunca düzgün dağıldığını kabul etmektedir. Döşemenin etkin genişliği, bu genişlik boyunca düzgün dağıldığı kabul edilen basınç gerilmesi nedeniyle döşemede oluşan eşdeğer basınç kuvveti ile döşemede oluşan gerçek gerilme dağılımından hesaplanan toplam basınç kuvveti eşit olacak şekilde belirlenir. Bu kabulle döşemenin etkin genişliğinin belirlenebilmesi için, derinliğine oranla kalınlığı küçük, eşit mesafelerde yerleştirilmiş mesnetlerle desteklenen sonsuz

uzunluktaki bir kirişin elastisite teorisi kullanılarak çözülmesi gerekmektedir [6]. Ancak, yönetmelikler, tasarımda kolaylık sağlamak amacıyla, etkin döşeme genişliği için sınır değerler sunmaktadır. Örnek olarak, ÇYTHYEY'de verilen sınır değerler, iç kirişlerde kiriş açıklığına ve kirişler arası mesafeye, dış kirişlerde ise ayrıca döşemenin kenarına olan mesafeye bağlıdır (Şekil 1.12).

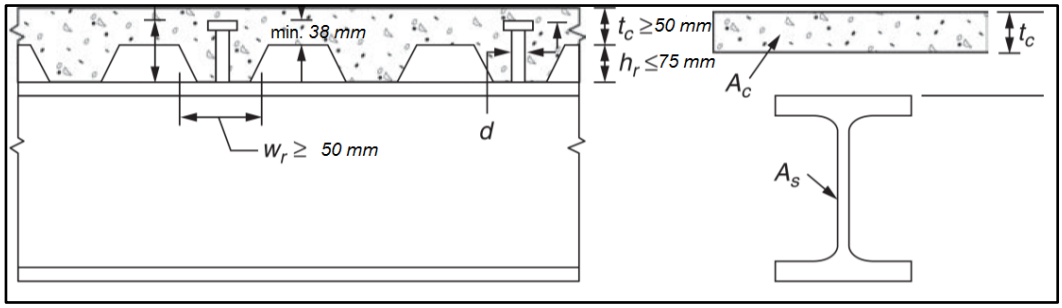


Şekil 1.12. İç ve dış kompozit kirişlerde etkin döşeme genişliği [8]

Döşemenin etkin genişliği kullanılarak belirlenen T kesitte, döşemenin tüm kalınlığı kirişte oluşan basınç kuvvetlerini almak için kullanılabilir. Ancak, tasarım hesaplarında kullanılan beton kalınlığı, ankrajlarla çelik kirişe aktarılan kuvvete bağlı olduğundan, çoğu zaman döşemenin basınçta kalan etkin kalınlığı gerçek kalınlığından çok daha az olmaktadır. T-kesitli betonarme kirişlerin tersine, döşemenin etkin genişliğinin döşemenin kalınlığına bağlı olmadığı da belirtilmelidir [8].

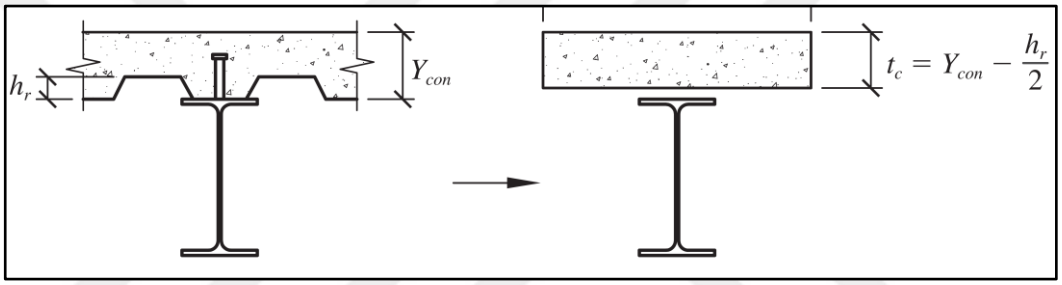
1.4.2. Etkin döşeme kalınlığı

Soğuk şekillendirilmiş çelik sac kullanılan kompozit döşemelerle çelik kirişlerin birlikte çalıştığı döşeme sistemlerinde, çelik sacların hadvelerinin tek yönlü olması nedeniyle, döşeme sistemindeki bazı kirişler (çoğunlukla ana kirişler) sacların hadvelerine paralel bazıları ise dik (çoğunlukla ikincil kirişler) olmaktadır. Kompozit döşemeli kompozit kirişlerin tasarımının betonarme döşemeli kompozit kirişlerden tek farkı, ilkinde etkin beton alanı hesabı yapılırken sac hadvelerinin etkisinin dikkate alınmasıdır. Şekil 1.13'te, sac hadvelerine dik yerleştirilen bir kompozit kiriş görülmektedir. AISC 360-16 ve ÇYTHYEY, bu tür bir kompozit kirişin kesit özellikleri ve dayanımı belirlenirken, sac hadvelerinin üst kotunun altında kalan beton alanının Şekil 1.13'te solda gösterildiği gibi, göz ardı edilmesi gerektiğini (Şekil1.13, sol) belirtmektedirler.



Şekil 1.13. Sac hadvelerine dik yerleştirilmiş bir kompozit kirişte etkin döşeme kalınlığı [18]

Buna karşın, yönetmeliklerde kompozit kirişin Şekil 1.14'te gösterildiği gibi sac hadvelerine paralel yerleştirilmesi durumunda, hadvelerin içindeki betonun etkisinin tasarıma dahil edilebileceği belirtilmektedir.



Şekil 1.14. Sac hadvelerine paralel yerleştirilmiş bir kompozit kirişte etkin döşeme kalınlığı [19]

AISC 360-10 [20]'da, hadvelerin içinde kalan betonun, dayanım hesabında mutlaka dikkate alınması gerektiği, kompozit kesit hesaplarında ise istenirse dikkate alınabileceği belirtilmektedir. Buna karşın, AISC 360-16'da hadvelerin içinde kalan betonun dayanım hesaplarında da enkesit hesaplarında da kullanımına izin verildiği belirtilmektedir. Hadvelerin içinde kalan betonun tasarıma dahil edilmesi durumunda, etkin döşeme kalınlığı, Şekil 1.14'te gösterildiği gibi, ortalama kalınlık kullanılarak belirlenebilir.

1.4.3. Elastik davranış

Günümüzde, çoğu çelik ankrajlı kompozit kirişin mevcut dayanımı, çelik profilin ve betonarme döşemenin taşıma güçlerinden yararlanılarak, yani, plastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılarak hesaplanıyor olsa da; sehim ve titreşim gibi kullanılabilirlik sınır durumlarının kontrolü için gerekli elastik kesit özelliklerinin belirlenmesi ve taşıma gücüne göre dayanım hesabı yapılamayan (örneğin, gövdeleri

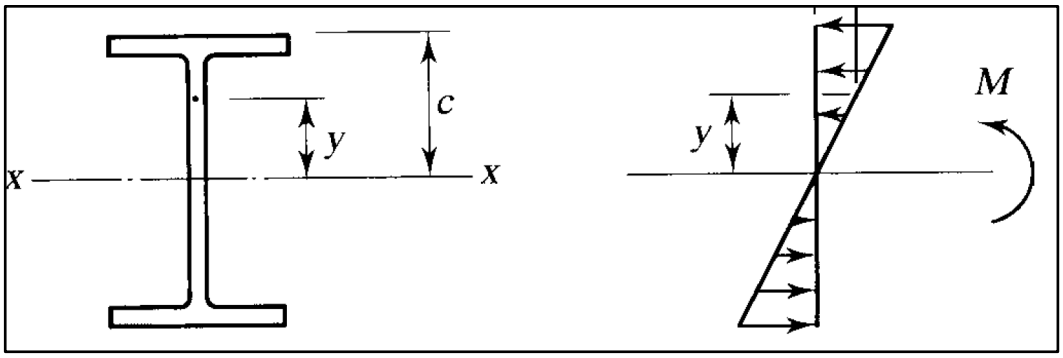
kompakt olmayan çelik profiller içeren) kompozit kirişlerin dayanımlarının hesaplanabilmesi için kompozit kirişlerin elastik davranışları bilinmelidir.

Elastik bölgede x (yatay) asal ekseni etrafında eğilen, çift simetri eksenine sahip I-kesitli bir çelik kirişin herhangi bir enkesitinde oluşan normal gerilmeler (σ_z) elastik eğilme formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$$\sigma_z = \frac{M_x y}{I_x} \tag{1.1}$$

Denklem (1.1)'de, z ekseni kesite dik eksen, y ekseni kesitin diğer asal (düşey) ekseni, M_x kesitte oluşan eğilme momenti, y gerilme hesabının yapıldığı noktanın x eksenine dik uzaklığı ve I_x kesitin x eksenine göre atalet momentidir. Eksen takımının orijini, kesitin geometrik merkezinde tanımlanmaktadır. Bu nedenle, incelenen çelik kirişte elastik tarafsız eksen, x ekseni ile çakışmaktadır. Belirtilen eksen takımı ÇYTHYEY'de de I-kesitli elemanlar için tanımlanmış eksen takımı olup, tezde de bu eksen takımının kullanılacağı belirtilmelidir.

Şekil 1.15'te gösterildiği gibi, pozitif eğilme momenti etkisinde [yani, M_x'in pozitif olduğu durumda], kesitin üst yarısında (yani, y mesafelerinin de pozitif olduğu durumda) basınç gerilmeleri (yani, negatif normal gerilmeler), alt yarısında (yani, y mesafelerinin negatif olduğu durumda) ise çekme gerilmeleri (yani, pozitif normal gerilmeler) oluşmaktadır. Denklem (1.1)'deki "eksi" işaretinin nedeni de budur.



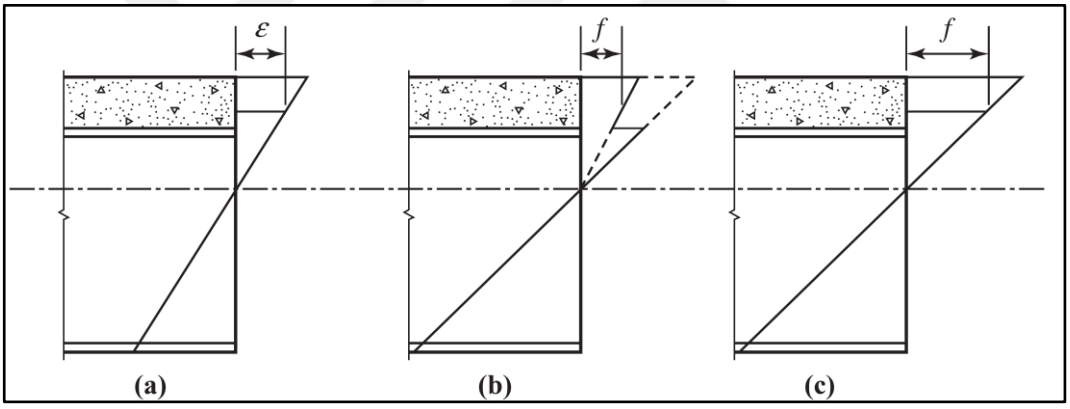
Şekil 1.15. Kompozit çalışmayan I-kesitli çelik bir kirişte basit eğilme etkisinde oluşan normal gerilmelerin kesit yüksekliği boyunca dağılımı [1]

Gerilme dağılımı y ekseni boyunca doğrusal olup, en büyük normal gerilmeler kesitin en üst ve en alt liflerinde oluşur. Mutlak değerce, kesitte oluşan en büyük çekme gerilmesi ile en büyük basınç gerilmesinin değeri (σ_{max}) eşit olup, bu değer,

$$\sigma_{max} = \frac{M_x}{W_{ex}} \tag{1.2}$$

denkleminden hesaplanabilir. Denklem (1.2)'de, W_{ex} kesitin elastik mukavemet momenti olup, atalet momentinin kesit yüksekliğinin yarısına bölünmesiyle elde edilir.

Ancak, Denklem (1.1) ve Denklem (1.2), homojen kirişler için geçerli olduğundan, elastisite modülü oranları farklı malzemelerden üretilmiş kompozit kirişlerde doğrudan uygulanamaz. Tam etkileşimli kompozit bir kirişte oluşan elastik gerilme dağılımı Şekil 1.16 (b)'de gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, çelik profil ile betonarme döşeminin birbirine temas ettiği yüzeyde profilde oluşan gerilmeler, döşemede oluşan gerilmelerden çok daha büyüktür. Şekil 1.16(a)'da, kompozit kesitte, "düzlem kesitler düzlem kalır" kabulune dayanan doğrusal şekil değiştirme dağılımı gösterilmiştir. Şekilde gösterilen şekil değiştirme dağılımının, belirtilen kabul geçerli olduğu müddetçe, homojen olmayan elemanlar için de geçerli olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 1.16. Basit eğilme etkisindeki tam etkileşimli kompozit bir kirişte oluşan (a) şekil değiştirme dağılımı (b) elastik gerilme dağılımı (c) dönüştürülmüş kesitte oluşan elastik gerilme dağılımı [1]

Temel mukavemet kitaplarında da [21,22] anlatıldığı gibi, kompozit elemanların elastik davranışları incelenirken kullanılan ve ÇYTHYEY'de de çelik ankrajlı kompozit kirişlerin eğilme rijitliklerinin hesabında atıfta bulunulan genel yöntem, dönüştürülmüş kesit yöntemidir. Dönüştürülmüş kesit yöntemi, kompozit kirişlerde uygulanırken, genel olarak beton malzeme kesitte aynı etkiye sahip çelik malzemeye dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde önemli olan, kesit boyunca birim şekil değiştirme dağılımının korunmasıdır. Diğer bir ifadeyle,

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \tag{1.3}$$

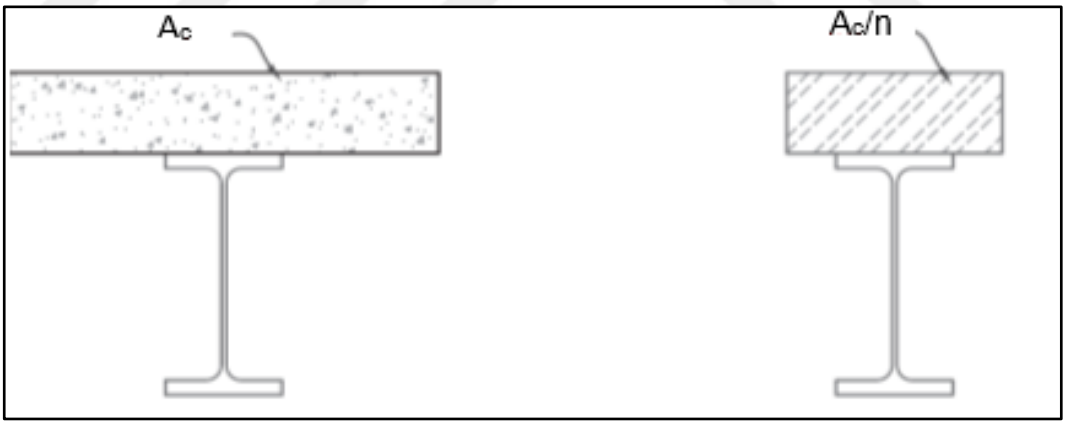
olmalıdır. Denklem (1.3)'te, ε_c ve ε_s sırasıyla döşemede ve profilde oluşan birim şekil değiştirmelerdir. Her iki malzemenin de doğrusal elastik davrandığı kabul edildiğinde, Denklem (1.3), döşemede ve profilde oluşan gerilmeler (sırasıyla, σ_c ve σ_s) cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_s}{E_s} \tag{1.4}$$

Denklem (1.4)'te, E_c ve E_s, sırasıyla, beton ve yapısal çeliğin elastisite modülleridir. Buradan, çelikte oluşan gerilme ile betonda oluşan gerilme arasındaki ilişki:

$$\sigma_s = \frac{E_s}{E_c}\sigma_c \tag{1.5}$$

olarak elde edilebilir. Denklem (1.5)'te, modüler oran olarak da isimlendirilen E_s/E_c oranı için literatürde [örnek olarak, 8 ve 1] ve yönetmeliklerde "n" simgesinin kullanıldığı görülmektedir. Denklem (1.5)'e göre, beton döşeme çelik profilin birim alanda taşıdığı kuvveti n katı alanda taşımaktadır. İki malzemenin birim alanda aynı kuvveti taşıyabilmesi için, beton alanı Şekil 1.17'de gösterildiği gibi n'ye bölünmelidir.



Şekil 1.17. Dönüştürülmiş kompozit kiriş kesitinin elde edilmesi [19]

Diğer bir ifadeyle, hesaplarda, gerçek beton alanı A_c yerine çeliğe dönüştürülmüş beton alanı A_c/n kullanılırsa gerilme dağılımının kompozit enkesitte düzgün yayıldığı kabul edilebilir. Bu şekilde elde edilen kesite, "dönüştürülmüş kesit" denir [20,21]. Kesit dönüşümü yapılırken, beton liflerinin elastik tarafsız eksenden olan uzaklıklarının değişmemesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle, alan azaltması, Şekil 1.17'de gösterildiği gibi, tarafsız eksene paralel boyutta yapılır. Diğer bir ifadeyle, döşemenin kalınlığı sabit tutulurken, etkin genişliği n kat azaltılır.

Kompozit kesitin elastik tarafsız ekseni, dönüştürülmüş kesitin geometrik merkezinden geçeceği için, kompozit bir kirişlerte oluşan elastik gerilme dağılımlarının belirlenebilmesi için ilk olarak dönüştürülmüş kesitin geometrik merkezi hesaplanmalıdır. Ardından, sehim hesaplarında da sıklıkla kullanılan, dönüştürülmüş kesitin elastik tarafsız eksene göre atalet momenti (I_{tr}) aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$I_{tr} = \sum \left(I_i + A_i d_i^2 \right) \tag{1.6}$$

Denklem (1.6)'da, I_i dönüştürülmüş kesiti oluşturan ve alanı A_i olan i'inci parçanın kendi geometrik merkezinden geçen ve kesitin elastik tarafsız eksenine paralel olan eksene göre atalet momenti, d_i ise belirtilen iki eksen arasındaki paralel mesafedir.

Dönüştürülmüş kesit homojen olduğundan (yalnız çelikten oluştuğundan), Denklem (1.1)'deki eğilme formülü kullanılabilir. Ancak, bu formülden hesaplanan gerilmeler sadece çelik profil için doğru sonuçlar verecektir. Gerçekte n kat büyük alana sahip beton döşemede, gerilmeler dönüştürülmüş kesit kullanılarak hesaplanan gerilmelerden n kat daha azdır. Bu nedenle, döşemedeki gerçek gerilmeleri hesaplamak için dönüştürülmüş kesitten hesaplanan gerilmeler n'ye bölünmelidir. Diğer bir ifadeyle, kompozit bir kirişte elastik gerilmeler aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir:

$$\sigma_c = -\frac{1}{n}\frac{M_x y}{I_{tr}} \text{ ve } \sigma_s = -\frac{M_x y}{I_{tr}} \tag{1.7}$$

Çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarımında dikkate alınması gereken üç kullanılabilirlik sınır durumu vardır: (a) yapım aşamasındaki en büyük sehimin sınırlandırılması, (b) servis yükleri altında titreşimin sınırlandırılması ve (c) hareketli servis yükleri altında sehimin sınırlandırılmasıdır [8].

Birinci sınır durumun tasarımda dikkate alınıp alınmayacağı, çoğu zaman yapım aşamasında geçici desteklerin kullanılıp kullanılmadığına bağlıdır. Geçici desteklerin kullanılmadığı durumda, yapım aşamasında kompozit kirişe etkiyen bütün yüklerin yalnız çelik profil tarafından taşındığı kabul edilir. Bu nedenle sehim hesaplarında, kompozit etki ihmal edilerek, yalnız profilin atalet momenti kullanılmalıdır. Bu durumda, betonun ıslak ağırlığı nedeniyle çelik kirişlerde büyük sehimler oluşabilir. Bu sehimleri azaltmanın en pratik yolu, kirişe ters sehim vermektir. Yapım aşamasında geçici desteklerin kullanıldığı çoğu uygulamada, geçici destekler beton dayanımını

kazanıncaya, diğer bir ifadeyle kompozit etki sağlanıncaya kadar kaldırılmadığı müddetçe, ıslak betonun ağırlığı nedeniyle kirişte oluşan sehimler oldukça küçük olmaktadır. Ancak, kendi ağırlığı altında sünme etkisiyle betonda oluşan zamana bağlı sehimlerin tasarıma dahil edilmesi gerekebilir. Literatürde [örnek olarak, 1 ve 5], kompozit kirişlerde, sabit yükler nedeniyle oluşan uzun süreli sehim hesaplarında, dönüştürülmüş kesit yönteminin kullanılabileceği, ancak, kesit dönüştürmesinde, betonun alanın n yerine 2n ya da 3n kadar azaltılmasının uygun olacağı belirtilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi, çoğu durumda tam etkileşimli kompozit kirişte kullanılan çelik profilin yüksekliği, kompozit olmayan kirişte kullanılandan daha küçüktür. Bu nedenle, özellikle uzun açıklıkların geçildiği ve sönümün az olduğu durumlarda, titreşim kompozit kirişlerin tasarımını belirleyen bir sınır durum haline gelebilmektedir. Bu durumda, kiriş tasarımında mutlaka titreşim hesabı yapılmalıdır.

Kompozit kirişlerin tasarımında dikkate alınması gereken üçüncü sınır durum ise kullanım kaynaklı hareketli yükler nedeniyle kirişte oluşan sehimlerdir. Ancak, kompozit bir kirişin servis yükleri altında yaptığı en büyük sehimi hesaplamak için, kompozit kesitin atalet momenti ile kompozit malzemenin elastisite modülü belirlenmeli; her iki hesapta da beton ile çeliğin etkileşimi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu amaçla, dönüştürülmüş kesit yönteminin kolaylıkla kullanılabileceği, kompozit malzemenin elastisite modülü olarak yapısal çeliğin elastisite modülü, kompozit kesitin atalet momenti olarak da dönüştürülmüş kesitin atalet momentinin (Denklem (1.6)) kullanılabileceği düşünülebilir. Ancak, bu şekilde elde edilen atalet momenti değeri, yalnızca döşemenin tamamının etkin çalıştığı tam etkileşimli kompozit kirişler için geçerlidir.

AISC 360-10 yönetmeliğinin Yorum bölümünde (Comm. I3.2), kısmi etkileşimli kompozit kirişlerin sehim hesabında, aşağıdaki denklemden hesaplanacak eşdeğer atalet momentinin (I_{equiv}) kullanılabileceği belirtilmektedir.

$$I_{equiv} = I_s + \sqrt{k}\left(I_{tr} - I_s\right) \tag{1.8}$$

Denklem (1.8)'de, I_s çelik profilin atalet momenti, I_{tr} çatlamamış tam etkileşimli kompozit kesit için hesaplanan dönüştürülmüş kesit atalet momenti, k ise kompozitlik

oranıdır [19]. Aynı yönetmelik, kısmi etkileşimli kompozit kirişlerin etkin elastik mukavemet momenti ($W_{e,equiv}$) için de aşağıdaki formülü önermektedir:

$$W_{e,equiv} = W_{e,s} + \sqrt{k}\left(W_{e,tr} - W_{e,s}\right) \tag{1.9}$$

Denklem (1.9)'da $W_{e,s}$ çelik profilin çekme başlığına göre hesaplanan elastik mukavemet momenti, $W_{e,tr}$ ise çatlamamış tam etkileşimli kompozit kesit için hesaplanan dönüştürülmüş kesit atalet momentinden yine çelik profilin çekme başlığına göre hesaplanan elastik mukavemet momentidir. AISC 360-10, Denklem (1.8) ve Denklem (1.9)'un kompozitlik oranının %25'ten az olduğu durumlarda kullanılmaması gerektiğini belirtmektedir. Yönetmelikte bu sınırlamanın, çelik ile beton arayüzünde oluşacak kayma nedeniyle kiriş rijtliğinde oluşacak azalmayı sınırlamak için koyulduğu belirtilmektedir.

AISC 360-10 Yorum bölümünde, kompozit eğilme elemanlarının gerçek rijitliklerinin hesaplanmasının çoğu zaman pratik olmadığı, kısa-süreli sehimlerin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmaların, etkin atalet momenti I_{eff}'in eşdeğer atalet momenti I_{equiv}'un %70-%85'ine eşit olduğunu gösterdiğini belirtmektedir. Bu nedenle, yönetmelik, sehimlerin gerçekçi değerlerini hesaplayabilmek için, etkin atalet momenti (I_{eff}) olarak I_{equiv}'un %75'nin alınmasını önermektedir.

$$I_{eff} = 0{,}75\ I_{equiv} \tag{1.10}$$

Ancak, AISC 360 yönetmeliğinin güncel baskısının (AISC 360-16) Yorum bölümünde, son yıllarda gerçekleştirilen çalışmaların, I_{equiv} kullanılarak hesaplanan kısa süreli sehim değerlerinin deneylerden elde edilen sehim değerlerinin istatistiksel ortalamasına yaklaşık eşit olduğunu gösterdiğini belirtmektedir. Diğer bir ifadeyle, yönetmeliğin önceki baskılarında önerilen, etkin atalet momenti hesabının (yani, I_{equiv}'un %75'nin alınması yaklaşımının) sağlam bir temele oturtulamadığı için yönetmeliğin güncel baskısında kaldırılmıştır.

AISC 360'ın hem güncel baskısının hem de bir önceki baskısının Yorum bölümünde, kısa süreli sehim hesapları için alternatif bir yaklaşım daha önerilmektedir. "Alt-sınır yaklaşımı" (lower-bound approach) olarak adlandırılan bu yaklaşımda, kompozit bir kirişte kısa süreli sehim değerleri, "alt-sınır atalet momenti" (lower-bound moment of inertia) (I_{LB}) kullanılarak hesaplanabilir. AISC 360-16'da, bu şekilde hesaplanan sehim değerlerinin 120 adet deneysel çalışmadan elde edilen sehim değerlerinin ortalama

artı bir standart sapma değerine yaklaşık eşit olduğu ve yöntemin adından da anlaşılacağı gibi kısa süreli sehimler için güvenli tahminler sunduğu belirtilmektedir.

Viest ve meslektaşları tarafından 1997 yılında önerilen alt-sınır yaklaşımında kısa süreli sehim hesabında kullanılması önerilen atalet momenti, kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı hesaplanırken belirlenen etkin döşeme kalınlığı kullanılarak hesaplanmaktadır [1]. Diğer bir ifadeyle, bu yaklaşımda etkin döşeme kalınlığı, servis yükleri altında kullanılabilirlik sınır durumuna göre değil, artırılmış yükler altında dayanım sınır durumuna göre belirlenmektedir. Ayrıca bu hesapta, döşemenin kendi geometrik merkezinden geçen eksene göre atalet momenti ihmal edilmektedir. Bu nedenlerle, bu yaklaşımla elde edilen atalet momenti değeri, gerçek atalet momenti için alt sınır oluşturmaktadır.

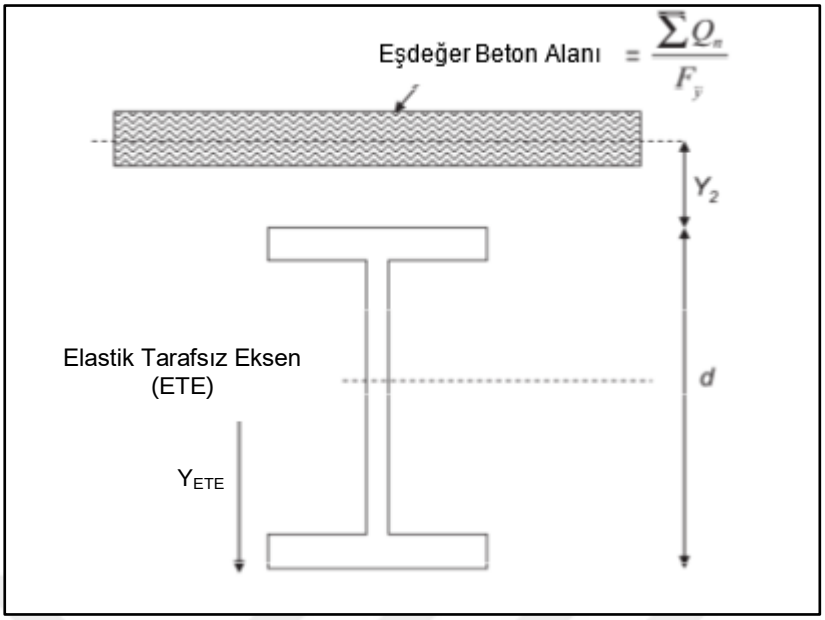
AISC 360-16'ya göre, kompozit kirişler için tanımlanan alt-sınır atalet momenti I_{LB}, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$I_{LB} = I_s + A_s\left(Y_{ETE} - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sum Q_n}{F_y}\right)\left(d + Y_2 - Y_{ETE}\right)^2 \tag{1.11}$$

Denklem (1.11)'de, I_s ve A_s çelik profilin sırasıyla atalet momenti ile enkesit alanı, ΣQ_n kompozit kirişte pozitif eğilme momentinin değerinin en büyük olduğu nokta ile sıfıra eşit olduğu nokta arasına yerleştirilen kayma elemanlarının toplam kayma dayanımı, F_y yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi, Y_2 betonarme döşemedeki basınç bloğunun ağırlık merkezi ile çelik profilin üst kotu arasındaki mesafe, Y_{ENA} ise elastik tarafsız eksenin çelik profilin alt kotundan mesafesidir.

Denklem (1.11)'deki mesafeler Şekil 1.18'de gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, $\Sigma Q_n/F_y$, betonarme döşemenin dönüştürlmüş kesitteki alanına eşittir. Y_{ENA}, Şekil 1.18'de gösterilen kompozit kesitin çelik profilin alt kotuna göre alan momentlerini toplam alana bölerek hesaplanabilir:

$$Y_{ETE} = \frac{\frac{A_s d}{2} + \frac{\sum Q_n}{F_y}\left(d + Y_2\right)}{\frac{A_s d}{2} + \frac{\sum Q_n}{F_y}} \tag{1.12}$$

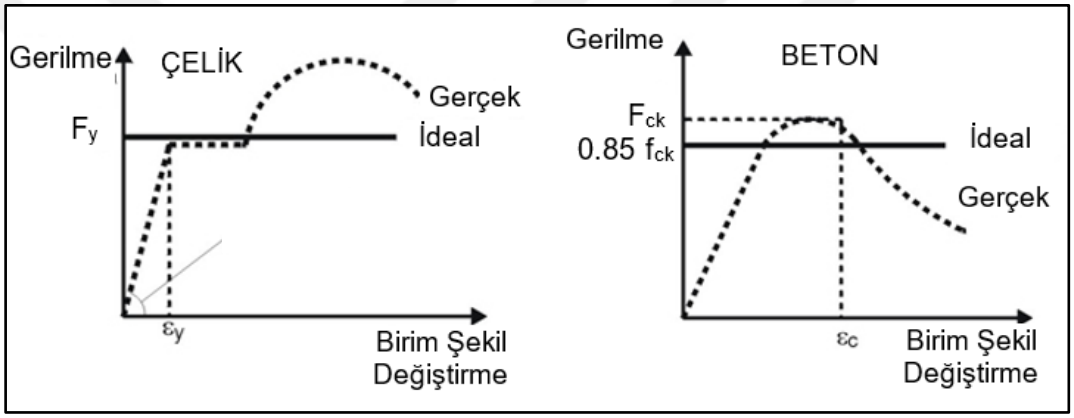


Şekil 1.18. Alt-sınır atalet momenti hesabında kullanılan kompozit enkesit [23]

1.4.4. Elastik ötesi davranış

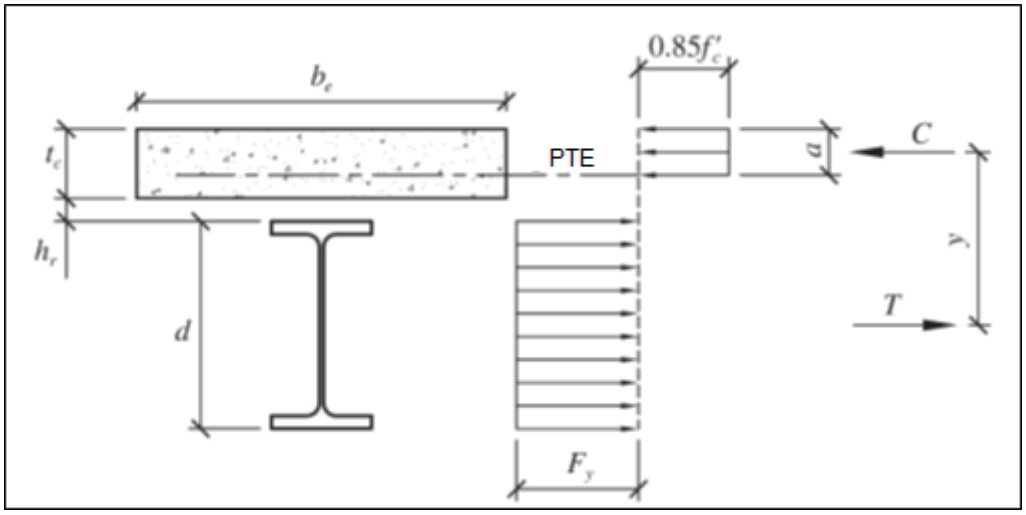
Pozitif eğilme momenti etkisindeki bir kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımını belirleyen temel parametreler, çelik profilin gövde narinliği (düz gövde yüksekliği h'nin gövde kalınlığı t_w'ya oranı) başta olmak üzere temel enkesit özellikleri, döşemenin kalınlığı ve etkin döşeme genişliği, çelik profilin karakteristik akma gerilmesi F_y, döşeme betonunun karakteristik basınç dayanımı f_{ck} ile kirişte kullanılan kayma elemanlarının dayanımıdır. Bu tür kirişlerde, betonun dayanımını kazanmasıyla kompozit davranışın etkin hale geldiği, kompozit etkileşimin sağlanmasıyla birlikte betonarme döşemenin çelik profilin üst başlığının basınç etkisi altında kalması durumunda yerel burkulmasını ve profilin yanal burkulmasını engellediği kabul edilir. Kompozit kirişlerde, çelik profilin gövdesinin tamamının veya büyük bir bölümünün çekme etkisinde kalması nedeniyle yerel gövde burkulması tehlikesi çelik kirişlere kıyasla daha düşüktür. AISC 360-16 ve ÇYTHYEY, gövde narinliği $3{,}76\sqrt{E/F_y}$ sınır değerden daha küçük olan profillerde yerel gövde burkulmasının bir sınır durum olmayacağını, kompozit kirişin karakteristik eğilme momentinin yalnız akma sınır durumu dikkate alınarak hesaplanabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, gövdesi narin kirişlerde, yerel gövde burkulması sınır durumuna akma sınır durumundan önce ulaşılacağı için, bu tür kirişlerin dayanımını belirleyen sınır durum yerel burkulma sınır durumu olmaktadır.

Çoğu durumda, pozitif eğilme momenti etkisindeki kompozit bir kiriş, karakteristik eğilme momenti dayanımına (taşıma gücüne) çelik profilin tamamının çekme (ve varsa basınç) etkisinde çelik profilin tamamının akması ve betonarme döşemenin basınç etkisinde kırılmasıyla ulaşır. Yönetmelikler, taşıma gücü hesabı yaparken, kompozit elemanı oluşturan çelik ve beton malzemenin elastik ötesi davranışlarının Şekil 1.19'da gösterildiği gibi idealleştirilmesine izin verirler. Şekilden de fark edilebileceği gibi, hesaplarda, çeliğin pekleşmesi ihmal edilerek elasto-plastik bir davranış gösterdiği kabul edilir. Betonda ise doğrusal olmayan gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi yerine betonarme elemanların tasarımında sılça kullanılan Whitney'nin eşdeğer gerilme dağılımından yararlanılmaktadır. Bu durumda, kompozit kesitte oluşan gerilme dağılımı "plastik gerilme dağılımı" olarak adlandırılmaktadır [1].



Şekil 1.19. Plastik gerilme dağılımı yönteminde malzemeler için kullanılan idealleştirilmiş gerilme şekil değiştirme ilişkileri [24]

Şekil 1.20'de, tipik bir kompozit kirişin taşıma gücüne ulaştığında enkesitinde oluştuğu kabul edilen plastik gerilme dağılımı gösterilmektedir. Yönetmelikler, kompozit bir kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımınımın kesitte oluşan plastik gerilme dağılımından hesaplanmasını "plastik gerilme dağılımı yöntemi" olarak adlandırmaktadır. Şekil 1.20'den görülebileceği gibi, bu yöntemde çekme ve varsa basınç etkisindeki çelik profilde oluşan gerilmelerin F_y'ye, basınç etkisindeki betonda oluşan gerilmelerin ise $0{,}85f_{ck}$'ya ulaştığı kabul edilir. Olası her durumda, plastik tarafsız eksen (PTE) döşemede ve varsa profilin basınçta kalan kısmında oluşan toplam basınç kuvveti C'nin, profilin çekme etkisinde kalan kısmında oluşan toplam çekme kuvveti T'ye eşit olduğu konumdadır. Kompozit kirişin taşıma gücü bu şekilde elde edilen kuvvet çiftinin momentine eşittir.

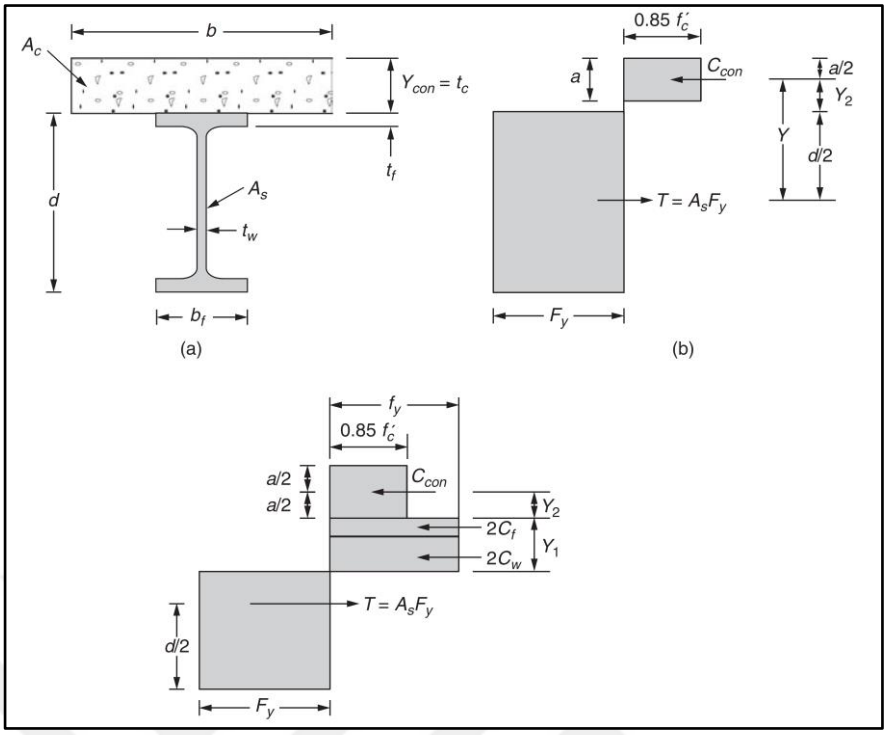


Şekil 1.20. Taşıma gücüne ulaştığında tipik bir kompozit kiriş kesitinde oluştuğu kabul edilen plastik gerilme dağılımı [19]

Plastik gerilme dağılımı yönteminde, betonun çekme dayanımı hesaba katılmamaktır. Bu nedenle, PTE'nin Şekil 1.20'de gösterildiği gibi, döşemenin içinde kalması durumunda, PTE'nin altında kalan beton kesitinde gerilmelerin sıfıra eşit olduğu kabul edilmektedir. Şekil 1.20'de, döşeme ile çelik profil arasındaki boşluğun kompozit döşeme kullanımı nedeniyle oluştuğu (Şekil 1.13) hatırlatılmalıdır.

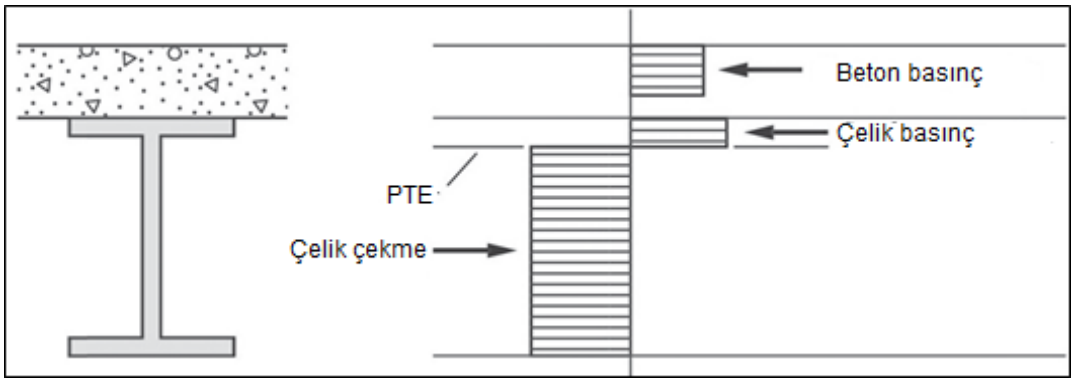
Tam etkileşimli bir kompozit kirişte, toplam basınç (veya çekme) kuvveti, profilin akma sınır durumunda karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı A_sF_y ile beton döşemenin basınç dayanımı $0{,}85f_{ck}A_c$'den küçük olana eşittir. $A_sF_y < 0{,}85f_{ck}A_c$ olması durumunda, kompozit kesitte çelik profilin tamamın çekme etkisinde çalıştığı, betonarme döşemenin ise yalnız bir kısmının basınç etkisinde kaldığı plastik gerilme dağılımı (Şekil 1.21b) gözlenir. Bu durumda, PTE döşemenin içinde kalmaktadır. $0{,}85f_{ck}A_c < A_sF_y$ olması durumunda ise betonarme döşemenin tamamı basınca çalışırken, çelik profilin bir kısmı çekmeye bir kısmı ise basınca çalışmaktadır (Şekil 1.21c). Bu durumda PTE, çelik profilin içinden geçmektedir.

Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, döşeme ile profil arasında oluşan kayma tamamen engellenemediği için, toplam basınç (veya çekme) kuvveti, kayma elemanlarının toplam kayma dayanımına (ΣQ_n) eşittir. Bu tür kirişlerde PTE, Şekil 1.22'de gösterildiği gibi, genellikle çelik profilin içinde kalır. Bu durum dayanım hesaplarında bazı zorluklara neden olmakla birlikte, kısmi etkileşimli kompozit kirişlerin dayanım hesaplarında izlenen temel adımlar tam etkileşimli kompozit kirişlerle aynıdır.



Şekil 1.21. Tam etkileşimli kompozit kirişlerde olası plastik gerilme dağılımları [18]

Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, çelik profilin dayanımından tamamen yararlanılmadığı için, çoğu zaman tam etkileşimli kompozit kirişlere göre daha büyük kesitli çelik kirişler kullanılır. Ancak, kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde daha az kayma elemanı kullanıldığından, ekonomik analiz yaparken her iki durum da göz önünde bulundurulmalıdır. Tam etkileşimli tasarlanan bir kompozit kirişin dayanımının gerekenden fazla olduğunun belirlenmesi durumunda, kayma elemanlarının sayısı azaltılarak tasarımın daha ekonomik hale getirilebilmektedir [1].



Şekil 1.22. Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde olası plastik gerilme dağılımı [8]

1.5. Güncel Araştırmalar

Literatürde, farklı çelik kayma elemanlarının ve/veya farklı çelik profillerin kullanıldığı kompozit kirişler hakkında yapılmış pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu bölümde, son yıllarda bu konuda yayınlanan çalışmaların bazıları derlenerek, çelik ankrajlı kompozit kirişler üzerine yapılan güncel çalışmalardaki araştırma konuları özetlenmeye çalışılacaktır.

Yassin ve Nethercot [25], kompozit kirişlerin kesit özelliklerini belirlemek amacıyla bir formülasyon geliştirerek bir bilgisayar programı hazırlamışlardır. Araştırmacılar ayrıca, soğuk şekillendirilmiş çelik profilli kompozit kirişlerin özelliklerini daha yaygın olarak kullanılan sıcak şekillendirilmiş çelik profilli kompozit kirişlerle karşılaştırmıştır. Çalışmada, soğuk şekillendirilmiş çelik profilli kompozit kirişlerin bazı kesit özelliklerinin hadde profilli kirişlere göre daha iyi olduğu, fakat bu tür kirişlerin kullanılabilirlik sınır durumlarında daha az etkili oldukları gösterilmiştir.

Hanswille, Porch ve Üstündağ [26] kompozit kirişlerin tekrarlı yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışmada, priz aşamasında oluşan kılcal çatlakların tekrarlı yükler altında büyüyerek ilerlediği, artan yük tekrarları sonucunda başlıklı çelik ankrajların kaynak bölgelerinde deformasyonların oluştuğu ileri sürülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, başlıklı çelik ankrajların tekrarlı yükler altındaki davranışlarını tanımlayan bir analitik model de oluşturulmuştur. Araştırmacılar ayrıca oluşan kısmi yorulma hasarlarının yapının genel davranışı üzerindeki etkilerini de araştırmıştır.

Al-Darzi ve Al-Juboory [27], 3 farklı tür kayma elemanı (kayma çivisi, yuvarlak boşluklu çelik plaka ve üçgen boşluklu çelik plaka) kullanılan kompozit kirişlerin dayanımlarını deneysel olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, farklı türde kayma bağlantılarının kompozit kirişlerin dayanımları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, test numunelerini iki nokta yükleme deneyine tabi tutmuşlardır. Çalışmada, kayma elemanı olarak yuvarlak ve üçgen boşluklu çelik plaka kullanılan numunelerin başlıklı çelik çivi kullanılanlara göre daha fazla dayanıma sahip oldukları belirlenmiştir.

Turmo, Lozano-Galant, Mirambell ve Xu [28], kısmi kompozit kirişleri sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, kullandıkları sonlu elemanlar modelini literatürde kullanılan diğer modeller ile kıyaslamışlar; önerdikleri modelin kompozit kiriş davranışını daha iyi modellediğini ve davranışın anlaşılmasını kolaylaştırdığını ileri sürmüşlerdir. Çalışmada önerilen modelin doğruluğunu

ispatlamak için, litaretürde farklı sınır ve yükleme koşulları için verilen analitik denklemler de kullanılmıştır.

Kumar ve Reddy [29] sadece eğilmeye maruz kalan, farklı aralıklarda (75mm, 100mm, 125mm ve 150mm) yerleştirilen çelik kayma elemanına sahip kompozit kirişlerin eğilme dayanımları üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, 125 mm aralıkla yerleştirilen kayma elemanına sahip kirişin hem dayanımının hem de tokluğunun diğerlerinden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Choi, Choi ve Yoo [30] çelik elyaf takviyeli aşırı yüksek dayanımlı beton ve üst başlığı olmayan çelik kirişlere kayma elemanları kullanarak oluşturdukları kompozit kirişlerin davranışını incelemişlerdir. Çalışmada, farklı dayanımlara sahip çelik elyaf takviyeli aşırı yüksek dayanımlı beton, farklı mesafelerde kaynaklanmış kayma elemanları ile farklı gövde kalınlıklarına sahip 24 numune üzerinde inceleme yapılmıştır. Deney sonuçları, numunelerin Eurocode 4'e göre yeterli sünekliğe sahip olduklarını göstermiştir.

Liu, Guo ve Li [31], kayma bağlantı elemanları olarak eşit kollu korniyerlerin, çelik kiriş olarak da soğuk şekillendirilmiş U profillerinin (omega profillerinin) kullanıldığı kompozit kirişlerin eğilme dayanımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. U profillerden oluşturulan kompozit kirişlerin eğilme dayanımlarının yaygın olarak kullanılan I profilli kompozit kirişlerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Lacki, Newrot ve Derlatka [32], şapkalı kayma bağlantıları kullandıkları kompozit kirişler üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, kayma bağlantısı olarak kullandıkları S235 çelik kaliteli 80x85x3 boyutlarındaki şapkalı U profillleri çelik profilin üst başlığına bulonlarla birleştirmişlerdir. Çalışmanın ilk bölümünde itme ve çekme testleri yapılarak, kayma elemanlarının uzunlukları 60mm ile 100mm arasında seçilmiştir. Sonuçlar, sayısal bir analizle doğrulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, araştırmacılar farklı türde kayma elemanları içeren kompozit kiriş numuneleri üreterek deneysel çalışmalar yapmış; elde ettikleri sonuçları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırılmışlardır.

Shamass ve Cashell [33] paslanmaz çelikten üretilmiş profil içeren kompozit kirişlerin davranışını incelemişler; tam veya kısmi etkileşimli paslanmaz çelik-beton kompozit kirişlerin eğilme momenti kapasitelerini belirlemek için analitik bir çözüm sunmuşlardır. Araştırmacılar ayrıca, Eurocode 4 yönetmeliğindeki varsayımların bazılarını

kullanarak basitleştirilmiş bir analitik çözüm de önermiştir. Araştırmada, paslanmaz çelikle oluşturulan kompozit kirişlerin eğilme dayanımların belirlenmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir analik model oluşturup deneysel sonuçlarla da doğrulanmıştır.

Love, Das, Roy ve Clifton [34], çelik ankrajlı kompozit kirişlerde beton döşemenin yarılma davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 15 numune üzerinde itme-çekme deneyi yapılmış; standart itme-çekme deneyi ekipmanları geliştirilerek numunelere monotonik ve çevrimsel yüklemeler ygulanmıştır. Deneylerde, düşük seviyeli çevrimsel yüklerin çelik kayma elemanlarının kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada çevrimsel yüklemenin kompozit kirişte erken bir göçmeye neden olmadığı, aksine kirişin boyuna yarılmaya karşı kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında Eurocode 4 ve Yeni Zelanda yönetmeliklerinin farkları ile sınır değerlerin kompozit kirişlerin göçme karakterleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

Mateus, Adenilcia ve Ricardo [35], çelik ankrajlı kompozit kirişlerin yanal burulmalı burkulmaya karşı dönme rijitliklerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, iç ve kenar kompozit kirişlerin eğilme rijitliklerini hesaplamak için, Eurocode 4 yönetmeliğinde verilen yöntemler ve ANSYS programı kullanılarak sayısal bir model oluşturulmuştur. Sayısal sonuçların, Eurocode 4 yönetmeliğine göre hesaplanan değerlerle örtüştüğü görülmüştür.

Huang, Wei, Liu, Du ve Zhang [36], kompozit kirişlerde farklı zamanlarda dökülen betonlar arasında oluşan inşaat derzlerinin kirişlerin uzun süreli davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, basit mesnetli iki T-kesitli çelik-beton kompozit kiriş tasarlanarak yekpare döşeme ile derzli döşemenin uzun süreli performansları arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Araştırmada, derzlerdeki betonda oluşan gerilmelerin zamanla basınç gerilmesinden çekme gerilmesine dönüşerek kompozit kirişlerde çatlamalara neden olduğu belirlenmiştir.

Lou ve Karavasilis [37], iki açıklıklı öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Araştırmacılar, öngerilmeli kompozit kirişlerin doğrusal olmayan davranışları simüle edebilen doğrusal olmayan bir modelden elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlarını karşılaştırmış; öngerilmenin nihai yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Araştırmada ayrıca, simetrik ve simetrik olmayan yükler altında farklı tendon düzenlerine sahip sürekli öngerilmeli

kompozit kirişlerde oluşan ikincil momentler de incelenmiş; ikincil momentlerin öngerilmeli kompozit kirişlerin davranışını yükleme geçmişi boyunca sürekli etkilediği gösterilmiştir.

2. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN TASARIM ESASLARI

Yapısal çelik profillerin betonarme ile birlikte kullanılmasıyla elde edilen kompozit yapı elemanlarının temel tasarım esasları ÇYTHYEY'de Bölüm 12'de sunulmuştur. Daha önce de belirtildiği gibi ÇYTHYEY, AISC 360-16 yönetmeliği temel alınarak hazırlanan bir yönetmeliktir. Ancak, ÇYTHYEY'de, AISC 360-16'da olduğu gibi bir Yorum (Commentary) bölümü bulunmamaktadır. ÇYTHYEY dikkatle incelendiğinde, Bölüm 12'de verilen bazı tasarım esaslarının AISC 360'ın güncel baskısı (AISC 360-16'dan) yerine, bir önceki baskısından (AISC 360-10'dan) alındığı fark edilmiştir. Bu nedenle, tezin bu aşamasında, tezin kapsamında ele alınan çelik ankrajlı kompozit kirişlerin ÇYTHYEY'de tanımlanan tasarım esasları özetlenirken, tasarım esaslarının daha iyi anlaşılabilmesi ve AISC 360-16'da yenilenmiş esasların sunulmuş olması durumunda, ülkemizdeki tasarımcıları güncel esaslar konusunda bilgilendirebilmek amacıyla, yeri geldikçe AISC 360 yönetmeliklerine de atıfta bulunulacaktır.

ÇYTHYEY'de kompozit elemanların dayanım sınır durumlarına göre tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemlerinden birinin kullanılabileceği belirtilmektedir. YDKT yönteminde, elemanın tasarım dayanımı ϕR_n, bu tasarım yöntemi için tanımlanan yük birleşimlerden elde edilen gerekli dayanım R_u'dan büyük olmalıdır. Burada, R_n elemanın karakteristik dayanımı olup, dayanım katsayısı olarak adlandırılan ϕ katsayısı daima 1,0'den küçük ya da 1,0'e eşittir. GKT yönteminde ise, elemanın güvenli dayanımı R_n/Ω'nın bu tasarım yöntemi için tanımlanan yük birleşimlerinden elde edilen gerekli dayanım R_a'dan büyük olması istenir. GKT yönteminde kullanılan Ω katsayıları, güvenlik katsayıları olarak adlandırılır ve değerleri daima 1'den büyüktür. Fark edilebileceği gibi, her iki yöntemde de dayanımlar azaltılmaktadır. Ancak, YDKT yönteminde dayanımlarda yapılan azaltma, GKT yönteminde yapılandan daha azdır. Bunun en önemli nedeni, YDKT yöntemi için tanımlanmış yük birleşimlerinde yüklerin tasarım değerlerinin kullanılıyor olmasıdır. Buna karşın, GKT yönteminde kullanılan yük birleşimleri servis yüklerini ifade etmektedir. Her ne kadar her iki yöntem de sınır durumlar yaklaşımını kullanıyor olsa da, yöntemlerde kullanılan yük birleşimleri dikkate alındığında, GKT yöntemi emniyet gerilmeleri yöntemine, YDKT yöntemi ise betonarme elemanların tasarımında da kullanılan taşıma gücü yöntemine daha yakındır.

Bu çalışmada, kompozit kirişlerin dayanımlarının, betonarme elemanların tasarım yöntemine benzemesi nedeniyle, YDKT yöntemi kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle, bu bölümde de dayanım hesapları için ÇYTHYEY'de verilen esaslar özetlenirken yalnız YDKT yöntemi için tanımlanan esaslara değinilecektir. Ancak, YDKT yöntemi kullanılarak hesaplanan tasarım dayanımlarının GKT yöntemi kullanılarak hesaplanan güvenli dayanımlara kolayca çevrilebileceği belirtilmelidir. ÇYTHYEY'de farklı kesit zorlarının etkisindeki çelik yapı elemanları için tanımlanan ϕ ve Ω katsayıları dikkatle incelenirse, elemana etkiyen kesit zorundan bağımsız olarak bu iki katsayının çarpımının 1,50'ye eşit olduğu gözlenebilir. Diğer bir ifadeyle, herhangibir çelik yapı elemanın güvenli dayanımı, tasarım dayanımı 1,50'ye bölünürek kolayca hesaplanabilmektedir.

2.1. Genel Esaslar

ÇYTHYEY'de, genel esasların özetlendiği Bölüm 12.2'de, taşıyıcı sistemlerinde kompozit elemanlar içeren yapılarda, eleman ve birleşimlere etkiyen iç kuvvetlerin hesabında, kompozit yapı elemanlarının etkin enkesit özelliklerinin dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir. Ancak, yönetmelikte bu konuda başkaca bir detay verilmemiştir. AISC 360-16'da kompozit elemanların tasarım esasları Bölüm I'da sunulmaktadır. Genel ilkelerin verildiği Bölüm I1'de, ÇYTHYEY'de verilen esasa benzer bir esas bulunmaktadır. Ancak, bu bölümde, yük artışının uygulandığı bütün zamanlarda belirlenen etkin enkesitlerin dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir.

AISC 360-16 yönetmeliğinin Yorum I1.1 (Comm. I1.1) bölümünde, kompozit kesitlerin tasarımında hem çelik hem de beton davranışının dikkate alınması gerektiği ve yönetmelikte verilen esasların iki malzemenin güncel tasarım ve detaylandırma esasları arasındaki uyumsuzlukları en aza indirgemek amacıyla geliştirildiği belirtilmektedir. Bu amaçla, kompozit elemanların tasarımında betonarme elemanların tasarımında kullanılan enkesit dayanımı yaklaşımının kullanıldığı ifade edilmektedir. Aynı bölümde, yönetmelikte yalnız kompozit kesitlerin dayanıma göre tasarım esaslarının sunulduğu, ancak tasarımcının yapım aşamasında oluşan yüklerin etkilerini belirlerken bu aşamada oluşan yüklerin yalnız çelik profil tarafından taşındığını göz önünde bulundurması gerektiği, ayrıca, kullanımı boyunca yapıda oluşan şekil değiştirmelerin mutlaka tasarıma dahil edilmesi ve bu hesaplarda betonda oluşabilecek sünme ve rötre (büzülme) etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmektedir.

2.2. Dayanım Hesaplarında Kullanılan Yöntemler

ÇYTHYEY Bölüm 12.2.2'de, kompozit elemanların karakteristik dayanımlarının, (i) plastik gerilme dağılımı, (ii) şekil değiştirme uygunluk, (iii) elastik gerilme dağılımı ve (iv) etkin gerilme–şekil değiştirme yöntemlerinden uygun olan kullanılarak hesaplanması gerektiği belirtilmektedir. AISC 360-16 Yorum I1.2'ye göre, yukarıda adı geçen yöntemlerden ilki olan plastik gerilme dağılımı yöntemi, kompakt kesitli kompozit elemanların karakteristik eksenel ve eğilme momenti dayanımlarının hesabı için sunulan genel bir yöntemdir. İkinci yöntem olan şekil değiştirme uygunluk yöntemi, yine kompakt kesitli kompozit yapı elemanlarının kesit dayanımlarının hesabında kullanılabilecek alternatif bir yöntemdir. Elastik gerilme dağılımı yöntemi ise gövdeleri kompakt olmayan kompozit kirişlerin dayanım hesaplarında kullanılabilen ve AISC 360 yönetmeliklerinin önceki baskılarında da bulunan bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Yönetmeliğin 2016 baskısına eklenen ve önceki baskılarında bulunmayan dördüncü yöntem (etkin gerilme-şekil değiştirme yöntemi) ise kompakt olmayan ya da narin kesitli elemanların kesit dayanımı hesabı için tanımlanmış bir yöntemdir. AISC 360-16 Yorum I1.2'de, bu yöntemler arasında, plastik gerilme dağılımı yönteminin basit ve çoğu tasarıma uyan bir hesap yöntemi olduğu belirtilmektedir.

AISC 360-16 Yorum I1.2'ye göre, plastik gerilme dağılımı yöntemi enkesitin plastik sınır analizine dayanmakta, bu analizde enkesitin tamamının plastikleşerek mafsallaştığı (mekanizma oluştuğu) kabul edilmektedir. Aynı bölümde, bu yöntemde çelik ve beton malzemenin eksenel yük altında rijit-plastik davranışa sahip olduğunun kabul edildiği (Şekil 1.19), bu nedenle, çelikteki gerilmenin hem çekme hem de basınç etkisinde karakteristik akma gerilmesi F_y'ye, betondaki gerilmenin ise basınç etkisinde betonun karakteristik basınç gerilmesi f_{ck}'nın 0,85 katına çekme etkisinde ise sıfıra eşit olduğunun kabul edildiği ifade edilmektedir. Bu yöntemdeki bir diğer önemli kabul de, çelik kirişin kompakt kesitli olduğu kabulüdür. Bu durumda, çelik malzeme akma dayanımına beton malzeme ise basınç dayanımına ulaşana kadar çelik profilde yerel burkulma gözlenmediğinden, kompozit kesitte hem çelik hem de beton malzemede yeterince büyük şekil değiştirmelere ulaşılabilmektedir. Aynı yönetmeliğin Yorum I3.2a bölümüne göre, gövdesi narin olmayan profillerden oluşan kompozit kirişlerde de bu yöntem kullanılabilmektedir.

AISC 360-16 Yorum I1.2b'de, kesit dayanımı hesabında kullanılan temel esasların bazı tasarım koşullarında ya da enkesit türlerinde uygulanamaması durumunda

eleman dayanımlarının şekil değiştirme uygunluk yöntemi kullanılarak belirlenebileceği belirtilmektedir. Bu yöntemde, beton ve çelik malzeme için uygun eksenel gerilme-şekil değiştirme ilişkileri kullanılması koşuluyla genel şekil değiştirme dağılımı ve uygunluk bağıntıları esas alınarak eleman dayanımı belirlenebilmektedir. İlgili yönetmeliğin belirtilen bölümünde, şekil değiştirme uygunluk yönteminde taşıma gücüne odaklanıldığı, kompakt olmayan ya da narin enkesitlere sahip çelik profiller içeren kompozit kirişlerde yerel burkulma veya sargılama gibi üç boyutlu etkilerin dahil edilebileceği malzeme modellerinin kullanımına izin verildiği ifade edilmektedir.

AISC 360-16 Yorum I1.2c'de, elastik gerilme dağılımı yönteminin plastik gerilme dağılımı yönteminin kullanılamadığı durumlar için tanımlandığı belirtilmektedir. Aynı yönetmeliğin Yorum I3.2a bölümüne göre, narin gövdeli profiller içeren kompozit kirişlerin eğilme momenti dayanımları, güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, $n=E_c/E_s$ modüler oranı kullanılarak elde edilen dönüştürülmüş kesitte oluşan en büyük gerilme çeliğin akma gerilmesine eşitlenerek hesaplanabilir. Ancak, bu tür kirişlerde, çelik kirişlerin altına geçici desteklerin konulmadığı durumlarda, beton dayanımını kazanana kadar çelik profilde oluşan gerilmeler, betonun dayanımını kazanması sonrası kompozit kirişte oluşan gerilmelere eklenmelidir.

AISC 360-16 yönetmeliğinin Yorum I1.2d bölümünde, etkin gerilme şekil değiştirme yönteminin kompakt olmayan ya da narin kesitli çelik profiller içeren kompozit elemanların kesit dayanımlarının eksenel yük ve eğilme momenti arasındaki etkileşimin dikkate alınarak hesaplanmasında kullanılabilecek alternatif bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Bu yöntemde, kesit dayanımı hesabında lif-esaslı yaklaşımlar kullanılmakta; çelik profilde oluşan yerel burkulma, akma ve/veya artık gerilmeler ile betonda gözlenen ezilme, çatlama ve/veya sargılama gibi kompozit kesitin dayanımını belirleyen bütün önemli etkiler malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinde dahil edilerek ve şekil değiştirme uyumu kullanılarak hesaplanabilmektedir.

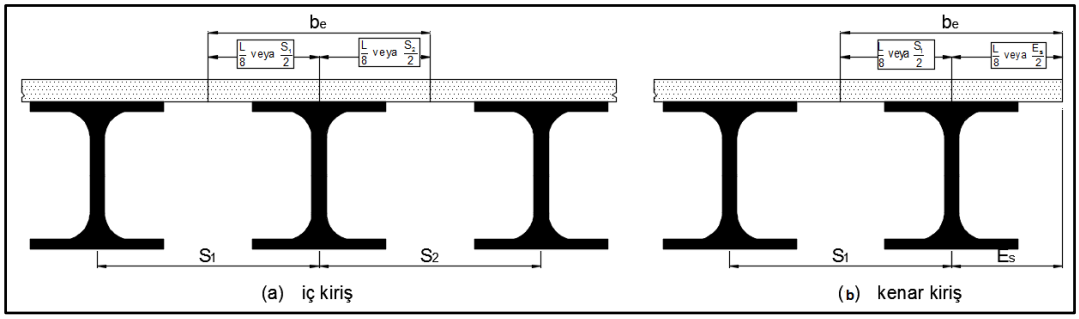
2.3. Malzemeler İçin Sınır Koşullar

ÇYTHYEY Bölüm 12.2.3, kompozit elemanlarda kullanılacak yapısal çelik, donatı ve betonun malzeme özelliklerine bazı sınırlandırmalar getirmiştir. Buna göre, kompozit elemanlarda kullanılan yapısal çelik elemanlar ile donatıların karakteristik akma gerilmeleri sırasıyla, F_y ve F_{ysr}, 460 ve 500 MPa'dan büyük olmamalıdır. Benzer şekilde, kompozit döşemede kullanılan betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı, f_{ck}, 20 MPa'dan küçük 70 MPa'dan büyük olmamalıdır. AISC 360-16 Bölüm

I1.3'te malzeme dayanımları için tanımlanan sınırların, F_y için 525 MPa, F_{ysr} için 550 MPa olduğu; normal ağırlıklı beton için 21 ile 69 MPa, hafif beton için ise 21 MPa ile 41 MPa olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, ÇYTHYEY'de beton dayanımları için verilen sınırların normal dayanımlı beton için geçerli olduğu söylenebilir. AISC 360-16 Bölüm I1.3'teki bir Kullanıcı Notu'nda (User Note), dayanımı daha yüksek olan betonun malzeme özelliklerinin rijitlik hesaplarında kullanılabileceği fakat deneysel ya da analitik olarak ispatlanmadıkça dayanım hesaplarında kullanılmaması gerektiği ifade edilmektedir. İlgili bölümün Yorum kısmında, malzeme sınırlamalarının mevcut deneysel çalışmalar baz alınarak tanımlandığı belirtilmektedir.

2.4. Etkin Döşeme Genişliği

Tezin kapsamında incelenen çelik ankrajlı kompozit kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının belirlenmesinde uyulması gereken esaslar ÇYTHYEY Bölüm 12.4'te verilmiştir. Benzer esaslar, AISC 360-16'da Bölüm I3'te sunulmaktadır. Belirtilen bölümlerde yalnız kompozit kirişler için değil, eğilme momenti etkisindeki bütün kompozit elemanlar için tasarım kuralları da verilmektedir. Bölüm 12.4.1.1'e göre, kompozit kirişlerde döşemenin etkin genişliği, kirişin iki tarafında ayrı ayrı tanımlanan etkin genişlikler toplanarak hesaplanmalıdır. Belirtilen etkin genişlikler (a) kiriş açıklığının sekizde birini, (b) kiriş kesitinin düşey ekseninden komşu kiriş kesitinin düşey eksenine olan mesafenin yarısını veya (c) kiriş kesitinin düşey ekseninden betonarme döşemenin serbest kenarına olan mesafeyi aşmamalıdır. Belirtilen mesafeler Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. ÇYTHYEY'ye göre etkin döşeme genişliği

AISC 360-16 Bölüm I3.1a'ya göre, kiriş açıklığı mesnetlerin merkezleri arasında ölçülmelidir. AISC 360-16 Yorum Bölüm I3.1a'da, her iki tarafında döşeme olan kompozit kirişlerle yalnız bir tarafında döşeme olan kompozit kirişler için tanımlanan etkin genişlik kurallarının aynı olduğu; ancak, tek tarafında döşeme bulunan kompozit kirişlerin etkin rijitliklerinin tasarımda önemli olduğu durumlarda, yönetmelikte verilen

esaslardan elde edilecek rijtlik değerlerinin gerçek rijitlik değerlerinden daha yüksek olabileceği uyarısı yapılmaktadır.Ayrıca, tasarımda hesap kolaylığı sağlaması amacıyla, hem basit kirişlerin hem de sürekli kirişlerin etkin genişlik hesaplarında mesnetler arası merkezden merkeze mesafeler ile kirişlerin merkezden merkeze açıklıklarının alındığı belirtilmektedir.

2.5. Yapım Aşamasındaki Dayanım

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.1.2'de, yapım aşamasındaki yüklerin kompozit yapı elemanlarının tasarımında dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir. Yapım aşamasında geçici desteklerin kullanılmaması durumunda, betonun basınç dayanımı $0,75f_{ck}$ değerine ulaşana kadar tüm yükler için yalnız çelik profilin dayanımının yeterli olduğu gösterilmelidir. AISC 360-16 Yorum I3.1b'de, kompozit kiriş tasarımında yükleme geçmişi hesaba katılırken dikkatli olunması gerektiği, geçici desteklerle desteklenmemiş kompozit kirişlerde, beton prizini alıncaya kadar kompozit kirişe uygulanan yüklerin yalnız çelik profil tarafından taşındığının, ancak betonun priz almasıyla birlikte yüklerin kompozit kesit tarafından taşındığının unutulmaması gerektiği belirtilmektedir. İlgili bölümde, tasarımda kolaylık sağlaması amacıyla, çoğu zaman betonun tasarım dayanımının %75'ine ulaştığında sertleştiği kabulü yapıldığı da ifade edilmektedir. Bu bölümde ayrıca, geçici destek kullanılmayan kompozit kirişlerde, taze betonun ağırlığı nedeniyle oluşan kiriş sehiminin döşeme kalınlığının ve dolayısıyla kirişe etkiyen sabit yükün artmasına da neden olabileceği; büyük açıklıklarda bu durumun stabilite kaybını tetikleyebileceği, döşeme kalınlığındaki aşırı artışın, kirişe ters sehim verilerek engellenebileceği de belirtilmektedir. AISC 360-16 Yorum I3.1b'ye göre, kompozit döşemede kullanılan çelik sacların çelik profilin üst başlığına bağlanmaması durumunda, yapım aşamasında çelik kirişin yanal hareketini engelleyen destekler sürekli olmayabileceğinden, yanal burulmalı burkulma çelik profilin eğilme davranışını kontrol eden sınır durum haline gelebilir.

2.6. Eğilme Rijitliği

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.1.3'te, çelik ankrajlı kompozit kirişlerin eğilme rijitlikleri için tasarım esasları sunulmaktadır. Buna göre, tam etkileşimli kompozit kirişlerde, kompozit enkesitin atalet momenti (I), çatlamamış beton göz önüne alınarak ve $n=E_s/E_c$ oranı kullanılarak elde edilen dönüştürülmüş eşdeğer çelik kesitinin atalet momentinin (I_{tr}) %75'ine eşittir.

$$I = 0,75\, I_{tr} \tag{2.1}$$

Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, kayma elemanlarının dayanımının kirişin eğilme rijitliğine olan etkisi aşağıdaki denklemle dikkate alınmalıdır.

$$I = 0{,}75\left[I_s + \sqrt{\frac{\sum Q_n}{\min\left(A_s F_y, 0{,}85 f_{ck} A_c\right)}} \left(I_{tr} - I_s\right) \right] \tag{2.2}$$

Denklem (2.2)'de, I kompozit kiriş kesitinin elastik tarafsız eksenine göre atalet momenti, I_s çelik profilin kompozit enkesitin elastik tarafsız eksenine göre atalet momenti, ΣQ_n eğilme momentinin en büyük ve sıfır olduğu noktalar arasında yerleştirilen kayma elemanlarının toplam kayma dayanımı, A_s çelik profilin enkesit alanı, A_c ise etkin genişlik içinde kalan betonarme döşemenin alanıdır [3].

Denklem (2.2), Denklem (1.8) ve Denklem (1.10) ile karşılaştırıldığında, ÇYTHYEY'de verilen formülle AISC 360-10 yönetmeliğinin Yorum bölümünde önerilen formülün aynı olduğu görülebilir. Ancak, Bölüm 1.4.3'te de belirtildiği gibi, AISC 360-16 yönetmeliğinin Yorum bölümünde, AISC 360-10'da eşdeğer atalet momentinde önerilen %25 azalmanın sağlam bir temele oturtulamadığı, bu nedenle, Denklem (2.1)'deki 0,75 katsayısının kaldırıldığı belirtilmektedir. Bu aşamada, kompozit kirişlerin atalet momenti ile ilgili denklemlerin AISC 360 yönetmeliklerinin hiçbirinde zorunlu olan ana metinde verilmediği, bilgilendirme amaçlı yönetmeliğe eklenen Yorum bölümünde tavsiye niteliğinde sunulduğu vurgulanmalıdır. Bölüm 1.4.3'te anlatıldığı gibi, hem AISC 360-16'nın Yorum bölümünde hem de AISC 360-10'nun Yorum bölümünde bulunan ve kısa süreli sehim hesapları için alternatif bir yaklaşım olarak sunulan "alt-sınır yaklaşımı" ile atalet momenti hesabı ÇYTHYEY'de bulunmamaktadır.

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.1.3'te, Denklem (2.2)'de $\Sigma Q_n/[\min(A_s F_y, 0{,}85 f_{ck} A_c]$ oranının değerinin 0,5'ten küçük olmaması gerektiği de belirtilmektedir. Diğer bir ifadeyle, ÇYTHYEY kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, kompozitlik oranının %50'den az olmasına izin vermemektedir. Buna karşın, AISC 360-16 Yorum I3.2 bölümünde, bu oranın 0,25'ten daha küçük olmaması gerektiği belirtilmektedir. Bu sınırlamanın çelik-beton arayüzünde oluşacak kaymayı ve bu kayma sonucu kompozit kirişin rijitliğinde oluşacak ciddi kayıpları engellemek için tanımlandığı ifade edilmektedir. AISC 360-10 Yorum I3.2'de, kompozit etkileşimin %50'den daha düşük olması durumunda, tasarımda iki önemli sorunla karşılaşılabileceği belirtilmektedir. Sorunlardan biri, bu tür elemanların eğilme momenti dayanımlarına oldukça büyük dönmelerde ulaşmaları nedeniyle dayanım sonrası sahip oldukları sünekliğin sınırlı olmasıdır. Diğeri ise

kompozitlik oranı düşük olan kompozit kirişlerde, profillerin ve kayma elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarının oldukça küçük yüklerde başlamasıdır. İlgili bölümde, taşıma gücüne dayanan tasarım esasları içeren mevcut yönetmeliklerin, servis yükleri altında kompozit kirişin elastik davranmasını garantilemediği, bu nedenle, kompozit etkinin az olduğu kirişlerde bu durumun sorun olabileceği belirtilmektedir. Ancak, AISC 360-16 Yorum I3.2'de kompozitlik oranı düşük kısmi etkileşimli kirişler için tanımlanan bu ifadelerin kaldırıldığı görülmektedir. Ayrıca, Amerika Çelik Yapı Enstitüsü tarafından yayınlanan Çelik Yapı Kılavuzu'nun 14. baskısında [4] verilen dayanım tablolarında kompozitlik oranının %50 ile değil %25 ile sınırlandırıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, bu tezde de kısmi etkileşimli kompozit kirişlerin dayanımları hesaplanırken etkileşim oranı %50 ile değil %25 ile sınırlandırılacaktır.

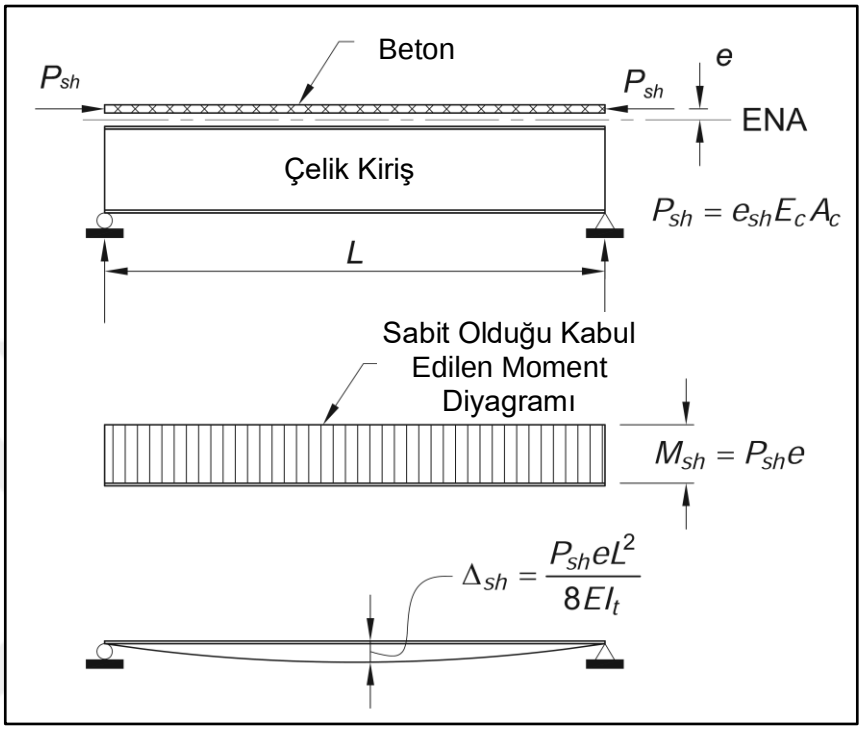
ÇYTHYEY Bölüm 12.4.1.3'te, sürekli kirişlerin atalet momentinin çatlamış kesitin atalet momentiyle çatlamamış kesitin atalet momenti kullanılarak hesaplanabileceği, daha güvenilir bir hesabın yapılmadığı durumlarda, çatlamış kesitin atalet momentinin çatlamamış kesitin atalet momentinin yarısına eşit alınabileceği belirtilmektedir. AISC 360-16 Yorum I3.2 bölümünde, sürekli kirişlerin elastik analizinde sabit rijitlik kullanımının betonarme tasarımındaki uygulamalara benzediği; kirişin rijitliğinin, döşemenin basınç etkisinde kaldığı pozitif eğilme momenti bölgesinde hesaplanan etkin atalet momenti (I_{pos}) ile döşemenin çekme etkisinde kaldığı negatif eğilme momenti bölgesinde hesaplanan etkin atalet momentinin (I_{neg}) ağırlıklı ortalamaları kullanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanabileceği ifade edilmektedir.

$$I_t = a\, I_{pos} + b\, I_{neg} \tag{2.3}$$

İlgili bölümde, yalnız ağırlık türü yüklerin etkisinde olan sürekli kirişlerde, Denklem (2.3)'teki a değerinin 0,6, b değerinin ise 0,4 olarak alınabileceği belirtilmektedir. Kompozit kirişin moment çerçevelerinde yatay yük taşıyıcı sistemin bir elemanı olarak kullanılması durumunda, yanal öteleme hesaplarında, a ve b değerlerinin her ikisinin de 0,5 olarak alınabileceği ifade edilmektir.

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.1.3'e göre, betonda oluşan çatlama ve sünme nedeniyle oluşan zamana bağlı ilave sehimler de hesaba katılmalıdır. Yönetmelik ani sehim hesaplarında $n=E_s/E_c$ oranı kullanılarak elde edilen dönüştürülmüş çelik kesitinin atalet momentinin kullanılabileceğini, ancak uzun süreli sehimlerin hesabında kesit dönüştürmesinde en az 2n katsayısının kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Bölüm 1.4.3'te de belirtildiği gibi, literatürde de uzun süreli sehim hesaplarında n yerine 2n

veya 3n değerinin kullanılmasının uygun olacağı belirtilmektedir. AISC 360-16 Yorum I3.2 bölümünde, rötre (büzülme) nedeniyle oluşan uzun süreli şekil değiştirmelerin Şekil 2.2'de gösterilen basitleştirilmiş model kullanılarak hesaplanabileceği ifade edilmektedir.



Şekil 2.2. Kompozit kirişlerde rötre etkilerinin hesaplanması [4]

Şekil 2.2'den de fark edilebileceği gibi, bu yaklaşımda rötrenin etkisi döşemenin merkezine uygulanan P_{sh} rötre kuvvetleriyle modellenmektedir. Kompozit kirişin elastik tarafsız ekseninden uzaklığı e olan bu kuvvetler, kompozit kirişin uçlarında P_{sh}e şiddetli momentler oluşturmaktadırlar. AISC 360-16 Yorum I3.2 bölümünde, rötre kuvvetlerinin, uzun süreli sınırlanmış rötre şekil değiştirmeleriyle beton modülü ve döşemenin etkin alanı çarpılarak hesaplanabileceği; agregalar için sınırlanmış rötre katsayısının bilinmediği durumlarda bu değerin %0,02 alınabileceği belirtilmektedir.

AISC 360-16 Yorum I3.2 bölümünde, sünmenin uzun süreli etkisinin de Şekil 2.2'dekine benzer bir model kullanılarak hesaplanabileceği, ancak sünme nedeniyle oluşan uzun süreli ilave şekil değiştirmelerin, açıklıklar ve kalıcı hareketli yüklerin büyük olmadığı durumlarda yüksek değerlere ulaşmadığı belirtilmektedir. Ancak, betonda hafif agregaların kullanılması durumunda, sehim problemlerinin artacağı; zira, bu tür agregaların sünme katsayılarının ve nem emilimlerinin diğer agregalara kıyasla daha yüksek, elastisite modüllerinin ise daha düşük olduğu ifade edilmektedir. İlgili

bölümde, uzun süreli şekil değiştirme hesaplarında mühendislik öngörüsünün ve deneyiminin gerektiği çünkü bu tür hesaplarda pek çok değişkenin dikkate alınması gerektiği ve her bir değişkenin etkisinin doğrusal süperpozisyon yöntemiyle birleştirilmesinin her zaman doğru sonuçlar vermeyeceği vurgulanmaktadır.

2.7. Tasarım Eğilme Momenti Dayanımı

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2'de, kompozit kirişlerin YDKT yöntemine göre tasarım eğilme momenti dayanımı hesaplanırken kullanılması gereken dayanım katsayısının ϕ_b=0,9 olduğu belirtilmektedir. Bu katsayı hem pozitif eğilme durumunda, hem de negatif eğilme durumunda kullanılabilir. ÇYTHYTY pozitif eğilme durumunu, kompozit kirişte bulunan betonarme parçasının tamamının veya bir kısmının basınç etkisinde kaldığı eğilme olarak tanımlamaktadır. Benzer şekilde, betonarme döşemenin çekme etkisinde kaldığı eğilme durumu negatif eğilme olarak tanımlanmaktadır.

2.7.1. Pozitif karakteristik eğilme momenti dayanımı

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2.1'e göre, çelik ankrajlı kompozit kirişlerin pozitif karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n) için kullanılacak hesap yöntemi çelik profilin gövde narinliğine, yani, düz gövde yüksekliği h'nin gövde kalınlığı t_w'ye oranına bağlıdır. h/t_w oranı $3,76\sqrt{E/F_y}$ (burada, E ve F_y sırasıyla yapısal çeliğin elastisite modülü ve karakteristik akma gerilmesidir.) değerinden daha küçük olan çelik profillere sahip kompozit kirişlerin dayanımı, akma sınır durumu dikkate alınarak ve plastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılarak hesaplanabilir. Buna karşın, gövdeleri kompakt olmayan, yani h/t_w oranı $3,76\sqrt{E/F_y}$ 'den büyük olan profillerden oluşan kompozit kirişlerin dayanımı, elastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılarak hesaplanmalıdır. ÇYTHYEY Tablo 5.1B'de eğilme momenti etkisindeki çelik profillerin gövdeleri için verilen sınır değerler dikkate alındığında, $3,76\sqrt{E/F_y}$ 'nin λ_p'ye eşit olduğu, diğer bir ifadeyle, çelik kirişlerin gövdelerinin kompakt olarak sınıflandırılması için tanımlanan üst sınır değere eşit olduğu görülebilir. AISC 360-16 Yorum I3.2a'da, çelik profiller için tanımlanan bu sınır değerin güvenli tarafta kalarak kompozit kirişlere uygulandığı belirtilmektedir. Tezin kapsamında ele alınan bütün çelik profillerin gövdelerinin, incelenen bütün çelik kalitelerinde kompakt olarak sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, bu tezde ele alınan kompozit kirişlerin tamamında pozitif tasarım eğilme momenti dayanımı, plastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılarak hesaplanacaktır.

AISC 360-16 Bölüm I3.2a'da da çelik ankrajlı kompozit kirişlerin pozitif eğilme momenti etkisindeki dayanım hesapları için aynı koşul ve yöntemler tanımlanmıştır. AISC 360-16 ile ÇYTHYEY arasındaki en belirgin fark, AISC 360-16'da plastik gerilme dağılımı yöntemiyle moment dayanımı hesabı için detaylı bilgi vermemesidir. AISC 360-16'nın Yorum bölümü ile ÇYTHYEY karşılaştırıldığında, ÇYTHYEY'de sunulan tasarım formüllerinin AISC 360-16'nın Yorum bölümünde sunulanlarla benzer olduğu anlaşılmaktadır.

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2.1a'da, çelik ankrajlı kompozit kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının (M_n), plastik tarafsız eksenin (PTE'nin) olası 3 konumu olan (i) betonarme döşemede bulunması, (ii) çelik profilin üst başlığında olması veya (iii) çelik profilin gövdesinde olması durumlarında aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabileceği belirtilmektedir;

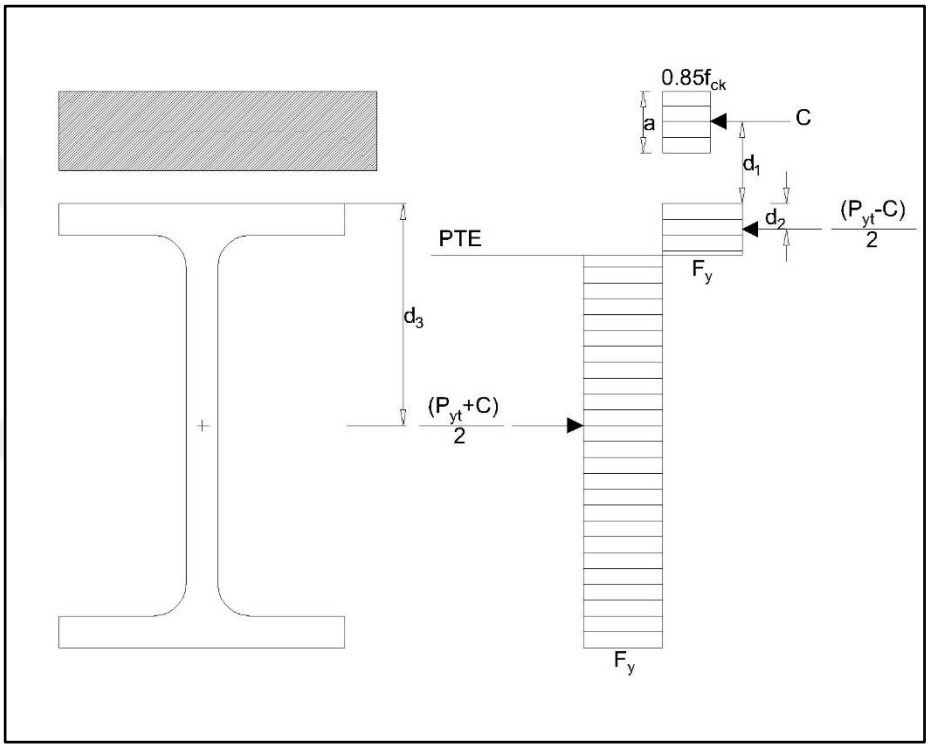
$$M_n = C(d_1 + d_2) + P_{yt}(d_3 - d_2) \tag{2.4}$$

Denklem 2.4'te, P_{yt} çelik profilin akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımına, yani, yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi F_y ile çelik profilin enkesit alanı A_s'nin çarpımına eşittir. C ise betonarme döşemede oluşan basınç kuvveti olup, Denklem (2.5)'ten hesaplanmalıdır;

$$C = \min\left(0{,}85f_{ck}A_c; A_sF_y; \sum Q_n\right) \tag{2.5}$$

Denklem (2.5)'ten C'nin, (i) betonarme döşemenin tamamının etkin çalıştığı durumdaki beton basınç dayanımı $0{,}85f_{ck}A_c$, (ii) çelik profilin tamamın çekmeye çalıştığı durumda profilin çekme dayanımı A_sF_y ile (iii) arayüzde kullanılan kayma elemanlarının toplam kayma dayanımı ΣQ_n'den küçük olana eşit olduğu görülmektedir. Bölüm 1.4.4'te de belirtildiği gibi, C, tam etkileşimli kompozit kirişlerde, A_sF_y ile $0{,}85f_{ck}A_c$'den küçük olana; kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde ise ΣQ_n'e eşittir. AISC 360-16 Yorum I3.2a'da, betonarme döşemede bulunan boyuna donatıların C'ye etkisinin $C=0{,}85f_{ck}A_c$ olmadığı durumlarda ihmal edilebileceği, tersi durumlarda ise, A_c alanında kalan boyuna donatının enkesit alanı ile donatının akma gerilmesi çarpılarak C kuvvetine eklenebileceği belirtilmektedir. Benzer bir ifade, ÇYTHYEY'de Bölüm 12.4.2.1a'da bulunmaktadır. Bu bölümde, $C=0{,}85f_{ck}A_c$ olması durumunda, betonarme döşemenin etkin genişliği içinde kalan boyuna donatıların alanının katkısının da göz önüne alınabileceği ifade edilmektedir.

Şekil 2.3'te, PTE'nin çelik profilin gövdesinden geçtiği bir durum için kompozit enkesitte oluşan gerilme dağılımı ile Denklem (2.4)'teki d_1, d_2, ve d_3 mesafeleri gösterilmiştir. Denklem (2.4)'te, d_1 C kuvveti ile çelik profilin en üst kotu arasındaki dik uzaklık, d_2 PTE'nin çelik profilin gövdesinde veya başlığında kaldığı durumlarda, yani çelik enkesitin bir kısmının basınç etkisinde kaldığı durumlarda, çelik enkesitte oluşan basınç kuvvetinin etki noktasının çelik profilin en üst kotu ile arasındaki dik uzaklık (çelik profilde basınç oluşmadığı durumlarda, d_2=0'dır.), d_3 P_{yt} kuvveti ile çelik profilin en üst kotu arasındaki mesafe olup, I-kesitli çelik profiller için profilin yüksekliğinin yarısına eşittir.



Şekil 2.3. Kompozit kirişte pozitif eğilme momenti için genel plastik gerilme yayılışı [3]

Şekil 2.3'te, kompozit etkileşime giren beton kalınlığı, a, Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanabilir:

$$a=\frac{C}{0,85f_{ck}b} \tag{2.5}$$

Denklem (2.5)'te, b betonarme döşemenin etkin genişliğidir.

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2.1b'de narin gövdeli (yani, gövde narinliği kompaktlık sınırı olan $3,76\sqrt{E/F_y}$ değerinden büyük olan) I-kesitli hadde profillerden oluşan kompozit

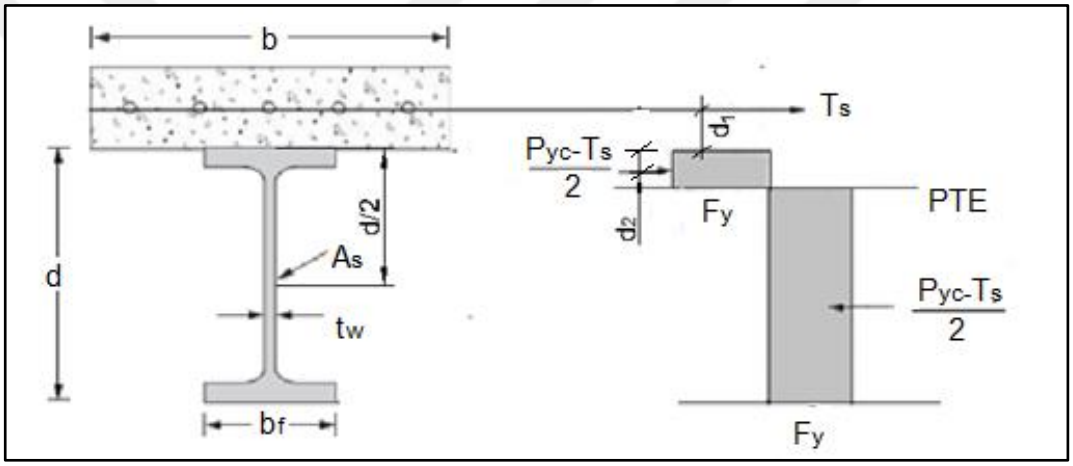
kirişlerin, çelik profilin gövdesinde gözlenecek yerel burkulma nedeniyle plastik eğilme momenti dayanımına ulaşamayacağı belirtilmektedir. ÇYTHYEY bu durumda kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n'nin ve çelik profilin elastik tarafsız ekseninden (ETE'den) en uzak olan lifinde elastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılarak hesaplanan gerilmenin akma gerilmesine ulaştığı moment olarak hesaplanmasını istemektedir. ÇYTHYEY, yapım aşamasında geçici desteklerin kullanılmadığı kompozit bir kirişte oluşan gerilmeler hesaplanırken, kompozit etki başlayana kadar kirişe etkiyen yüklerin çelik profilde oluşturduğu gerilmelerle, betonun dayanımını kazanmasından sonra kirişe uygulanan yüklerin kompozit kesitte oluşturduğu gerilmelerin toplanması gerektiğini belirtmektedir. ÇYTHYEY, yapım aşamasında geçici desteklerin bulunduğu durumlarda ise destekler kaldırıldıktan sonra kirişe uygulanan yüklerin tamamının kompozit kesit tarafından taşındığının kabul edilmesine izin vermektedir. ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2.1b'de, narin gövdeli kompozit kirişlerin eğilme momenti dayanımları hesaplanırken, $n=E_s/E_c$ ile hesaplanan dönüştürülmüş enkesit özelliklerinin kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

2.7.2. Negatif karakteristik eğilme momenti dayanımı

ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2.2'de, negatif eğilme momenti etkisinde (yani, alt lifleri basınç etkisinde) olan çelik ankrajlı kompozit kirişlerin negatif karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n) için iki farklı yaklaşım sunulmaktadır. İlk yaklaşımda, çelik profille betonarme döşemenin arasındaki etkileşim ihmal edilmekte, kompozit kirişin dayanımı çelik profilin dayanımına eşit alınmaktadır. İkinci yaklaşımda ise kiriş dayanımı kompozit etkileşim dikkate alınarak ve kompozit enkesitte plastik gerilimi dağılımı yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak, tasarımda bu yaklaşımın kullanılabilmesi için, kompozit kesitte öngörülen plastik gerilme dağılımı oluşana kadar çelik profilde yerel veya yanal burulmalı burkulma gözlenmemelidir. Diğer bir ifadeyle, kompozit kirişte kompakt kesitli çelik profil kullanılmalı, profilin basınç etkisindeki alt başlıkları yanal doğrultuda desteklenmelidir. ÇYTHYEY, tasarımda ikinci yaklaşımın kullanılabilmesi için çelik ankrajların negatif moment bölgesinde de kullanımını şart koşmuştur. Ayrıca, betonarme döşemede etkin genişlik içine mutlaka çelik profilin boyuna ekseni yönünde çelik donatı yerleştirilmelidir. Zira, negatif eğilme momenti etkisinde, döşeme çekme etkisinde kalacağından döşemede oluşan çekme kuvvetini donatılar almalıdır. Belirtilen koşulların tamamının sağlanması durumunda, kompozit kirişin negatif karakteristik eğilme momenti dayanımı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$M_n = T_s\left(d_1 + d_2\right) + P_{yc}\left(\frac{d}{2} - d_2\right) \tag{2.6}$$

Denklem (2.6)'da, T_s döşemedeki boyuna donatıda oluşan toplam çekme kuvveti, P_{yc} çelik profilin akma sınır durumunda eksenel basınç kuvveti dayanımı (A_sF_y), d çelik profilin yüksekliği, d_1 döşemedeki boyuna donatının geometrik merkezi ile çelik profilin üst kotu arasındaki uzaklık, d_2 ise plastik tarafsız eksenin çelik profilin içinden geçtiği durumlarda, profilin çekme etkisinde kalan kısmının geometrik merkezi ile profilin üst kotu arasındaki uzaklıktır. PTE'nin çelik profilin üstünde kaldığı durumlarda, d_2=0'dır. Şekil 2.4'te d, d_1 ve d_2 mesafeleri, PTE'nin çelik profilin gövdesinde kaldığı bir durum için gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Negatif moment etkisindeki çelik ankrajlı kompozit kirişlerde plastik gerilme dağılımı

Boyuna donatıdaki çekme kuvveti T_s, kompozit kirişteki etkileşim oranına bağlı olarak ya donatı çeliğinin akma yüküne ya da çelik ankrajların toplam kayma kuvveti dayanımına eşittir.

$$T_s = \min\left(F_{ysr}A_{sr}; \sum Q_{n,ankraj}\right) \tag{2.7}$$

Denklem (2.7)'de, A_{sr} etkin döşeme genişliğinin içinde kalan boyuna donatı alanı, F_{ysr} beton çeliğinin (donatının) karakteristik akma dayanımı, $\sum Q_{n,ankraj}$ ise negatif eğilme momentinin mutlak değerce en büyük ve sıfır olduğu noktalar arasında bulunan kayma elemanlarının toplam kayma dayanımıdır.

AISC 360-16 Yorum I3.2b bölümünde, açıklığı boyunca çelik ankrajlar kullanılarak kompozit etki sağlanan sürekli bir kirişin negatif moment bölgesinde, döşemenin

çatlamasının ardından bu bölgede oluşan momentin çelik profil ile doğru kenetlenmiş döşeme donatılarıyla taşınacağı belirtilmektedir. Yönetmeliğin aynı bölümünde, teorik olarak P_{yc}'nin T_s için üçüncü bir sınır değer olduğu; ancak, pratikte betonarme döşemede kullanılan donatı miktarları dikkate alındığında bu sınırın T_s için belirleyici olmadığı ifade edilmektedir.

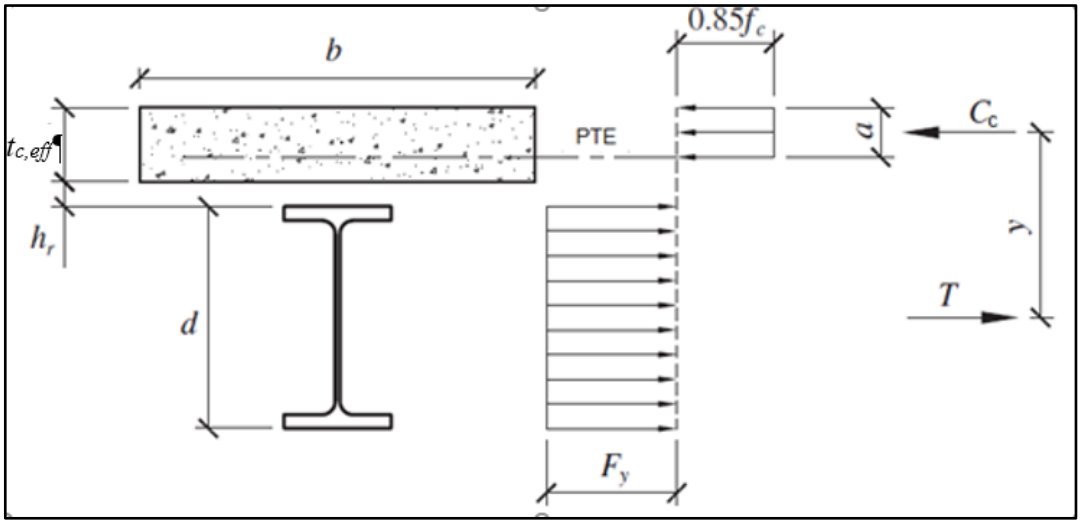
3. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN KARAKTERİSTİK EĞİLME DAYANIMI HESABINDA KULLANILABİLECEK PRATİK TASARIM DENKLEMLERİNİN ÇIKARILMASI

Pozitif eğilmeye maruz kalan çelik ankrajlı kompozit kirişlerde plastik tarafsız eksenin (PTE'nin) yeri, çelik-beton arayüzünde oluşan kesme kuvvetinin ne kadarının çelik ankrajlarla (kayma elemanlarıyla) taşındığına bağlıdır. Bölüm 2.7.1'de bahsedildiği gibi, ÇYTHYEY Bölüm 12.4.2.1'e göre tam etkileşimli kompozit kirişlerde (yani, yeterli çelik ankraja sahip kirişlerde) $\sum Q_n$, $0{,}85f_{ck}A_c$ ile A_sF_y değerlerinden küçük olana eşittir. Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde ise (yani, ankraj sayısı gerekenden az olan kirişlerde) ise $\sum Q_n$, ankrajların toplam kayma dayanımları olan $\sum Q_{n,ankraj}$'a eşittir. Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, PTE çoğu zaman çelik-beton arayüzünün altında kalır. Çünkü bu tür kirişlerde betonun basınç dayanımının yalnız bir kısmından yararlanılabildiği için, kompozit kesitte oluşan toplam çekme kuvvetini dengelemek için çelik profilin bir kısmı mutlaka basınç etkisi altında kalmalıdır. Kısmi etkileşimli tüm kompozit kirişlerde, beton döşemede meydana gelen basınç kuvvetinin çelik ankrajlarla aktarılan kesme kuvvetine eşit olacağı unutulmamalıdır.

Tezin bu bölümünde, pozitif eğilme momenti etkisi altındaki tam ya da kısmi etkileşimli çelik ankrajlı kompozit kirişlerin, plastik tarafsız eksenin (PTE'nin) farklı konumları için karakteristik eğilme momenti dayanımlarını (M_n) veren pratik tasarım denklemleri türetilecektir. Bu amaçla, PTE'nin (i) betonarme döşemenin, (ii) çelik profilin üst başlığının, (iii) çelik profilin üst başlığıyla gövdesinin birleştiği bölgenin (iv) çelik profilin gövdesinin içinden geçtiği dört farklı durum ayrı ayrı ele alınacaktır.

3.1. PTE'nin Betonarme Döşemeden Geçtiği Durum

PTE'nin betonarme döşemenin içinden geçtiği durum, belki de dayanım hesabı en kolay olan durumdur; zira, bu durumda, çelik profilin tamamı çekme gerilmeleri etkisinde kalmaktadır. Betonarme döşemenin çekme dayanımı dikkate alınmadığından, döşemede oluşan basınç kuvveti C, A_sF_y'ye eşittir. Bölüm 2.7.1'de bahsedildiği gibi, bu durum, çoğu zaman tam etkileşimli kompozit kirişlerde ve $0{,}85f_{ck}A_c > A_sF_y$ olduğunda gözlenir. PTE'nin betonarme döşemenin içinden geçtiği bir kompozit kirişte oluşan plastik gerilme dağılımı Şekil 3.1'de, gösterilmektedir.



Şekil 3.1. PTE'nin betonarme döşemenin içinden geçtiği durumda kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı [19]

Şekil 3.1'de, çelik profil döşeme sacının hadvelerine dik yerleştirildiğinden, Bölüm 1.4.2'de bahsedildiği gibi, hadvelerin üst kotunun altında kalan beton alanı hesapta göz ardı edilmektedir. Şekil 3.1'de, $t_{c,eff}$ hadvelerin üst kotunun üstünde kalan beton kalınlığı, h_f ise hadve yüksekliğidir. PTE'nin döşemenin içinden geçtiği durumda, kompozit etkileşime giren beton kalınlığı a, Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanabilir. Bu tür kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n), betonarme döşemede oluşan ve şiddeti A_sF_y'ye eşit olan basınç kuvveti C_c ile çelik profilde oluşan ve şiddeti yine A_sF_y'ye eşit olan çekme kuvveti T tarafından oluşturulan kuvvet çiftinin momentine eşittir;

$$M_n = C_c y = T y = A_s F_y y \tag{3.1}$$

Denklem (3.4)'te y, kuvvet çiftinin arasındaki mesafedir ve aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

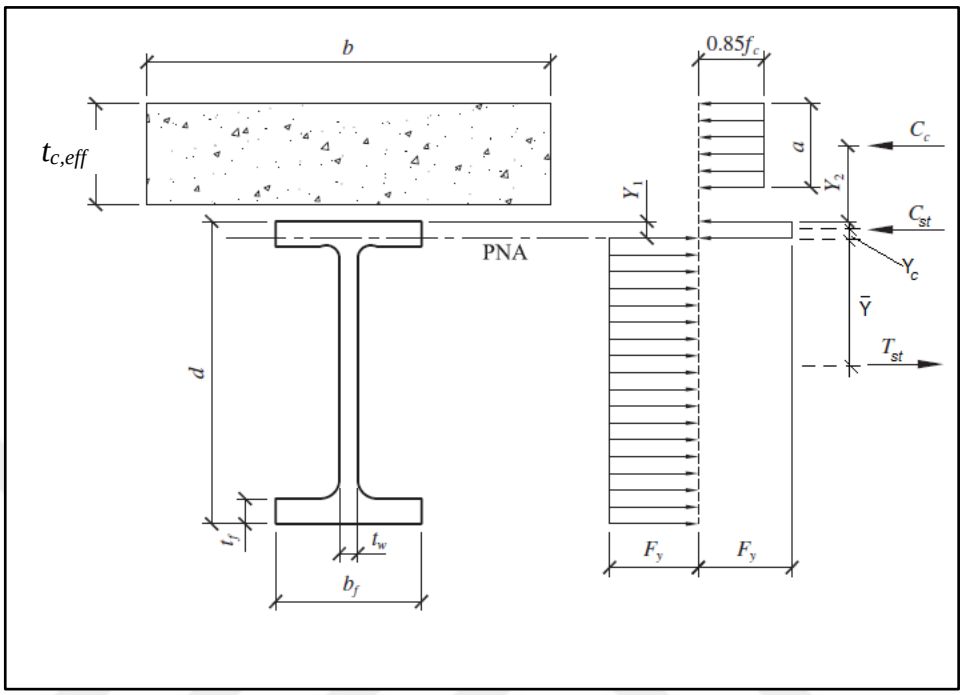
$$y = \frac{d}{2} + t_c - \frac{a}{2} \tag{3.2}$$

Denklem (3.2)'de, d çelik profilin yüksekliği, t_c ise betonarme döşemenin toplam kalınlığıdır. Şekil 3.1'deki durumda t_c, $t_{c,eff}$ ile h_f'nin toplamına eşittir.

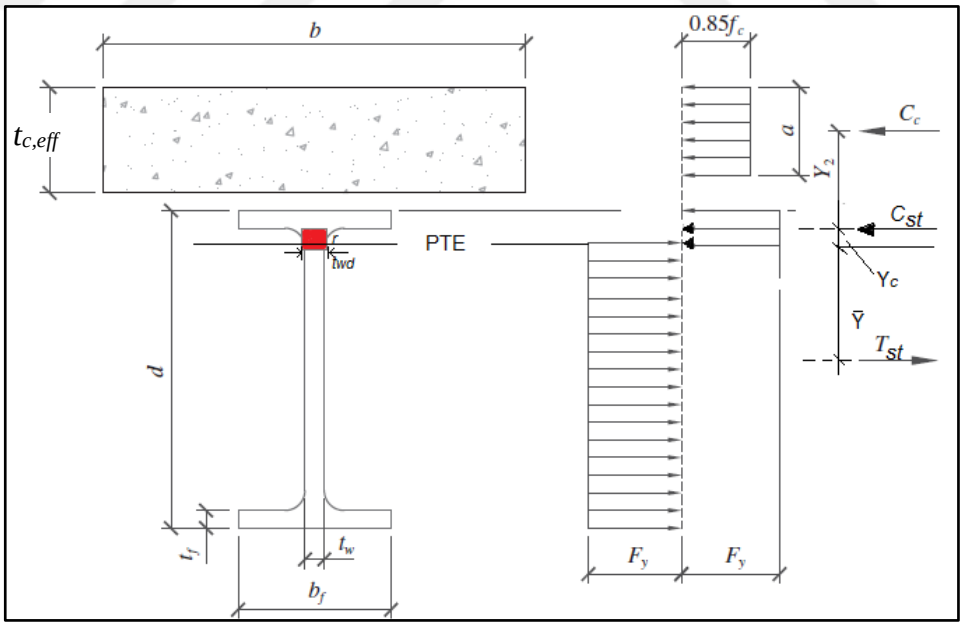
3.2. PTE'nin Çelik Profilden Geçtiği Durumlar

PTE'nin çelik-beton ara yüzünün altında kaldığı, yani çelik profilin içinden geçtiği durumlar, döşemenin kompozit davranışta en etkin çalıştığı durumlardır. Beton

döşemenin basınç dayanımının miktarına bağlı olarak PTE, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, çelik profilin başlığında (Şekil 3.3a), başlık gövde birleşimindeki eğrilik bölgesinde (Şekil 3.3b) veya profilin gövdesinde (Şekil 3.3c) bulunabilir.

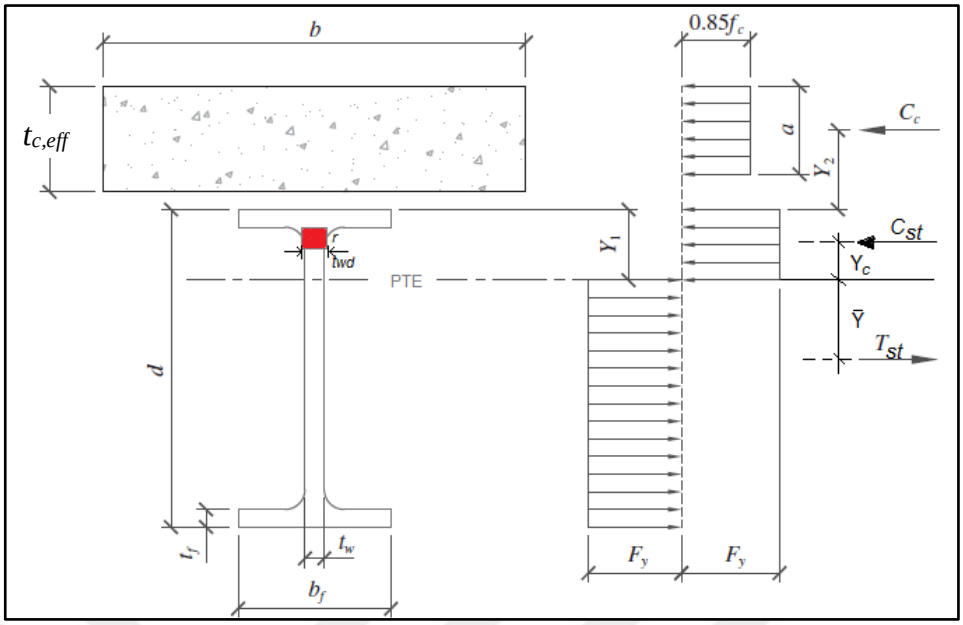


(a)



(b)

Şekil 3.2. (a) PTE'nin çelik profilin başlığından geçtiği ve (b) PTE'nin eğrilik bölgesinde kaldığı durumlarda kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımları [19'dan uyarlanmıştır.]



(c)

Şekil 3.2 (Devam). (c) PTE'nin çelik profilin gövdesinden geçtiği durumda, kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı [19'dan uyarlanmıştır.]

Şekil 3.2'den görülebileceği gibi, PTE'nin çelik profilden geçtiği durumlarda, profilin PTE'nin üstünde kalan parçasında basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Bu çalışmada çelik profilin basınçta ve çekmede kalan kısımlarında oluşan kuvvetlerin şiddetleri sırasıyla C_{st} ve T_{st} olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.2).

PTE'nin çelik enkesitin başlığında veya gövdesinde olduğu çelik ankrajlı kompozit kirişlerde karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n), enkesitte oluşan üç kuvvetin şiddetlerinin (C_c, C_{st} ve T_{st}) PTE'ye göre momentleri toplanarak hesaplanabilir;

$$M_n = C_c\left(Y_1 + Y_2\right) + C_{st}Y_c + T_{st}\bar{Y} \tag{3.3}$$

Denklem (3.3)'te, Y_c ve $\bar{Y}$ sırasıyla, C_{st} ve T_{st}'nin etkime noktalarının PTE'ye olan mesafeleri, Y_1 ve Y_2 ise sırasıyla PTE'nin ve C_c'nin çelik profilin üst kotuna olan mesafelerdir.

Basit eğilme etkisindeki bir kirişte normal kuvvet olmadığından, $T_{st}=C_{st}+C_c$ olmalıdır. Diğer yandan, T_{st} ile C_{st}'nin şiddetlerinin toplamı çelik profilin akma dayanımına, $P_{yt}=A_sF_y$ eşittir. Buradan, C_{st} ve T_{st} şu şekilde ifade edilebilir;

$$T_{st} = C_c + C_{st} \tag{3.4}$$

$$P_{yt} = T_{st} + C_{st} \tag{3.5}$$

Denklem (3.4) ve Denklem (3.5) kullanılarak C_{st} ve T_{st}, P_{yt} ve C_c cinsinden ifade edilebilir;

$$C_{st} = \frac{P_{yt} - C_c}{2} \tag{3.6}$$

$$T_{st} = \frac{P_{yt} + C_c}{2} \tag{3.7}$$

Şekil 3.2'de çelik profilde oluşan plastik gerilme dağılımı dikkate alındığında, P_{yt}'nin çelik profilin üst kotuna olan momentinin şiddetinin, C_{st} ve T_{st}'in aynı eksene göre momentlerinin şiddetlerinin toplamına eşit olduğu görülebilir;

$$P_{yt}\frac{d}{2} = C_{st}\left(Y_1 - Y_c\right) + T_{st}\left(Y_1 + \bar{Y}\right) \tag{3.8}$$

Denklem (3.5)'deki ilişki kullanılarak, Denklem (3.8) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$P_{yt}\frac{d}{2} = P_{yt}Y_1 - C_{st}Y_c + T_{st}\bar{Y} \tag{3.9}$$

Buradan,

$$T_{st}\bar{Y} = P_{yt}\left(\frac{d}{2} - Y_1\right) + C_{st}Y_c \tag{3.10}$$

olarak elde edilir.

Denklem (3.10), Denklem (3.3)'te yerine yazıldığında;

$$M_n = C_c\left(Y_1 + Y_2\right) + P_{yt}\left(\frac{d}{2} - Y_1\right) + 2C_{st}Y_c \tag{3.11}$$

elde edilir. Denklem (3.6), Denklem (3.11)'de yerine yazıldığında, karakteristik dayanım M_n, C_c, P_{yt}, Y_1, Y_2 ve Y_c cinsiden aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$M_n = C_c\left(Y_1 + Y_2 - Y_c\right) + P_{yt}\left(\frac{d}{2} + Y_c - Y_1\right) \tag{3.12}$$

Şekil 3.2(a)'dan, PTE'nin kiriş başlığında kaldığı durumlarda,

$$Y_c = \frac{Y_1}{2} \tag{3.13}$$

olduğu görülebilir. Ayrıca, bu durumda, profilin basınçta kalan alanı basınç başlığı b_f'nin Y_1 ile çarpımına eşit olacağından, C_{st} bu alanın çeliğin karakteristik akma gerilmesiyle çarpımına eşit olacaktır;

$$C_{st} = b_f Y_1 F_y \tag{3.14}$$

Buradan, Y_1;

$$Y_1 = \frac{C_{st}}{b_f F_y} \tag{3.15}$$

olarak elde edilebilir. Denklem (3.6), Denklem (3.15)'te yerine yazıldığında, PTE'nin kiriş başlığında kaldığı durumlarda, Y_1 için aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$Y_1 = \frac{P_{yt} - C_c}{2 b_f F_y} \tag{3.16}$$

Beton basınç kuvveti, C_c'nin etkime noktasının PTE'ye olan uzaklığı, Y_2, (t_c–a/2)'ye eşit olup, döşeme sacının detaylarına bağlı olarak Bölüm 3.1'deki gibi hesaplanmalıdır.

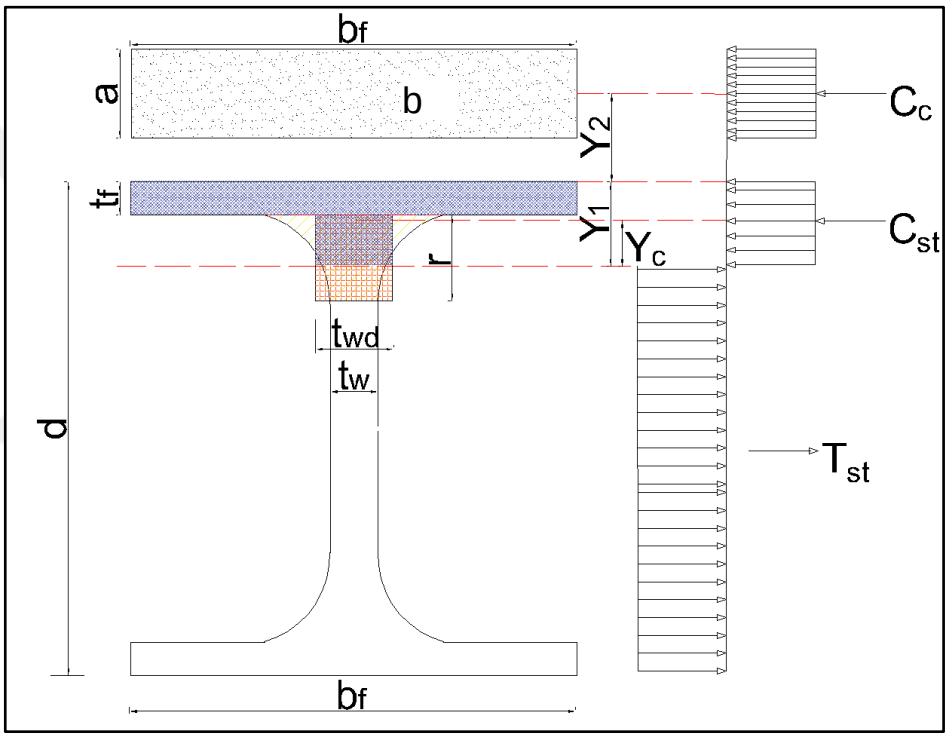
PTE'nin başlık gövde birleşimindeki eğriliklerde ya da gövdede kaldığı durumlarda, Y_c ve Y_1 hesabı karmaşık bir hal almaktadır. Bu durumlarda, hesap kolaylığı sağlamak amacıyla, eğriliklerin bulunduğu bölge, aynı yükseklik ve alana sahip eşdeğer dikdörtgene çevrilmiştir [5]. Şekil 3.2(b) ve (c)'de gösterildiği gibi, bu şekilde elde edilen eşdeğer dikdörtgenin yüksekliği eğrilik yarıçapı r'ye, genişliği ise eğrilik bölgesindeki toplam alanının r'ye bölünmesiyle elde edilen ve bu tezde t_{wd} olarak adlandırılan eşdeğer dikdörtgen genişliğine eşittir. Çelik profillerde başlık gövde birleşimlerindeki A_e alanı, profilin yarım alanı $A_s/2$'den, başlık alanı ($A_f=b_f t_f$) ve düz gövde alanının yarısı ($ht_w/2$; burada, h düz gövde yüksekliği, t_w ise gövde kalınlığıdır.) çıkarılarak hesaplanabilir;

$$A_e = \left(\frac{A_s - 2A_f - ht_w}{2} \right) \tag{3.17}$$

Denklem (3.17)'de, profilin başlık alanı, A_f, profilin başlık genişliği b_f ile kalınlığı t_f'nin çarpımına eşittir. Buradan, profillerin başlık-gövde birleşimlerinde kullanılan dönüştürülmüş dikdörtgenin genişliği t_{wd} için aşağıdaki ifade elde edilebilir;

$$t_{wd} = \left(\frac{A_s - 2A_f - ht_w}{2r} \right) \tag{3.18}$$

PTE'nin eğrilik bölgesinde kaldığı durum Şekil 3.3'te daha detaylı bir şekilde gösterilmiştir Bu durumda, çelik profilin üst başlığının tamamı ve dönüştürülmüş dikdörtgenin bir kısmı basınca maruz kalmaktadır.



Şekil 3.3. PTE'nin çelik profilin eğrilik bölgesinde kaldığı durumda, kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı

PTE'nin bu konumu için, çelik profilin basınçta kalan kısmında oluşan kuvvet (C_{st}) profilin basınç etkisinde kalan alanıyla çeliğin karakteristik akma gerilmesi çarpılarak hesaplanabilir;

$$C_{st} = \left[A_f + \left(Y_1 - t_f \right) t_{wd} \right] F_y \tag{3.19}$$

Denklem (3.6), Denklem (3.19)'da yerine yazılırsa,

$$\frac{P_{yt} - C_c - 2A_f F_y}{2F_y} = \left(Y_1 - t_f\right) t_{wd} \tag{3.20}$$

Buradan,

$$Y_1 = t_f + \frac{P_{yt} - C_c - 2A_f F_y}{2t_{wd} F_y} \tag{3.21}$$

olarak elde edilir. PTE'nin çelik profilin başlık-gövde birleşim bölgesinde kaldığı durumda, profilin basınçta kalan kısmının geometrik merkezinin PTE'ye olan uzaklığı, Y_c, Şekil 3.3'te PTE'nin üzerinde kalan toplam taralı alanın (A_f+(Y_1-t_f)t_{wd}) PTE'ye göre momenti bu alanı oluşturan Af=$t_f b_f$ alanlı başlıkla Y_1-t_f yüksekliğe ve t_{wd} genişliğe sahip dikdörtgenin PTE'ye göre alan momentlerinin toplamına eşitlenerek hesaplanabilir.

$$\left[A_f + t_{wd}\left(Y_1 - t_f\right)\right] Y_c = A_f\left(Y_1 - \frac{t_f}{2}\right) + t_{wd}\frac{\left(Y_1 - t_f\right)^2}{2} \tag{3.22}$$

Buradan,

$$Y_c = \frac{A_f\left(Y_1 - \frac{t_f}{2}\right) + t_{wd}\frac{\left(Y_1 - t_f\right)^2}{2}}{\left[A_f + t_{wd}\left(Y_1 - t_f\right)\right]} \tag{3.23}$$

elde edilir.

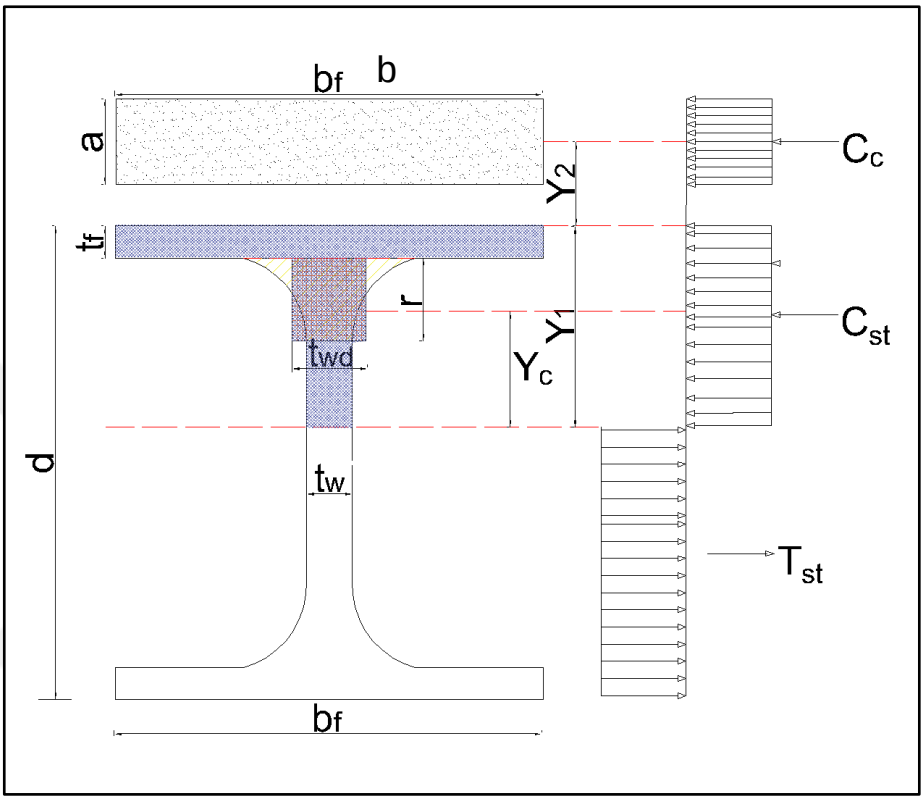
PTE'nin çelik profilin gövdesinde kaldığı durum, Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu durumda, çelik profilin üst başlığı ile dönüştürülmüş dikdörtgenin tamamı, ayrıca gövdenin bir kısmı basınca maruz kalmaktadır. Bu durumda Y_1, başlık kalınlığı t_f, dönüştürülmüş dikdörtgen yüksekliği r ve düz gövdenin PTE'nin üstünde kalan yüksekliğinin toplamına eşittir. PTE'nin bu konumu için, çelik profilin basınçta kalan kısmında oluşan kuvvet (C_{st}) profilin basınç etkisinde kalan alanıyla çeliğin karakteristik akma gerilmesi çarpılarak hesaplanabilir;

$$C_{st} = \left[A_f + A_e + \left(Y_1 - t_f - r\right) t_w\right] F_y \tag{3.24}$$

Denklem (3.6), Denklem (3.24)'te yerine yazılırsa,

$$\frac{P_{yt} - C_c - 2A_f F_y - 2A_e F_y}{2F_y} = (Y_1 - t_f - r)t_w \tag{3.25}$$

elde edilir. $P_{yt}=A_s F_y$ olduğu hatırlanarak ve Denklem (3.15) kullanılarak, Denklem (3.25) aşağıdaki denkleme indirgenebilir;



Şekil 3.4. PTE'nin çelik profilin gövdesinde kaldığı durumda, kompozit kesitte oluşan plastik gerilme dağılımı

$$\frac{ht_w F_y - C_c}{2F_y} = (Y_1 - t_f - r)t_w \tag{3.26}$$

Buradan,

$$Y_1 = \frac{h}{2} + t_f + r - \frac{C_c}{2t_w F_y} \tag{3.27}$$

olarak elde edilir. Denklem (3.27)'de, $t_f+r+h/2$ toplamı çelik profilin yüksekliğinin yarısı olan d/2'ye eşit olduğundan, PTE'nin bu konumunda Y_1 için elde edilen ifade aşağıdaki basit hali alır;

$$Y_1 = \frac{d}{2} - \frac{C_c}{2t_w F_y} \tag{3.28}$$

olarak elde edilir. PTE'nin çelik profilin gövdesinde kaldığı durumda, profilin basınçta kalan kısmının geometrik merkezinin PTE'ye olan uzaklığı, Y_c, Şekil 3.4'te PTE'nin üzerinde kalan toplam taralı alanı oluşturan alanı A_f olan başlık, alanı A_e olan başlık-gövde birleşimi ile yüksekliği (Y_1-t_f-r) genişliği t_w olan gövde parçasının PTE'ye göre alan momentlerinin toplamı toplam alana bölerek hesaplanabilir.

$$Y_c = \frac{A_f\left(Y_1 - \frac{t_f}{2}\right) + A_e\left(Y_1 - t_f - \frac{r}{2}\right) + t_w \frac{\left(Y_1 - t_f - r\right)^2}{2}}{A_f + A_e + t_w\left(Y_1 - t_f - r\right)} \tag{3.29}$$

Özet olarak, Bölüm 2.7'ye göre, pozitif moment etkisindeki çelik ankrajlı kompozit kirişlerin YDKT yöntemine göre tasarımında dayanım katsayısı ϕ_b'nin 0,90'a eşit olduğu hatırlanarak, PTE'nin çelik-beton arayüzünün altında konumlandığı durumlarda, kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının aşağıda verilen tek bir denklem kullanılarak hesaplanabileceği belirlenmiştir;

$$\phi_b M_n = 0{,}90\left[C_c\left(Y_1 + Y_2 - Y_c\right) + P_{yt}\left(\frac{d}{2} + Y_c - Y_1\right)\right] \tag{3.30}$$

Ancak, Denklem (3.30)'da tanımlanan Y_1 ve Y_c katsayıları PTE'nin konumuna bağlı olarak farklı denklemlerden hesaplanmalıdır. Tezde elde edilen denklemler, Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Denklem (3.30)'da sunulan tasarım denkleminin aslında PTE'nin betonarme döşemenin içinde kaldığı durum için de kullanılabileceği belirtilmelidir. Bu durumda, $C_c = P_{yt} = A_s F_y$ ve $Y_c = 0$ olacağından, Denklem (3.30) aşağıdaki denkleme indirgenir;

$$\phi_b M_n = 0{,}90\left[A_s F_y\left(\frac{d}{2} + Y_2\right)\right] \tag{3.31}$$

Denklem (3.31)'de (Y_2+d/2)'nin, Denklem (3.2)'de tanımlanan y'ye eşit olduğu görülebilir.

Tablo 3.1. Pozitif eğilme momenti etkisindeki çelik ankrajlı kompoizt kirişlerde PTE'nin konumuna göre kirişin tasarım eğilme momenti dayanımını veren pratik denklemler

$$\phi_b M_n = 0{,}90\left[C_c\left(Y_1 + Y_2 - Y_c\right) + P_{yt}\left(\frac{d}{2} + Y_c - Y_1\right)\right]$$

$$C_c = \min\left(0{,}85 f_{ck} A_c ; P_{yt} ; \sum Q_n\right),\quad a = \frac{C_c}{0{,}85 f_{ck} b},\quad P_{yt} = F_y A_s,\quad Y_2 = t_c - \frac{a}{2},\quad A_f = b_f t_f,\quad A_e = r t_{wd},\quad t_{wd} = \left(\frac{A_s - 2A_f - h t_w}{2r}\right)$$

PTE'nin Konumu	Döşemede	Başlıkta	Eğriliklerde	Gövdede
Y_1	$Y_1 = Y_2 - \frac{a}{2}$	$Y_1 = \frac{P_{yt} - C_c}{2 b_f F_y}$	$Y_1 = t_f + \frac{P_{yt} - C_c - 2A_f F_y}{2 F_y t_{wd}}$	$Y_1 = \frac{d}{2} - \frac{C_c}{2 t_w F_y}$
Y_c	$Y_c = 0$	$Y_c = \frac{Y_1}{2}$	$Y_c = \frac{A_f\left(Y_1 - \frac{t_f}{2}\right) + t_{wd}\frac{\left(Y_1 - t_f\right)^2}{2}}{\left[A_f + t_{wd}\left(Y_1 - t_f\right)\right]}$	$Y_c = \frac{A_f\left(Y_1 - \frac{t_f}{2}\right) + A_e\left(Y_1 - t_f - \frac{r}{2}\right) + t_w\frac{\left(Y_1 - t_f - r\right)^2}{2}}{A_f + A_e + t_w\left(Y_1 - t_f - r\right)}$

4. ÇELİK ANKRAJLI KOMPOZİT KİRİŞLER İÇİN TASARIM TABLOLARININ OLUŞTURULMASI

Bu bölümde, ülkemizde sık kullanılan çelik kaliteleri ve profiller için, çelik ankrajlı kompozit kiriş tasarımı yapan tasarımcıların kullanabileceği pratik tasarım tabloları oluşturulacaktır. Benzer tablolar, geniş başlıklı Amerikan W-kesitli kompozit kirişler için, 2012 yılında Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction) tarafından hazırlanan Çelik Yapı Kılavuzu'nda (Steel Construction Manual) sunulmuştur. Hazırlanacak tablolardan ilkinde, tezin kapsamında incelenen bütün çelik kaliteleri ve çelik profiller için, farklı kompozitlik oranlarına sahip kompozit kirişlerin YDKT yöntemine göre pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları listelenecektir. Tasarımda GKT yönteminin kullanılması durumunda, pozitif güvenli eğilme momenti dayanımları, tablolarda listelenen tasarım dayanımları 1,50'ye bölünerek hesaplanabilir. Tasarım dayanımları, Çelik Yapı Kılavuzu'nda tanımlanan 7 farklı plastik tarafsız eksen konumu için ayrı ayrı hesaplanarak listelenecektir. Hazırlanacak tabloların ikincisinde ise tezin kapsamında incelenen bütün kompozit kirişlerin alt-sınır atalet momentleri verilecektir. Dayanım tablolarında olduğu gibi, atalet momenti tablolarında da incelenen kompozit kirişlerin alt sınır atalet momentleri Çelik Yapı Kılavuzu'nda tanımlanan 7 farklı plastik tarafsız eksen konumu için ayrı ayrı listelenecektir.

Tasarım tabloları, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve Tablo 4.1'de listelenen I ve H-kesitli Avrupa hadde profilleri için ve üç farklı yapısal çelik sınıfı, S235, S275 ve S355, dikkate alınarak oluşturulacaktır. ÇYTHYEY'de, belirtilen çelik sınıflarının karakteristik akma gerilmeleri (F_y) sırasıyla, 235, 275 ve 355 MPa olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 4.1. Tezin kapsamında ele alınan I-enkesitli çelik profiller

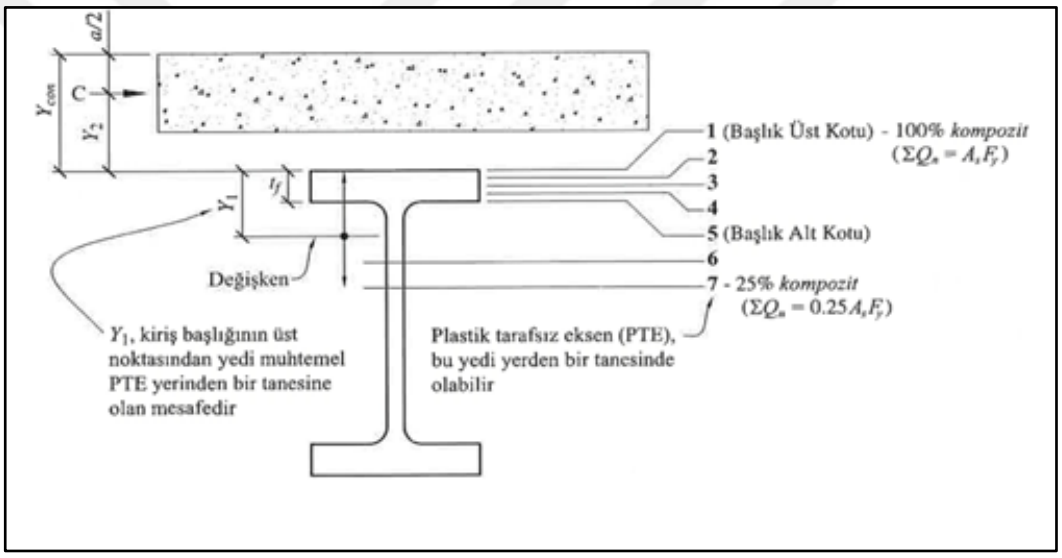
Profil Türü	Profil Numarası
IPE	80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 270, 300, 330, 360, 400, 450, 500, 550, 600
IPN	80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 450, 500, 550, 600
HEA, HEB, HEM	100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 800, 900, 1000

4.1. Dayanım Tablolarının Oluşturulması

4.1.1. Tasarım denklemlerinin çıkarılması

Tablo 4.1'de listelenen profillerin tamamının tezde incelenen bütün çelik kalitelerinde kompakt gövdeli (yani, h/t_w oranları $3{,}76\sqrt{E/F_y}$ sınır değerini aşmayan) olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle bu bölümde, kompozit kiriş dayanımları Bölüm 3'te plastik gerilme dağılımı yöntemiyle çıkarılan ve Tablo 3.1'de özetlenen tasarım denklemleri kullanılarak hesaplanacaktır.

Tablolarda listelenen dayanımlar, PTE'nin Şekil 4.1'de gösterilen ve Çelik Yapı Kılavuzu'nda tanımlanan, 7 farklı konumu için hesaplanacaktır.



Şekil 4.1. Dayanım tablolarında kompozit kiriş dayanımlarının listelendiği yedi PTE konumu [19]

Şekil 4.1'den görülebileceği gibi, PTE'nin ilk beş konumu çelik profilin üst başlığında yer almaktadır. (1) ve (5) numaralı konumlarda, PTE üst başlığın sırayla üst ve alt çizgilerinde, (2), (3) ve (4) numaralı konumlarda ise başlık kalınlığı t_f'yi dört eşit parçaya bölen ara çizgilerdedir. PTE'nin (1) numaralı konumu için hesaplanan dayanım, PTE'nin betonarme döşeme içinde kaldığı durumlarda da kullanılabilir. PTE'nin alt başlığa en yakın olduğu (7) numaralı konumda, arayüzde oluşan kesme kuvveti $\sum Q_n$ AISC 360-16'da önerilen en küçük değer olan $0{,}25F_yA_s$'e eşittir. Son olarak, PTE'nin (6) numaralı konumu, $\sum Q_n$'nin, PTE'nin (5) ve (7) numaralı konumları için hesaplanan $\sum Q_n$ değerlerinin ortalamasına eşit olduğu konumdur.

PTE'nin çelik kirişin başlığında (i=1-5) kaldığı durumlarda, kompozit kesitte oluşan gerilme dağılımı Şekil 3.2a'daki gibi olacağından, kompozit kirişin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımı ($\phi_b M_n$) Denklem (3.30), Denklem (3.13) ve Denklem (3.15) kullanılarak hesaplanabilir. Buna karşın, PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarında PTE çelik profilin üst başlığının altında konumlanacaktır. Bu durumda, PTE ya Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, üst başlıkla gövde arasında kalan eğriliklerden ya da Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, profilin gövdesinden geçecektir. İlk durumda, kompozit kirişin tasarım dayanımı Denklem (3.30) ile Denklem (3.21) ve Denklem (3.23) kullanılarak, ikinci durumda ise, Denklem (3.30) ile Denklem (3.28) ve Denklem (3.29) kullanılarak hesaplanabilir. Diğer bir ifadeyle, PTE'nin farklı konumları için aynı tasarım denklemi (Denklem (3.30)) kullanılmakta, yalnız tasarım denklemindeki Y_1 ve Y_c değerleri PTE'nin çelik profildeki konumuna göre değişmektedir. Denklem (3.30) Şekil 4.1'de tanımlanan 7 PTE konumu için aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\phi_b M_{n,i}=0{,}90\left[C_{c,i}\left(Y_{1,i}+Y_2-Y_{c,i} \right)+P_{yt}\left(\frac{d}{2}+Y_{c,i}-Y_{1,i} \right) \right] \tag{4.1}$$

Denklem (4.1)'de i indisi, PTE'nin (i) numaralı konumuna karşılık gelmektedir. Örnek olarak, $C_{c,i}$, PTE'nin (i) numaralı konumunda kompozit kirişte oluşan beton basınç kuvvetidir.

Bölüm 3'ten hatırlanabileceği gibi, $P_{yt}=A_s F_y$'dir. Herhangi bir PTE konumunda $C_{c,i}$ ise $\sum Q_{n,i}$ değerine eşittir;

$$C_{c,i}=\sum Q_{n,i} \tag{4.2}$$

Bu bilgilerle Denklem (4.1) yeniden yazıldığında, çelik ankrajlı kompozit kirişlerin PTE'nin (i) numaralı konumuna karşılık gelen pozitif tasarım eğilme momenti dayanımını veren aşağıdaki basitleştirilmiş denklem elde edilebilir;

$$\phi_b M_{n,i}=0{,}90\left[\sum Q_{n,i}\left(Y_{1,i}+Y_2-Y_{c,i} \right)+A_s F_y\left(\frac{d}{2}+Y_{c,i}-Y_{1,i} \right) \right] \tag{4.3}$$

Herhangi bir PTE konumunda $C_{c,i}$, $0{,}85 f_{ck} ab$'ye eşit olacağından (Şekil 3.1), kompozit etkileşime giren beton kalınlığı (a), $\sum Q_{n,i}$'nin bilinmesi durumunda, Denklem (4.4) kullanılarak kolayca hesaplanabilir;

$$a=\frac{\sum Q_{n,i}}{0,85f_{ck}b} \tag{4.4}$$

Buradan Y_2 değeri, döşemenin toplam kalınlığı t_c'den a/2 çıkarılarak hesaplanabilir (Şekil 3.1). Ancak Y_2, döşeme sisteminin geometrik ve mekanik özelliklerine bağlı olarak tasarımdan tasarıma değişeceğinden, bu bölümdeki tasarım formülleri Y_2'ye bağlı olacak şekilde çıkarılmıştır. Denklem (4.3)'te $\sum Q_{n,i}$, $Y_{1,i}$ ve $Y_{c,i}$, PTE'nin bu bölümde incelenen 7 farklı konumu için ayrı ayrı belirlenmelidir.

PTE'nin (1) numaralı konumu çelik profilin tamamının çekme etkisinde kaldığı duruma karşılık geldiğinden, bu durumda $\sum Q_{n,1}$ A_sF_y'ye eşit olacaktır;

$$\sum Q_{n,1} = P_{yt} = A_sF_y \tag{4.5}$$

Denklem (3.6)'dan,

$$C_{c,i} = A_sF_y - 2C_{st,i} \tag{4.6}$$

yazılabilir. PTE'nin (1) - (5) numaralı konumlarında, Denklem (3.14) gereğince, $C_{st,i}$= $Y_{1,i}$ b_f F_y olacağından, Denklem (4.2) ve Denklem (4.6) kullanılarak, $\sum Q_{n,i}$ aşağıdaki şekilde ifade edilebiir;

$$\sum Q_{n,i} = \left(A_s - 2Y_{1i}b_f\right)F_y \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \tag{4.7}$$

Denklem (4.7)'de $Y_{1,i}$, (i) numaralı konumdaki PTE ile çelik profilin üst kotu arasındaki düşey mesafe olup, tanım gereği PTE'nin numaraları (1)'den (5)'e kadar konumlarında aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$Y_{1,i} = \frac{(i-1)}{4}t_f \ , \ i = 1,2,3,4,5 \tag{4.8}$$

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, PTE'nin (5) numaralı konumu, çelik profilin üst başlığının alt kotundadır. PTE'nin bu konumundaki $\sum Q_{n,5}$ değeri, profilin başlık alanı için $A_f=b_ft_f$ olduğu hatırlanarak ve Denklem (4.7) ile Denklem (4.8) kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\sum Q_{n,5} = \left(A_s - 2A_f\right)F_y \tag{4.9}$$

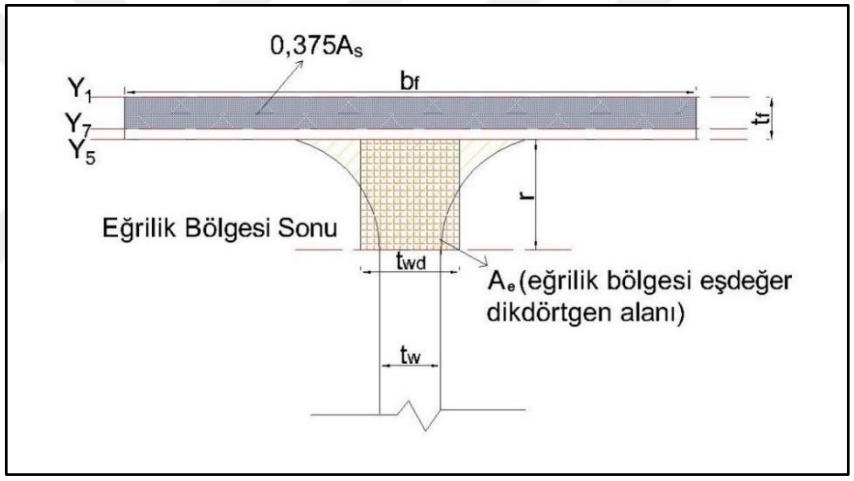
PTE'nin (7) numaralı konumu için $\sum Q_{n,7}$, tanım gereği $0,25F_yA_s$'ye eşittir,

$$\Sigma Q_{n,7}=0,25A_sF_y \tag{4.10}$$

Son olarak, yine tanım gereği, PTE'nin (6) numaralı konumu için $\Sigma Q_{n,6}$, $\Sigma Q_{n,5}$ ile $\Sigma Q_{n,7}$'nin aritmetik ortalamasından aşağıdaki gibi elde edilebilir;

$$\Sigma Q_{n,6}=\frac{\Sigma Q_{n,5}+\Sigma Q_{n,7}}{2}=\frac{\left(A_s-2A_f\right)F_y+0,25A_sF_y}{2}=\left(0,625A_s-A_f\right)F_y \tag{4.11}$$

PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarındaki $Y_{1,i}$ değerleri (yani, $Y_{1,6}$ ve $Y_{1,7}$), PTE'nin profil üzerindeki konumuna bağlıdır. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının profilin üst başlığının içinde kaldığı durumlarda, yani $0,375A_s \leq A_f$ olduğu durumlarda, PTE'nin bu iki konumu göz ardı edilmiş, tasarım tablolarında PTE'nin sadece ilk beş konumu için dayanım değerleri listelenmiştir.

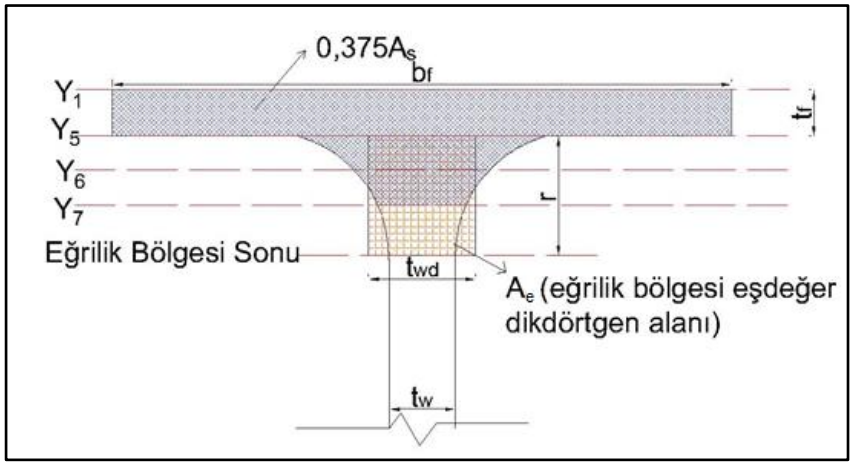


Şekil 4.2. PTE'nin (7) numaralı konumunun başlıkta kaldığı durum

Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının her ikisinin de profilin başlık-gövde birleşim bölgesinde kaldığı durumlarda, yani hem $Y_{1,6}$'nın hem de $Y_{1,7}$ 'nin t_f+r'den küçük olduğu durumlarda, $Y_{1,6}$ ve $Y_{1,7}$ değerleri Denklem (3.21) kullanılarak belirlenebilir;

$$Y_{1,6}=t_f+\left(\frac{A_sF_y-0,625A_sF_y+A_fF_y-2A_fF_y}{2F_yt_{wd}}\right)=t_f+\left(\frac{0,375A_s-A_f}{2t_{wd}}\right) \tag{4.12}$$

$$Y_{1,7}=t_f+\left(\frac{A_sF_y-\left(0,25A_sF_y\right)-2A_fF_y}{2F_yt_{wd}}\right)=t_f+\left(\frac{0,375A_s-A_f}{t_{wd}}\right) \tag{4.13}$$



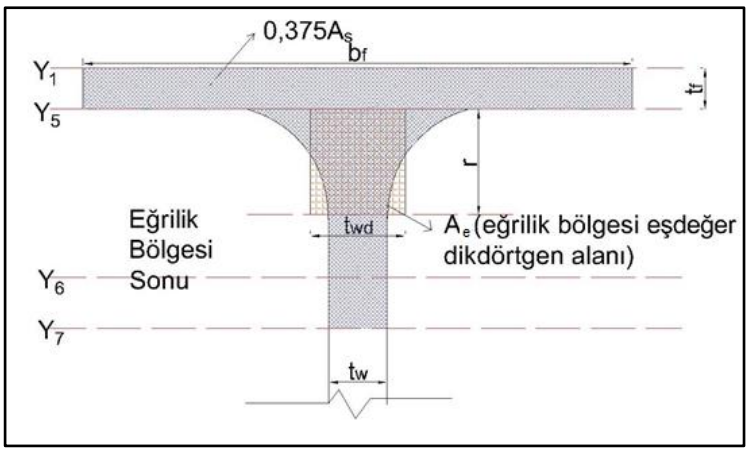
Şekil 4.3 PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının her ikisinin de eğrilik bölgesinde kaldığı durum

Denklem (4.12) ve Denklem (4.13)'ten, PTE'nin (6) numaralı konumunun $A_f < 0{,}375A_s < A_f+2A_e$ olduğu durumlarda, (7) numaralı konumunun ise $A_f < 0{,}375A_s < A_f+A_e$ olduğu durumlarda profilin eğrilik bölgesinde kaldığı belirlenebilir.

Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının her ikisinin de profilin düz gövde bölgesinde kaldığı durumlarda, yani, $A_f+2A_e < 0{,}375A_s$ olduğu durumlarda, $Y_{1,6}$ ve $Y_{1,7}$ değerleri Denklem (3.28) kullanılarak hesaplanabilir;

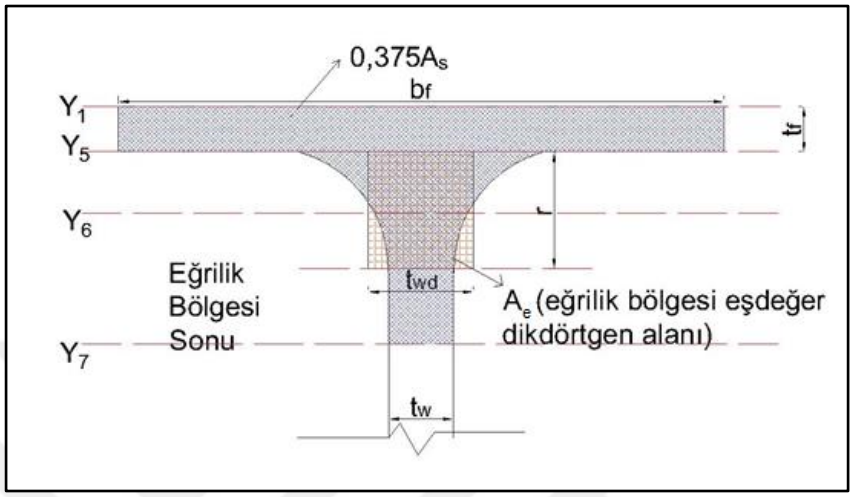
$$Y_{1,6} = \frac{d}{2} - \frac{0{,}625A_s F\!\!\!/_y - A_f F\!\!\!/_y}{2t_w F\!\!\!/_y} = \frac{d}{2} - \frac{0{,}625A_s - A_f}{2t_w} \tag{4.14}$$

$$Y_{1,7} = \frac{d}{2} - \frac{0{,}25A_s F\!\!\!/_y}{2t_w F\!\!\!/_y} = \frac{d}{2} - \frac{0{,}25A_s}{2t_w} \tag{4.15}$$



Şekil 4.4. PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının her ikisinin de düz gövde bölgesinde kaldığı bir durum

Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, PTE'nin (6) numaralı konumunun başlık-gövde birleşim bölgesinde (7) numaralı konumunun ise profilin gövdesinde kaldığı durumlarda, yani $A_f+A_e < 0{,}375A_s < A_f+2A_e$, ilgili $Y_{1,6}$ değeri Denklem (4.12) $Y_{1,7}$ değeri ise Denklem (4.15) kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 4.5. PTE'nin (6) numaralı konumunun eğrilik bölgesinde, (7) numaralı konumunun ise düz gövde bölgesinde kaldığı durum

PTE'nin kiriş başlığında kaldığı durumlarda, Y_c, $Y_1/2$'ye eşit olduğundan, PTE'nin bu bölümde incelenen ilk beş konumu için,

$$Y_{c,i} = \frac{Y_{1,i}}{2} \text{ , } i = 1,2,3,4,5 \tag{4.16}$$

bağıntısı yazılabilir. PTE'nin (7) ve/veya (6) numaralı konumunun başlık gövde birleşimindeki eğriliklerde kaldığı durumlarda $Y_{c,i}$, Denklem (3.23) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,i} = \frac{A_f\left(Y_{1,i} - \frac{t_f}{2}\right) + t_{wd}\frac{(Y_{1,i}-t_f)^2}{2}}{A_f + t_{wd}(Y_{1,i}-t_f)}, \quad \begin{matrix} i=6,7 \text{ eğer } A_s<A_f+A_e \\ i=6 \text{ eğer } A_f+A_e<A_s<A_f+2A_e \end{matrix} \tag{4.17}$$

Benzer şekilde, PTE'nin (6) ve/veya (7) numaralı konumunun gövdenin düz kısmında kaldığı durumlarda $Y_{c,i}$, Denklem (3.29) kullanılarak hesaplanabilir.

$$Y_{c,i} = \left[\frac{A_f\left(Y_{1,i} - \frac{t_f}{2}\right) + A_e\left(Y_{1,i} - t_f - \frac{r}{2}\right) + t_w\frac{(Y_{1,i}-t_f-r)^2}{2}}{A_f + A_e + t_w(Y_{1,i}-t_f-r)^2}\right], \quad \begin{matrix} i=6,7 \text{ eğer } A_f+2A_e<A_s \\ i=7 \text{ eğer } A_f+A_e<A_s<A_f+2A_e \end{matrix} \tag{4.18}$$

Özetlemek gerekirse, PTE'nin (6) numaralı konumu için, $Y_{1,6}$ ve $Y_{c,6}$ aşağıdaki denklemlerden uygun olan kullanılarak belirlenebilir.

Eğer $0{,}375A_s \le A_f$ ise Y_6 başlıkta kaldığı için hesaplama yapılmaz. (4.19)

$$\text{Eğer } A_f < 0{,}375A_s \le A_f + A_e \text{ ise } \begin{cases} Y_{1,6} = t_f + \dfrac{0{,}375A_s - A_f}{2t_{wd}} \\ Y_{c,6} = \dfrac{A_f\left(Y_{1,6} - \dfrac{t_f}{2}\right) + t_{wd}\dfrac{(Y_{1,6} - t_f)^2}{2}}{\left[A_f + t_{wd}(Y_{1,6} - t_f)\right]} \end{cases} \quad (4.20)$$

$$\text{Eğer } A_f + A_e < 0{,}375A_s \text{ ise } \begin{cases} Y_{1,6} = \dfrac{d}{2} - \dfrac{0{,}625A_s - A_f}{2t_w} \\ Y_{c,6} = \dfrac{A_f\left(Y_{1,6} - \dfrac{t_f}{2}\right) + A_e\left(Y_{1,6} - t_f - \dfrac{r}{2}\right) + t_w\dfrac{(Y_{1,6} - t_f - r)^2}{2}}{A_f + A_e + t_w(Y_{1,6} - t_f - r)^2} \end{cases} \quad (4.21)$$

Benzer şekilde, PTE'nin (7) numaralı konumu için, $Y_{1,7}$ ve $Y_{c,7}$ aşağıdaki denklemlerden uygun olan kullanılarak belirlenebilir.

Eğer $0{,}375A_s \le A_f$ ise Y_7 başlıkta kaldığı için hesaplama yapılmaz. (4.22)

$$\text{Eğer } A_f < 0{,}375A_s \le A_f + A_e \text{ ise } \begin{cases} Y_{1,7} = t_f + \dfrac{0{,}375A_s - A_f}{t_{wd}} \\ Y_{c,7} = \dfrac{A_f\left(Y_{1,7} - \dfrac{t_f}{2}\right) + t_{wd}\dfrac{(Y_{1,7} - t_f)^2}{2}}{\left[A_f + t_{wd}(Y_{1,7} - t_f)\right]} \end{cases} \quad (4.23)$$

$$\text{Eğer } A_f + A_e < 0{,}375A_s \text{ ise } \begin{cases} Y_{1,7} = \dfrac{d}{2} - \dfrac{0{,}25A_s}{2t_w} \\ Y_{c,7} = \dfrac{A_f\left(Y_{1,7} - \dfrac{t_f}{2}\right) + A_e\left(Y_{1,7} - t_f - \dfrac{r}{2}\right) + t_w\dfrac{(Y_{1,7} - t_f - r)^2}{2}}{A_f + A_e + t_w(Y_{1,7} - t_f - r)^2} \end{cases} \quad (4.24)$$

Tablo 4.2. PTE'nin Şekil 4.1' de tanımlanan 7 farklı konumu için çıkarılan tasarım denklemleri

$$\phi_c M_{n,j}=0,90\left[\sum Q_{n,j}\left(Y_{1,j}+Y_2-Y_{c,i}\right)+A_s F_y\left(\frac{d}{2}+Y_{c,i}-Y_{1,j}\right)\right]$$

$$\sum Q_{n,j}=\min\left(0,85f_{ck}A_c;F_yA_s;\sum Q_n\right), a=\frac{\sum Q_{n,i}}{0,85f_{ck}b}, Y_2=t_c-\frac{a}{2}, A_f=b_f t_f,\ A_e=rt_{wd},\ t_{wd}=\left(\frac{A_s-2A_f-ht_w}{2r}\right)$$

PTE'nin Konumu (i)	$\sum Q_{n,i}$	$Y_{1,i}$, $Y_{c,i}$			
1,2,3,4,5,	$\sum Q_{n,i}=\left(A_s-2Y_{1,i}b_f\right)F_y$	$Y_{c,i}=\frac{Y_{1,i}}{2}$, i = 1,2,3,4,5 $Y_{1,i}=\frac{(i-1)}{4}t_f$, i = 1,2,3,4,5			
6	$\Sigma Q_{n,6}=\left(0,625A_s-A_r\right)F_y$	$0,375A_s < A_f$	$A_f < 0,375A_s < A_f+A_e$	$A_f+A_e < 0,375A_s < A_f+2A_e$	$A_f+2A_e < 0,375A_s$
		Hesap Gerekmez	$Y_{1,6}=t_f+\frac{0,375A_s-A_r}{2t_{wd}}$ $Y_{c,6}=\frac{A_r\left(Y_{1,6}-\frac{t_f}{2}\right)+t_{wd}\frac{(Y_{1,6}-t_f)^2}{2}}{\left[A_r+t_{wd}(Y_{1,6}-t_f)\right]}$		$Y_{1,6}=\frac{d}{2}-\frac{0,625A_s-A_r}{2t_w}$ $Y_{c,6}=\frac{A_r\left(Y_{1,6}-\frac{t_f}{2}\right)+A_e\left(Y_{1,6}-t_f-\frac{r}{2}\right)+t_w\frac{(Y_{1,6}-t_f-r)^2}{2}}{A_r+A_e+t_w(Y_{1,6}-t_f-r)^2}$
7	$\Sigma Q_{n,7}=0,25A_sF_y$	Hesap Gerekmez	$Y_{1,7}=t_f+\frac{0,375A_s-A_r}{t_{wd}}$ $Y_{c,7}=\frac{A_r\left(Y_{1,7}-\frac{t_f}{2}\right)+t_{wd}\frac{(Y_{1,7}-t_f)^2}{2}}{\left[A_r+t_{wd}(Y_{1,7}-t_f)\right]}$	$Y_{1,7}=\frac{d}{2}-\frac{0,25A_s}{2t_w}$ $Y_{c,7}=\frac{A_r\left(Y_{1,7}-\frac{t_f}{2}\right)+A_e\left(Y_{1,7}-t_f-\frac{r}{2}\right)+t_w\frac{(Y_{1,7}-t_f-r)^2}{2}}{A_r+A_e+t_w(Y_{1,7}-t_f-r)^2}$	

4.1.2. Örnek profiller için dayanım tablolarının oluşturulması

Bu bölümde, PTE'nin (i) (6) ve (7) numaralı konumlarının profilin üst başlığında kaldığı, (ii) (6) ve (7) numaralı konumlarının profilin eğrilik bölgesinde kaldığı, (iii) (6) numaralı konumunun eğrilik bölgesinde, (7) numaralı konumunun düz gövde bölgesinde kaldığı, (iv) (6) ve (7) numaralı konumlarının düz gövde bölgesinde kaldığı örnek çelik profiller için kompozit kiriş tasarım tablolarının oluşturulma hesapları gösterilmiştir.

4.1.2.1. PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının profilin üst başlığında kaldığı durum

Bu örnekte, S275 çelik kalitesine sahip HEA240 profille oluşturulan bir kompozit kiriş ele alınmıştır. HEA240 profilinin dayanım hesaplarında kullanılan temel enkesit özellikleri; d=230 mm, b_f=240 mm, t_w=7,5 mm, t_f=12 mm, r=21 mm, A=7680 mm^2, h=164 mm'dir. Bu profil için 0,375A_s=0,375x7680=2880 mm^2, A_f=240x12=2880 mm^2'dir. 0.375$A_s \leq A_f$ olduğu için, tasarım tablosu sadece PTE'nin Şekil 4.1'de gösterilen ilk beş konumu için oluşturulmuştur.

PTE'nin ilk 5 konumu için $Y_{1,i}$ değerleri Denklem (4.8) kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$Y_{1,1} = \frac{1-1}{4} \times 12 = 0 \text{ mm}, Y_{1,2} = \frac{2-1}{4} \times 12 = 3 \text{ mm}, Y_{1,3} = \frac{3-1}{4} \times 12 = 6 \text{ mm},$$

$$Y_{1,4} = \frac{4-1}{4} \times 12 = 9 \text{ mm}, Y_{1,5} = \frac{5-1}{4} \times 12 = 12 \text{ mm}$$

PTE'nin ilk 5 konumu için $Y_{c,i}$ değerleri, Denklem (4.16) kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$Y_{c,1} = 0 \text{ mm}, Y_{c,2} = \frac{3}{2} = 1{,}5 \text{ mm}, Y_{c,3} = \frac{6}{2} = 3 \text{ mm}, Y_{c,4} = \frac{9}{2} = 4{,}5 \text{ mm}, Y_{c,5} = \frac{12}{2} = 6 \text{ mm}$$

Beton-çelik arayüzünde oluşan yatay kesme kuvveti ($\sum Q_{n,i}$) değerleri, Denklem (4.7)'de verilen bağıntılar kullanarak hesaplanmıştır.

$$\Sigma Q_{n,1} = A_s F_y = (7680 - 2 \times 0 \times 240) \times 275 / 1000 = 2112 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,2} = (7680 - 2 \times 3 \times 240) \times 275 / 1000 = 1716 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,3} = (7680 - 2 \times 6 \times 240) \times 275 / 1000 \; = \; 1320 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,4} = (7680 - 2 \times 9 \times 240) \times 275 / 1000 \; = \; 924 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,5} = (7680 - 2 \times 12 \times 240) \times 275 / 1000 \; = \; 528 \text{ kN}$$

Beton basınç kuvvetinin, çelik başlığına uzaklığı Y_2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımı, $\phi_b M_n$, değeri aşağıda PTE'nin ilk 5 konumu için Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\phi_b M_{n,1} = 0{,}90 \left[2112 \times (0 + 50 + 0) + 2112 \times \left(\frac{230}{2} + 0 - 0 \right) \right] / 1000 = \; 314 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,2} = 0{,}90 \left[1716 \times (3 + 50 - 1{,}5) + 2112 \times (115 - 3 + 1{,}5) \right] / 1000 \; = \; 295 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,3} = 0{,}90 \left[1320 \times (6 + 50 - 3) + 2112 \times (115 - 6 + 3) \right] / 1000 = \; 276 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,4} = 0{,}90 \left[924 \times (9 + 50 - 4{,}5) + 2112 \times (115 - 9 + 4{,}5) \right] / 1000 = 255 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,5} = 0{,}90 \left[528 \times (12 + 50 - 6) + 2112 \times (115 - 12 + 6) \right] / 1000 = \; 234 \text{ kNm}$$

Elde edilen değerler Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3. S275 çelik kaliteli HEA 240 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y_2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları $\phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2, mm
		mm	kN	50
HE 240 A	1	0.00	2112	314
	2	3.00	1716	295
	3	6.00	1320	276
	4	9.00	924	255
	5	12.00	528	234
	6			
	7			

4.1.2.2. PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının profilin üst başlığının gövde ile birleştiği bölgede kaldığı durum

Bu örnekte, S355 çelik kalitesine sahip HEB360 profille oluşturulan bir kompozit kiriş ele alınmıştır. HEB360 profilinin dayanım hesaplarında kullanılan temel enkesit özellikleri; d=360 mm, b_f=300 mm, t_w=12,5 mm, t_f=22,5 mm, r=27 mm, A=18060 mm^2, h=261 mm'dir. Bu profil için 0,375A_s=0,375x18060=6772,5 mm^2, A_f=300x22,5=6750 mm^2, A_e= (18060-2x6750-261x12,5)/2=648,75 mm^2, A_f+A_e= 7398,75 mm^2 ve A_f+2A_e= 8047,5 mm^2 dir. A_f <0.375A_s < A_f+A_e < A_f+2A_e olduğu için, PTE'nin Şekil 4.1'de gösterilen (6) ve (7) numaralı konumlarının her ikisi de eğriliklerde kalmaktadır.

PTE'nin ik beş konumu için $Y_{1,i}$ değerleri Denklem (4.7) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{1,1} = 0,\ Y_{1,2} = \frac{1}{4} \times 22,5 = 5,625 \text{ mm},\ Y_{1,3} = \frac{2}{4} \times 22,5 = 11,25 \text{ mm}$$

$$Y_{1,4} = \frac{3}{4} \times 22,5 = 16,875 \text{ mm},\ Y_{1,5} = 22,5 \text{ mm}$$

PTE'nin (6) numaralı konumu için $Y_{1,i}$, Denklem (4.12) kullanılarak hesaplanabilir. Bunun için, ilk olarak t_{wd} belirlenmelidir. İncelenen profil için t_{wd}=648,75/27=24,03 mm'dir. Buradan $Y_{1,6}$;

$$Y_{1,6} = 22,5 + \frac{6772,5 - 6750}{2 \times 24,03} = 22,97 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır. PTE'nin (7) numaralı konumu için $Y_{1,i}$, Denklem (4.13) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{1,7} = 22,5 + \frac{6772,5 - 6750}{24,03} = 23,44 \text{ mm}$$

PTE'nin ilk 5 konumu için $Y_{c,i}$ değerleri, Denklem (4.16) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,1} = 0 \text{ mm},\ Y_{c,2} = \frac{5,625}{2} = 2,8125 \text{ mm},\ Y_{c,3} = \frac{11,25}{2} = 5,625 \text{ mm}$$

$$Y_{c,4} = \frac{16,875}{2} = 8,4375 \text{ mm},\ Y_{c,5} = \frac{22,5}{2} = 11,25 \text{ mm}$$

PTE'nin son iki konumu için $Y_{c,i}$ değerleri, Denklem (4.17) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,6} = \frac{6750 \times \left(22,97\text{-}\frac{22,5}{2} \right) + 24,03 \times \frac{(22,97\text{-}22,5)^2}{2}}{6750 + 24,03 \times (22,97 - 22,5)} = 11,71 \text{ mm}$$

$$Y_{c,7} = \frac{6750 \times \left(23,44\text{-}\frac{22,5}{2} \right) + 24,03 \times \frac{(23,44\text{-}22,5)^2}{2}}{6750 + 24,03 \times (23,44 - 22,5)} = 12,15 \text{ mm}$$

Beton-çelik arayüzünde oluşan yatay kesme kuvveti ($\sum Q_{n,i}$) değerleri, PTE'nin ilk beş konumu için Denklem (4.7), son iki konumu için ise Denklem (4.10) ve Denklem (4.11) kullanılarak hesaplanabilir;

$$\Sigma Q_{n,1} = A_s F_y = 18060 \times 355 / 1000 = 6411 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,2} = 6411 - (2 \times 5,625 \times 300 \times 355)/1000 = 5213 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,3} = 6411 - (2 \times 11,25 \times 300 \times 355)/1000 = 4015 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,4} = 6411 - (2 \times 16,875 \times 300 \times 355)/1000 = 2817 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,5} = 6411 - (2 \times 22,5 \times 300 \times 355)/1000 = 1619 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,6} = (0,625 \times 18060\text{-}6750) \times 355 / 1000 = 1611 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,7} = 0,250 \times 18060 \times 355/1000 = 1603 \text{ kN}$$

İncelenen kompozit kirişin Y_2=50 mm olduğu durumda sahip olduğu pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları, $\phi_b M_n$, incelenen 7 PTE konumu için Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanabilir;

$$\phi_b M_{n,1} = 0,9 \left[6411 \times (50) + 6411 \times \left(\frac{360}{2} \right) \right] / 1000 = 1327 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,2} = 0,9 \left[5213 \times (5,63 + 50 - 2,81) + 6411 \times (180 - 5,63 + 2,81) \right] / 1000 = 1270 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,3} = 0,9 \left[4015 \times (11,25 + 50 - 5,63) + 6411 \times (180 - 11,25 + 5,63) \right] / 1000 = 1207 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,4} = 0,9 \left[2817 \times (16,88 + 50 - 8,44) + 6411 \times (180 - 16,88 + 8,44) \right] / 1000 = 1138 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,5}=0,9\left[1619\times\left(22,5+50-11,25\right)+6411\times\left(180-22,5+11,25\right)\right]/1000 = 1163 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,6}=0,9\left[1611\times\left(22,97+50-11,72\right)+6411\times\left(180+11,72-22,97\right)\right]/1000 = 1063 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,7}=0,9\left[1603\times\left(23,44+50-12,15\right)+6411\times\left(180+12,15-23,44\right)\right]/1000 = 1062 \text{ kNm}$$

Elde edilen değerler Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

Tablo 4.4. S355 çelik kaliteli HEB 360 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y_2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları $\phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2, mm
		mm	kN	50
HE 360 B	1	0.00	6411	1327
	2	5.63	5213	1270
	3	11.25	4015	1207
	4	16.88	2817	1138
	5	22.50	1619	1063
	6	22.97	1611	1063
	7	23.44	1603	1062

4.1.2.3. PTE'nin (6) numaralı konumunun profilin üst başlıkla gövdenin birleştiği bölgede, (7) numaralı konumunun ise gövdede kaldığı durum

Bu örnekte, S235 çelik kalitesine sahip IPE120 profille oluşturulan bir kompozit kiriş ele alınmıştır. IPE120 profilinin dayanım hesaplarında kullanılan temel enkesit özellikleri; d=120 mm, b_f=64 mm, t_w=4,4 mm, t_f=6,3 mm, r=7 mm, A=1320 mm^2, h=93,4 mm'dir. Bu profil için 0,375A_s=0,375x1320=495 mm^2, A_f=64x6,3=403,2 mm^2, A_e= (1320-2x403,2-93,4x4,4)/2=51,32 mm^2, A_f+A_e= 481,52 mm^2 ve A_f+2A_e= 505,84 mm^2 dir. $A_f < A_f+A_e < 0.375A_s < A_f+2A_e$ olduğu için, PTE'nin (6) numaralı konumu profilin eğriliğinde, (7) numaralı konumu ise profilin gövdesinin düz bölümünde kalmaktadır.

PTE'nin ik beş konumu için $Y_{1,i}$ değerleri Denklem (4.7) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{1,1}=0,\ Y_{1,2}=\frac{1}{4}\times 6,3=1,575 \text{ mm},\ Y_{1,3}=\frac{2}{4}\times 6,3=3,15 \text{ mm},\ Y_{1,4}=\frac{3}{4}\times 6,3=4,725 \text{ mm}$$

$$Y_{1,5}=6,3 \text{ mm}$$

PTE'nin (6) numaralı konumu için $Y_{1,i}$, Denklem (4.12) kullanılarak hesaplanabilir. Bunun için, ilk olarak t_{wd} belirlenmelidir. İncelenen profil için t_{wd}=51,32/7=7,33 mm'dir. Buradan $Y_{1,6}$;

$$Y_{1,6} = 6,3 + \frac{495 - 403,2}{2 \times 7,33} = 12,56 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır. PTE'nin (7) numaralı konumu için $Y_{1,i}$, Denklem (4.15) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{1,7} = \frac{120}{2} - \frac{0,25 \times 1320}{2 \times 4,4} = 22,5 \text{ mm}$$

PTE'nin ilk 5 konumu için $Y_{c,i}$ değerleri, Denklem (4.16) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,1} = 0 \text{ mm}, \; Y_{c,2} = \frac{1,575}{2} = 0,7875 \text{ mm}, \; Y_{c,3} = \frac{3,15}{2} = 1,575 \text{ mm}$$

$$Y_{c,4} = \frac{4,725}{2} = 2,3625 \text{ mm}, \; Y_{c,5} = \frac{6,3}{2} = 3,15 \text{ mm}$$

$Y_{c,6}$ değeri, Denklem (4.17) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,6} = \frac{403,2 \times \left(12,56 - \frac{6,3}{2}\right) + 7,33 \times \frac{(12,56 - 6,3)^2}{2}}{403,2 + 7,33 \times (12,56 - 6,3)} = 8,77 \text{ mm}$$

PTE'nin (7) numaralı konumu için $Y_{c,i}$, Denklem (4.18) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,7} = \frac{403,2 \times \left(22,5 - \frac{6,3}{2}\right) + 51,32 \times \left(22,5 - 6,3 - \frac{7}{2}\right) + 4,4 \times \frac{(22,5 - 6,3 - 7)^2}{2}}{403,2 + 51,32 + 4,4 \times (22,5 - 6,3 - 7)} = 17,45 \text{ mm}$$

$\sum Q_{n,i}$ değerleri, PTE'nin ilk beş konumu için Denklem (4.7), son iki konumu için ise Denklem (4.10) ve Denklem (4.11) kullanılarak hesaplanabilir;

$\Sigma Q_{n,1} = A_s F_y = 1320 \times 235/1000 = 310$ kN

$\Sigma Q_{n,2} = 310 - (2 \times 1,575 \times 64 \times 235)/1000 = 263$ kN

$\Sigma Q_{n,3} = 310 - (2 \times 3,15 \times 64 \times 235)/1000 = 216$ kN

$\Sigma Q_{n,4} = 310 - (2 \times 4,725 \times 64 \times 235)/1000 = 168$ kN

$\Sigma Q_{n,5}$= 310 - (2×6,3×64×235)/1000 = 121 kN

$\Sigma Q_{n,6}$=(0,625×1320-403,2)×235 / 1000 =99,1 kN

$\Sigma Q_{n,7}$= 0,25×1320×235 / 1000 = 77,6 kN

İncelenen kompozit kirişin Y_2=50 mm olduğu durumda sahip olduğu pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları, $\phi_b M_n$, incelenen 7 PTE konumu için Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanabilir;

$\phi_b M_{n,1}$=0,90[310×(50)+310×(60)] /1000 = 30,7 kNm

$\phi_b M_{n,2}$=0,90[263×(1,58+50-0,79)+310×(60-1,58+0,79)] /1000= 28,5 kNm

$\phi_b M_{n,3}$=0,90[216×(3,15+50-1,58)+310×(60-3,15+1,58)] /1000= 26,3 kNm

$\phi_b M_{n,4}$=0,90[168×(4,73+50-2,36)+310×(60-4,73+2,36)] /1000= 24,0 kNm

$\phi_b M_{n,5}$=0,90[121×(6,3+50-3,15)+310×(60-6,3+3,15)]/1000 = 21,7 kNm

$\phi_b M_{n,6}$=0,90[99,1×(12,56+50-8,77)+310×(60+8,77-12,56)] /1000 = 20,5 kNm

$\phi_b M_{n,7}$=0,90[77,6×(22,5+50-17,45)+310×(60+17,45-22,5)] /1000 = 19,2 kNm

Elde edilen değerler Tablo 4.5'te özetlenmiştir.

Tablo 4.5. S235 çelik kaliteli IPE120 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y_2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları $\phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2, mm
		mm	kN	50
IPE 120	1	0.00	310	31
	2	1.58	263	29
	3	3.15	215	26
	4	4.73	168	24
	5	6.30	121	22
	6	12.56	99	20
	7	22.50	78	19

4.1.2.4. PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının gövdede kaldığı durum

Bu örnekte, S355 çelik kalitesine sahip HEB800 profille oluşturulan bir kompozit kiriş ele alınmıştır. HEB800 profilinin dayanım hesaplarında kullanılan temel enkesit özellikleri; d=800 mm, b_f=300 mm, t_w=17,5 mm, t_f=33 mm, r=30 mm, A=33420 mm^2, h=674 mm'dir. Bu profil için $0{,}375A_s$=0,375x33420=12532,5 mm^2, A_f=300x33=9900 mm^2, A_e= (33420-2x9900-674x17,5)/2=912,5 mm^2, A_f+A_e= 1081,25 mm^2 ve A_f+2A_e= 11,725 mm^2 dir. $A_f < A_f+A_e < A_f+2A_e < 0.375A_s$ olduğu için, PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumlarının her ikisi de profilin gövdesinin düz bölümünde kalmaktadır.

PTE'nin ik beş konumu için $Y_{1,i}$ değerleri Denklem (4.7) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{1,1} = 0 \text{ mm},\ Y_{1,2} = \frac{1}{4} \times 33 = 8{,}25 \text{ mm},\ Y_{1,3} = \frac{2}{4} \times 33 = 16{,}5 \text{ mm}$$

$$Y_{1,4} = \frac{3}{4} \times 33 = 25{,}75 \text{ mm},\ Y_{1,5} = 33 \text{ mm}$$

PTE'nin (6) ve (7) numaralı konumları için $Y_{1,i}$, sırasıyla Denklem (4.14) ve Denklem (4.15) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{1,6} = \frac{800}{2} - \frac{0{,}625 \times 33420 - 9900}{2 \times 17{,}5} = 86{,}07 \text{ mm}$$

$$Y_{1,7} = \frac{800}{2} - \frac{0{,}25 \times 33420}{2 \times 17{,}5} = 161{,}29 \text{ mm}$$

PTE'nin ilk 5 konumu için $Y_{c,i}$ değerleri, Denklem (4.16) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,1} = 0 \text{ mm},\ Y_{c,2} = \frac{8{,}25}{2} = 4{,}125 \text{ mm},\ Y_{c,3} = \frac{16{,}5}{2} = 8{,}25 \text{ mm}$$

$$Y_{c,4} = \frac{25{,}75}{2} = 12{,}875 \text{ mm},\ Y_{c,5} = \frac{33}{2} = 16{,}5 \text{ mm}$$

$Y_{c,6}$ ve $Y_{c,7}$ değerleri, Denklem (4.18) kullanılarak hesaplanabilir;

$$Y_{c,6} = \frac{9900 \times \left(86{,}07 - \frac{33}{2}\right) + 912{,}5 \times \left(86{,}07\text{-}33 - \frac{30}{2}\right) + 17{,}5 \times \frac{(86{,}07\text{-}33\text{-}30)^2}{2}}{9900 + 912{,}5 + 17{,}5(86{,}07\text{-}33\text{-}30)} = 64{,}92 \text{ mm}$$

$$Y_{c,7}=\frac{9900\times\left(161{,}29-\frac{33}{2}\right)+912{,}5\times\left(161{,}29\text{-}33\text{-}\frac{30}{2}\right)+17{,}5\times\frac{(161{,}29\text{-}33\text{-}30)^2}{2}}{9900+912{,}5+17{,}5(161{,}29\text{-}33\text{-}30)}$$

$$=129{,}36 \text{ mm}$$

Beton-çelik arayüzünde oluşan yatay kesme kuvveti ($\sum Q_{n,i}$) değerleri, PTE'nin ilk beş konumu için Denklem (4.7), son iki konumu için ise Denklem (4.10) ve Denklem (4.11) kullanılarak hesaplanabilir;

$$\Sigma Q_{n,1} = A_s F_y = 33420\times 355/1000 = 11864 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,2} = 11864 - (2\times 8{,}25\times 300\times 355)/1000 = 10107 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,3} = 11864 - (2\times 16{,}5\times 300\times 355)/1000 = 8350 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,4} = 11864 - (2\times 24{,}75\times 300\times 355)/1000 = 6593 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,5} = 11864 - (2\times 33\times 300\times 355)/1000 = 4835 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,6} = (0{,}625\times 33420 - 9900)\times 355/1000 = 3901 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{n,7} = 0{,}25\times 33420\times 355/1000 = 2966 \text{ kN}$$

İncelenen kompozit kirişin Y_2=50 mm olduğu durumda sahip olduğu pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları, $\phi_b M_n$, incelenen 7 PTE konumu için Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanabilir;

$$\phi_b M_{n,1} = 0{,}9\left[11864\times(50)+11864\times(400)\right]/1000 = 4805 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,2} = 0{,}9\left[10107\times(8{,}25\text{+}50\text{-}4{,}13)+11864\times(400\text{-}8{,}25\text{+}4{,}13)\right]/1000 = 4719 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,3} = 0{,}9\left[9350(16{,}50\text{+}50\text{-}8{,}25)+11864(400\text{-}16{,}50\text{+}8{,}25)\right]/1000 = 4621 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,4} = 0{,}9\left[6593\times(24{,}75\text{+}50\text{-}12{,}34)+11864\times(400\text{-}24{,}75\text{+}12{,}34)\right]/1000 = 4509 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,5} = 0{,}9\left[4835\times(33\text{+}50\text{-}16{,}5)+11864\times(400\text{-}33\text{+}16{,}5)\right]/1000 = 4384 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,6} = 0{,}9\left[3901\times(86{,}07\text{+}50\text{-}64{,}92)+11864\times(400\text{+}64{,}92\text{-}86{,}07)\right] = 4295 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_{n,7}=0,9\left[2966\times(161,29+50-129,36)+11864\times(400+129,36-161,29)\right]=4149\ \text{kNm}$$

Elde edilen değerler Tablo 4.6'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6. S355 çelik kaliteli HEB800 profil kullanılan kompozit kirişin 7 PTE konumu ve Y_2=50 mm için pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları $\phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2, mm
		mm	kN	50
HE 800 B	1	0.00	11864	4805
	2	8.00	10107	4719
	3	16.00	8350	4621
	4	24.00	6592	4509
	5	32.00	4835	4384
	6	69.12	3901	4295
	7	124.71	2966	4149

4.1.3. Dayanım Tabloları

Bölüm 4.1.2'de, farklı çelik kalitelerine sahip örnek profiller ve Y_2=50 mm için çıkarılan tasarım tabloları, tezin kapsamında incelenen tüm profil çeşitleri, 6 farklı Y_2 değeri (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm) ve üç farklı çelik kalitesi (S235, S275 ve S355) için ayrı ayrı oluşturularak, sırasıyla Ek-A1, Ek A2 ve Ek A3'te verilen tablolarda sunulmuştur.

Tablolarda farklı Y_2 değerlerine karşılık gelen kompozit kiriş pozitif tasarım eğilme momenti dayanımı değerleri kNm cinsinden ilgili Y_2 değerinin altındaki sütunda listelenmiştir. Bölüm 2.5'te bahsedildiği gibi, yapım aşamasında geçici desteklerin kullanılmadığı durumda, kompozit etki oluşuncaya kadar kirişe etkiyen bütün yüklerin yalnız profil tarafından taşınması istendiğinden, tasarım tablolarının ikinci sütununda incelenen çelik profillerin tasarım plastik eğilme momenti dayanımları ($\phi_b M_p$) da listelenmiştir.

ÇYTHYEY Bölüm 9.2.1'e göre, kuvvetli ekseni etrafında eğilen çift simetri eksenli kompakt I-kesitli bir çelik profilin akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı, plastik eğilme momenti dayanımına (M_p) eşittir. Plastik eğilme momenti dayanımı M_p, profilin kuvvetli eksende plastik mukavemet momenti W_{px} ile yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi F_y çarpılarak hesaplanır;

$$M_p = W_{px} F_y \quad (4.25)$$

ÇYTHYEY Bölüm 9.1'e göre, tasarımda YDKT yönteminin kullanılması durumunda, dayanım katsayısı ϕ_b, çelik kirişler için de 0,90 olarak alınmalıdır. Tablolarda listelenen değerler, dayanım katsayısıyla çarpılmış değerlerdir.

Tabloların üçüncü sütununda listelenen değerler, tabloda verilen dayanım değerlerinin PTE'nin Şekil 4.1'de gösterilen 7 konumundan hangisine karşılık geldiğini göstermektedir. Bölüm 4.2.1'de detaylıca incelendiği gibi, $0.375A_s \leq A_f$ olduğu durumlarda, PTE'nin son iki konumu profilin üst başlığında kaldığından, toplam başlık alanı toplam kesit alanının %75'inden büyük olan profillerde, dayanım değerleri sadece ilk beş PTE değeri için listelenmiştir.

Tabloların dördüncü sütununda PTE ile profilin üst kotu arasındaki mesafeler (Y_1), beşinci sütununda ise çelik ankrajların toplam kayma dayanımları (ΣQ_n) listelenmiştir. Y_1=0 değerinin PTE'nin profilin üst kotunda olduğu konuma, bu Y_1 değerindeki ΣQ_n değerinin ise profilin akma dayanımı $A_s F_y$'ye eşit olduğu duruma karşılık geldiği unutulmamalıdır.

Daha önce de belirtildiği gibi betonda oluşan basınç kuvvetinin çelik profilin üst kotundan uzaklığı olan Y_2 değeri, döşeme kalınlığı t_c'den a/2 çıkarılarak belirlenebilir (Şekil 3.1). a değeri, Denklem (2.6)'da C yerine ΣQ_n yazılarak hesaplanabilir;

$$a = \frac{\Sigma Q_n}{0{,}85 f_{ck} b} \quad (4.26)$$

Y_2, döşeme sisteminin geometrik ve mekanik özelliklerine bağlı olarak tasarımdan tasarıma değişeceğinden, tablolardaki dayanım değerleri son altı sütunda 6 farklı Y_2 değeri (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm) için listelenmiştir.

Tablolardan ilgili dayanım değerinin okunabilemesi için hesaplanması gereken ilk değer ΣQ_n'dir. ΣQ_n'nin (i) betonarme döşemenin tamamının etkin çalıştığı durumlarda beton basınç dayanımı $0{,}85 f_{ck} A_c$, (ii) çelik profilin tamamının çekmeye çalıştığı durumlarda profilin çekme dayanımı $A_s F_y$ ile (iii) kısmi kompozit kirişlerde arayüzde kullanılan kayma elemanlarının toplam kayma dayanımı $\Sigma Q_{n,ankraj}$'a eşit oluğu unutulmamalıdır. Tasarımcı bu üç değerden küçük olanı ΣQ_n değeri olarak kullanmalıdır.

$$\Sigma Q_n = \min\left(0{,}85 f_{ck} A_c ; A_s F_y ; \sum Q_{n,ankraj}\right) \quad (4.27)$$

A_c değerinin hesaplanabilmesi için, döşeme sisteminin öntasarımı yapılmış, döşemenin t_c kalınlığı belirlenmiş olmalıdır. Döşeme sisteminde kompozit döşemenin kullanılması durumunda, incelenen kirişin sacın hadvelerine göre duruşu (dik ya da paralel) belirlenip, etkin döşeme kalınlığı $t_{c,eff}$ (Şekil 3.1) hesaplanmalıdır. A_c hesabında gereken diğer değer olan döşemenin b etkin genişliği ise Bölüm 2.4'te verilen esaslar kullanılarak hesaplanmalıdır. Döşeme sisteminin tasarımı bu tezin kapsamı dışında tutulmuştur. Denklem (4.27)'de $\Sigma Q_{n,ankraj}$, ÇYTHYEY'de Bölüm 12.8'de tanımlanan kurallar esas alınarak hesaplanmalıdır. Ankraj tasarımı da bu tezin kapsamı dışında tutulmuştur.

ΣQ_n değerinin belirlenmesinin ardından, dayanım değerinin okunacağı Y_2 değeri hesaplanmalıdır. Hesaplanan ΣQ_n değeri ve Denklem (4.26) kullanılarak Y_2 değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir;

$$Y_2 = t_c - \frac{\Sigma Q_n}{0{,}85 f_{ck} b} \quad (4.28)$$

Y_2 değerinin tablolarda listelenen değerlerin arasında kalması durumunda, ilgili dayanım değeri doğrusal enterpolasyon yöntemi kullanılarak hesaplanabilir.

4.2. Atalet Momenti Tablolarının Oluşturulması

Tezin bu bölümünde çelik ankrajlı kompozit kirişlerin kısa süreli sehim hesapları için hem AISC 360-16 hemde AISC 360-10 yönetmeliklerinin Yorum bölümlerinde alternatif bir yöntem olarak tanımlanan alt-sınır yaklaşımı kullanılarak oluşturulan ve Çelik Yapı Kılavuzu'nda geniş başlıklı Amerikan W-kesitli kompozit kirişler için sunulan alt-sınır elastik atalet momenti tablolarına benzer tablolar Tablo 4.1'de verilen ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan I ve HE kesitlli hadde profilleri için oluşturulmuştur.

Amerikan Çelik Yapı Kılavuzu'nda [5], alt-sınır atalet momenti kullanılarak hesaplanan sehim değerlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunun gösterilmesi durumunda, nispeten daha karışık olan kompozit kesitin elastik analizine gerek kalmayacağı belirtilmektedir. Alt-sınır elastik atalet momenti hesabında Şekil 1.18'de gösterilen kompozit kesit kullanılmaktadır. Şekilden de fark edilebileceği gibi, dönüştürülmüş kesit, ΣQ_n'ye eşit basınç kuvvetinin oluştuğu döşeme alanını içermektedir.

Dönüştürülmüş kesitte, gerilmenin F_y'ye eşit olduğu göz önünde bulundurulduğunda, betonarme döşemenin dönüştürülmüş alanının $\Sigma Q_n / F_y$'ye eşit olacağı fark edilebilir. Bu yaklaşımla hesaplanan atalet momenti gerekli dayanım düzeyindeki enkesitin atalet momentine eşit olup, gerçekte sehim hesabının yapılması gereken servis yüklerindeki atalet momentinden daha küçüktür.

4.2.1. Atalet momenti denklemlerinin çıkarılması

Dayanım tablolarında olduğu gibi, atalet momenti tabloları hazırlanırken de PTE'nin Şekil 4.1'de gösterilen 7 konumu için hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır. Denklem (1.11)'de alt-sınır atalet momenti I_{LB} için verilen bağıntı, PTE'nin 7 farklı konumu için ($I_{LB,i}$, i=1,2,…7) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$I_{LB,i} = I_s + A_s\left(Y_{ETE,i} - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(\sum Q_{n,i} / F_y\right)\left(d + Y_2 - Y_{ETE,i}\right)^2,\ i=1,2,3,....7 \qquad (4.27)$$

Denklem (4.27)'de, I_s ve A_s çelik profilin atalet momenti ile enkesit alanı, $\Sigma Q_{n,i}$ PTE'nin (i) numaralı konumunda kayma elemanlarının toplam kayma dayanımı, F_y yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi, Y_2 betonarme döşemedeki basınç bloğunun ağırlık merkezi ile çelik profilin üst kotu arasındaki mesafe, $Y_{ETE,i}$ ise PTE'nin (i) numaralı konumunda elastik tarafsız eksenin çelik profilin alt kotundan mesafesidir. $Y_{ETE,i}$, Denklem (4.28) kullanılarak hesaplanabilir.

$$Y_{ETE,i} = \frac{A_s d/2 + \left(\sum Q_{n,i} / F_y\right)\left(d + Y_2\right)}{A_s + \left(\sum Q_{n,i} / F_y\right)},\ i=1,2,3,....7 \qquad (4.28)$$

Denklem (4.28)'in Denklem (1.12)'den elde edildiği fark edilebilir. Denklem (4.27) ve Denklem (4.28)'deki mesafeler Şekil 1.18'de gösterilmektedir. Denklem (4.28) incelendiğinde döşemenin kendi geometrik merkezinden geçen eksene göre atalet momentinin ihmal edildiği görülmektedir.

4.2.2. Örnek bir profil için atalet momenti tablolarının oluşturulması

Bu bölümde, Bölüm 4.2.4'te dayanım tablosu oluşturulan S355 çelik kalitesine sahip HEB800 çelik profil için atalet momenti tablosu oluşturulurken yapılan hesaplar gösterilmiştir. HEB800 profilinin atalet momenti hesaplarında kullanılan temel enkesit özellikleri; d=800 mm, $A=A_s=33420$ mm^2 ve $I_x=I_s=3591\times10^6$'dır. PTE'nin 7 farklı

konumu için Tablo 4.6'da verilen Y_1 ve $\sum Q_n$ değerleri kullanılarak ,Y_2= 50 mm için alt-sınır atalet momenti hesaplamaları aşağıda yapılmıştır.

$$Y_{ETE,1} = \frac{33420 \times 800/2 + (11864 \times 1000/355)(800+50)}{33420 + 11864 \times 1000/355} = 625 \text{ mm}$$

$$I_{LB,1} = 3591 \times 10^6 + 33420\left(625 - \frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{11864{,}1 \times 1000}{355}\right)(800+50-625)^2$$
$$= 6975 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_{ETE,2} = \frac{33420 \times 800/2 + (10107 \times 1000/355)(800+50)}{33420 + 10107 \times 1000/355} = 607 \text{ mm}$$

$$I_{LB,2} = 3591 \times 10^6 + 33420\left(607 - \frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{10106{,}85 \times 1000}{355}\right)(800+50-607)^2$$
$$= 6704 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_{ETE,3} = \frac{33420 \times 800/2 + (8350 \times 1000/355)(800+50)}{33420 + 8350 \times 1000/355} = 586 \text{ mm}$$

$$I_{LB,3} = 3591 \times 10^6 + 33420\left(586 - \frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{8349{,}60 \times 1000}{355}\right)(800+50-586)^2$$
$$= 6386 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_{ETE,4} = \frac{33420 \times 800/2 + (6592 \times 1000/355)(800+50)}{33420 + 6592 \times 1000/355} = 561 \text{ mm}$$

$$I_{LB,4} = 3591 \times 10^6 + 33420\left(561 - \frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{6592{,}35 \times 1000}{355}\right)(800+50-561)^2$$
$$= 6008 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_{ENA,5} = \frac{33420 \times 800/2 + (4835{,}10 \times 1000/355)(800+50)}{33420 + 4835{,}10 \times 1000/355} = 530 \text{ mm}$$

$$I_{LB,5} = 3591 \times 10^6 + 33420\left(530 - \frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{4835{,}10 \times 1000}{355}\right)(800+50-530)^2$$
$$= 5550 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_{ENA,6} = \frac{33420 \times 800/2 + (3900{,}56 \times 1000/355)(800+50)}{33420 + 3900{,}56 \times 1000/355} = 511 \text{ mm}$$

$$I_{LB,6} = 3591\times10^6 + 33420\left(511-\frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{3900{,}56\times1000}{355}\right)(800+50-511)^2$$
$$= 5265\times10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_{ENA,7} = \frac{33420\times800/2+(2966{,}03\times1000/355)(800+50)}{33420+2966{,}03\times1000/355} = 490 \text{ mm}$$

$$I_{LB,6} = 3591\times10^6 + 33420\left(490-\frac{800}{2}\right)^2 + \left(\frac{2966{,}03\times1000}{355}\right)(800+50-490)^2$$
$$= 4945\times10^6 \text{ mm}^4$$

Elde edilen değerler Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

Tablo 4.7. S355 çelik kaliteli HEB800 profil kullanılan kirişin 7 PTE konumu ve Y_2=50 mm için alt-sınır elastik atalet momentleri I_{LB} (mm^4)

KESİT	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2, mm
		mm	kN	50
HE 800 B	1	0.00	11864	6975
	2	8.25	10107	6704
	3	16.50	8350	6386
	4	24.75	6592	6008
	5	33.00	4835	5550
	6	86.07	3901	5265
	7	161.29	2966	4945

4.2.3. Atalet momenti tabloları

Bölüm 4.2.2'de, örnek bir profil ve Y_2=50 mm için çıkarılan tasarım tabloları, tezin kapsamında incelenen tüm profil çeşitleri ve 6 farklı Y_2 değeri (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm) için ayrı ayrı oluşturularak, Ek-B'de verilen tablolarda sunulmuştur. Üç farklı çelik kalitesi (S235, S275 ve S355) için elde edilen atalet momentlerinin aynı olduğu fark edilmiştir. Bu nedenle, bu tezde sunulan alt-sınır elastik atalet momenti tabloları çelik kalitesinden bağımsızdır.

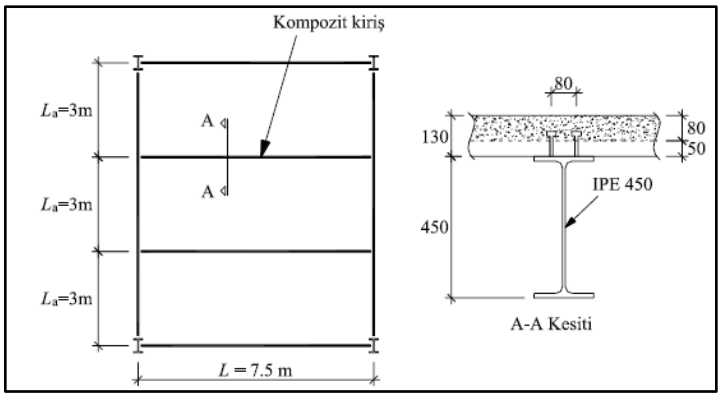
Tablolardan fark edilebileceği gibi, atalet momenti tabloları, dayanım tablolarına oldukça benzemektedir. Tabloların ilk sütununda kompozit kirişte kullanılan çelik profilin ismi ve numarası, ikinci sütunda ise kuvvetli eksenine göre atalet momenti (I_x) listelenmiştir. Bölüm 2.5'te bahsedildiği gibi, yapım aşamasında geçici desteklerin kullanılmadığı durumda kompozit etki oluşuncaya kadar, kirişe etkiyen bütün yüklerin yalnız profil tarafından taşınması istendiğinden, tasarım tablolarına çelik profillerin

atalet momentleri de dahil edilmiştir. Atalet momenti tablolarının üçüncü ve dördüncü sütunlarında, dayanım tablolarında olduğu gibi, PTE'nin konumu (Şekil 4.1'de tanımlanan 7 konum arasından) ile ilgili Y_1 değerleri sunulmuştur. Belirli bir profil için, dayanım tablolarında listelenen Y_1 değerleri ile atalet momentlerinde listelenen Y_1 değerlerinin aynı olduğu fark edilebilir. Daha önce de belirtildiği gibi, alt-sınır elastik atalet mometleri hesaplanırken, dayanım hesaplarından yararlanılmaktadır.

Her ne kadar alt-sınır atalet momentleri profilin çelik kalitesinden bağımsızsa da, ΣQ_n değerleri bağlı olduğundan, atalet momenti tablolarının 5., 6. ve 7. Sütunlarında, tezin kapsamında incelenen üç çelik kalitesi için hesaplanan ΣQ_n değerleri ayrı ayrı listelenmiştir. Ardından, atalet momenti değerleri, 6 farklı Y_2 değeri için listelenmiştir. Dayanım tablolarında olduğu, atalet momenti tablolarından değer okunabilmesi için ilk olarak, ΣQ_n ve Y_2 değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Hesaplanan değerlerin tablolanan değerlerin arasında kalması durumunda ilgili atalet momenti değeri, tablolardan okunan değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak belirlenebilir. Tasarım tablolarının ön tasarımda nasıl kullanılacağı Bölüm 4.3'te sunulan örnekte gösterilmektedir.

4.3. Tasarım Tablolarının Kullanılması

Tezin bu kısmında, tezde sunulan dayanım tablolarının kullanılmasına örnek olması amacıyla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 2017 yılında yayınlanan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu'nda [38] Örnek 12.9'da detaylı tasarım hesapları verilen kısmi etkileşimli kompozit kirişin (Şekil 4.6) pozitif tasarım eğilme momenti dayanımı tasarım tabloları kullanılarak belirlenecektir.



Şekil 4.6. ÇYTHYEY Uygulama Kılavuzu'nda Örnek 12.9'da tasarım hesapları verilen kompozit kiriş

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi betonarme döşeme, IPE 450 enkesitli çelik kirişe mesnetlenen soğuk şekillendirilmiş sac üzerine uygulanarak kompozit döşeme olarak çalışması sağlanmıştır. Çelik sac, hadveleri çelik kirişin boyuna eksenine dik konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çelik sacın hadve yüksekliği h_f=50 mm'dir. Betonarme döşemenin toplam kalınlığı t_c=130 mm'dir. Çelik profilin karakteristik akma dayanımı F_y=355 MPa, betonun karakteristik basınç dayanımı f_{ck}=30 MPa'dır. IPE 450 profilinin enkesit alanı A_s=9880 mm^2, yüksekliği d=450 mm, başlık genişliği b_f=190mm, başlık kalınlığı t_f=14,6 mm, düz gövde yüksekliği h=378,8 mm, gövde kalınlığı t_w=9,4 mm ve x ekseni etrafındaki atalet momenti $I_x = 337,40 \times 10^6$ mm^4'tür. Şekil 4.6'ya göre, kiriş açıklığı L=7,5 m, kiriş kesitinin düşey ekseninden komşu kiriş kesitinin düşey eksenine olan yatay mesafe L_a=3,0 m'dir.

Kompozit döşemenin etkin genişliği, incelenen kirişin bir iç kiriş olduğu göz önünde bulundurularak ve Bölüm 2.4'te verilen kurallar uygulanarak;

$$\left.\begin{array}{l} b_1 = \dfrac{L}{8} = \dfrac{7,5}{8} = 0,9375 \text{ m} \\ b_2 = \dfrac{L_a}{2} = \dfrac{3}{2} = 1,50 \text{ m} \end{array}\right\}_{\min} = 0,9375 \text{ m} \rightarrow b = 2 \times 0,9375 = 1,875 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Örnekteki çözümde de belirtildiği gibi, kirişin tam etkileşimli çalışabilmesi için ankrajların toplam kayma dayanımı en az $\sum Q_n$=min($A_s F_y$=3507 kN; 0,85$f_{ck} A_c$=3825 kN)=3507 kN olmalıdır. Bu durumda, elemanın karakteristik dayanımı 1116 kNm, tasarım dayanımı ise 1005 kNm olmaktadır. Eleman için gerekli dayanım 257 kNm olduğundan, elemanın kısmi etkileşimli çalıştırılması durumunda daha ekonomik bir tasarım elde edilebiceği gözlenmiştir. Ankraj sayısı azaltılarak, ankrajların toplam kayma dayanımı $\sum Q_n$=2307 kN düşürülmüştür. Diğer bir ifadeyle, etkileşim oranı 2307/3507=0,658'dir. Bu da, yaklaşık %66'lık bir kompozitlik oranına karşılık gelmektedir. Bu şekilde tasarlanan kirişin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımı, örnekte uzun ve karmaşık işlemler sonucunda 903 kNm olarak bulunmuştur.

Örnekte incelenen kirişin hem tam etkileşimli ($\sum Q_n$=3507 kN) hem de %66 oranında kısmi etkileşimli ($\sum Q_n$=2307 kN) çalışması durumundaki tasarım dayanımlarının tezde verilen tablolar kullanılarak belirlenebilmesi için hesaplanması gereken tek değer beton döşemede oluşan basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna uzaklığı olan Y_2=t_c-

a/2 mesafesidir. t_c=130 mm olduğu göz önünde bulundurularak, Y_2, kirişin %100 etkileşimli çalıştığı durumda,

$$a=\frac{3507\times10^3}{0,85\times30\times1875}=73,3\text{ mm}\rightarrow Y_2=130-\frac{73,3}{2}=93,4\text{ mm}$$

%66 etkileşimli çalıştığı durumunda ise,

$$a=\frac{2037\times10^3}{0,85\times30\times1875}=42,6\text{ mm}\rightarrow Y_2=130-\frac{42,6}{2}=109\text{ mm}$$

olarak bulunur.

Artık kompozit kiriş dayanımları, Tablo A.3 kullanılarak belirlenebilir. $\sum Q_n$=3507 kN için, Y_2=50 mm olduğunda $\phi_b M_n$= 868 kNm, Y_2=100 mm olduğunda $\phi_b M_n$= 1026 kNm'dır (Şekil 4.7). Y_2=93,4 mm için, bu iki değer arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak $\phi_b M_n$= 1005 kNm değeri elde edilebilir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu değerde kılavuzda hesaplanan dayanım değerine eşittir.

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2=93,4 mm	Y_2, mm				
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 450	543.79	$\sum Q_n$=3057 kN		3507	868	1026	1184	1342	1499	1657
				3015	845	981	1116	1252	1388	1523
		3	7.30	2523	821	934	1048	1161	1275	1388
		4	10.95	2030	794	886	977	1068	1160	1251
		5	14.60	1538	767	836	905	974	1043	1113
		6	44.10	1207	743	798	852	906	961	1015
		7	93.62	877	708	748	787	826	866	905

Şekil 4.7. S355 çelik kalitesine sahip IPE 450 profilin kullanıldığı tam etkileşimli kompozit kirişin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımının tasarım tablosundan okunması

Kirişin kompozitlik oranının %66 olması durumunda ($\sum Q_n$=2037 kN) tabloda ardışık enterpolasyonlar yapılmalıdır (Şekil 4.8). Y_2=100 mm olduğunda $\sum Q_n$=2523 kN için $\phi_b M_n$= 934 kNm, $\sum Q_n$=2030 kN için $\phi_b M_n$= 886 kNm'dur. Buradan, Y_2=100 mm ve $\sum Q_n$=2037 kN olduğunda, $\phi_b M_n$= 887 kNm olarak hesaplanabilir. Y_2=150 mm olduğunda $\sum Q_n$=2523 kN için $\phi_b M_n$= 1048 kNm, $\sum Q_n$=2030 kN için $\phi_b M_n$= 977 kNm'dur. Buradan, Y_2=150 mm ve $\sum Q_n$=2037 kN olduğunda, $\phi_b M_n$= 978 kNm olarak hesaplanabilir.

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE	Y_1	ΣQ_n	Y_2, mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 450	543.79	1	0.00	3507	868	1026	1184	1342	1499	1657
		2	3.65	3015	845	981	1116	1252	1388	1523
		3	7.30	2523	821	934	1048	1161	1275	1388
		4	10.95	2030	794	886	977	1068	1160	1251
		5	14.60	1538	767	836	905	974	1043	1113
		6	44.10	1207	743	798	852	906	961	1015
		7	93.62	877	708	748	787	826	866	905

Şekil 4.8. S355 çelik kalitesine sahip IPE 450 profilin kullanıldığı% 66 etkileşimli kompozit kirişin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımının tasarım tablosundan okunması

Elde edilen iki değer arasında enterpolasyon yapılarak, Y_2=109 mm için $\phi_b M_n$= 903 kNm olarak hesaplanabilir. Elde edilen tasarım dayanımı değeri, kılavuzda hesaplanana eşittir.

Kılavuzda, örnekte incelenen kısmi etkileşimli kompozit kirişin atalet momenti de hesaplanmıştır. Atalet momenti hesaplarında, döşemenin genişliği 2n oranında azaltılarak dönüştürülmüş enkesit elde edilmiş, buradan dönüştürülmüş enkesitin atalet momenti 724×10^6 mm^4 olarak hesaplanmıştır. ÇYTHYEY gereğince, elde edilen bu değer %25 azaltılarak, kompozit kirişin sehim hesaplarında kullanmak amacıyla atalet momenti 544×10^6 mm^4 olarak belirlenmiştir.

Tezde sunulan atalet momenti tabloları kullanılarak kısmi etkileşimli kompozit kirişin atalet momenti de belirlenebilir. Ancak, tezde atalet momenti hesabında alt-sınır yönteminin kullanıldığı unutulmamalıdır. Bu nedenle, tablolardan okunacak atalet momenti değerlerinin ÇYTHYEY'ye göre hesaplanan değerlerden daha küçük olması beklenmektedir. Tıpkı dayanım tablolarında olduğu gibi, tezde sunulan atalet momenti tablolarından okuma yapılabilmesi için iki değere ihtiyaç vardır: $\sum Q_n$ ve Y_2. Bu değerler, dayanım hesaplarında belirlendiği gibi, $\sum Q_n$=2037 kN ve Y_2=109 mm'a eşittir. Bu iki değer, S355 çelik kaliteli IPE 450 kirişli kompozit kiriş atalet momenti tablosunda (Tablo B) kullanılarak kirişin alt-sınır elastik atalet momenti $I_{LB}=742\times10^6$ mm^4 olarak bulunmuştur. Fark edilebileceği gibi, kılavuzda hesaplanan atalet momenti değeri, alt-sınır değerden çok daha düşüktür. Bölüm 2.6'da belirtildiği gibi, dönüştürülmüş atalet momentinde yapılan %25'lik azaltma AISC 360'ın güncel baskısında kaldırılmıştır. Dönüştürülmüş enkesitin atalet momentinin (724×10^6 mm^4) ise alt-sınır atalet momentine ($I_{LB}=742\times10^6$ mm^4) çok yakın olduğu fark edilebilir.

KESİT	I_x	PTE	Y_1	ΣQ_n (kN)			Y_2, mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPE 450	337.40	1	0	2322	2717	3507	711			1230	1452	1699
		2	3.65	1996	2336	3015	683	820	980	1162	1368	1596
		3	7.30	1670	1954	2523	650	774	919	1084	1270	1477
		4	10.95			2030	611	720	847	992	1155	1336
		5	14.60			1538	565	655	761	881	1017	1167
		6	44.10	799	935	1207	529	605	693	794	908	1035
		7	93.62	580	679	877	487	546	615	694	783	882

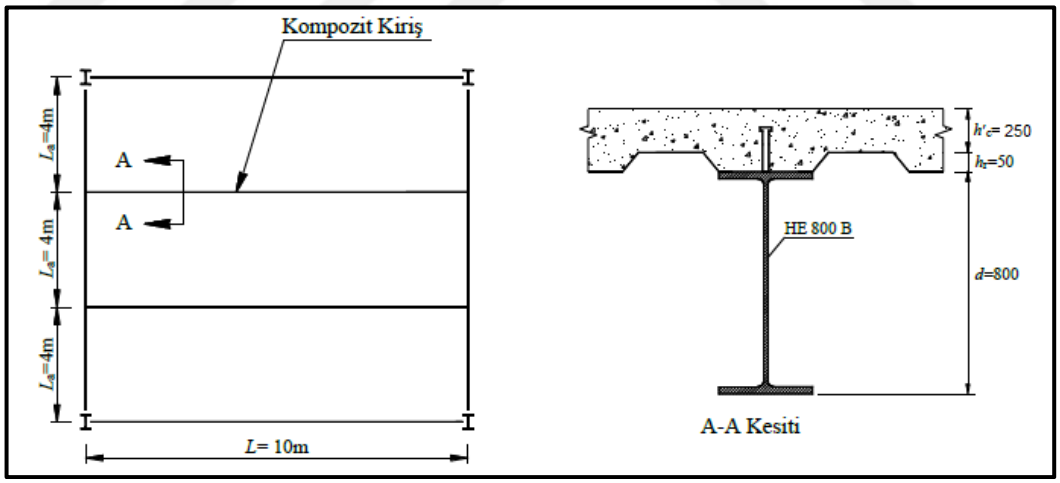
Y_2=109 mm

ΣQ_n=2037 kN

Şekil 4.9. S355 çelik kalitesine sahip IPE 450 profilin kullanıldığı% 66 etkileşimli kompozit kirişin alt-sınır elastik atalet momentinin tasarım tablosundan okunması

4.4. Tasarım Tablolarından Elde Edilen Dayanımların Etabs Progamından Elde Edilen Sonuçlarla Karşılaştırılması

Bu bölümde, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu'nda Örnek 12.7'den uyarlanmış bir kompozit kirişin (Şekil 4.10) farklı kompozit oranlarındaki tasarım eğilme momenti dayanımları, yapı tasarımında ülkemizde ve dünyada yaygın olatak kullanılan ETABS [39] programı kullanılarak belirlenmiş, elde edilen değerler tezde sunulan dayanım tabloları kullanılarak belirlenen dayanımlarla karşılaştırılarak tasarım tabloları güvenilirliği kontrol edilmiştir.

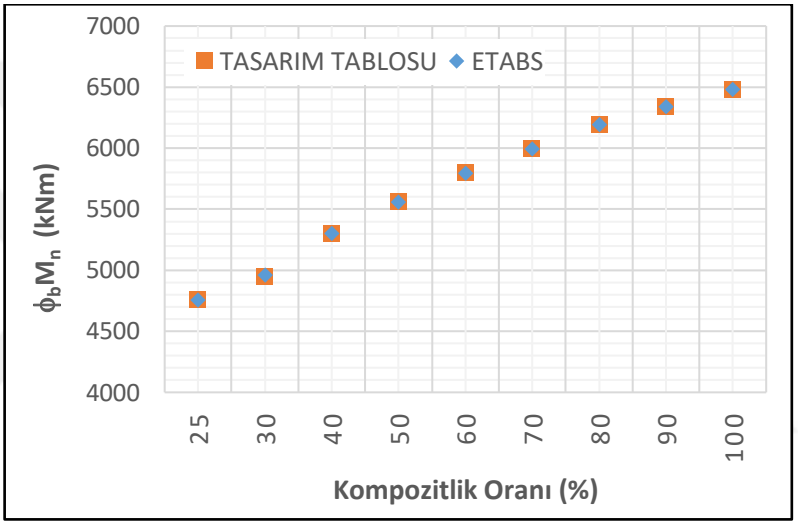


Şekil 4.10. ÇYTHYEY Uygulama Kılavuzu'nda Örnek 12.7'den uyarlanmış bir kompozit kiriş

Kompozit kirişte S355 çelik kalitesine sahip HEB 800 çelik profili kullanılmıştır. Toplam döşeme kalınlığı 300 mm olup, döşemede C30 betonu kullanılmıştır. Farklı kompozitlik oranları için tasarım tablolarından ve ETABS programından elde edilen tasarım dayanımları Tablo 4.8'te ve Şekil 4.11'de sunulmuştur. Tablo 4.23 ve Şekil 4.10 incelendiğinde, tablolardan elde edilen sonuçlarla programdan elde edilen sonuçların örtüştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4.8. Şekil 4.10'da tanımlanan kompozit kirişin farklı kompozitlik oranlarındakii tasarım dayanımları için ETABS programından ve tasarım tablosundan elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Kompozitlik Oranı (%)	$\sum Q_n$ (kN)	$\phi_b M_n$ (kNm)	
		ETABS	Tasarım Tablosu
100	11864	6481	6480
70	8270	5994	5993
50	5991	5562	5561
40	4824	5305	5305
25	2966	4759	4755



Şekil 4.11. Şekil 4.10'da tanımlanan kompozit kirişin farklı kompozitlik oranlarındakii tasarım dayanımları için ETABS programından ve tasarım tablosundan elde edilen sonuçların karşılaştırılması

5. AVRUPA I VE H-PROFİLLİ KOMPOZİT KİRİŞLERİN POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Tezin bu bölümünde, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve tezin bir önceki bölümünde dayanım tabloları sunulan HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profilli kompozit kirişlerin farklı etkileşim oranları için hesaplanan pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları karşılaştırılarak, kompozitlik oranının dayanım üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

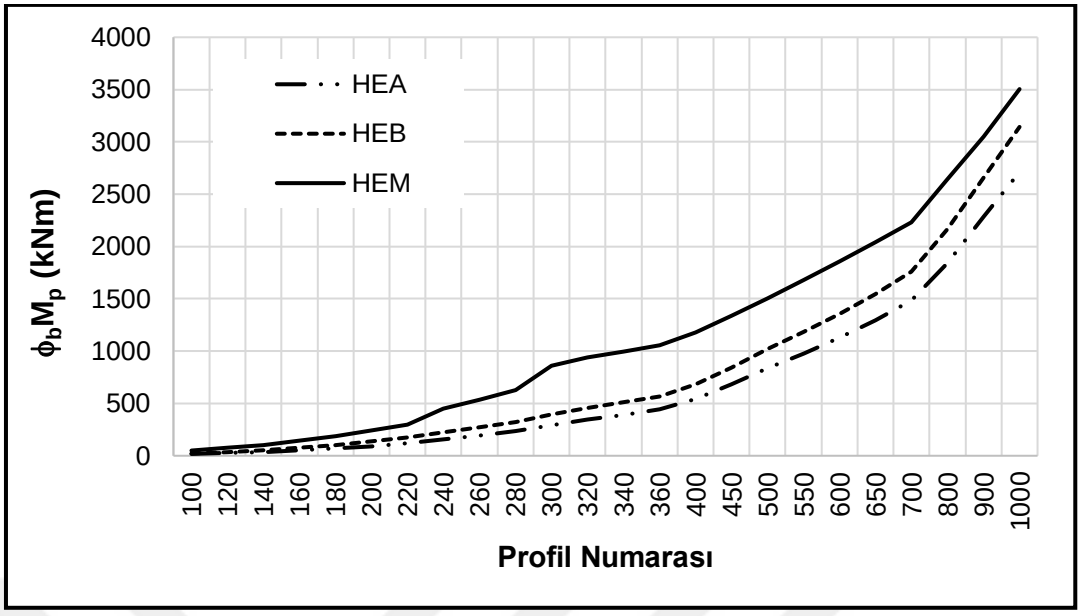
Kompozitlik oranı azaldıkça, kompozit bir kirişin eğilme davranışı kompozit kirişi oluşturan çelik profilin eğilme davranışına doğru yaklaşacaktır. Bu nedenle, bu bölümde ilk olarak tezin kapsamında incelenen profillerin plastik eğilme momenti dayanımları incelenecek, ardından kompozitlik oranın kiriş dayanımına etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılacaktır.

5.1. Çelik Profillerin Tasarım Plastik Moment Dayanımlarının Karşılaştırılması

Bölüm 4.5'te belirtildiği gibi, pozitif eğilmeye maruz kalan I-kesitli bir hadde profilinin, gerekli önlemler alınarak başlık ve gövdesinin yerel burkulması ve yanal burulmalı burkulması engellendiğinde, profil plastik moment kapasitesine ulaşabilir. Bu durumda, profilin tasarım eğilme momenti dayanımı ($\phi_b M_n$) Denklem (5.1) ile hesaplanabilir.

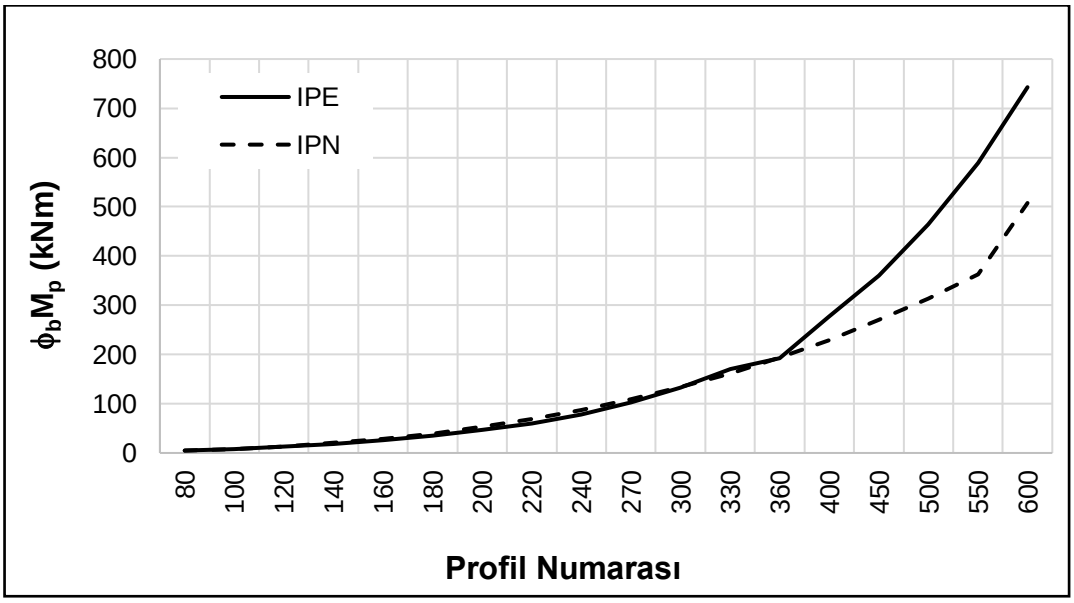
$$\phi_b M_n = \phi_b M_p = 0{,}90 W_{px} F_y \tag{5.1}$$

Burada, W_{px} profilin kuvvetli ekseni etrafında plastik mukavemet momenti, F_y çeliğin karakteristik akma dayanımıdır. Şekil 5.1'de S235 çelik kaliteli HEA, HEB ve HEM profillerinin tasarım plastik moment dayanımları karşılaştırılmıştır. F_y profil türüne bağlı olmadığından, S235 çelik kalitesi için çıkarılacak genel sonuçların diğer çelik kaliteleri için de geçerli olacağı düşünülmektedir. Şekil 5.1 dikkatle incelendiğinde, aynı kesit numarasına sahip HEA, HEB ve HEM profilleri arasında, HEA profillerinin dayanımlarının en küçük, HEM profillerinin dayanımlarının ise en büyük olduğu görülebilir. Özellikle büyük numaralı kesitlerde, HEM profillerinin dayanımlarının aynı kesit numarasına sahip HEA ve HEB profillerin dayanımlarından daha büyük olduğu gözlenmektedir. Denklem (5.1)'den fark edilebileceği gibi, aynı çelik kalitesine sahip profillerin dayanımlarını belirleyen temel kesit özelliği plastik mukavemet momentidir.



Şekil 5.1. S235 çelik kalitesine sahip HEA, HEB ve HEM çelik profillerin tasarım plastik moment dayanımlarının karşılaştırılması

S235 çelik kaliteli IPE ve IPN profillerinin tasarım plastik moment dayanımları ise Şekil 5.2'de karşılaştırılmıştır. Şekilden fark edilebileceği gibi, kesit numaraları 400'den küçük olan IPE ve IPN profillerin dayanımları birbirine çok yakındır. Buna karşın, kesit numaraları 400'den büyük olan profillerde, IPE profillerin dayanımı daha yüksektir. Şekil 5.2'den, numaraları 400'den büyük profillerde, aynı numaraya sahip IPE ve IPN profillerin dayanımları arasındaki farkın, kesit numarası arttıkça arttığı görülmektedir.



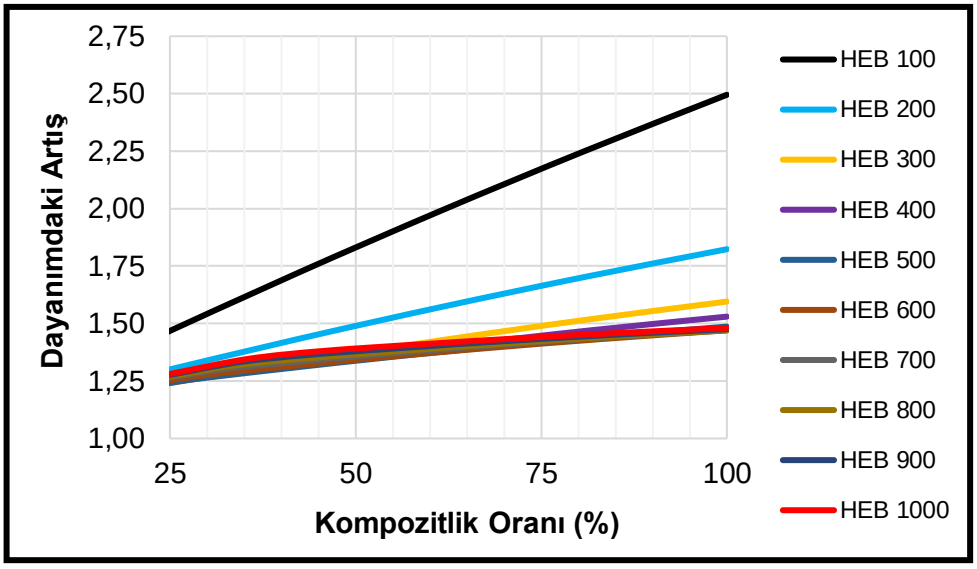
Şekil 5.2. S235 çelik kalitesine sahip IPE ve IPN çelik profillerin tasarım plastik moment dayanımlarının karşılaştırılması

5.2. Kompozit Etkileşimin Pozitif Tasarım Eğilme Momenti Dayanımına Etkisi

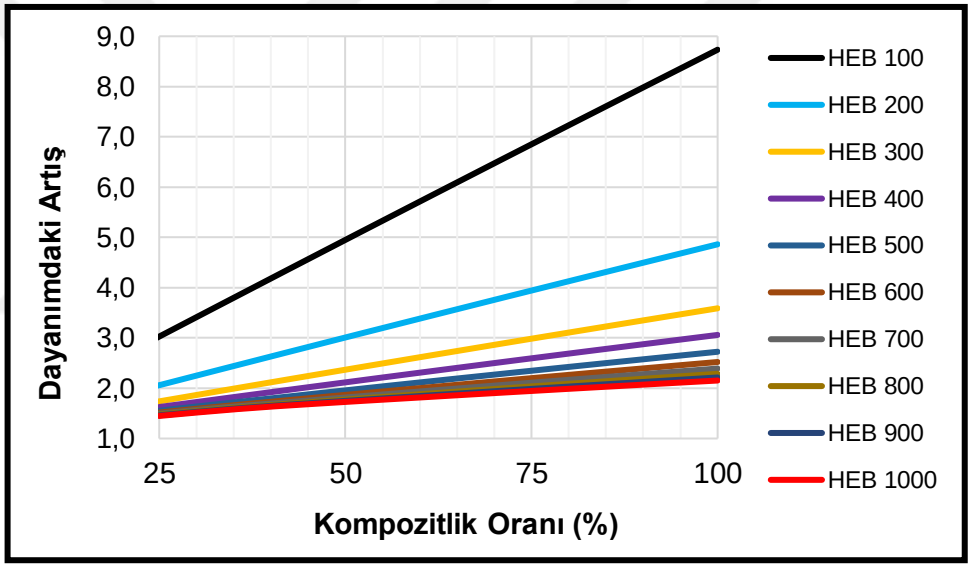
Çelik ankrajlı kompozit kirişlerin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları; çelik kalitesi, çelik profil boyutları, beton kalitesi, döşeme boyutları ile kompozitlik oranına bağlıdır. Kompozitlik oranı, çelik-beton arayüzünde oluşan kayma kuvvetinin ankrajlarla taşınma oranına eşit olup, $k=\sum Q_n/\min(A_s F_y, 0{,}85 f_{ck} A_c)$ bağıntısından hesaplanabilir.

Tezin bu bölümünde, farklı çelik kaliteleri ve profilleri için Bölüm 4'te sunulan tasarım tabloları kullanılarak, farklı kompozitlik oranına sahip kompozit kirişlerin pozitif tasarım eğilme momentleri dayanımları ($\phi_b M_n$), ilgili çelik profillerin incelenen çelik kalitesindeki tasarım plastik eğilme momenti dayanımlarına ($\phi_b M_p$) oranlanarak, kompozit etkileşim nedeniyle profillerin dayanımlarında oluşan artış miktarları ($\phi_b M_n/\phi_b M_p$ oranları) belirlenmiştir. Elde edilen dayanım oranlarının kompozitlik oranlarıyla değişimleri çizdirilerek, kompozitlik oranının kompozit kiriş dayanımına etkileri araştırılmıştır. Aynı çelik profil ve kompozitlik oranına sahip kompozit kirişlerde, üç farklı çelik kalitesi (S235, S275 ve S355) için hesaplanan dayanım oranlarının eşit olduğu belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, kompozit kirişlerde dayanım artışlarının çelik kalitesinden bağımsız olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.3'te sunulan grafiklerde, iki farklı Y_2 değeri (50 mm ve 300 mm) ve farklı kompozitlik oranları için, numaraları 100'ün tam katları olan HEB profillerin dayanımlarında gözlenen artış miktarları gösterilmektedir. Şekillerden fark edilebileceği gibi, dayanım artışları çelik profilin numarasına, Y_2 değerine ve kompozitlik oranına bağlıdır. Y_2 değerinin döşemenin toplam kalınlığı ile etkin genişliğine ve beton dayanımına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Şekil 5.3'teki grafiklerden, kompozit kiriş dayanımlarındaki artış ile kompozitlik oranı arasındaki ilişkinin hemen hemen doğrusal olduğu görülmektedir. Şekil 5.3'teki grafiklerden çıkarılabilecek bir diğer önemli sonuç da, kompozit kiriş dayanımındaki artışın büyüyen çelik profil numarasıyla küçülmesidir. Y_2 değeri ve kompozitlik oranı aynı olan HEB profiller arasında, dayanım artışları kesit numarası arttıkça azalmaktadır. Bu nedenle, hem Şekil 5.3(a)'da hem de Şekil 5.3(b)'de, en büyük dayanım artışları HEB 100 profilinde gözlenmektedir. Bu profille tam (%100) etkileşimli kompozit bir kirişin tasarlanması durumunda, dayanım HEB 100 profilinin dayanımına göre Y_2=50 mm olduğunda 2,50 kat, Y_2=300 mm olduğunda 8,73 kat artırmaktadır. Buna karşın, aynı kompozitlik oranına ve Y_2 değerlerine sahip HEB 1000 profilli kompozit kirişlerde gözlenen dayanım artışları sırasıyla 1,46 ve 2,04'tür.



(a) Y_2=50 mm

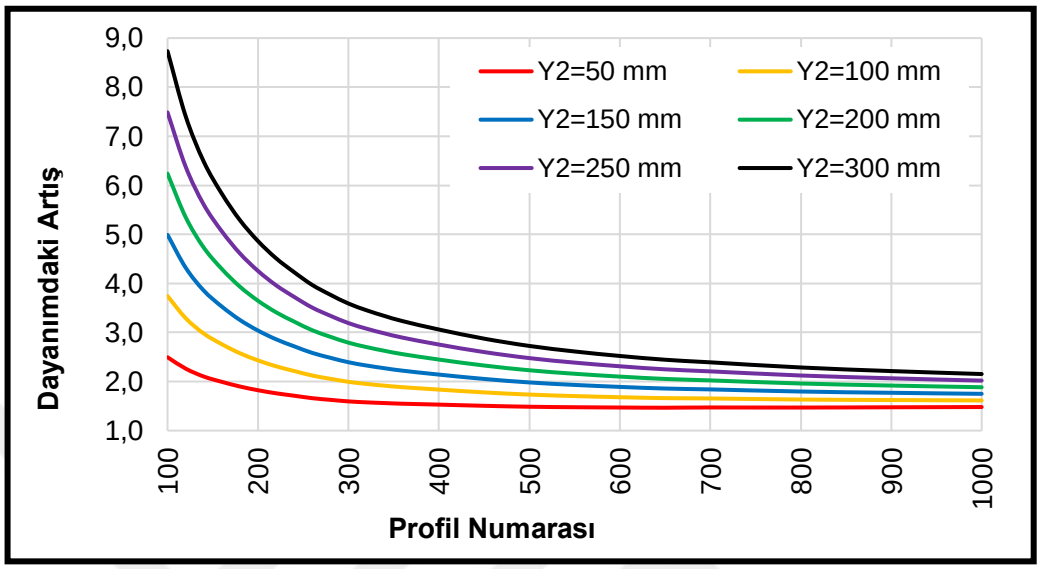


(b) Y_2=300 mm

Şekil 5.3 (a) Y_2=50 mm, (b) Y_2=300 mm için, HEB profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın kompozitlik oranıyla değişimi

Dayanım artışıyla kesit numarası arasındaki ilişkiyi daha detaylı inceleyebilmek amacıyla, Y_2=300 mm ve k=%100 için, farklı HEB profilli kompozit kirişlerde oluşan dayanım artışları hesaplanmıştır. Buna göre, dayanım artışı, HEB 100 için 8,73; HEB 200 için 4,86; HEB 300 için 3,59; HEB 500 için 2,72; HEB 700 için 2,39 ve HEB 1000 için 2,15'tir. Fark edilebileceği gibi, artan kesit numarasıyla dayanım artışında oluşan azalma doğrusal değildir. Kesit numarasının dayanım artışına etkisini daha detaylı bir şekilde incelemek amacıyla, Şekil 5.4'te 6 farklı Y_2 değeri ve k=%100 için, tezin kapsamında incelenen bütün HEB profillerin dayanımlarında gözlenen artış miktarlarının profil numarasıyla değişimi gösterilmiştir. Grafikten de fark edilebileceği

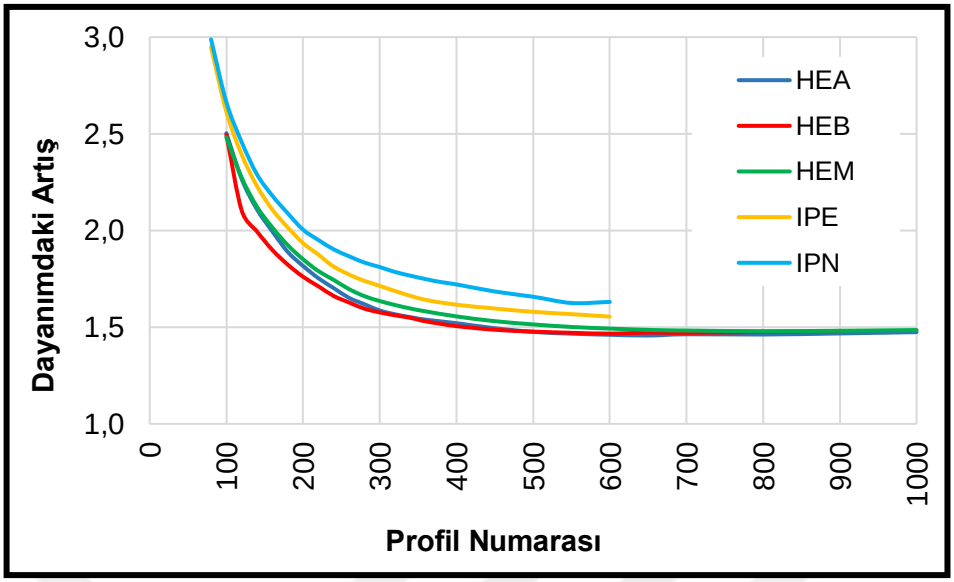
gibi, küçük profillerde, profil numarası arttıkça dayanım oranı hızla azalmakta, orta büyüklükteki profillerden itibaren bu azalma hızını kaybetmektedir. Büyük profillerde, dayanım oranının profil numarasından çok etkilenmediği söylenebilir.



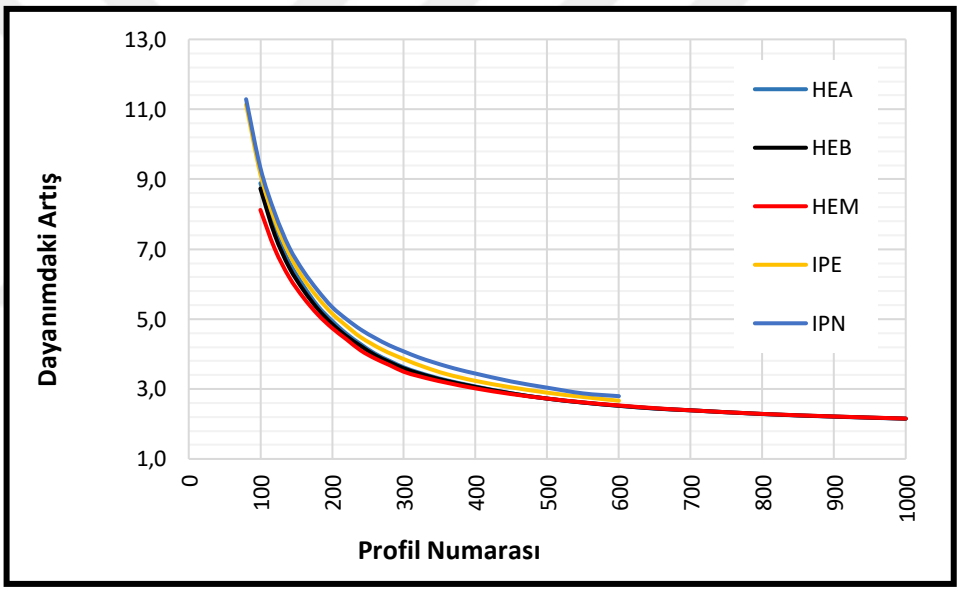
Şekil 5.4. Farklı Y_2 değerine ve %100 kompozitlik oranına sahip HEB profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın profil numarasıyla değişimi

HEB profilli kompozit kirişler için elde edilen bu sonucun diğer profiller için de geçerli olup olmadığını belirlemek amacıyla, Şekil 5.5'te, iki farklı Y_2 değeri için (50 mm ve 300 mm için) tam etkileşimli kompozit kirişlerde, dayanımda gözlenen artış miktarılarının farklı profil türlerinde profil numarasıyla değişimleri gösterilmiştir.

Grafiklerden de görülebileceği gibi, HEB profilleri için Şekil 5.4'ten elde edilen sonuç, genel olarak diğer profil türleri için de geçerlidir. Dayanım oranları, küçük numaralı profillerde en yüksek olup, artan profil numarasıyla azalmakta, büyük numaralı profillerde ise hemen hemen profil numarasından bağımsız hale gelmektedir. Grafiklerden, Y_2=50 mm durumunda, kesit numarası 400'den büyük olan HE-kesitli profillere sahip kompozit kirişlerin dayanımlarının yaklaşık 1,5 kat arttığı gözlenmiştir. Y_2=300 mm durumunda ise, kesit numarası 400'den büyük olan HE-profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artış en fazla 3 kat olup, kesit numarası büyüdükçe bu değer 2,15'e kadar düşmektedir. Bu değerlerin, profillerin kısmi etkileşimli kompozit şekilde çalıştırılması durumunda daha da düşük olacağı unutulmamalıdır. Şekil 5.4'te verilen grafiklerden, aynı kesit numarasına sahip profiller arasında dayanım artışlarının en yüksek olduğu profillerin IPN'ler olduğu tespit edilmiştir. Ardından IPE ve HEM profiller gelmektedir.



(a) Y_2=50 mm

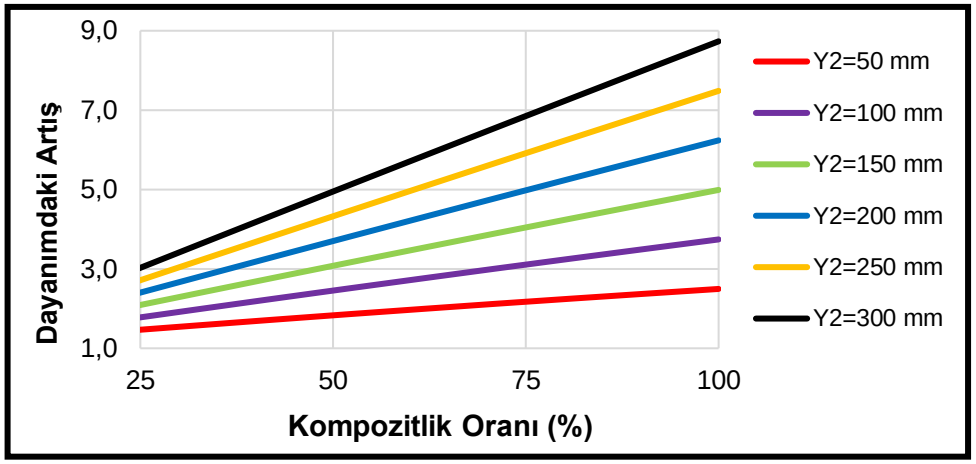


(b) Y_2=300 mm

Şekil 5.5. (a) Y_2=50 mm, (b) Y_2=300 mm için, %100 kompozitlik oranına sahip kirişlerde, farklı profil türlerinde gözlenen dayanım artışının profilin numarasıyla değişimi

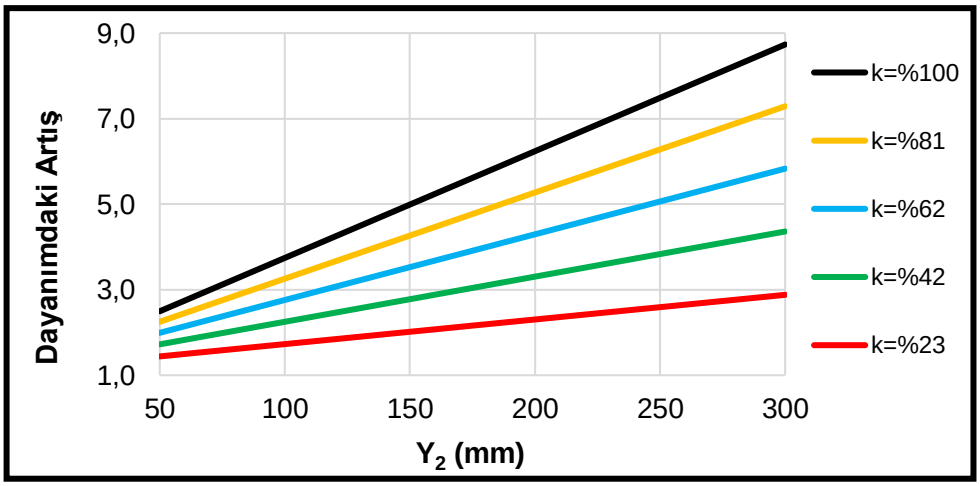
Şekil 5.5a ve Şekil 5.5b karşılaştırıldığında, Y_2 değeri arttığında, profil türünün dayanım oranına etkisinin azaldığı gözlenmiştir.

Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'ten, dayanım artışlarının Y_2 'ye bağlı olduğu ve artan Y_2 değerleriyle arttığı sonucuna varılabilir. Y_2'nin kompozit kirişlerin dayanımlarına olan etkisini daha detaylı inceleyebilmek amacıyla, 6 farklı Y_2 değeri için (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm ve 300 mm için) HEB 100 profilli bir kompozit kirişin dayanımında gözlenen artış oranları Şekil 5.6'da sunulan grafikte çizdirilmiştir.



Şekil 5.6. Farklı Y_2 değerine sahip HEB 100 profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın kompozitlik oranıyla değişimi

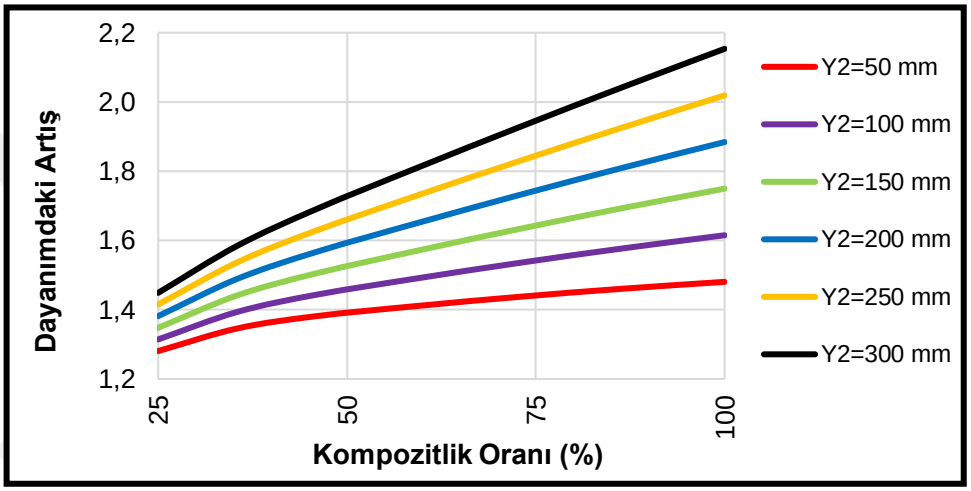
Şekil 5.6'dan fark edilebileceği gibi, aynı kompozitlik oranına sahip HEB 100 profilli kirişlerin dayanımlarında gözlenen artış, artan Y_2 değeriyle artmaktadır. İncelenen bütün Y_2 değerleri için, dayanımdaki artış ile kompozitlik oranı arasındaki ilişki doğrusaldır. Y_2'nin dayanım artışına etkisi kompozitlik oranı arttıkça azalmaktadır. Dayanım oranındaki artışın Y_2 değeriyle nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla, 6 farklı kompozitlik oranı (k) için (100%, 81%, 62%, 42% ve 23%), HEB 100 profilli kompozit kirişlerde gözlenen dayanım artışlarının Y_2 değerleriyle değişimi Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Şekil 5.7'den görülebileceği gibi, farklı kompozitlik oranlarında, dayanım artışıyla Y_2 arasındaki ilişki doğrusaldır.



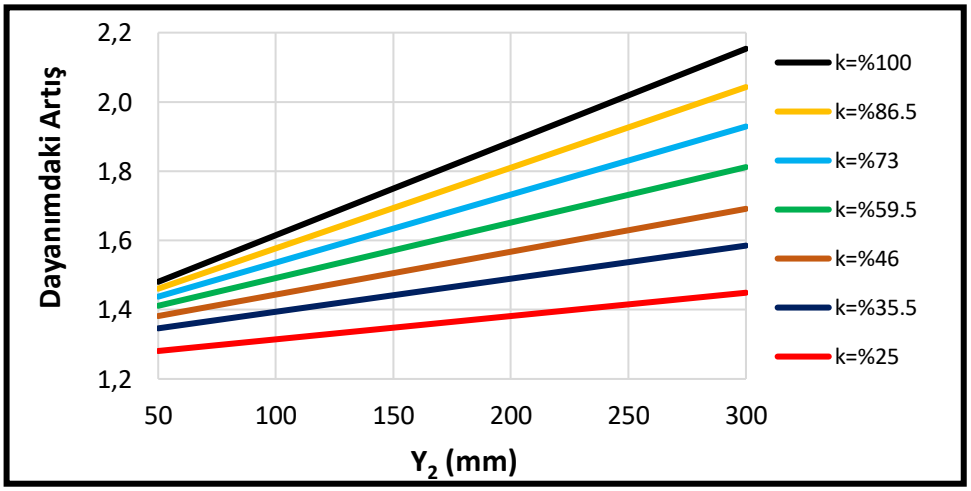
Şekil 5.7. Farklı kompozitlik yüzdelerine (k değerlerine) sahip HEB 100 profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın Y_2 değerleriyle değişimi

HEB 100 profilli kompozit kirişler için Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de çizdirilen grafiklerin benzerleri, HEB 1000 profilli kompozit kirişler için de çizdirilmiş ve Şekil 5.8'de

sunulmuştur. Şekil 5.8a ile Şekil 5.6 karşılaştırıldığında, HEB 1000 profilli kompozit kirişte dayanım artışı-kompozitlik oranı eğrisinin yaklaşık %40'dan küçük kompozitlik oranlarında daha dik, daha büyük kompozitlik oranlarında daha yatık olduğu gözlenmiştir. Grafikte sunulan eğriler, çift doğrulu eğriler olarak modellenebilir. Ancak, HEB1000 profilli kompozit kirişteki dayanım oranı değişimleri, HEB 100 profilli kompozit kirişe göre çok daha az olduğundan, doğruların eğimlerindeki bu değişim kompozitlik oranı çok küçük olmadığı müddetçe ihmal edilebileceği düşünülmektedir. Şekil 5.8b ile Şekil 5.7 karşılaştırıldığında, dayanım oranlarının Y_2 ile değişiminin benzer, yani, doğrusal olduğu gözlenmiştir.



(a) Kompozitlik oranıyla değişim

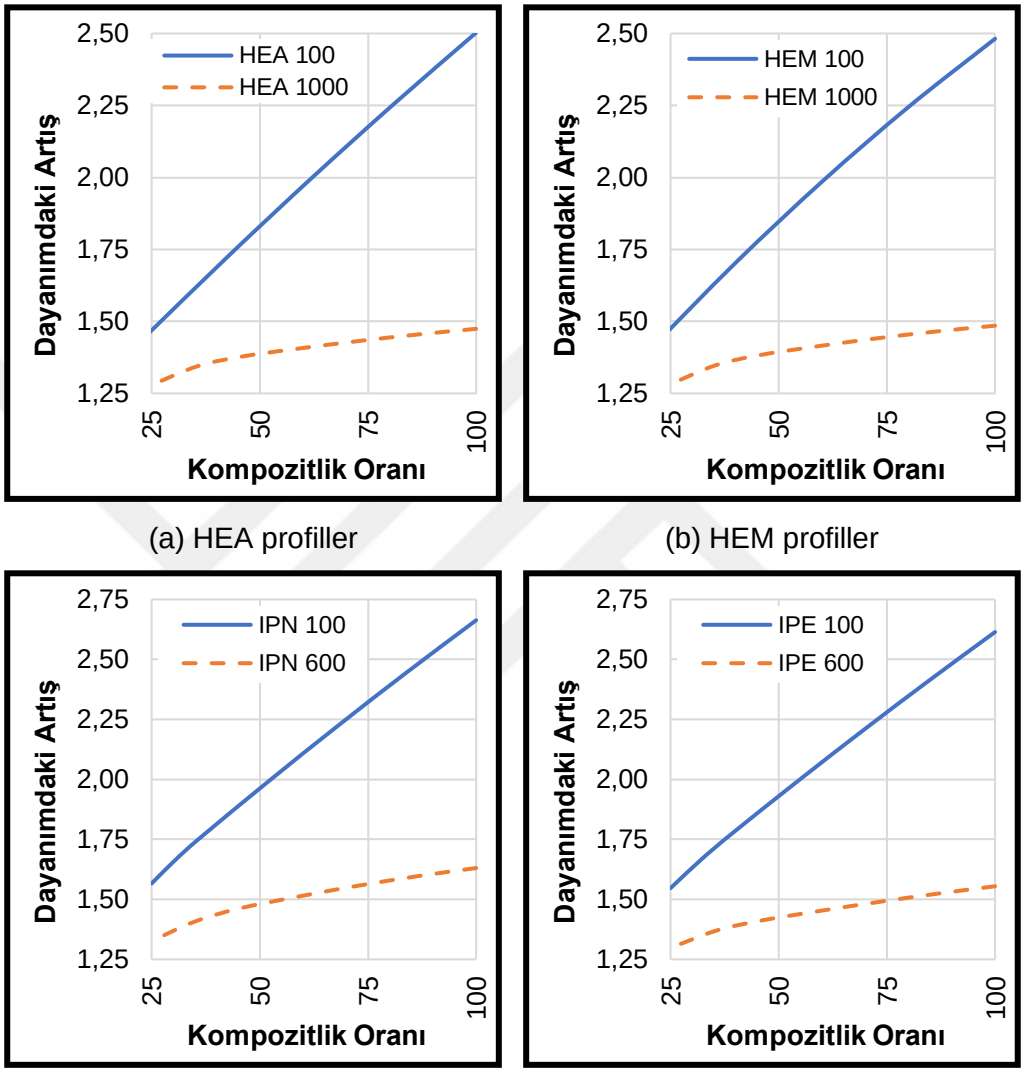


(b) Y_2 ile değişim

Şekil 5.8. HEB 1000 profilli kompozit kirişlerin dayanımlarında gözlenen artışın (a) kompozitlik oranıyla (b) Y_2 ile değişimi

Şekil 5.3'te HEB profilli kompozit kirişler için sunulan dayanım artışı-kompozitlik oranı grafikleri, tezin kapsamında incelenen bütün profiller için çizdirilmiştir. Ancak,

incelenen her profil grubunda elde edilen en büyük ve en küçük dayanım artışı değerlerini göstermesi amacıyla, benzer dayanım eğrileri, HEA, HEM, IPN ve IPE kesitli profil gruplarında en küçük ve en büyük numaralara sahip profiller için iki farklı Y_2 değeri (50 mm ve 300 mm) için çizdirilerek Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sunulmuştur.



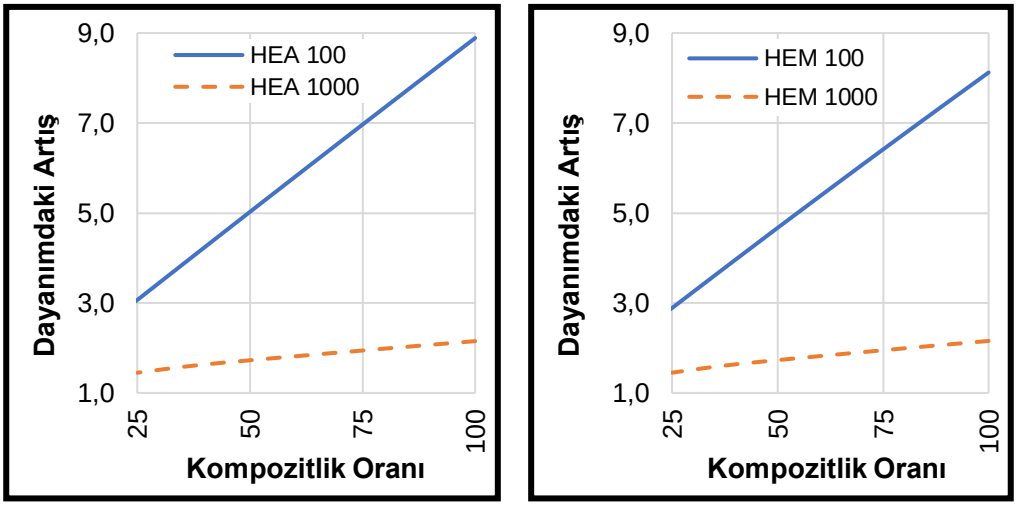
(a) HEA profiller

(b) HEM profiller

(c) IPN Profiller

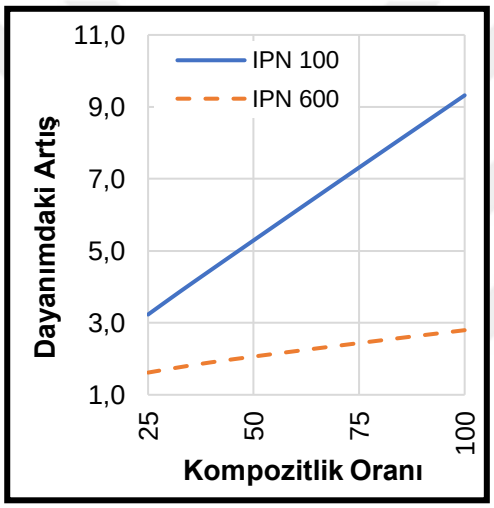
(d) IPE Profiller

Şekil 5.9. Y_2=50 mm ve farklı kompozitlik oranları için, (a) HEA, (b) HEM, (c) IPE ve (d) IPN profil gruplarındali en büyük ve en küçük numaralı profiller için elde edilen dayanım artışları

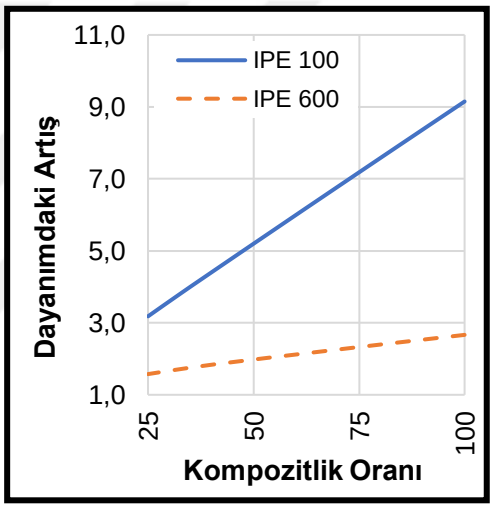


(a) HEA profiller

(b) HEM profiller



(c) IPN Profiller



(d) IPE Profiller

Şekil 5.10. Y_2=300 mm ve farklı kompozitlik oranları için, (a) HEA, (b) HEM, (c) IPE ve (d) IPN profil gruplarındali en büyük ve en küçük numaralı profiller için elde edilen dayanım artışları

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sunulan dayanım artışı eğrileri, Şekil 5.3'te HEB 100 ve HEB 1000 profilli kompozit kirişler için sunulan grafiklerle karşılaştırıldığında, diğer profil gruplarında da dayanım artışlarının kompozitlik oranlarıyla değişimlerinin HEB profillerindekilere görülebilir. Şekil 5.8'den fark edilebileceği gibi, Y_2=50 mm durumunda, grubunun en büyük profilini içeren kompozit kirişlerde, dayanım oranı artışları ile kompozitlik oranı arasındaki ilişki doğrusallıktan bir miktar uzaklaşmaktadır. Ancak, belirtilen profillerde kompozitlik oranının dayanım artışına etkisi küçük numaralı profillerde gözlendiği kadar yüksek değildir. Y_2=300 mm durumunda, dayanım oranı artışındaki değişimin büyük numaralı profillerde de doğrusallığa oldukça yaklaştığı göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak, incelenen bütün

profiller, Y_2 değerleri ve kompozit oranları için, kompozit etki nedeniyle kompozit kiriş dayanımında gözlenen artışın doğrusal olduğu kabul edilebilir.

Tablo 5.1'de Y_2=50 mm için, tezde incelenen en yüksek (%100) ve en düşük (≅%25) kompozitlik oranlarında, her profil grubundaki en küçük ve en büyük numaraya sahip profillerlerle oluşturulan kompozit kirişler için hesaplanan dayanım oranları listelenmiştir. HE profilli kompozit kirişler için tablolarda listelenen değerler karşılaştırıldığında, aynı enkesit numarasına sahip profillerdeki dayanım artışlarının hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Kesit numarası 100 olan HE profillerde kompozit dayanım, kompozitlik oranına bağlı olarak, profil dayanımından yaklaşık 1,4 ila 2,5 kat fazla olabilmektedir. Kesit numarası 1000 olan HE-profilli kompozit kirişlerde ise bu oran yaklaşık 1,3 ila 1,5 arasında değişmektedir. I-profilli kompozit kirişler için de benzer bir durum geçerlidir. Kesit numarası 100 olan I profillerde kompozit dayanım, kompozitlik oranına bağlı olarak, profil dayanımından yaklaşık 1,6 ila 2,6 kat fazla olabilmektedir. Kesit numarası 600 olan I-profilli kompozit kirişlerde ise bu oran yaklaşık 1,3 ila 1,6 arasında değişmektedir.

Tablo 5.1. Y_2= 50 mm için, %100 ve ≅%25 kompozitlik oranlarında, ele alınan her profil grubundaki en küçük ve en büyük numaralı profil için hesaplanan dayanım oranları (artışları)

Kompozitlik Oranı	$\phi_b M_n/\phi_b M_p$									
	HEB		HEA		HEM		IPN		IPE	
	100	1000	100	1000	100	1000	100	600	100	600
%100	2,50	1,48	2,50	1,47	2,48	1,49	2,67	1,63	2,61	1,56
%25	1,44	1,28	1,46	1,28	1,40	1,28	1,57	1,33	1,55	1,30

Y_2=300 mm için Tablo 5.1'e benzer bir tablo oluşturularak Tablo 5.2'de sunulmuştur. Tablo 5.1 ile Tablo 5.2 karşılaştırıldığında, Y_2=300 mm olduğunda, dayanım oranlarının küçük profilli kompozit kirişlerde kesit türüne bir miktar bağlı olduğu gözlenmiştir. Örnek olarak, kesit numarası 100 olan HEB, HEA ve HEM profiller içeren tam etkileşimli kompozit kirişlerde dayanım oranları, sırasıyla 8,73, 8,89 ve 8,12'dir. Ancak, kesit numarası 1000 olan HE profillerde, aynı kompozitlik oranı için, dayanım oranlarının yaklaşık 2,15'e eşit olduğu görülmektedir. Büyük HE-profilli kompozit kirişlerde, kompozitlik oranının %25 olması durumunda, dayanım oranı yaklaşık 1,45'e düşmektedir.

Tablo 5.2. Y_2= 300 mm için, %100 ve ≅%25 kompozitlik oranlarında, ele alınan her profil grubundaki en küçük ve en büyük numaralı profil için hesaplanan dayanım oranları (artışları)

Kompozitlik Oranı	$\phi_b M_n/\phi_b M_p$									
	HEB		HEA		HEM		IPN		IPE	
	100	1000	100	1000	100	1000	100	600	100	600
%100	8,73	2,15	8,89	2,15	8,12	2,16	9,32	2,80	9,15	2,67
%25	2,88	1,45	3,03	1,45	2,55	1,45	3,23	1,62	3,18	1,58

Küçük HE-profilli kompozit kirişlerde ise bu oran, 2,5 ile 3,03 arasında değişmektedir. Tablo 5.2'den, IPN-profilli kompozit kirişlerde hesaplanan dayanım artışlarının aynı enkesit numarasına sahip IPE-profilli kirişlerde hesaplanan dayanımlardan bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir. Tam etkileşimli kompozit kiriş olarak tasarlanmaları durumunda, IPN 100 profilinin dayanımı 9,32 kat, IPE 100 profilinin dayanımı ise 9,15 kat artmaktadır. Aynı kompozitlik oranı için IPE 600 ve IPN 600 profillerinde gözlenen dayanım artışları, sırasıyla 2,80 ve 2,67'dir. Kompozitlik oranının %25'e düşmesi durumunda, dayanım artışlarının IPN 100, IPN 600, IPE 100 ve IPE 600 profilleri için sırasıyla, 3,23, 1,62, 3,18 ve 1,58'e düştüğü tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, tezin kapsamında incelenen profillerin tamamı dikkate alındığında, kompozitlik oranının %25 ile %100 ve Y_2 değerinin 50 mm ile 300 mm arasında olması koşuluyla, hesaplanan en büyük dayanım oranının 9,32, en küçük dayanım oranının ise 1,28 olduğu tespit edilmiştir. Kirişlerin tam etkileşimli kompozit kiriş olarak tasarlanmaları durumunda dayanım oranları, küçük numaralı profillerde 9,32'ye, büyük numaralı profillerde ise 2,80'e kadar çıkabilmektedir. Kirişlerin %25 kompozitlik oranına sahip kısmi etkileşimli kompozit kirişler olarak tasarlanmaları durumunda ise bu oranlar küçük numaralı profillerde 3,23, büyük numaraları profillerde 1,62 değerlerine ulaşabilmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde, çelik kirişlerin tasarımında kompozit etkinin çoğu zaman ihmal edildiği görülmektedir. Bunun belki de en önemli nedeni, 2016 yılına kadar yürürlükte kalan çelik tasarım standardımızda kompozit tasarım esaslarının bulunmayışıdır. Çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarım esasları, 2016 yılında yayınlanan ve ülkemizde şu anda yürürlükte olan "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'te (ÇYTHYEY)" Bölüm 12'de tanımlanmıştır. Bu yönetmelikle birlikte, kompozit tasarımın tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de yaygınlaşması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında ilk olarak, I-kesitli çelik ankrajlı kompozit kirişler için ÇYTHYEY'de tanımlanan tasarım esasları, bu esasların alındığı temel yönetmelik olan AISC 360-16 yönetmeliğinde verilen esaslar ve bu yönetmeliğin Yorum (Commentary) bölümünde verilen bilgiler çerçevesinde, kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. Yapılan detaylı inceleme sonucunda iki yönetmelik arasında belirlenen temel benzerlik ve farklılıklar şu şekilde sıralanabilir:

- ÇYTHYEY Bölüm 12'de verilen bazı tasarım esaslarının AISC 360-16 yönetmeliğinin Yorum (Commentary) bölümünden alındığı fark edilmiştir. Bazı tasarım esaslarının ise AISC 360'ın güncel baskısı (AISC 360-16'dan) yerine, bir önceki baskısından (AISC 360-10'dan) alındığı tespit edilmiştir. Örnek olarak, ÇYTHYEY'de çelik ankrajlı kompozit kirişlerin eğilme rijitlikleri için sunulan tasarım esaslarında kompozit kesitin atalet momentinin, dönüştürülmüş eşdeğer çelik kesitinin alalet momentinin %75'ine eşit olduğu ifade edilmektedir. Bu ifade AISC 360-10 yönetmeliğinin Yorum bölümündeki ifadeyle aynı olmakla birlikte; AISC 360-16 yönetmeliğinin Yorum bölümünde, kompozit enkesitin eşdeğer atalet momentinde önerilen %25 oranındaki azaltmanın tam olarak doğrulanmadığı için kaldırıldığı belirtilmektedir.
- AISC 360-16 ve AISC 360-10'un Yorum bölümlerinde tanımlanan ve kısa süreli sehim hesapları için alternatif bir yöntem olarak sunulan alt-sınır yaklaşımının ÇHTHYEY'ye dahil edilmediği gözlemlenmiştir.
- ÇYTHYEY ile AISC 360-16 yönetmelikleri arasında belirlenen bir diğer önemli fark da yönetmeliklerin izin verdiği en küçük kompozitlik oranı değerinde gözlenmiştir.

ÇYTHYEY'de $k=Q_n/[\min(A_sF_y,0,85f_{ck}A_c]$ kompozitlik oranının 0,5'ten küçük olmaması gerektiği ifade edilmektedir. AISC 360-10 yönetmeliğinin Yorum bölümünde de kısmi etkileşimki kompozit kirişler için etkileşim miktarının %50'den düşük olduğu durumlarda tasarımda karşılaşılabilecek iki "sorun"dan bahsedilmiştir. Ancak AISC 360-16 yönetmeliğinde düşük yüzdeli kısmi etkileşimli kirişler için tanımlanan bu ifadelerin kaldırıldığı görülmektedir. Ayrıca, Amerika Çelik Yapı Enstitüsü tarafından yayınlanan Çelik Yapı Kılavuzu'nun 14. baskısında verilen dayanım tablolarında kompozitlik oranının %50 ile değil %25 ile sınırlandırıldığı da tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu tezde de kısmi etkileşimli kompozit kirişlerin dayanımları hesaplanırken etkileşim oranı %50 ile değil %25 ile sınırlandırılmıştır.

- ÇYTHYEY'de, betonda gözlenen sünme ve çatlama nedeniyle oluşan zamana bağlı ilave sehimlerin kompozit kiriş tasarımında dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir. Yönetmelik ani sehim hesaplarında $n=E_s/E_c$ oranı kullanılarak elde edilen dönüştürülmüş eşdeğer çelik enkesitinin atalet momentinin kullanılabileceğini, ancak uzun süreli sehimlerin hesabında enkesit dönüştürmesinde en az 2n katsayısının kullanılması gerektiğini belirtmektedir. AISC 360-16 yönetmeliğinin Yorum bölümünde ise, rötre nedeniyle oluşan uzun süreli sehimlerin hesabı için basitleştirilmiş bir modelin tanımlandığı belirlenmiştir. Aynı bölümde, basitleştirilmiş modelin betonda gözlenen sünme nedeniyle oluşan ilave sehimlerin hesabında da kullanılabileceği; ancak sünme nedeniyle oluşan ilave sehimlerin kiriş açıklıkları ve kalıcı hareketli yükler büyük olmadığı müddetçe göz ardı edilebileceği de ifade edilmektedir.
- Kompozit kirişlerin pozitif ve negatif karakteristik eğilme momenti dayanımları için verilen tasarım esasları, ÇYTHYEY'de Bölüm 12.4.2'de, AISC 360-16'da ise Bölüm I3.2'de bulunmaktadır. AISC 360-16'nın Yorum bölümü ile ÇYTHYEY karşılaştırıldığında, ÇYTHYEY'de sunulan tasarım formüllerinin AISC 360-16'nın Yorum bölümünde sunulanlarla benzer olduğu gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasının ikinci aşamasında, ÇYTHYEY'de verilen tasarım esasları dikkate alınarak, plastik tarafsız eksenin (PTE'nin) döşemede, profilin üst başlığında, profilin başlık ve gövde birleşiminde veya profilin gövdesinde konumlandığı durumlar için kompozit kesitin pozitif tasarım eğilme momenti dayanımını veren pratik tasarım denklemleri türetilmiştir. Çalışmada tasarım denklemlerinin PTE'nin belirtilen konumları için tek bir denkleme indirgenebileceği gösterilmiştir. Elde edilen denklem, PTE'den çelik profilin üst kotuna olan mesafe (Y_1) ile PTE'nin çelik profilde konumlanması durumunda profilin basınçta kalan kısmında oluşan kuvvetin etki

noktası ile PTE arasındaki mesafe (Y_c)'ye bağlıdır. Tezde, PTE'nin yukarıda belirtilen dört konumu için, Y_1 ve Y_c değerlerinin hesaplanabileceği denklemler de sunulmuştur. Türetilen bu denklemlerin, tezde tablolanan kompozit kirişlerden farklı geometrik özelliklere sahip çelik ankrajlı kompozit kirişlerin tasarımında tasarımcılara kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

Tezin bir sonraki aşamasında, tezde elde edilen pratik tasarım denklemi kullanılarak, ülkemizde yaygın şekilde kullanılan Avrupa I ve H-profilli kompozit kirişlerin, Amerika Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction, AISC) tarafından yayınlanan Çelik Yapı Kılavuzu'nun 14. baskısında (Steel Construction Manual, 14th edition) tanımlanan 7 farklı plastik tarafsız eksen konumu için, pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları hesaplanmış; tasarım dayanımları W kesitli Amerikan hadde profiller için Çelik Yapı Kılavuzu'nda sunulan tablolara benzer tablolarda sunulmuştur. Dayanım tabloları tezin kapsamında incelenen bütün profiller ve üç farklı çelik kalitesi (S235, S275 ve S355) için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Tezde dayanım tablolarına ek olarak, atalet momenti tabloları da sunulmuştur. Tablolarda verilen atalet momenti değerleri, AISC 360-16 yönetmeliğinde tanımlanan alt-sınır yaklaşımı kullanılarak hesaplanmış ve yukarıda bahsi geçen Çelik Yapı Kılavuzu'nda [5] sunulan tablolara benzer şekilde sunulmuştur. Atalet momenti tablolarının çelik kalitesinden bağımsız olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, tezde farklı çelik kaliteleri için tek tablo sunulmuştur. Tasarım tablolarının ülkemizde kompozit tasarım yapan mimar ve mühendislerin güvenli, hızlı ve ekonomik tasarımlar yapmasına imkan sağlayacağı düşünülmektedir.

Tezin son aşamasında, incelenen çelik ankrajlı kompozit kirişlerde kompozitlik oranının kirişlerin pozitif eğilme momenti dayanımlarına olan etkileri incelenmiştir. İlk olarak, tezde incelenen çelik profillerde kompozit etki göz ardı edilerek, profillerin tasarım plastik eğilme momenti dayanımları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Ardından, döşemedeki basınç kuvvetinin PTE'den uzaklığı (Y_2 değeri) sabit tutularak, farklı kompozitlik (etkileşim) oranı için kompozit kiriş dayanımları hesaplanmış, hesaplanan dayanımlar ilgili çelik profilin dayanımına oranlanarak kompozit etki nedeniyle dayanımda gözlenen artış miktarları belirlenmiştir. Tezin kapsamında incelenen profiller, kompozitlik oranları ve Y_2 değerleri için geçerli olmak üzere, tezin bu aşamasında elde edilen önemli sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Aynı numaraya sahip HE-kesitli profiller arasında, eğilme momenti dayanımları en yüksek olan profiller HEM enkesitli profillerdir. Aynı numaraya sahip I-kesitli profillerin ise profil numaraları 400'den küçükken hemen hemen aynı

dayanımlara sahip oldukları, daha büyük numaralı profillerde ise IPE profillerin dayanımlarının IPN profillerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

- Aynı çelik profile, kompozitlik oranına ve Y_2 değerine sahip kompozit kirişlerde, dayanım oranının çelik kalitesinden bağımsız olduğu belirlenmiştir. Kompozitlik oranının dayanım oranına etkisinin, genel olarak, profilin türüne, profilin numarasına (yani, geometrik özelliklerine) ve Y_2 değerine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Y_2 değerinin döşemenin toplam kalınlığı ile etkin genişliğine ve beton dayanımına bağlı olduğu unutulmamalıdır.
- Tahmin edilebileceği gibi, dayanım oranları kompozitlik oranı arttıkça artmaktadır. Kesit numarası nispeten küçük profiller içeren kompozit kirişlerde, dayanım oranı ile kompozitlik oranı arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu tespit edilmiştir. Kesit numarası büyük profiller içeren kompozit kirişlerde ise bu ilişki iki-doğrulu bir fonksiyonla ifade edilebilir. Bu tür kirişlerde, kompozitlik oranının nispeten düşük olduğu durumlarda, dayanım oranındaki artışın bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Aynı kompozitlik oranına sahip kompozit kirişlerde, dayanım oranlarının Y_2 değeri arttıkça arttığı, bu artışın da doğrusal olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kompozitlik oranı arttıkça dayanım oranı-Y_2 doğrularının eğimlerinin de arttığı gözlenmiştir.
- Genel olarak, aynı kompozitlik oranına ve Y_2 değerine sahip kompozit kirişlerde dayanım oranlarının kesit numarası arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Ancak, dayanım oranıyla kesit numarasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı, küçük numaralı profillere sahip kompozit kirişlerde dayanım oranındaki azalmanın daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kesit numarası nispeten büyük profiller içeren kompozit kirişlerde, dayanım oranlarının kesit numarasından hemen hemen bağımsız olduğu belirlenmiştir.
- Tezde incelenen profil türü ve numaraları, kompozitlik oranları ve Y_2 değerleri için geçerli olmak üzere, kompozit kirişler için hesaplanan en büyük dayanım oranının 9,32, en küçük dayanım oranının ise 1,28 olduğu belirlenmiştir. Kirişlerin tam etkileşimli kompozit kiriş olarak tasarlanmaları durumunda dayanım oranları, küçük numaralı profillerde 9,32'ye, büyük numaralı profillerde ise 2,80'e kadar çıkabilmektedir. Kompozitlik oranının %25 seviyelerinde olduğu durumlarda ise bu oranlar, küçük numaralı profillerde 3,23, büyük numaraları profillerde ise 1,62 değerlerine ulaşabilmektedir.

Bu çalışmada çelik ankrajlı kompozit kirişlerin yalnız pozitif tasarım eğilme momenti dayanımları için dayanım tabloları sunulmuştur. Benzer şekilde, kompozitlik oranının

etkisi yalnız pozitif eğilme momenti dayanımı için araştırılmıştır. Benzer çalışmalar, kirişlerin negatif eğilme momenti dayanımları için de yapılabilir. Ayrıca, bu çalışmada, yalnız çelik ankrajlı kompozit kirişler ele alınmıştır. Benzer bir çalışma gömme kompozit kirişler için de yapılabilir. Benzer şekilde, bu çalışmada kompozit kirişlerin yalnız düşey yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda, kompozit kirişlerin tersinir yükler altındaki davranışları da araştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Segui W.T., Steel Design, Fifth Edition, *Cangage Learning*, 2013.

[2] TS 648, Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü,1980.

[3] ÇYTHYEY, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, *Çevre ve Şehirçilik Bakanlığı*, Ankara, Nisan, 2016.

[4] ANSI/AISC 360-16, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinios, 60601-6204, 2016.

[5] Steel Construction Manual 14, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinios, 60601-6204, 2014.

[6] Salmon C.G., Johnson J.E., Malhas F.A., Steel Structures: Design and Behavior, Fourth Edition*, Pearson Eduction Inc*., 2009.

[7] Taranath B.S., Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction*, CRC Press, Taylor&Francis Group*, 2012.

[8] Geschwindner L.F., Liu J., Carter C. J., Unified Design of Steel Structures, 3rd Edition, *John Wiley & Sons Inc*., 2017.

[9] URL-1: https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=388271, (Ziyaret tarihi:10 Aralık 2019).

[10] URL-2: https://news-sci.com/updated-composite-beam-tool-released-2, (Ziyaret tarihi:12 Aralık 2019).

[11] McCormac J.C., Csernak S.F., Structural Steel Design, *Pearson Education Limited*, 2012.

[12] Oehlers D. J., Bradford M. A., Composite Steel and Concrete Structural Members: Fundamental Behavior, *Elsevier Science Inc*., Newyork, First Edition, 1995.

[13] URL-3: https://i.ytimg.com/vi/MqNw48ZdCTY/maxresdefault.jpg, (27 Kasım 2019).

[14] URL-4: https://www.steelconstruction.info/images/thumb/3/3a/R14_Fig2.png/380px-R14_Fig2.png, (Ziyaret tarihi:25 Kasım 2019).

[15] URL-5:ht tp://www.steel-bridges.com/images/content/site_1/composte.gif (Ziyaret tarihi:20 Kasım 2019).

[16] Alduri S., Structural Steel Desing Composite Beam, 2010.

[17] URL-6: http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~/pmoze/ESDEP/master/wg10/l0100.htm

[18] Williams A., Steel Structure Design ASD/LRFD, Design of Steel Beams in Flexure, *McGraw-Hill*, 2011.

[19] Aghayare A., Vigil J., Structural Steel Design: A Practice-Oriented Approach, *Pearson Prentice Hall*, First Edition, 2009.

[20] ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinios, 2010.

[21] Beer F. P., Johnston E. R., DeWolf Jr. J. T., Mazurek D. F Mechanıcs Of Materıals, *The McGraw-Hill Companies*, Seventy Edition, 2015.

[22] Hibbeler R. C., Mechanıcs Of Materıals, *Pearson Prentice Hall*, Eight Edition, 2011.

[23] Baran E., Topkaya C., "Behavior of steel-concrete partially composite beams with channel type shear connectors", *Journal of Constructional Steel Research,* 69-78, 2014

[24] URL-7: http://fggweb.fgg.unilj.si/~/pmoze/ESDEP/master/wg10/l0300.htm#SEC_1, (Ziyaret tarihi:29 Ekim 2019)

[25] Yassin A. Y., Nethercot D. A., Cross-Sectional Properties of Complex Composite Beams,*Engineering Structures,* 2007.

[26] Hanswille G., Al-Juboory M.A.,Investigation of Steel-Concrete Composite Beams with Different Types of Shear Connectors,*Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 2013.

[27] Al-Darzi Y.K,Porsch M., Ustundag C.,The Behaviour Of Steel-Concrete Composite Beams Under Repeated Loading, *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 2013.

[28] Turmo J., Lozano-Galant J.A., Mirambell E., Xu D., Modeling Composite Beams with Partial Interaction,*Journal of Constructional Steel Research*, 2015.

[29] Kumar P. T., Reddy L. S., Experimental Studies on Steel-Concrete Composite Beams in Bending, *International Journal for Innovative Research in Science &Technology,* 2016.

[30] Choi W., Choi Y.,Yoo S., Flexural Design and Analysis of Composite Beams With Inverted-T Steel Girder with Ultrahigh Performance Concrete SlabModeling Composite Beams with Partial Interaction,*Advances in Civil Engineering*,2018.

[31] Liu Y., Guo L. H.,Li Z. G., Flexural Behavior Of Steel-Concrete Composite Beams With U Shaped Steel Girders, 12th Conference on Advances in Steel-Concrete Composite Structures, 2018.

[32] Lacki P., Nawrot J.,Derlatka D. A., Winowiecka D. J., Numerical and Experimental Test of Steel-Concrere Copmosite Beam With The Connector Made of Top-Hat Profile, *Composite Structures*, 2018.

[33] Shamass R., Cashell K. A., Analysis of Stainless Steel-Concrete Composite Beams, *Journal of Constructional Steel Research*, 2018.

[34] Lowe D., Das R., Roy K. ,Clifton G. C., Full Scale Experiments On Spltitting Behaviour Of Concrete Slabs İn Steel Concrete Composite Beams With Shear Stud Connection, *ResearchGate*, 2019.

[35] Dietrich M. Z., Calenzani A. F. G., Roy K. ,Fakury R. H., Analysis Of Rotational Stiffness Of Steel-Concrete Composite Beams For Lateral Torsional Buckling, *Engineering Structures*, 2019.

[36] Huang. D., Wei A. J., Liu X. ,Du Y., Zhang S., Experimental Study On İnfluence Of Post-Pouring Joint On Long-Term Performance Of Steel-Concrete Composite Beam, *Engineering Structures*, 2019.

[37] Lou. T., Karavasilis T. L., Numerical Assessment Of The Nonlinear Behavior Of Continuous Prestressed Steel-Concrete Composite Beams, *Engineering Structures*, 2019.

[38] ÇYTHYEY, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, *Çevre ve Şehirçilik Bakanlığı*, Ankara, 2017.

[39] ETABS, Computers and Structures, 2016.

EKLER

EK-A

Tablo A.1. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 A	17.6	1	0	498	43.9	66.4	88.8	111	134	156
		2	2.00	404	39.6	57.8	76.0	94.2	112	131
		3	4.00	310	35.1	49.1	63.1	77.0	91.0	105
		4	6.00	216	30.5	40.2	49.9	59.7	69.4	79.1
		5	8.00	122	25.7	31.2	36.7	42.2	47.7	53.2
		6								
		7								
HE 120 A	25.3	1	0.00	595	57.3	84.0	111	138	164	191
		2	2.00	482	52.1	73.8	95.4	117	139	160
		3	4.00	369	46.7	63.3	79.9	96.5	113	130
		4	6.00	256	41.1	52.6	64.2	75.7	87.2	98.7
		5	8.00	143	35.3	41.8	48.2	54.7	61.1	67.6
		6								
		7								
HE 140 A	36.7	1	0.00	738	77.4	111	144	177	210	243
		2	2.13	598	70.9	97.9	125	152	179	206
		3	4.25	458	64.2	84.9	105	126	147	167
		4	6.38	318	57.3	71.6	85.9	100	115	129
		5	8.50	179	50.1	58.1	66.1	74.2	82.2	90.2
		6								
		7								
HE 160 A	51.8	1	0.00	912	103	144	185	226	268	309
		2	2.25	743	95.6	129	162	196	229	263
		3	4.50	573	87.5	113	139	165	191	216
		4	6.75	404	79.0	97.2	115	134	152	170
		5	9.00	235	70.2	80.8	91.4	102	113	123
		6	9.60	231	70.0	80.4	90.8	101	112	122
		7	10.2	228	69.9	80.1	90.4	101	111	121
HE 180 A	68.7	1	0.00	1065	130	178	226	274	321	369
		2	2.38	864	121	159	198	237	276	315
		3	4.75	663	111	141	171	200	230	260
		4	7.13	462	101	122	142	163	184	205
		5	9.50	261	90.2	102	114	125	137	149
		6								
		7								
HE 200 A	90.8	1	0.00	1264	165	222	279	336	393	449
		2	2.50	1029	154	200	247	293	339	386
		3	5.00	794	143	179	214	250	286	322
		4	7.50	559	131	156	181	206	232	257
		5	10.0	324	118	133	148	162	177	191
		6	10.6	320	118	133	147	161	176	190
		7	11.2	316	118	132	147	161	175	189

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 A	120	1	0.00	1511	211	279	347	415	483	551
		2	2.75	1227	198	253	308	363	418	474
		3	5.50	942	184	226	269	311	353	396
		4	8.25	658	169	199	228	258	288	317
		5	11.0	374	154	171	188	204	221	238
		6								
		7								
HE 240 A	157	1	0.00	1805	268	349	430	512	593	674
		2	3.00	1466	252	318	384	450	516	582
		3	6.00	1128	236	286	337	388	439	490
		4	9.00	790	218	254	289	325	360	396
		5	12.0	451	200	220	240	261	281	301
		6								
		7								
HE 260 A	195	1	0.00	2040	321	413	505	597	688	780
		2	3.13	1658	304	378	453	527	602	677
		3	6.25	1276	285	342	400	457	514	572
		4	9.38	894	265	305	345	386	426	466
		5	12.5	512	244	267	290	313	336	359
		6	12.6	511	244	267	290	313	336	359
		7	12.8	510	244	267	290	313	336	359
HE 280 A	235	1	0.00	2287	381	484	587	689	792	895
		2	3.25	1859	361	444	528	612	695	779
		3	6.50	1431	340	404	469	533	597	662
		4	9.75	1003	317	362	408	453	498	543
		5	13.0	576	294	320	346	371	397	423
		6	13.2	574	294	319	345	371	397	423
		7	13.5	572	294	319	345	371	396	422
HE 300 A	293	1	0.00	2644	464	583	702	821	940	1059
		2	3.50	2150	441	538	635	731	828	925
		3	7.00	1657	416	491	566	640	715	789
		4	10.5	1163	390	443	495	547	600	652
		5	14.0	670	363	393	423	453	483	513
		6	14.5	665	362	392	422	452	482	512
		7	14.9	661	362	392	422	452	481	511
HE 320 A	344	1	0.00	2923	539	671	802	934	1066	1197
		2	3.88	2377	514	621	728	835	942	1049
		3	7.75	1831	486	569	651	734	816	898
		4	11.6	1284	457	515	573	630	688	746
		5	15.5	738	426	459	492	525	559	592
		6	15.9	734	426	459	492	525	558	591
		7	16.2	731	425	458	491	524	557	590

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 A	391	1	0.00	3137	607	748	889	1031	1172	1313
		2	4.13	2556	580	695	810	925	1040	1155
		3	8.25	1974	550	639	728	817	906	995
		4	12.4	1392	519	581	644	707	769	832
		5	16.5	811	485	522	558	595	631	668
		6	17.8	798	484	520	556	592	628	664
		7	19.2	784	484	519	554	590	625	660
HE 360 A	442	1	0.00	3356	680	831	982	1133	1284	1435
		2	4.38	2739	651	774	897	1020	1144	1267
		3	8.75	2122	619	715	810	906	1001	1097
		4	13.1	1505	585	653	721	789	856	924
		5	17.5	888	549	589	629	669	709	749
		6	19.9	864	548	586	625	664	703	742
		7	22.3	839	546	584	622	660	697	735
HE 400 A	542	1	0.00	3737	824	992	1160	1328	1496	1665
		2	4.75	3067	792	930	1068	1206	1344	1482
		3	9.50	2397	758	866	974	1081	1189	1297
		4	14.3	1727	721	798	876	954	1032	1109
		5	19.0	1058	680	728	776	823	871	918
		6	24.8	996	676	721	766	811	856	901
		7	30.6	934	672	714	756	798	840	883
HE 450 A	680	1	0.00	4183	1016	1205	1393	1581	1769	1958
		2	5.25	3443	981	1136	1291	1446	1601	1756
		3	10.5	2703	943	1064	1186	1308	1429	1551
		4	15.8	1962	901	989	1077	1166	1254	1342
		5	21.0	1222	855	910	965	1020	1075	1130
		6	29.1	1134	849	900	951	1002	1053	1104
		7	37.3	1046	842	889	936	983	1030	1078
HE 500 A	835	1	0.00	4641	1232	1441	1650	1859	2068	2277
		2	5.75	3831	1194	1366	1538	1711	1883	2056
		3	11.5	3020	1151	1287	1423	1559	1694	1830
		4	17.3	2209	1104	1203	1303	1402	1502	1601
		5	23.0	1398	1053	1116	1179	1242	1304	1367
		6	33.8	1279	1044	1102	1159	1217	1275	1332
		7	44.5	1160	1033	1085	1138	1190	1242	1294
HE 550 A	978	1	0.00	4977	1433	1657	1881	2105	2329	2553
		2	6.00	4131	1393	1579	1765	1951	2137	2323
		3	12.0	3285	1348	1496	1644	1792	1940	2087
		4	18.0	2439	1299	1408	1518	1628	1738	1848
		5	24.0	1593	1245	1316	1388	1460	1531	1603
		6	39.4	1419	1232	1296	1360	1423	1487	1551
		7	58.2	1244	1217	1272	1328	1384	1440	1496

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 A	1132	1	0.00	5323	1653	1892	2132	2371	2611	2850
		2	6.25	4442	1611	1810	2010	2210	2410	2610
		3	12.5	3560	1563	1724	1884	2044	2204	2365
		4	18.8	2679	1511	1632	1753	1873	1994	2114
		5	25.0	1798	1454	1535	1616	1697	1778	1859
		6	45.1	1564	1437	1507	1577	1648	1718	1789
		7	77.2	1331	1414	1473	1533	1593	1653	1713
HE 650 A	1298	1	0.00	5678	1891	2146	2402	2657	2913	3168
		2	6.50	4761	1847	2061	2275	2489	2704	2918
		3	13.0	3845	1797	1970	2143	2316	2489	2662
		4	19.5	2928	1743	1875	2006	2138	2270	2402
		5	26.0	2012	1683	1773	1864	1954	2045	2135
		6	51.2	1716	1659	1736	1814	1891	1968	2045
		7	96.3	1419	1626	1690	1754	1818	1882	1946
HE 700 A	1487	1	0.00	6122	2176	2452	2727	3003	3278	3554
		2	6.75	5170	2131	2363	2596	2829	3061	3294
		3	13.5	4218	2079	2269	2459	2649	2838	3028
		4	20.3	3267	2022	2169	2316	2463	2610	2757
		5	27.0	2315	1959	2063	2167	2271	2375	2480
		6	62.9	1923	1926	2012	2099	2185	2272	2358
		7	120	1530	1876	1945	2014	2082	2151	2220
HE 800 A	1840	1	0.00	6716	2690	2992	3294	3597	3899	4201
		2	7.00	5729	2642	2900	3158	3416	3674	3931
		3	14.0	4742	2589	2802	3015	3229	3442	3656
		4	21.0	3755	2529	2698	2867	3036	3205	3374
		5	28.0	2768	2462	2587	2712	2836	2961	3085
		6	79.6	2224	2413	2513	2613	2714	2814	2914
		7	157	1679	2331	2406	2482	2558	2633	2709
HE 900 A	2286	1	0.00	7532	3355	3694	4033	4372	4711	5050
		2	7.50	6474	3304	3596	3887	4178	4470	4761
		3	15.0	5417	3246	3490	3733	3977	4221	4465
		4	22.5	4359	3181	3377	3573	3769	3965	4161
		5	30.0	3302	3108	3257	3405	3554	3702	3851
		6	100	2592	3038	3154	3271	3388	3504	3621
		7	195	1883	2912	2996	3081	3166	3251	3335
HE 1000 A	2711	1	0.00	8150	3997	4364	4731	5098	5464	5831
		2	7.75	7057	3944	4262	4580	4897	5215	5532
		3	15.5	5964	3884	4152	4421	4689	4957	5226
		4	23.3	4872	3816	4035	4254	4473	4693	4912
		5	31.0	3779	3740	3910	4080	4250	4420	4590
		6	120	2908	3646	3777	3908	4039	4170	4301
		7	232	2037	3469	3561	3652	3744	3836	3927

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 B	22.0	1	0	611	55.0	82.5	110	137	165	192
		2	2.50	494	49.6	71.8	94.0	116	138	161
		3	5.00	376	43.9	60.8	77.7	94.6	112	128
		4	7.50	259	37.9	49.6	61.2	72.8	84.5	96.1
		5	10.0	141	31.7	38.1	44.4	50.8	57.1	63.5
		6								
		7								
HE 120 B	34.9	1	0.00	1207	119	174	228	282	337	391
		2	2.75	973	109	152	196	240	284	328
		3	5.50	738	97	130	164	197	230	263
		4	8.25	504	85	108	131	153	176	199
		5	11.0	270	73	85	97	109	121	133
		6								
		7								
HE 140 B	51.9	1	0.00	1527	165	234	302	371	440	508
		2	3.00	1228	151	206	262	317	372	427
		3	6.00	930	136	178	220	262	304	346
		4	9.00	632	121	149	178	206	235	263
		5	12.0	334	105	120	135	150	165	180
		6								
		7								
HE 160 B	74.9	1	0.00	1928	226	312	399	486	573	659
		2	3.25	1558	208	279	349	419	489	559
		3	6.50	1189	190	244	297	351	404	458
		4	9.75	820	171	208	245	282	318	355
		5	13.0	451	150	171	191	211	232	252
		6								
		7								
HE 180 B	101.8	1	0.00	2318	292	396	501	605	709	814
		2	3.50	1871	271	355	440	524	608	692
		3	7.00	1424	249	313	377	441	505	569
		4	10.5	976	225	269	313	357	401	445
		5	14.0	529	200	224	248	272	296	319
		6								
		7								
HE 200 B	135.9	1	0.00	2773	374	499	624	749	873	998
		2	3.75	2240	349	450	551	652	753	853
		3	7.50	1708	323	400	476	553	630	707
		4	11.3	1175	294	347	400	453	506	559
		5	15.0	643	264	293	322	351	380	409
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 B	175	1	0.00	3231	465	611	756	901	1047	1192
		2	4.00	2606	436	553	670	788	905	1022
		3	8.00	1981	404	494	583	672	761	850
		4	12.0	1356	371	432	493	554	615	676
		5	16.0	731	335	368	401	433	466	499
		6								
		7								
HE 240 B	223	1	0.00	2491	381	493	605	717	830	942
		2	4.25	2012	359	449	540	630	721	811
		3	8.50	1532	334	403	472	541	610	679
		4	12.8	1053	308	356	403	450	498	545
		5	17.0	573	280	306	332	358	383	409
		6								
		7								
HE 260 B	410	1	0.00	2782	451	576	701	826	952	1077
		2	4.38	2248	426	527	628	729	830	931
		3	8.75	1713	398	476	553	630	707	784
		4	13.1	1179	369	422	475	528	581	634
		5	17.5	644	338	367	396	425	454	483
		6								
		7								
HE 280 B	490	1	0.00	3088	528	667	806	945	1084	1223
		2	4.50	2496	500	612	725	837	949	1062
		3	9.00	1904	470	556	641	727	813	898
		4	13.5	1311	437	496	555	614	673	732
		5	18.0	719	402	435	467	499	532	564
		6								
		7								
HE 300 B	597	1	0.00	3504	631	788	946	1104	1261	1419
		2	4.75	2834	599	727	854	982	1109	1237
		3	9.50	2164	565	662	759	857	954	1052
		4	14.25	1495	527	595	662	729	796	864
		5	19.00	825	487	524	561	599	636	673
		6								
		7								
HE 320 B	687	1	0.00	3791	716	887	1058	1228	1399	1569
		2	5.13	3068	682	820	958	1096	1234	1373
		3	10.3	2345	645	750	856	961	1067	1172
		4	15.4	1623	604	677	750	823	896	969
		5	20.5	900	560	600	641	681	722	762
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 B	769	1	0.00	4016	795	976	1157	1337	1518	1699
		2	5.38	3258	759	906	1053	1199	1346	1492
		3	10.8	2500	720	832	945	1057	1170	1282
		4	16.1	1743	676	755	833	912	990	1068
		5	21.5	985	629	674	718	762	807	851
		6								
		7								
HE 360 B	857	1	0.00	4244	879	1070	1260	1451	1642	1833
		2	5.63	3451	841	996	1151	1307	1462	1617
		3	11.3	2658	799	919	1038	1158	1278	1397
		4	16.9	1865	753	837	921	1005	1089	1173
		5	22.5	1072	704	752	800	848	897	945
		6	23.0	1066	703	751	799	847	895	943
		7	23.4	1061	703	751	799	846	894	942
HE 400 B	684	1	0.00	4648	1046	1255	1464	1673	1883	2092
		2	6.00	3802	1006	1177	1348	1519	1690	1861
		3	12.0	2956	961	1094	1227	1360	1493	1626
		4	18.0	2110	911	1006	1101	1196	1291	1386
		5	24.0	1264	857	914	971	1028	1085	1142
		6	28.3	1213	854	908	963	1017	1072	1127
		7	32.7	1162	850	903	955	1007	1059	1112
HE 450 B	842	1	0.00	5123	1268	1498	1729	1960	2190	2421
		2	6.50	4207	1224	1413	1603	1792	1981	2170
		3	13.0	3290	1175	1323	1471	1619	1767	1915
		4	19.5	2374	1120	1227	1334	1441	1547	1654
		5	26.0	1457	1060	1126	1191	1257	1322	1388
		6	33.3	1369	1054	1115	1177	1239	1300	1362
		7	40.6	1281	1047	1104	1162	1220	1277	1335
HE 500 B	1018	1	0.00	5607	1514	1766	2019	2271	2523	2776
		2	7.00	4620	1466	1674	1882	2090	2298	2506
		3	14.0	3633	1413	1576	1740	1903	2067	2230
		4	21.0	2646	1353	1472	1591	1710	1829	1948
		5	28.0	1659	1287	1361	1436	1510	1585	1660
		6	38.5	1530	1277	1346	1415	1483	1552	1621
		7	49.0	1402	1264	1327	1390	1454	1517	1580
HE 550 B	1182	1	0.00	5971	1747	2015	2284	2553	2821	3090
		2	7.25	4949	1697	1920	2143	2365	2588	2811
		3	14.5	3927	1641	1818	1995	2171	2348	2525
		4	21.8	2905	1579	1709	1840	1971	2101	2232
		5	29.0	1882	1509	1594	1679	1763	1848	1933
		6	44.5	1688	1494	1570	1646	1722	1798	1874
		7	63.3	1493	1476	1543	1610	1678	1745	1812

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 B	1359	1	0.00	6345	1999	2284	2570	2855	3141	3426
		2	7.50	5288	1948	2185	2423	2661	2899	3137
		3	15.0	4230	1889	2080	2270	2460	2651	2841
		4	22.5	3173	1824	1967	2109	2252	2395	2538
		5	30.0	2115	1751	1846	1942	2037	2132	2227
		6	50.7	1851	1730	1813	1896	1980	2063	2146
		7	82.3	1586	1702	1774	1845	1917	1988	2059
HE 650 B	1548	1	0.00	6728	2271	2573	2876	3179	3482	3785
		2	7.75	5635	2218	2471	2725	2978	3232	3486
		3	15.5	4543	2157	2362	2566	2770	2975	3179
		4	23.3	3450	2089	2244	2399	2555	2710	2865
		5	31.0	2357	2013	2119	2225	2331	2437	2543
		6	57.1	2020	1984	2075	2166	2257	2348	2439
		7	101	1682	1945	2021	2097	2172	2248	2324
HE 700 B	1761	1	0.00	7200	2592	2916	3240	3564	3888	4212
		2	8.00	6072	2537	2811	3084	3357	3630	3904
		3	16.0	4944	2474	2697	2919	3142	3364	3587
		4	24.0	3816	2403	2575	2747	2919	3090	3262
		5	32.0	2688	2324	2445	2566	2687	2808	2929
		6	69.1	2244	2285	2386	2487	2588	2689	2790
		7	125	1800	2226	2307	2388	2469	2550	2631
HE 800 B	2164	1	0.00	7854	3181	3534	3888	4241	4594	4948
		2	8.00	6690	3124	3425	3726	4027	4328	4629
		3	16.0	5527	3059	3308	3556	3805	4054	4302
		4	24.0	4364	2985	3181	3378	3574	3770	3967
		5	32.0	3201	2902	3046	3190	3334	3478	3622
		6	69.1	2582	2843	2959	3076	3192	3308	3424
		7	125	1963	2746	2835	2923	3012	3100	3188
HE 900 B	2661	1	0.00	8726	3926	4319	4712	5104	5497	5890
		2	8.25	7492	3866	4203	4540	4878	5215	5552
		3	16.5	6258	3796	4078	4359	4641	4922	5204
		4	24.8	5024	3716	3942	4168	4395	4621	4847
		5	33.0	3791	3627	3797	3968	4138	4309	4480
		6	86.1	2986	3543	3677	3811	3946	4080	4214
		7	161	2181	3396	3494	3592	3690	3788	3887
HE 1000 B	3143	1	0.00	9400	4653	5076	5499	5922	6345	6768
		2	8.75	8131	4591	4957	5323	5688	6054	6420
		3	17.5	6862	4518	4827	5136	5445	5753	6062
		4	26.3	5593	4435	4687	4939	5190	5442	5694
		5	35.0	4324	4342	4537	4732	4926	5121	5315
		6	107	3337	4231	4381	4531	4681	4831	4982
		7	199	2350	4025	4131	4237	4342	4448	4554

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız, [b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 M	49.9	1	0	1250	124	180	236	293	349	405
		2	5.00	1001	112	157	202	247	292	337
		3	10.0	752	99.1	133	167	201	234	268
		4	15.0	503	85.1	108	130	153	176	198
		5	20.0	254	70.0	81.4	92.8	104	116	127
		6								
		7								
HE 120 M	74.2	1	0.00	1560	169	239	309	379	449	520
		2	5.25	1249	154	210	266	322	379	435
		3	10.5	939	138	180	222	264	307	349
		4	15.8	628	120	148	176	205	233	261
		5	21.0	317	101	115	129	144	158	172
		6								
		7								
HE 140 M	104	1	0.00	1894	222	307	392	477	563	648
		2	5.50	1517	204	272	340	408	477	545
		3	11.0	1139	184	235	286	338	389	440
		4	16.5	762	162	197	231	265	299	334
		5	22.0	384	139	156	173	191	208	225
		6								
		7								
HE 160 M	143	1	0.00	2282	288	390	493	596	698	801
		2	5.75	1833	266	349	431	514	596	679
		3	11.5	1385	242	305	367	429	492	554
		4	17.3	936	217	259	301	343	385	427
		5	23.0	487	188	210	232	254	276	298
		6								
		7								
HE 180 M	187	1	0.00	2663	359	479	599	719	839	959
		2	6.00	2138	334	431	527	623	719	815
		3	12.0	1614	307	379	452	524	597	670
		4	18.0	1089	276	325	374	423	472	521
		5	24.0	564	242	268	293	319	344	369
		6								
		7								
HE 200 M	240	1	0.00	3086	444	583	722	861	1000	1139
		2	6.25	2480	415	527	639	750	862	973
		3	12.5	1875	383	467	552	636	721	805
		4	18.8	1270	347	404	462	519	576	633
		5	25.0	665	308	338	368	398	428	458
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 M	300	1	0.00	3511	537	695	853	1011	1169	1327
		2	6.50	2820	504	631	758	885	1012	1139
		3	13.0	2130	467	563	659	755	850	946
		4	19.5	1440	426	491	555	620	685	750
		5	26.0	749	381	414	448	482	515	549
		6								
		7								
HE 240 M	448	1	0.00	4691	781	992	1203	1414	1625	1836
		2	8.00	3758	736	905	1074	1243	1412	1581
		3	16.0	2826	684	811	938	1065	1192	1319
		4	24.0	1893	625	710	795	880	966	1051
		5	32.0	961	559	603	646	689	732	776
		6								
		7								
HE 260 M	534	1	0.00	5161	906	1138	1370	1602	1835	2067
		2	8.13	4137	856	1042	1228	1414	1601	1787
		3	16.3	3114	799	939	1079	1219	1359	1499
		4	24.4	2090	734	828	922	1016	1110	1204
		5	32.5	1067	662	710	758	806	854	902
		6								
		7								
HE 280 M	627	1	0.00	5645	1041	1295	1549	1803	2057	2312
		2	8.25	4528	987	1191	1395	1598	1802	2006
		3	16.5	3411	924	1078	1231	1385	1538	1692
		4	24.8	2295	853	957	1060	1163	1266	1370
		5	33.0	1178	774	827	880	933	986	1039
		6								
		7								
HE 300 M	862	1	0.00	7123	1410	1731	2051	2372	2692	3013
		2	9.75	5702	1340	1597	1853	2110	2367	2623
		3	19.5	4282	1258	1450	1643	1836	2028	2221
		4	29.3	2861	1162	1291	1420	1549	1677	1806
		5	39.0	1441	1055	1120	1185	1249	1314	1379
		6								
		7								
HE 320 M	938	1	0.00	7332	1514	1844	2174	2504	2834	3164
		2	10.0	5880	1443	1707	1972	2236	2501	2765
		3	20.0	4427	1358	1557	1756	1955	2155	2354
		4	30.0	2975	1260	1393	1527	1661	1795	1929
		5	40.0	1523	1148	1217	1285	1354	1423	1491
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 M	998	1	0.00	7421	1593	1927	2261	2595	2929	3263
		2	10.0	5969	1521	1790	2058	2327	2596	2864
		3	20.0	4517	1436	1639	1843	2046	2249	2452
		4	30.0	3064	1338	1476	1614	1752	1890	2028
		5	40.0	1612	1227	1300	1372	1445	1517	1590
		6								
		7								
HE 360 M	1055	1	0.00	7492	1669	2006	2343	2680	3017	3354
		2	10.0	6044	1597	1869	2141	2413	2685	2957
		3	20.0	4597	1512	1719	1926	2133	2340	2547
		4	30.0	3149	1415	1556	1698	1840	1982	2123
		5	40.0	1701	1304	1381	1457	1534	1610	1687
		6								
		7								
HE 400 M	1178	1	0.00	7656	1833	2177	2522	2867	3211	3556
		2	10.0	6213	1761	2041	2321	2600	2880	3160
		3	20.0	4771	1677	1892	2106	2321	2536	2750
		4	30.0	3328	1580	1729	1879	2029	2179	2328
		5	40.0	1885	1469	1554	1639	1724	1809	1893
		6								
		7								
HE 450 M	1339	1	0.00	7882	2050	2405	2759	3114	3469	3824
		2	10.0	6439	1979	2268	2558	2848	3138	3427
		3	20.0	4996	1894	2119	2344	2569	2794	3018
		4	30.0	3553	1797	1957	2117	2277	2436	2596
		5	40.0	2110	1686	1781	1876	1971	2066	2161
		6	44.6	2040	1681	1772	1864	1956	2048	2140
		7	49.1	1970	1675	1764	1852	1941	2030	2118
HE 500 M	1500	1	0.00	8091	2272	2636	3000	3364	3728	4092
		2	10.0	6653	2201	2500	2800	3099	3398	3698
		3	20.0	5215	2117	2351	2586	2821	3055	3290
		4	30.0	3776	2020	2190	2359	2529	2699	2869
		5	40.0	2338	1910	2015	2120	2225	2330	2436
		6	50.3	2181	1896	1994	2092	2190	2289	2387
		7	60.6	2023	1879	1970	2061	2152	2243	2334
HE 550 M	1678	1	0.00	8328	2519	2893	3268	3643	4018	4392
		2	10.0	6890	2447	2757	3067	3377	3688	3998
		3	20.0	5452	2363	2609	2854	3099	3345	3590
		4	30.0	4014	2266	2447	2627	2808	2989	3169
		5	40.0	2576	2156	2272	2388	2504	2620	2736
		6	56.1	2329	2134	2239	2344	2449	2554	2658
		7	75.0	2082	2109	2203	2296	2390	2484	2577

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

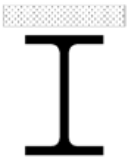
HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 M	1855	1	0.00	8547	2769	3154	3538	3923	4308	4692
		2	10.0	7113	2698	3018	3338	3659	3979	4299
		3	20.0	5680	2614	2870	3126	3381	3637	3892
		4	30.0	4246	2518	2709	2900	3091	3282	3473
		5	40.0	2813	2408	2535	2661	2788	2914	3041
		6	62.0	2475	2377	2489	2600	2711	2823	2934
		7	93.5	2137	2339	2435	2531	2627	2723	2819
HE 650 M	2042	1	0.00	8782	3035	3430	3825	4221	4616	5011
		2	10.0	7348	2964	3295	3625	3956	4287	4617
		3	20.0	5915	2880	3146	3413	3679	3945	4211
		4	30.0	4481	2783	2985	3187	3388	3590	3792
		5	40.0	3048	2674	2811	2948	3085	3222	3360
		6	68.4	2622	2634	2752	2870	2988	3106	3224
		7	112	2195	2580	2679	2778	2877	2975	3074
HE 700 M	2229	1	0.00	9001	3305	3710	4115	4520	4925	5330
		2	10.0	7572	3234	3575	3916	4256	4597	4938
		3	20.0	6143	3151	3427	3704	3980	4256	4533
		4	30.0	4714	3054	3266	3478	3691	3903	4115
		5	40.0	3285	2945	3093	3241	3388	3536	3684
		6	77.6	2768	2895	3019	3144	3269	3393	3518
		7	130.0	2250	2823	2925	3026	3127	3228	3330
HE 800 M	2642	1	0.00	9501	3908	4335	4763	5190	5618	6046
		2	10.0	8077	3837	4201	4564	4928	5291	5655
		3	20.0	6653	3754	4053	4353	4652	4951	5251
		4	30.0	5229	3658	3893	4128	4364	4599	4834
		5	40.0	3805	3549	3720	3891	4063	4234	4405
		6	93.9	3090	3476	3615	3754	3893	4032	4171
		7	166.3	2375	3360	3467	3574	3680	3787	3894
HE 900 M	3054	1	0.00	9955	4524	4972	5420	5868	6316	6764
		2	10.0	8535	4454	4838	5222	5606	5990	6375
		3	20.0	7116	4371	4691	5011	5332	5652	5972
		4	30.0	5696	4275	4532	4788	5044	5301	5557
		5	40.0	4277	4167	4359	4552	4744	4937	5129
		6	112	3383	4069	4221	4373	4525	4678	4830
		7	203	2489	3902	4014	4126	4238	4350	4462
HE 1000 M	3505	1	0.00	10439	5205	5674	6144	6614	7084	7553
		2	10.0	9019	5134	5540	5946	6352	6758	7164
		3	20.0	7600	5051	5393	5735	6077	6419	6761
		4	30.0	6181	4956	5234	5512	5790	6068	6346
		5	40.0	4761	4847	5061	5276	5490	5704	5918
		6	131	3685	4721	4887	5053	5219	5384	5550
		7	240	2610	4493	4611	4728	4846	4963	5081

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 80	4.91	1	0	179	14.5	22.5	30.5	38.6	46.6	54.7
		2	1.30	150	13.2	20.0	26.7	33.5	40.3	47.0
		3	2.60	122	11.9	17.4	22.9	28.4	33.9	39.4
		4	3.90	94.3	10.5	14.8	19.0	23.3	27.5	31.7
		5	5.20	66.2	9.1	12.1	15.1	18.1	21.1	24.0
		6	9.35	55.4	8.6	11.1	13.6	16.1	18.6	21.1
		7	15.0	44.7	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
IPE 100	8.33	1	0.00	242	21.8	32.7	43.6	54.5	65.4	76.2
		2	1.43	205	20.1	29.3	38.6	47.8	57.0	66.3
		3	2.85	168	18.4	26.0	33.5	41.1	48.7	56.3
		4	4.28	132	16.6	22.5	28.4	34.4	40.3	46.2
		5	5.70	94.7	14.8	19.0	23.3	27.6	31.8	36.1
		6	10.9	77.6	13.9	17.4	20.9	24.4	27.8	31.3
		7	18.6	60.5	12.9	15.6	18.3	21.1	23.8	26.5
IPE 120	12.8	1	0.00	310	30.7	44.7	58.6	72.6	86.5	101
		2	1.58	263	28.5	40.4	52.2	64.0	75.9	87.7
		3	3.15	215	26.3	36.0	45.7	55.4	65.1	74.8
		4	4.73	168	24.0	31.6	39.1	46.7	54.3	61.8
		5	6.30	121	21.6	27.1	32.5	37.9	43.4	48.8
		6	12.6	99.1	20.5	25.0	29.4	33.9	38.3	42.8
		7	22.5	77.6	19.2	22.7	26.2	29.7	33.1	36.6
IPE 140	18.7	1	0.00	385	41.6	59.0	76.3	93.7	111	128
		2	1.73	326	38.9	53.6	68.3	83.0	97.6	112
		3	3.45	267	36.1	48.1	60.1	72.2	84.2	96.2
		4	5.18	208	33.2	42.6	51.9	61.3	70.6	80.0
		5	6.90	149	30.2	36.9	43.6	50.3	57.0	63.7
		6	14.5	123	28.8	34.3	39.8	45.3	50.9	56.4
		7	26.4	96.4	27.1	31.5	35.8	40.2	44.5	48.8
IPE 160	26.2	1	0.00	472	55.3	76.5	97.8	119	140	162
		2	1.85	401	52.0	70.0	88.1	106	124	142
		3	3.70	330	48.6	63.4	78.3	93.1	108	123
		4	5.55	258	45.1	56.7	68.4	80.0	91.6	103
		5	7.40	187	41.5	49.9	58.3	66.7	75.2	83.6
		6	15.6	153	39.6	46.4	53.3	60.2	67.0	73.9
		7	29.8	118	37.3	42.6	47.9	53.3	58.6	63.9
IPE 180	35.1	1	0.00	562	71	96	121	147	172	197
		2	2.00	476	67	88	110	131	153	174
		3	4.00	391	63	80	98	115	133	151
		4	6.00	305	59	72	86	100	113	127
		5	8.00	219	54	64	74	84	94	104
		6	17.8	180	52	60	68	76	84	92
		7	33.6	140	49	56	62	68	74	81

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 200	46.7	1	0.00	670	90.4	121	151	181	211	241
		2	2.13	570	85.8	111	137	163	188	214
		3	4.25	470	81.0	102	123	144	166	187
		4	6.38	370	76.1	92.7	109	126	143	159
		5	8.50	270	70.9	83.1	95	107	120	132
		6	18.6	219	68.0	77.8	88	98	107	117
		7	36.4	167	64.4	72.0	79.5	87.0	94.6	102
IPE 220	60.3	8	0.00	785	113	148	184	219	254	290
		9	2.30	666	108	138	167	197	227	257
		10	4.60	547	102	126	151	176	200	225
		11	6.90	428	95.9	115	134	154	173	192
		12	9.20	309	89.7	104	117	131	145	159
		13	20.0	253	86.4	97.7	109	120	132	143
		14	39.2	196	82.3	91.2	100	109	118	126
IPE 240	77.5	15	0.00	919	141	182	223	265	306	347
		16	2.45	781	134	169	204	240	275	310
		17	4.90	642	128	156	185	214	243	272
		18	7.35	504	121	143	166	189	211	234
		19	9.80	366	113	130	146	163	179	196
		20	17.8	298	110	123	137	150	163	177
		21	41.2	230	105	115	125	136	146	156
IPE 270	102	22	0.00	1079	180	228	277	325	374	422
		23	2.55	917	172	213	255	296	337	378
		24	5.10	755	164	198	232	266	300	334
		25	7.65	593	156	183	209	236	263	290
		26	10.20	431	148	167	186	206	225	245
		27	23.6	351	143	158	174	190	206	222
		28	48.1	270	136	149	161	173	185	197
IPE 300	133	29	0.00	1264	228	284	341	398	455	512
		30	2.68	1076	219	267	316	364	412	461
		31	5.35	887	210	250	290	329	369	409
		32	8.03	699	200	232	263	294	326	357
		33	10.70	510	190	213	236	259	282	305
		34	26.2	413	184	203	221	240	258	277
		35	55.3	316	176	190	205	219	233	247
IPE 330	170	36	0.00	1471	285	351	417	483	549	616
		37	2.88	1255	275	331	388	444	501	557
		38	5.75	1039	264	311	358	404	451	498
		39	8.63	823	253	290	327	364	401	438
		40	11.5	606	241	269	296	323	350	378
		41	28.2	487	234	256	278	300	321	343
		42	60.7	368	224	240	257	273	290	306

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 360	216	1	0.00	1708	354	431	507	584	661	738
		2	3.18	1455	342	407	473	538	604	669
		3	6.35	1201	329	383	437	492	546	600
		4	9.53	947	316	359	401	444	487	529
		5	12.7	694	302	333	365	396	427	458
		6	31.0	560	294	319	344	369	394	420
		7	66.4	427	282	301	320	339	359	378
IPE 400	276	1	0.00	1986	447	536	626	715	804	894
		2	3.38	1700	434	510	587	663	740	816
		3	6.75	1415	419	483	547	610	674	738
		4	10.1	1129	404	455	506	557	608	658
		5	13.5	844	388	426	464	502	540	578
		6	34.4	670	377	407	437	467	498	528
		7	77.2	496	360	383	405	427	450	472
IPE 450	360	1	0.00	2322	575	679	784	888	993	1097
		2	3.65	1996	559	649	739	829	919	1009
		3	7.30	1670	543	618	693	769	844	919
		4	11.0	1344	526	586	647	707	768	828
		5	14.6	1018	507	553	599	645	691	736
		6	44.1	799	492	528	564	600	636	672
		7	93.6	580	469	495	521	547	573	599
IPE 500	464	1	0.00	2714	733	855	977	1099	1221	1344
		2	4.00	2338	715	820	926	1031	1136	1241
		3	8.00	1962	696	785	873	961	1050	1138
		4	12.0	1586	676	747	819	890	962	1033
		5	16.0	1210	654	709	763	818	872	927
		6	53.0	944	635	677	720	762	805	847
		7	108	679	603	634	665	695	726	756
IPE 550	589	1	0.00	3158	924	1066	1208	1350	1492	1634
		2	4.30	2734	904	1027	1150	1273	1396	1519
		3	8.60	2310	882	986	1090	1194	1298	1402
		4	12.9	1885	859	944	1029	1114	1198	1283
		5	17.2	1461	834	900	966	1032	1097	1163
		6	59.3	1125	809	859	910	960	1011	1062
		7	124	790	766	801	837	872	908	944
IPE 600	743	1	0.00	3666	1155	1320	1485	1650	1815	1980
		2	4.75	3175	1132	1275	1417	1560	1703	1846
		3	9.50	2684	1106	1227	1348	1469	1589	1710
		4	14.3	2193	1079	1178	1276	1375	1474	1572
		5	19.0	1701	1050	1126	1203	1279	1356	1432
		6	67.9	1309	1018	1077	1136	1195	1253	1312
		7	138	917	964	1005	1046	1088	1129	1170

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 80	4.82	1	0	178	14.4	22.4	30.4	38.4	46.4	54.4
		2	1.48	149	13.1	19.8	26.5	33.2	39.9	46.6
		3	2.95	120	11.7	17.1	22.5	27.9	33.3	38.6
		4	4.43	90.5	10.3	14.4	18.5	22.5	26.6	30.7
		5	5.90	61.4	8.9	11.6	14.4	17.2	19.9	22.7
		6	11.1	53.0	8.4	10.8	13.2	15.6	17.9	20.3
		7	15.7	44.5	7.9	9.9	11.9	13.9	15.9	17.9
IPN 100	8.42	1	0	249	22.4	33.6	44.8	56.0	67.3	78.5
		2	1.70	209	20.6	30.0	39.4	48.8	58.2	67.6
		3	3.40	169	18.7	26.3	33.9	41.5	49.2	56.8
		4	5.10	129	16.8	22.6	28.4	34.2	40.0	45.8
		5	6.80	89.3	14.7	18.8	22.8	26.8	30.8	34.8
		6	14.2	75.8	14.0	17.4	20.8	24.2	27.6	31.1
		7	20.6	62.3	13.2	16.0	18.8	21.6	24.4	27.2
IPN 120	13.5	1	0	334	33.0	48.1	63.1	78.1	93.1	108
		2	1.93	281	30.6	43.3	55.9	68.6	81.2	93.9
		3	3.85	229	28.1	38.4	48.7	59.0	69.3	79.6
		4	5.78	176	25.5	33.5	41.4	49.3	57.3	65.2
		5	7.70	124	22.9	28.4	34.0	39.6	45.1	50.7
		6	16.8	104	21.7	26.4	31.1	35.7	40.4	45.0
		7	25.2	83.4	20.4	24.2	27.9	31.7	35.5	39.2
IPN 140	20.2	1	0	428	46.2	65.4	84.7	104	123	142
		2	2.15	361	43.1	59.4	75.6	91.9	108	124
		3	4.30	294	39.9	53.2	66.4	79.7	92.9	106
		4	6.45	228	36.6	46.9	57.1	67.3	77.6	87.8
		5	8.60	161	33.2	40.4	47.6	54.9	62.1	69.4
		6	20.0	134	31.6	37.6	43.6	49.7	55.7	61.7
		7	30.1	107	29.8	34.6	39.4	44.2	49.0	53.8
IPN 160	28.8	1	0	536	62.7	86.8	111	135	159	183
		2	2.38	453	58.9	79.3	99.7	120	140	161
		3	4.75	371	54.9	71.6	88.3	105	122	138
		4	7.13	288	50.7	63.7	76.7	89.6	103	116
		5	9.50	205	46.4	55.7	64.9	74.1	83.4	92.6
		6	22.7	170	44.3	51.9	59.5	67.2	74.8	82.4
		7	34.8	134	41.7	47.8	53.8	59.8	65.9	71.9
IPN 180	39.6	1	0	656	82.6	112	142	171	201	230
		2	2.60	555	78.0	103	128	153	178	203
		3	5.20	455	73.1	93.6	114	135	155	176
		4	7.80	355	68.0	84.0	100	116	132	148
		5	10.40	255	62.7	74.2	85.6	97.1	109	120
		6	25.4	209	59.9	69.3	78.8	88.2	97.6	107
		7	39.5	164	56.5	63.9	71.3	78.7	86.0	93.4

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 200	52.9	1	0.00	785	106	141	177	212	247	283
		2	2.83	665	100	130	160	190	220	250
		3	5.65	546	94.6	119	144	168	193	217
		4	8.48	426	88.5	108	127	146	165	184
		5	11.30	307	82.0	95.8	110	123	137	151
		6	28.6	252	78.5	89.8	101	112	124	135
		7	44.3	196	74.2	83.0	91.9	101	110	118
IPN 220	68.5	1	0.00	928	134	175	217	259	301	343
		2	3.05	788	127	163	198	234	269	304
		3	6.10	647	120	149	179	208	237	266
		4	9.15	507	113	136	159	181	204	227
		5	12.20	366	105	122	138	155	171	188
		6	31.4	299	101	114	128	141	155	168
		7	49.0	232	95	106	116	127	137	148
IPN 240	87.1	1	0.00	1083	166	215	263	312	361	410
		2	3.28	920	158	200	241	282	324	365
		3	6.55	757	150	184	218	252	286	320
		4	9.83	594	142	168	195	222	248	275
		5	13.10	431	133	152	171	191	210	229
		6	34.2	351	127	143	159	175	190	206
		7	53.8	271	120	133	145	157	169	181
IPN 260	109	1	0.00	1253	203	259	316	372	428	485
		2	3.53	1065	194	242	290	338	386	434
		3	7.05	878	185	224	264	303	343	382
		4	10.58	691	175	206	237	268	299	330
		5	14.10	504	164	187	210	232	255	278
		6	37.6	408	158	176	195	213	231	250
		7	59.1	313	149	164	178	192	206	220
IPN 280	134	1	0.00	1434	245	310	374	439	503	568
		2	3.80	1221	235	290	345	400	455	510
		3	7.60	1008	225	270	315	361	406	451
		4	11.40	796	213	249	285	321	356	392
		5	15.20	583	201	227	254	280	306	332
		6	40.8	471	193	214	235	257	278	299
		7	64.5	358	183	199	215	231	247	263
IPN 300	161	1	0.00	1622	292	365	438	511	584	657
		2	4.05	1384	281	343	405	468	530	592
		3	8.10	1146	269	320	372	423	475	526
		4	12.2	908	256	297	338	378	419	460
		5	16.2	670	242	272	302	333	363	393
		6	44.1	538	232	257	281	305	329	353
		7	70.1	405	220	238	256	274	293	311

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

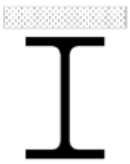
IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 320	193	1	0.00	1826	345	427	509	592	674	756
		2	4.33	1560	333	403	473	543	613	684
		3	8.65	1293	319	377	435	494	552	610
		4	13.0	1027	304	351	397	443	489	536
		5	17.3	761	289	323	357	392	426	460
		6	47.4	609	278	305	332	360	387	414
		7	75.5	456	262	283	303	324	344	365
IPN 340	228	1	0.00	2037	403	495	587	678	770	862
		2	4.58	1743	390	468	546	625	703	782
		3	9.15	1448	374	440	505	570	635	700
		4	13.7	1154	358	410	462	514	566	618
		5	18.3	859	341	379	418	457	495	534
		6	50.7	684	327	358	389	420	450	481
		7	81.2	509	309	332	355	378	401	424
IPN 360	270	1	0.00	2280	472	574	677	780	882	985
		2	4.88	1952	456	544	632	720	808	896
		3	9.75	1624	439	513	586	659	732	805
		4	14.6	1297	421	479	538	596	655	713
		5	19.5	969	401	445	489	532	576	619
		6	54.1	769	386	420	455	490	524	559
		7	86.7	570	364	390	415	441	467	492
IPN 380	313	1	0.00	2515	543	656	769	883	996	1109
		2	5.13	2156	526	623	720	817	914	1011
		3	10.3	1797	508	588	669	750	831	912
		4	15.4	1438	487	552	617	681	746	811
		5	20.5	1079	465	514	562	611	659	708
		6	57.4	854	447	486	524	562	601	639
		7	92.4	629	422	450	478	507	535	563
IPN 400	363	1	0.00	2773	624	749	873	998	1123	1248
		2	5.40	2380	605	712	819	927	1034	1141
		3	10.8	1986	585	674	763	853	942	1032
		4	16.2	1593	562	634	706	777	849	921
		5	21.6	1199	538	592	646	700	754	808
		6	60.2	946	517	560	602	645	687	730
		7	97.6	693	488	519	550	581	612	644
IPN 450	508	1	0.00	3455	855	1010	1166	1321	1477	1632
		2	6.08	2969	832	965	1099	1233	1366	1500
		3	12.2	2484	806	918	1030	1141	1253	1365
		4	18.2	1998	778	867	957	1047	1137	1227
		5	24.3	1513	746	814	883	951	1019	1087
		6	68.9	1188	718	771	825	878	932	985
		7	112	864	677	716	755	794	832	871

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y = 235 MPa

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 500	685	1	0.00	4207	1136	1325	1514	1704	1893	2082
		2	6.75	3620	1108	1270	1433	1596	1759	1922
		3	13.5	3033	1076	1212	1349	1485	1622	1758
		4	20.3	2446	1040	1151	1261	1371	1481	1591
		5	27.0	1859	1002	1085	1169	1253	1336	1420
		6	78.0	1455	964	1029	1095	1160	1226	1291
		7	126	1052	909	956	1003	1051	1098	1145
IPN 550	897	1	0.00	4982	1457	1681	1906	2130	2354	2578
		2	7.50	4277	1423	1616	1808	2001	2193	2385
		3	15.0	3572	1384	1545	1706	1866	2027	2188
		4	22.5	2867	1341	1470	1599	1728	1857	1986
		5	30.0	2162	1292	1390	1487	1584	1681	1779
		6	84.2	1704	1248	1324	1401	1478	1554	1631
		7	136	1246	1182	1238	1294	1350	1406	1462
IPN 600	1153	1	0.00	5969	1880	2149	2417	2686	2955	3223
		2	8.10	5150	1840	2072	2304	2536	2768	2999
		3	16.2	4332	1795	1990	2185	2379	2574	2769
		4	24.3	3513	1743	1901	2059	2217	2375	2533
		5	32.4	2695	1685	1806	1928	2049	2170	2292
		6	93.8	2094	1624	1718	1812	1906	2000	2095
		7	153.0	1492	1530	1597	1664	1731	1798	1865

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 A	20.5	1	0.00	583	51.4	77.7	104	130	156	183
		2	2.00	473	46.4	67.7	88.9	110	132	153
		3	4.00	363	41.1	57.5	73.8	90.1	106	123
		4	6.00	253	35.7	47.1	58.4	69.8	81.2	92.6
		5	8.00	143	30.0	36.5	42.9	49.3	55.8	62.2
		6								
		7								
HE 120 A	29.6	1	0.00	696	67.0	98.3	130	161	192	224
		2	2.00	564	60.9	86.3	112	137	162	188
		3	4.00	432	54.6	74.1	93.5	113	132	152
		4	6.00	300	48.1	61.6	75.1	88.6	102	116
		5	8.00	168	41.3	48.9	56.4	64.0	71.5	79.1
		6								
		7								
HE 140 A	42.9	1	0.00	864	90.5	129	168	207	246	285
		2	2.13	700	83.0	115	146	178	209	240
		3	4.25	536	75.2	99.3	123	148	172	196
		4	6.38	373	67.0	83.8	101	117	134	151
		5	8.50	209	58.6	68.0	77.4	86.8	96.2	106
		6								
		7								
HE 160 A	60.7	1	0.00	1067	121	169	217	265	313	361
		2	2.25	869	112	151	190	229	268	307
		3	4.50	671	102	133	163	193	223	253
		4	6.75	473	92.5	114	135	156	178	199
		5	9.00	275	82.2	94.5	107	119	132	144
		6	9.60	271	81.9	94.1	106	118	131	143
		7	10.2	267	81.8	93.8	106	118	130	142
HE 180 A	80.4	1	0.00	1246	152	208	264	320	376	432
		2	2.38	1011	141	187	232	278	323	368
		3	4.75	776	130	165	200	234	269	304
		4	7.13	540	118	142	167	191	215	240
		5	9.50	305	106	119	133	147	161	174
		6								
		7								
HE 200 A	106	1	0.00	1480	193	260	326	393	459	526
		2	2.50	1205	180	235	289	343	397	451
		3	5.00	930	167	209	251	293	334	376
		4	7.50	655	153	183	212	242	271	300
		5	10.0	380	139	156	173	190	207	224
		6	10.6	375	138	155	172	189	206	223
		7	11.2	370	138	155	171	188	205	221

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 A	141	1	0.00	1768	247	326	406	485	565	645
		2	2.75	1436	231	296	360	425	490	554
		3	5.50	1103	215	265	314	364	414	463
		4	8.25	770	198	233	267	302	337	371
		5	11.0	437	180	200	220	239	259	279
		6								
		7								
HE 240 A	184	1	0.00	2112	314	409	504	599	694	789
		2	3.00	1716	295	372	450	527	604	681
		3	6.00	1320	276	335	395	454	513	573
		4	9.00	924	255	297	339	380	422	463
		5	12.0	528	234	258	281	305	329	353
		6								
		7								
HE 260 A	228	1	0.00	2387	376	483	591	698	806	913
		2	3.13	1940	355	443	530	617	704	792
		3	6.25	1493	333	400	468	535	602	669
		4	9.38	1046	310	357	404	451	498	545
		5	12.5	600	285	312	339	366	393	420
		6	12.6	598	285	312	339	366	393	420
		7	12.8	597	285	312	339	366	393	420
HE 280 A	275	1	0.00	2676	446	566	686	807	927	1048
		2	3.25	2175	422	520	618	716	814	912
		3	6.50	1675	398	473	548	624	699	774
		4	9.75	1174	371	424	477	530	583	636
		5	13.0	674	344	374	404	435	465	495
		6	13.2	671	344	374	404	434	464	495
		7	13.5	669	343	374	404	434	464	494
HE 300 A	342	1	0.00	3094	543	682	821	961	1100	1239
		2	3.50	2516	516	629	743	856	969	1082
		3	7.00	1939	487	575	662	749	836	924
		4	10.5	1361	457	518	579	641	702	763
		5	14.0	784	424	460	495	530	566	601
		6	14.5	779	424	459	494	529	564	599
		7	14.9	773	424	459	494	528	563	598
HE 320 A	403	1	0.00	3421	631	785	939	1093	1247	1401
		2	3.88	2782	601	726	852	977	1102	1227
		3	7.75	2142	569	666	762	858	955	1051
		4	11.6	1503	535	602	670	738	805	873
		5	15.5	864	498	537	576	615	654	693
		6	15.9	859	498	537	575	614	653	691
		7	16.2	855	498	536	575	613	652	690

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 A	458	1	0.00	3671	710	876	1041	1206	1371	1536
		2	4.13	2991	678	813	948	1082	1217	1351
		3	8.25	2310	644	748	852	956	1060	1164
		4	12.4	1629	607	680	754	827	900	974
		5	16.5	949	568	610	653	696	738	781
		6	17.8	933	567	609	651	693	735	777
		7	19.2	918	566	607	649	690	731	773
HE 360 A	517	1	0.00	3927	795	972	1149	1325	1502	1679
		2	4.38	3205	761	906	1050	1194	1338	1482
		3	8.75	2483	725	836	948	1060	1172	1283
		4	13.1	1761	685	764	843	923	1002	1081
		5	17.5	1040	643	689	736	783	830	876
		6	19.9	1011	641	686	732	777	823	868
		7	22.3	982	639	684	728	772	816	860
HE 400 A	634	1	0.00	4373	964	1161	1358	1554	1751	1948
		2	4.75	3589	927	1089	1250	1412	1573	1735
		3	9.50	2805	887	1013	1139	1266	1392	1518
		4	14.3	2021	843	934	1025	1116	1207	1298
		5	19.0	1238	796	852	908	963	1019	1075
		6	24.8	1165	792	844	896	949	1001	1054
		7	30.6	1093	787	836	885	934	984	1033
HE 450 A	796	1	0.00	4895	1189	1410	1630	1850	2071	2291
		2	5.25	4029	1148	1330	1511	1692	1874	2055
		3	10.5	3163	1103	1246	1388	1530	1673	1815
		4	15.8	2296	1054	1157	1261	1364	1467	1571
		5	21.0	1430	1001	1065	1130	1194	1258	1323
		6	29.1	1327	994	1054	1113	1173	1233	1292
		7	37.3	1224	986	1041	1096	1151	1206	1261
HE 500 A	977	1	0.00	5431	1442	1686	1931	2175	2420	2664
		2	5.75	4483	1397	1599	1800	2002	2204	2405
		3	11.5	3534	1347	1506	1665	1824	1983	2142
		4	17.3	2585	1292	1408	1524	1641	1757	1873
		5	23.0	1636	1232	1306	1379	1453	1526	1600
		6	33.8	1497	1222	1289	1357	1424	1492	1559
		7	44.5	1358	1209	1270	1331	1392	1453	1514
HE 550 A	1144	1	0.00	5825	1677	1940	2202	2464	2726	2988
		2	6.00	4835	1630	1848	2065	2283	2500	2718
		3	12.0	3845	1578	1751	1924	2097	2270	2443
		4	18.0	2855	1520	1648	1777	1905	2034	2162
		5	24.0	1865	1456	1540	1624	1708	1792	1876
		6	39.4	1660	1441	1516	1591	1666	1740	1815
		7	58.2	1456	1424	1489	1555	1620	1686	1751

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 A	1324	1	0.00	6229	1934	2214	2495	2775	3055	3335
		2	6.25	5198	1885	2119	2352	2586	2820	3054
		3	12.5	4166	1830	2017	2205	2392	2580	2767
		4	18.8	3135	1769	1910	2051	2192	2333	2474
		5	25.0	2104	1702	1797	1891	1986	2081	2175
		6	45.1	1830	1681	1763	1846	1928	2011	2093
		7	77.2	1557	1654	1724	1794	1864	1935	2005
HE 650 A	1519	1	0.00	6644	2212	2511	2810	3109	3408	3707
		2	6.50	5572	2161	2412	2662	2913	3164	3415
		3	13.0	4499	2103	2306	2508	2711	2913	3116
		4	19.5	3427	2039	2194	2348	2502	2656	2810
		5	26.0	2354	1969	2075	2181	2287	2393	2499
		6	51.2	2008	1942	2032	2122	2213	2303	2393
		7	96.3	1661	1903	1978	2053	2127	2202	2277
HE 700 A	1740	1	0.00	7164	2547	2869	3191	3514	3836	4159
		2	6.75	6050	2493	2765	3038	3310	3582	3854
		3	13.5	4936	2433	2655	2877	3099	3321	3544
		4	20.3	3823	2366	2538	2710	2882	3054	3226
		5	27.0	2709	2292	2414	2536	2658	2780	2902
		6	62.9	2250	2254	2355	2456	2557	2659	2760
		7	120	1791	2195	2276	2356	2437	2517	2598
HE 800 A	2153	1	0.00	7860	3148	3501	3855	4209	4562	4916
		2	7.00	6705	3092	3394	3696	3997	4299	4601
		3	14.0	5550	3029	3279	3529	3778	4028	4278
		4	21.0	4395	2959	3157	3355	3552	3750	3948
		5	28.0	3240	2882	3027	3173	3319	3465	3611
		6	79.6	2602	2824	2941	3058	3175	3293	3410
		7	157	1965	2728	2816	2904	2993	3081	3170
HE 900 A	2675	1	0.00	8814	3927	4323	4720	5116	5513	5910
		2	7.50	7576	3867	4208	4549	4889	5230	5571
		3	15.0	6339	3798	4084	4369	4654	4939	5225
		4	22.5	5101	3722	3951	4181	4411	4640	4870
		5	30.0	3864	3637	3811	3985	4159	4332	4506
		6	100	3034	3555	3691	3828	3964	4101	4237
		7	195	2203	3407	3506	3606	3705	3804	3903
HE 1000 A	3173	1	0.00	9537	4678	5107	5536	5965	6395	6824
		2	7.75	8258	4616	4988	5359	5731	6102	6474
		3	15.5	6980	4545	4859	5173	5487	5801	6115
		4	23.3	5701	4465	4722	4978	5235	5491	5748
		5	31.0	4422	4376	4575	4774	4973	5172	5371
		6	120	3403	4267	4420	4573	4726	4879	5033
		7	232	2384	4060	4167	4274	4381	4489	4596

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 B	25.8	1	0.00	715	64.4	96.5	129	161	193	225
		2	2.50	578	58.0	84.0	110	136	162	188
		3	5.00	440	51.4	71.2	91.0	111	131	150
		4	7.50	303	44.4	58.0	71.6	85.2	98.8	112
		5	10.0	165	37.1	44.6	52.0	59.4	66.8	74.3
		6								
		7								
HE 120 B	40.9	1	0.00	935	93	135	177	219	261	303
		2	2.75	754	84	118	152	186	220	254
		3	5.50	572	75.3	101	127	153	178	204
		4	8.25	391	66.0	84	101	119	136	154
		5	11.0	209	56.3	65.7	75.1	85	94	103
		6								
		7								
HE 140 B	60.7	1	0.00	1183	128	181	234	287	341	394
		2	3.00	952	117	160	203	245	288	331
		3	6.00	721	106	138	171	203	235	268
		4	9.00	490	94	116	138	160	182	204
		5	12.0	259	81	93	104	116	128	139
		6								
		7								
HE 160 B	87.6	1	0.00	1493	175	242	309	376	443	511
		2	3.25	1207	161	216	270	324	379	433
		3	6.50	921	147	189	230	272	313	355
		4	9.75	635	132	161	190	218	247	275
		5	13.0	349	117	132	148	164	179	195
		6								
		7								
HE 180 B	119	1	0.00	1796	226	307	388	469	549	630
		2	3.50	1449	210	275	341	406	471	536
		3	7.00	1103	193	243	292	342	391	441
		4	10.5	756	175	209	243	277	311	345
		5	14.0	410	155	174	192	210	229	247
		6								
		7								
HE 200 B	159	1	0.00	2148	290	387	483	580	677	773
		2	3.75	1735	271	349	427	505	583	661
		3	7.50	1323	250	310	369	429	488	548
		4	11.3	910	228	269	310	351	392	433
		5	15.0	498	205	227	249	272	294	317
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 B	205	1	0.00	2503	360	473	586	698	811	923
		2	4.00	2019	338	429	519	610	701	792
		3	8.00	1535	313	382	451	520	590	659
		4	12.0	1051	287	334	382	429	476	524
		5	16.0	567	259	285	310	336	361	387
		6								
		7								
HE 240 B	261	1	0.00	2915	446	577	708	840	971	1102
		2	4.25	2354	420	526	632	737	843	949
		3	8.50	1793	391	472	553	633	714	795
		4	12.8	1232	361	416	471	527	582	638
		5	17.0	671	328	358	388	418	449	479
		6								
		7								
HE 260 B	410	1	0.00	3256	527	674	821	967	1114	1260
		2	4.38	2630	498	616	735	853	972	1090
		3	8.75	2005	466	556	647	737	827	917
		4	13.1	1379	432	494	556	618	680	742
		5	17.5	754	395	429	463	497	531	565
		6								
		7								
HE 280 B	490	1	0.00	3614	618	781	943	1106	1268	1431
		2	4.50	2921	585	717	848	980	1111	1242
		3	9.00	2228	550	650	750	851	951	1051
		4	13.5	1535	512	581	650	719	788	857
		5	18.0	842	471	509	546	584	622	660
		6								
		7								
HE 300 B	597	1	0.00	4100	738	923	1107	1292	1476	1661
		2	4.75	3317	701	850	1000	1149	1298	1447
		3	9.50	2533	661	775	889	1003	1117	1231
		4	14.3	1749	617	696	775	853	932	1011
		5	19.0	965	570	614	657	700	744	787
		6								
		7								
HE 320 B	687	1	0.00	4436	838	1038	1238	1437	1637	1836
		2	5.13	3590	798	960	1121	1283	1445	1606
		3	10.3	2745	754	878	1001	1125	1248	1372
		4	15.4	1899	707	792	878	963	1048	1134
		5	20.5	1053	655	702	750	797	845	892
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 B	769	1	0.00	4700	931	1142	1354	1565	1777	1988
		2	5.38	3813	888	1060	1232	1403	1575	1746
		3	10.8	2926	842	974	1105	1237	1369	1501
		4	16.1	2039	792	883	975	1067	1159	1250
		5	21.5	1152	737	788	840	892	944	996
		6								
		7								
HE 360 B	857	1	0.00	4967	1028	1252	1475	1699	1922	2146
		2	5.63	4038	984	1166	1347	1529	1711	1893
		3	11.3	3110	935	1075	1215	1355	1495	1635
		4	16.9	2182	882	980	1078	1176	1274	1373
		5	22.5	1254	823	880	936	993	1049	1106
		6	23.0	1248	823	879	935	991	1048	1104
		7	23.4	1242	823	879	934	990	1046	1102
HE 400 B	800	1	0.00	5440	1224	1469	1713	1958	2203	2448
		2	6.00	4450	1177	1377	1577	1777	1978	2178
		3	12.0	3460	1124	1280	1435	1591	1747	1902
		4	18.0	2470	1066	1177	1288	1400	1511	1622
		5	24.0	1480	1003	1069	1136	1203	1269	1336
		6	28.3	1420	999	1063	1127	1190	1254	1318
		7	32.7	1360	995	1056	1117	1179	1240	1301
HE 450 B	986	1	0.00	5995	1484	1754	2023	2293	2563	2833
		2	6.50	4923	1432	1654	1875	2097	2318	2540
		3	13.0	3850	1375	1548	1721	1894	2068	2241
		4	19.5	2778	1311	1436	1561	1686	1811	1936
		5	26.0	1705	1241	1317	1394	1471	1547	1624
		6	33.3	1602	1233	1305	1377	1449	1521	1594
		7	40.6	1499	1225	1292	1360	1427	1495	1562
HE 500 B	1192	1	0.00	6562	1772	2067	2362	2657	2953	3248
		2	7.00	5407	1716	1959	2203	2446	2689	2932
		3	14.0	4252	1653	1844	2036	2227	2418	2610
		4	21.0	3097	1583	1722	1862	2001	2140	2280
		5	28.0	1942	1505	1593	1680	1768	1855	1942
		6	38.5	1791	1494	1575	1655	1736	1817	1897
		7	49.0	1640	1479	1553	1627	1701	1775	1849
HE 550 B	1384	1	0.00	6988	2044	2358	2673	2987	3302	3616
		2	7.25	5792	1986	2247	2507	2768	3029	3289
		3	14.5	4595	1921	2127	2334	2541	2748	2955
		4	21.8	3399	1847	2000	2153	2306	2459	2612
		5	29.0	2203	1766	1865	1964	2064	2163	2262
		6	44.5	1975	1748	1837	1926	2015	2104	2193
		7	63.3	1747	1727	1806	1885	1963	2042	2120

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 B	1590	1	0.00	7425	2339	2673	3007	3341	3675	4010
		2	7.50	6188	2279	2557	2836	3114	3393	3671
		3	15.0	4950	2211	2434	2656	2879	3102	3325
		4	22.5	3713	2134	2301	2468	2635	2802	2970
		5	30.0	2475	2049	2161	2272	2383	2495	2606
		6	50.7	2166	2024	2122	2219	2317	2414	2511
		7	82.3	1856	1992	2076	2159	2243	2326	2410
HE 650 B	1812	1	0.00	7873	2657	3012	3366	3720	4074	4429
		2	7.8	6595	2595	2892	3189	3485	3782	4079
		3	15.5	5316	2524	2764	3003	3242	3481	3720
		4	23.3	4037	2444	2626	2808	2989	3171	3353
		5	31.0	2758	2356	2480	2604	2728	2852	2976
		6	57.1	2363	2322	2429	2535	2641	2748	2854
		7	101	1968	2276	2365	2454	2542	2631	2719
HE 700 B	2061	1	0.00	8426	3033	3413	3792	4171	4550	4929
		2	8.00	7106	2969	3289	3609	3929	4248	4568
		3	16.0	5786	2896	3156	3416	3677	3937	4197
		4	24.0	4466	2812	3013	3214	3415	3616	3817
		5	32.0	3146	2720	2861	3003	3144	3286	3428
		6	69.1	2626	2673	2792	2910	3028	3146	3264
		7	125	2107	2605	2700	2794	2889	2984	3079
HE 800 B	2532	1	0.00	9191	3722	4136	4549	4963	5376	5790
		2	8.00	7829	3656	4008	4360	4713	5065	5417
		3	16.0	6468	3579	3870	4162	4453	4744	5035
		4	24.0	5107	3493	3723	3953	4182	4412	4642
		5	32.0	3746	3396	3565	3733	3902	4070	4239
		6	69.1	3022	3327	3463	3599	3735	3871	4007
		7	125	2298	3214	3317	3421	3524	3628	3731
HE 900 B	3114	1	0.00	10211	4595	5054	5514	5973	6433	6892
		2	8.3	8767	4524	4919	5313	5708	6102	6497
		3	16.5	7323	4442	4772	5101	5431	5760	6090
		4	24.8	5880	4349	4613	4878	5143	5407	5672
		5	33.0	4436	4244	4444	4643	4843	5042	5242
		6	86.1	3494	4146	4303	4460	4617	4775	4932
		7	161	2553	3974	4089	4203	4318	4433	4548
HE 1000 B	3678	1	0.00	11000	5445	5940	6435	6930	7425	7920
		2	8.8	9515	5372	5800	6229	6657	7085	7513
		3	17.5	8030	5287	5649	6010	6371	6733	7094
		4	26.3	6545	5190	5485	5779	6074	6368	6663
		5	35.0	5060	5081	5309	5537	5765	5992	6220
		6	107	3905	4951	5127	5302	5478	5654	5829
		7	199	2750	4710	4834	4958	5081	5205	5329

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 M	58.4	1	0	1463	145	211	277	342	408	474
		2	5.00	1172	131	184	236	289	342	395
		3	10.0	880	116	156	195	235	274	314
		4	15.0	589	100	126	153	179	206	232
		5	20.0	297	82	95	109	122	135	149
		6								
		7								
HE 120 M	86.8	1	0.00	1826	197	279	362	444	526	608
		2	5.25	1462	180	246	312	377	443	509
		3	10.5	1098	161	210	260	309	359	408
		4	15.8	735	140	173	206	240	273	306
		5	21.0	371	118	135	151	168	185	201
		6								
		7								
HE 140 M	122	1	0.00	2217	259	359	459	559	658	758
		2	5.50	1775	238	318	398	478	558	638
		3	11.0	1333	215	275	335	395	455	515
		4	16.5	892	190	230	270	310	350	390
		5	22.0	450	162	183	203	223	243	264
		6								
		7								
HE 160 M	167	1	0.00	2670	336	457	577	697	817	937
		2	5.75	2145	311	408	505	601	698	794
		3	11.5	1620	284	357	430	503	575	648
		4	17.3	1095	253	303	352	401	451	500
		5	23.0	570	220	246	272	297	323	349
		6								
		7								
HE 180 M	219	1	0.00	3116	421	561	701	841	981	1122
		2	6.00	2502	391	504	617	729	842	954
		3	12.0	1888	359	444	529	614	699	784
		4	18.0	1274	323	380	438	495	552	610
		5	24.0	661	284	313	343	373	403	432
		6								
		7								
HE 200 M	281	1	0.00	3611	520	682	845	1007	1170	1332
		2	6.25	2903	486	617	747	878	1009	1139
		3	12.5	2195	448	547	646	745	843	942
		4	18.8	1486	406	473	540	607	674	741
		5	25.0	778	361	396	431	466	501	536
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 M	351	1	0.00	4109	629	813	998	1183	1368	1553
		2	6.50	3301	590	738	887	1035	1184	1333
		3	13.0	2493	546	659	771	883	995	1107
		4	19.5	1685	498	574	650	726	801	877
		5	26.0	877	445	485	524	564	603	643
		6								
		7								
HE 240 M	524	1	0.00	5489	914	1161	1408	1655	1902	2149
		2	8.00	4398	861	1059	1257	1455	1652	1850
		3	16.0	3307	800	949	1098	1246	1395	1544
		4	24.0	2215	731	831	931	1030	1130	1230
		5	32.0	1124	655	705	756	806	857	908
		6								
		7								
HE 260 M	625	1	0.00	6039	1060	1332	1603	1875	2147	2419
		2	8.13	4841	1002	1219	1437	1655	1873	2091
		3	16.3	3644	935	1099	1262	1426	1590	1754
		4	24.4	2446	859	969	1079	1189	1299	1409
		5	32.5	1249	774	830	887	943	999	1055
		6								
		7								
HE 280 M	734	1	0.00	6606	1219	1516	1813	2110	2408	2705
		2	8.25	5299	1155	1393	1632	1870	2109	2347
		3	16.5	3992	1082	1261	1441	1621	1800	1980
		4	24.8	2685	999	1119	1240	1361	1482	1603
		5	33.0	1378	906	968	1030	1092	1154	1216
		6								
		7								
HE 300 M	1009	1	0.00	8335	1650	2025	2401	2776	3151	3526
		2	9.75	6673	1568	1869	2169	2469	2769	3070
		3	19.5	5011	1472	1697	1923	2148	2373	2599
		4	29.3	3348	1360	1511	1662	1812	1963	2114
		5	39.0	1686	1234	1310	1386	1462	1538	1614
		6								
		7								
HE 320 M	1098	1	0.00	8580	1772	2158	2544	2930	3317	3703
		2	10.0	6881	1688	1998	2307	2617	2927	3236
		3	20.0	5181	1589	1822	2055	2288	2521	2754
		4	30.0	3482	1474	1631	1787	1944	2101	2257
		5	40.0	1782	1344	1424	1504	1584	1665	1745
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 M	1168	1	0.00	8685	1864	2255	2646	3037	3427	3818
		2	10.0	6985	1780	2094	2409	2723	3037	3352
		3	20.0	5286	1681	1918	2156	2394	2632	2870
		4	30.0	3586	1566	1727	1889	2050	2211	2373
		5	40.0	1887	1436	1521	1606	1691	1775	1860
		6								
		7								
HE 360 M	1235	1	0.00	8767	1953	2347	2742	3136	3531	3925
		2	10.0	7073	1869	2187	2506	2824	3142	3460
		3	20.0	5379	1770	2012	2254	2496	2738	2980
		4	30.0	3685	1656	1821	1987	2153	2319	2485
		5	40.0	1991	1526	1616	1705	1795	1884	1974
		6								
		7								
HE 400 M	1379	1	0.00	8960	2145	2548	2951	3354	3758	4161
		2	10.0	7271	2061	2389	2716	3043	3370	3697
		3	20.0	5583	1963	2214	2465	2716	2967	3219
		4	30.0	3894	1849	2024	2199	2374	2549	2725
		5	40.0	2206	1719	1819	1918	2017	2116	2216
		6								
		7								
HE 450 M	1567	1	0.00	9224	2399	2814	3229	3644	4059	4474
		2	10.0	7535	2315	2655	2994	3333	3672	4011
		3	20.0	5847	2217	2480	2743	3006	3269	3532
		4	30.0	4158	2103	2290	2477	2664	2851	3038
		5	40.0	2470	1974	2085	2196	2307	2418	2529
		6	44.6	2388	1967	2074	2182	2289	2397	2504
		7	49.1	2306	1960	2064	2168	2272	2375	2479
HE 500 M	1756	1	0.00	9468	2659	3085	3511	3937	4363	4789
		2	10.0	7785	2575	2926	3276	3626	3977	4327
		3	20.0	6102	2477	2752	3026	3301	3575	3850
		4	30.0	4419	2363	2562	2761	2960	3159	3358
		5	40.0	2736	2235	2358	2481	2604	2727	2850
		6	50.3	2552	2219	2334	2448	2563	2678	2793
		7	60.6	2367	2199	2305	2412	2518	2625	2731
HE 550 M	1963	1	0.00	9746	2947	3386	3824	4263	4701	5140
		2	10.0	8063	2864	3227	3590	3952	4315	4678
		3	20.0	6380	2765	3053	3340	3627	3914	4201
		4	30.0	4697	2652	2863	3075	3286	3497	3709
		5	40.0	3014	2523	2659	2794	2930	3066	3201
		6	56.1	2725	2498	2620	2743	2866	2988	3111
		7	75.0	2437	2468	2577	2687	2797	2906	3016

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 M	2171	1	0.00	10002	3241	3691	4141	4591	5041	5491
		2	10.0	8324	3158	3532	3907	4281	4656	5030
		3	20.0	6647	3059	3359	3658	3957	4256	4555
		4	30.0	4969	2946	3170	3393	3617	3841	4064
		5	40.0	3292	2818	2966	3114	3262	3410	3558
		6	62.0	2896	2782	2912	3043	3173	3303	3433
		7	93.5	2500	2737	2849	2962	3074	3187	3299
HE 650 M	2390	1	0.00	10277	3552	4014	4477	4939	5401	5864
		2	10.0	8599	3469	3856	4243	4630	5016	5403
		3	20.0	6922	3370	3682	3993	4305	4616	4928
		4	30.0	5244	3257	3493	3729	3965	4201	4437
		5	40.0	3567	3129	3289	3450	3610	3771	3931
		6	68.4	3068	3082	3220	3358	3496	3634	3773
		7	112	2569	3019	3135	3251	3366	3482	3597
HE 700 M	2609	1	0.00	10533	3868	4341	4815	5289	5763	6237
		2	10.0	8861	3785	4183	4582	4981	5380	5778
		3	20.0	7189	3687	4010	4334	4657	4981	5304
		4	30.0	5517	3574	3822	4071	4319	4567	4815
		5	40.0	3845	3446	3619	3792	3965	4138	4311
		6	77.6	3239	3388	3533	3679	3825	3971	4116
		7	130	2633	3304	3422	3541	3659	3778	3896
HE 800 M	3091	1	0.00	11118	4573	5073	5574	6074	6574	7075
		2	10.0	9452	4490	4916	5341	5766	6192	6617
		3	20.0	7785	4393	4743	5094	5444	5794	6145
		4	30.0	6119	4280	4556	4831	5106	5382	5657
		5	40.0	4452	4153	4353	4554	4754	4954	5155
		6	93.9	3616	4067	4230	4393	4555	4718	4881
		7	166	2780	3932	4057	4182	4307	4432	4557
HE 900 M	3574	1	0.00	11649	5294	5819	6343	6867	7391	7915
		2	10.0	9988	5212	5662	6111	6561	7010	7460
		3	20.0	8327	5115	5490	5865	6239	6614	6989
		4	30.0	6666	5003	5303	5603	5903	6203	6503
		5	40.0	5005	4876	5101	5326	5552	5777	6002
		6	112	3959	4761	4939	5117	5296	5474	5652
		7	203	2912	4566	4697	4828	4959	5090	5221
HE 1000 M	4101	1	0.00	12216	6091	6640	7190	7740	8289	8839
		2	10.0	10555	6008	6483	6958	7433	7908	8383
		3	20.0	8894	5911	6311	6712	7112	7512	7912
		4	30.0	7233	5799	6125	6450	6776	7101	7426
		5	40.0	5572	5672	5923	6174	6424	6675	6926
		6	131	4313	5525	5719	5913	6107	6301	6495
		7	240	3054	5258	5396	5533	5670	5808	5945

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 80	5.74	1	0	209	16.9	26.3	35.7	45.1	54.5	64.0
		2	1.30	176	15.4	23.4	31.3	39.2	47.1	55.1
		3	2.60	143	13.9	20.3	26.8	33.2	39.7	46.1
		4	3.90	110	12.3	17.3	22.2	27.2	32.2	37.1
		5	5.20	77	10.7	14.2	17.7	21.2	24.6	28.1
		6	9.35	65	10.1	13.0	15.9	18.8	21.7	24.6
		7	15.00	52	9.3	11.7	14.1	16.4	18.8	21.1
IPE 100	9.75	1	0.00	283	25.5	38.2	51.0	63.7	76.5	89.2
		2	1.43	240	23.5	34.3	45.1	55.9	66.8	77.6
		3	2.85	197	21.5	30.4	39.2	48.1	57.0	65.8
		4	4.28	154	19.4	26.4	33.3	40.2	47.1	54.1
		5	5.70	111	17.3	22.3	27.3	32.3	37.2	42.2
		6	10.9	91	16.2	20.3	24.4	28.5	32.6	36.7
		7	18.6	71	15.1	18.3	21.5	24.6	27.8	31.0
IPE 120	15.0	1	0.00	363	35.9	52.3	68.6	84.9	101	118
		2	1.58	308	33.4	47.2	61.1	74.9	88.8	103
		3	3.15	252	30.8	42.1	53.5	64.8	76.2	87.5
		4	4.73	197	28.1	36.9	45.8	54.7	63.5	72.4
		5	6.30	141	25.3	31.7	38.0	44.4	50.8	57.1
		6	12.6	116	24.0	29.2	34.4	39.6	44.9	50.1
		7	22.5	91	22.4	26.5	30.6	34.7	38.8	42.9
IPE 140	21.9	1	0.00	451	48.7	69.0	89.3	110	130	150
		2	1.73	382	45.5	62.7	79.9	97.1	114	131
		3	3.45	312	42.3	56.3	70.4	84.4	98.5	113
		4	5.18	243	38.9	49.8	60.8	71.7	82.7	93.6
		5	6.90	174	35.4	43.2	51.0	58.9	66.7	74.5
		6	14.5	143	33.7	40.2	46.6	53.1	59.5	66.0
		7	26.4	113	31.8	36.8	41.9	47.0	52.1	57.1
IPE 160	30.7	1	0.00	553	64.7	89.5	114	139	164	189
		2	1.85	469	60.8	82.0	103	124	145	166
		3	3.70	386	56.9	74.2	91.6	109	126	144
		4	5.55	302	52.8	66.4	80.0	93.6	107	121
		5	7.40	219	48.5	58.4	68.3	78.1	88.0	97.8
		6	15.6	179	46.3	54.3	62.4	70.4	78.5	86.5
		7	29.8	138	43.7	49.9	56.1	62.3	68.5	74.8
IPE 180	41.1	1	0.00	657	82.8	112	142	172	201	231
		2	2.00	557	78.2	103	128	153	179	204
		3	4.00	457	73.4	94.0	115	135	156	176
		4	6.00	357	68.5	84.6	101	117	133	149
		5	8.00	257	63.4	74.9	86.5	98.0	110	121
		6	17.8	211	60.7	70.2	79.7	89.2	98.6	108
		7	33.6	164	57.6	65.0	72.4	79.8	87.2	94.6

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 200	54.7	1	0.00	784	106	141	176	212	247	282
		2	2.13	667	100	130	160	190	220	250
		3	4.25	550	94.8	120	144	169	194	219
		4	6.38	433	89.0	109	128	147	167	186
		5	8.50	316	83.0	97.2	111	126	140	154
		6	18.6	256	79.5	91.1	103	114	126	137
		7	36.4	196	75.4	84.2	93.0	102	111	119
IPE 220	70.5	1	0.00	919	132	174	215	256	298	339
		2	2.30	779	126	161	196	231	266	301
		3	4.60	640	119	148	177	206	234	263
		4	6.90	501	112	135	157	180	202	225
		5	9.20	362	105	121	137	154	170	186
		6	20.0	296	101	114	128	141	154	168
		7	39.2	230	96.4	107	117	127	138	148
IPE 240	90.7	1	0.00	1075	165	213	261	310	358	406
		2	2.45	914	157	198	239	280	321	363
		3	4.90	752	149	183	217	251	285	318
		4	7.35	590	141	168	194	221	247	274
		5	9.80	428	133	152	171	190	210	229
		6	17.8	349	128	144	160	175	191	207
		7	41.2	269	123	135	147	159	171	183
IPE 270	120	1	0.00	1262	210	267	324	381	437	494
		2	2.55	1073	201	250	298	346	395	443
		3	5.10	884	192	232	272	312	351	391
		4	7.65	694	183	214	245	276	308	339
		5	10.2	505	173	195	218	241	263	286
		6	23.6	410	167	185	204	222	241	259
		7	48.1	316	160	174	188	202	216	231
IPE 300	155	1	0.00	1480	266	333	399	466	533	599
		2	2.68	1259	256	313	369	426	483	539
		3	5.35	1038	245	292	339	386	432	479
		4	8.03	817	234	271	308	344	381	418
		5	10.7	597	222	249	276	303	330	357
		6	26.2	483	215	237	259	281	302	324
		7	55.3	370	206	223	239	256	273	289
IPE 330	199	1	0.00	1722	333	411	488	566	643	720
		2	2.88	1469	321	387	454	520	586	652
		3	5.75	1216	309	364	418	473	528	583
		4	8.63	963	296	339	383	426	469	513
		5	11.5	710	282	314	346	378	410	442
		6	28.2	570	274	299	325	351	376	402
		7	60.7	430	262	281	301	320	339	359

a=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,bY1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı, cY2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 360	252	1	0.00	1999	414	504	594	684	774	864
		2	3.18	1702	400	477	553	630	706	783
		3	6.35	1406	385	449	512	575	638	702
		4	9.53	1109	370	420	470	520	570	619
		5	12.7	812	354	390	427	463	500	536
		6	31.0	656	344	373	403	432	462	491
		7	66.4	500	330	352	375	397	420	442
IPE 400	323	1	0.00	2324	523	627	732	837	941	1046
		2	3.38	1990	507	597	686	776	865	955
		3	6.75	1656	491	565	640	714	789	863
		4	10.1	1321	473	533	592	652	711	770
		5	13.5	987	455	499	543	588	632	677
		6	34.4	784	441	476	512	547	582	617
		7	77.2	581	422	448	474	500	526	552
IPE 450	421	1	0.00	2717	672	795	917	1039	1162	1284
		2	3.65	2336	655	760	865	970	1075	1180
		3	7.30	1954	636	724	811	899	987	1075
		4	11.0	1573	615	686	757	828	898	969
		5	14.6	1191	594	647	701	755	808	862
		6	44.1	935	576	618	660	702	744	786
		7	93.6	679	549	579	610	640	671	701
IPE 500	543	1	0.00	3176	858	1001	1143	1286	1429	1572
		2	4.00	2736	837	960	1083	1206	1330	1453
		3	8.00	2296	815	918	1021	1125	1228	1331
		4	12.0	1856	791	875	958	1042	1125	1209
		5	16.0	1416	766	829	893	957	1021	1084
		6	53.0	1105	743	793	842	892	942	991
		7	108	794	706	742	778	813	849	885
IPE 550	690	1	0.00	3696	1081	1247	1414	1580	1746	1913
		2	4.30	3199	1058	1202	1346	1490	1634	1778
		3	8.60	2703	1033	1154	1276	1397	1519	1641
		4	12.9	2206	1005	1105	1204	1303	1402	1502
		5	17.2	1709	976	1053	1130	1207	1284	1361
		6	59.3	1317	946	1005	1065	1124	1183	1242
		7	124	924	896	938	979	1021	1063	1104
IPE 600	869	1	0.00	4290	1351	1544	1737	1931	2124	2317
		2	4.75	3715	1324	1491	1659	1826	1993	2160
		3	9.50	3141	1295	1436	1577	1719	1860	2001
		4	14.3	2566	1263	1378	1494	1609	1725	1840
		5	19.0	1991	1228	1318	1407	1497	1587	1676
		6	67.9	1532	1191	1260	1329	1398	1467	1536
		7	138	1073	1128	1176	1225	1273	1321	1369

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 80	5.64	1	0.00	208	16.9	26.2	35.6	45.0	54.3	63.7
		2	1.48	174	15.3	23.1	31.0	38.8	46.6	54.5
		3	2.95	140	13.7	20.0	26.3	32.6	38.9	45.2
		4	4.43	106	12.1	16.8	21.6	26.4	31.1	35.9
		5	5.90	72	10.4	13.6	16.8	20.1	23.3	26.5
		6	11.1	62	9.8	12.6	15.4	18.2	21.0	23.8
		7	15.7	52	9.3	11.6	14.0	16.3	18.6	21.0
IPN 100	9.85	1	0	292	26.2	39.4	52.5	65.6	78.7	91.8
		2	1.70	245	24.1	35.1	46.1	57.1	68.2	79.2
		3	3.40	198	21.9	30.8	39.7	48.6	57.5	66.4
		4	5.10	151	19.6	26.4	33.2	40.0	46.8	53.6
		5	6.80	105	17.2	22.0	26.7	31.4	36.1	40.8
		6	14.2	89	16.4	20.4	24.4	28.4	32.3	36.3
		7	20.6	73	15.4	18.7	22.0	25.3	28.5	31.8
IPN 120	15.7	1	0	391	38.7	56.2	73.8	91.4	109	127
		2	1.93	329	35.8	50.7	65.5	80.3	95.1	110
		3	3.85	268	32.9	45.0	57.0	69.1	81.1	93.1
		4	5.78	206	29.9	39.2	48.5	57.7	67.0	76.3
		5	7.70	145	26.8	33.3	39.8	46.3	52.8	59.4
		6	16.8	121	25.4	30.9	36.3	41.8	47.3	52.7
		7	25.2	98	23.9	28.3	32.7	37.1	41.5	45.9
IPN 140	23.6	1	0	501	54.1	76.6	99.1	122	144	167
		2	2.15	422	50.5	69.5	88.5	107	127	146
		3	4.30	344	46.7	62.2	77.7	93.2	109	124
		4	6.45	266	42.8	54.8	66.8	78.8	90.8	103
		5	8.60	188	38.8	47.3	55.7	64.2	72.7	81.2
		6	20.0	157	37.0	44.0	51.1	58.1	65.2	72.2
		7	30.1	125	34.8	40.5	46.1	51.7	57.3	63.0
IPN 160	33.7	1	0	627	73.4	102	130	158	186	214
		2	2.38	530	68.9	92.8	117	141	164	188
		3	4.75	434	64.2	83.8	103	123	142	162
		4	7.13	337	59.4	74.5	89.7	105	120	135
		5	9.50	240	54.3	65.1	75.9	86.8	97.6	108
		6	22.7	199	51.8	60.7	69.7	78.6	87.5	96.5
		7	34.8	157	48.8	55.9	63.0	70.0	77.1	84.1
IPN 180	46.3	1	0	767	96.7	131	166	200	235	269
		2	2.60	650	91.3	121	150	179	208	238
		3	5.20	533	85.6	110	134	157	181	205
		4	7.80	415	79.6	98.3	117	136	154	173
		5	10.4	298	73.4	86.8	100	114	127	140
		6	25.4	245	70.1	81.1	92.2	103	114	125
		7	39.5	192	66.2	74.8	83.4	92.1	101	109

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 200	61.9	1	0.00	919	124	165	207	248	289	331
		2	2.83	779	118	153	188	223	258	293
		3	5.65	639	111	139	168	197	226	254
		4	8.48	499	104	126	148	171	193	216
		5	11.3	359	96	112	128	144	161	177
		6	28.6	294	92	105	118	132	145	158
		7	44.3	230	87	97	108	118	128	138
IPN 220	80.2	1	0.00	1086	156	205	254	303	352	401
		2	3.05	922	149	190	232	273	315	356
		3	6.10	757	141	175	209	243	277	311
		4	9.15	593	132	159	186	212	239	266
		5	12.2	429	123	143	162	181	200	220
		6	31.4	350	118	134	150	165	181	197
		7	49.0	272	112	124	136	148	161	173
IPN 240	102	1	0.00	1268	194	251	308	365	422	479
		2	3.28	1077	185	234	282	330	379	427
		3	6.55	886	176	216	255	295	335	375
		4	9.83	695	166	197	228	259	291	322
		5	13.1	504	155	178	200	223	246	269
		6	34.2	410	149	167	186	204	223	241
		7	53.8	317	141	155	169	184	198	212
IPN 260	127	1	0.00	1466	237	303	369	435	501	567
		2	3.53	1247	227	283	339	396	452	508
		3	7.05	1028	216	263	309	355	401	448
		4	10.6	809	205	241	278	314	350	387
		5	14.1	589	192	219	246	272	299	325
		6	37.6	478	185	206	228	249	271	292
		7	59.1	366	175	191	208	224	241	257
IPN 280	156	1	0.00	1678	287	362	438	513	589	664
		2	3.80	1429	275	340	404	468	532	597
		3	7.60	1180	263	316	369	422	475	528
		4	11.4	931	249	291	333	375	417	459
		5	15.2	683	235	266	297	327	358	389
		6	40.8	551	226	251	276	300	325	350
		7	64.5	419	214	233	252	270	289	308
IPN 300	189	1	0.00	1898	342	427	512	598	683	768
		2	4.05	1619	329	401	474	547	620	693
		3	8.10	1341	314	375	435	495	556	616
		4	12.2	1062	299	347	395	443	491	538
		5	16.2	784	283	319	354	389	424	460
		6	44.1	629	272	300	329	357	385	414
		7	70.1	474	257	279	300	321	343	364

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

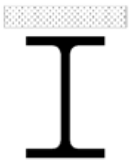
IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 320	226	1	0.00	2137	404	500	596	692	788	885
		2	4.33	1825	389	471	553	636	718	800
		3	8.65	1514	373	441	510	578	646	714
		4	13.0	1202	356	410	464	519	573	627
		5	17.3	890	338	378	418	458	498	538
		6	47.4	712	325	357	389	421	453	485
		7	75.5	534	307	331	355	379	403	427
IPN 340	267	1	0.00	2384	472	579	687	794	901	1009
		2	4.58	2040	456	548	639	731	823	915
		3	9.15	1695	438	514	591	667	743	820
		4	13.7	1350	419	480	541	601	662	723
		5	18.3	1005	399	444	489	534	580	625
		6	50.7	801	383	419	455	491	527	563
		7	81.2	596	362	388	415	442	469	496
IPN 360	316	1	0.00	2668	552	672	792	912	1032	1152
		2	4.88	2284	534	637	740	842	945	1048
		3	9.75	1901	514	600	685	771	856	942
		4	14.6	1517	493	561	629	698	766	834
		5	19.5	1134	470	521	572	623	674	725
		6	54.1	900	451	492	532	573	613	654
		7	86.7	667	426	456	486	516	546	576
IPN 380	367	1	0.00	2943	636	768	900	1033	1165	1298
		2	5.13	2523	616	729	843	956	1070	1183
		3	10.3	2103	594	689	783	878	972	1067
		4	15.4	1683	570	646	722	797	873	949
		5	20.5	1263	544	601	658	715	772	829
		6	57.4	999	523	568	613	658	703	748
		7	92.4	736	494	527	560	593	626	659
IPN 400	424	1	0.00	3245	730	876	1022	1168	1314	1460
		2	5.40	2785	708	834	959	1084	1210	1335
		3	10.8	2324	684	789	893	998	1103	1207
		4	16.2	1864	658	742	826	910	993	1077
		5	21.6	1404	629	693	756	819	882	945
		6	60.2	1107	605	655	705	755	804	854
		7	97.6	811	571	607	644	680	717	753
IPN 450	594	1	0.00	4043	1001	1182	1364	1546	1728	1910
		2	6.08	3474	973	1130	1286	1442	1599	1755
		3	12.2	2906	943	1074	1205	1336	1466	1597
		4	18.2	2338	910	1015	1120	1226	1331	1436
		5	24.3	1770	873	953	1033	1112	1192	1272
		6	68.9	1391	840	903	965	1028	1090	1153
		7	112	1011	792	838	883	929	974	1020

a=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,bY1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı, cY2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.2.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S275 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =275 MPa

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 500	802	1	0.00	4923	1329	1551	1772	1994	2215	2437
		2	6.75	4236	1296	1487	1677	1868	2059	2249
		3	13.5	3549	1259	1419	1578	1738	1898	2057
		4	20.3	2862	1218	1346	1475	1604	1733	1862
		5	27.0	2175	1172	1270	1368	1466	1564	1662
		6	78.0	1703	1128	1205	1281	1358	1435	1511
		7	126	1231	1063	1119	1174	1230	1285	1340
IPN 550	1049	1	0.00	5830	1705	1968	2230	2492	2755	3017
		2	7.50	5005	1665	1891	2116	2341	2566	2791
		3	15.0	4180	1620	1808	1996	2184	2372	2560
		4	22.5	3355	1569	1720	1871	2022	2173	2324
		5	30.0	2530	1512	1626	1740	1854	1968	2081
		6	84.2	1994	1460	1550	1639	1729	1819	1909
		7	136	1458	1383	1448	1514	1580	1645	1711
IPN 600	1349	1	0.00	6985	2200	2515	2829	3143	3458	3772
		2	8.10	6027	2154	2425	2696	2967	3239	3510
		3	16.2	5069	2100	2328	2556	2784	3013	3241
		4	24.3	4112	2040	2225	2410	2595	2780	2965
		5	32.4	3154	1972	2114	2256	2398	2540	2682
		6	93.8	2450	1900	2010	2120	2231	2341	2451
		7	153	1746	1790	1869	1947	2026	2104	2183

a=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,bY1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı, cY2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 A	26.5	1	0	753	66.4	100	134	168	202	236
		2	2.00	611	59.9	87.3	115	142	170	197
		3	4.00	469	53.1	74.2	95.3	116	137	159
		4	6.00	327	46.1	60.8	75.5	90	105	120
		5	8.00	185	38.8	47.1	55.4	63.7	72.0	80.3
		6								
		7								
HE 120 A	38.2	1	0.00	898	86.5	127	167	208	248	289
		2	2.00	728	78.7	111	144	177	210	242
		3	4.00	557	70.5	95.6	121	146	171	196
		4	6.00	387	62.1	79.5	96.9	114	132	149
		5	8.00	217	53.4	63.1	72.9	82.6	92.3	102
		6								
		7								
HE 140 A	55.4	1	0.00	1115	117	167	217	267	318	368
		2	2.13	903	107	148	188	229	270	310
		3	4.25	692	97	128	159	191	222	253
		4	6.38	481	87	108	130	151	173	195
		5	8.50	270	76	88	100	112	124	136
		6								
		7								
HE 160 A	78.3	1	0.00	1377	156	218	280	342	404	466
		2	2.25	1122	144	195	245	296	346	397
		3	4.50	866	132	171	210	249	288	327
		4	6.75	611	119	147	174	202	229	257
		5	9.00	355	106	122	138	154	170	186
		6	9.60	350	106	121	137	153	169	184
		7	10.2	344	106	121	137	152	168	183
HE 180 A	104	1	0.00	1608	196	268	341	413	486	558
		2	2.38	1305	182	241	300	358	417	476
		3	4.75	1001	167	213	258	303	348	393
		4	7.13	698	152	184	215	246	278	309
		5	9.50	394	136	154	172	189	207	225
		6								
		7								
HE 200 A	137	1	0.00	1910	249	335	421	507	593	679
		2	2.50	1555	233	303	373	443	513	583
		3	5.00	1200	216	270	324	378	432	486
		4	7.50	845	198	236	274	312	350	388
		5	10.0	490	179	201	223	245	267	289
		6	10.6	484	179	200	222	244	266	287
		7	11.2	477	178	200	221	243	264	286

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 A	182	1	0.00	2283	318	421	524	627	729	832
		2	2.75	1853	299	382	465	549	632	716
		3	5.50	1424	278	342	406	470	534	598
		4	8.25	994	256	300	345	390	435	479
		5	11.0	564	233	258	283	309	334	360
		6								
		7								
HE 240 A	238	1	0.00	2726	405	528	650	773	896	1018
		2	3.00	2215	381	481	581	680	780	880
		3	6.00	1704	356	433	509	586	663	740
		4	9.00	1193	330	383	437	491	544	598
		5	12.0	682	302	332	363	394	425	455
		6								
		7								
HE 260 A	294	1	0.00	3081	485	624	763	901	1040	1179
		2	3.13	2505	459	571	684	797	909	1022
		3	6.25	1928	430	517	604	690	777	864
		4	9.38	1351	400	461	522	582	643	704
		5	12.5	774	369	403	438	473	508	543
		6	12.6	772	368	403	438	473	507	542
		7	12.8	770	368	403	438	472	507	542
HE 280 A	355	1	0.00	3454	575	731	886	1041	1197	1352
		2	3.25	2808	545	671	798	924	1051	1177
		3	6.50	2162	513	610	708	805	902	1000
		4	9.75	1516	479	548	616	684	752	820
		5	13.0	870	444	483	522	561	600	639
		6	13.2	867	444	483	522	561	600	639
		7	13.5	864	443	482	521	560	599	638
HE 300 A	442	1	0.00	3994	701	881	1060	1240	1420	1599
		2	3.50	3248	666	812	959	1105	1251	1397
		3	7.00	2503	629	742	854	967	1080	1192
		4	10.5	1757	590	669	748	827	906	985
		5	14.0	1012	548	593	639	685	730	776
		6	14.5	1005	548	593	638	683	728	774
		7	14.9	998	547	592	637	682	727	772
HE 320 A	520	1	0.00	4416	815	1014	1212	1411	1610	1808
		2	3.88	3591	776	938	1099	1261	1423	1584
		3	7.75	2765	735	859	984	1108	1233	1357
		4	11.6	1940	690	778	865	952	1040	1127
		5	15.5	1115	643	693	744	794	844	894
		6	15.9	1109	643	693	743	793	843	892
		7	16.2	1104	643	692	742	792	841	891

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 A	591	1	0.00	4739	917	1130	1344	1557	1770	1983
		2	4.13	3861	876	1050	1223	1397	1571	1745
		3	8.25	2982	831	966	1100	1234	1368	1502
		4	12.4	2103	784	878	973	1068	1162	1257
		5	16.5	1225	733	788	843	898	953	1008
		6	17.8	1205	732	786	840	894	948	1003
		7	19.2	1185	731	784	837	891	944	997
HE 360 A	667	1	0.00	5069	1027	1255	1483	1711	1939	2167
		2	4.38	4138	983	1169	1355	1541	1728	1914
		3	8.75	3206	935	1080	1224	1368	1512	1657
		4	13.1	2274	884	987	1089	1191	1294	1396
		5	17.5	1342	829	890	950	1011	1071	1131
		6	19.9	1305	827	886	945	1003	1062	1121
		7	22.3	1267	825	882	939	996	1053	1111
HE 400 A	819	1	0.00	5645	1245	1499	1753	2007	2261	2515
		2	4.75	4633	1197	1405	1614	1822	2031	2239
		3	9.50	3621	1145	1308	1471	1634	1797	1960
		4	14.3	2609	1089	1206	1323	1441	1558	1676
		5	19.0	1598	1028	1100	1172	1244	1315	1387
		6	24.8	1504	1022	1090	1157	1225	1293	1360
		7	30.6	1411	1016	1079	1143	1206	1270	1333
HE 450 A	1028	1	0.00	6319	1536	1820	2104	2389	2673	2957
		2	5.25	5201	1483	1717	1951	2185	2419	2653
		3	10.5	4083	1424	1608	1792	1975	2159	2343
		4	15.8	2964	1361	1494	1628	1761	1894	2028
		5	21.0	1846	1292	1375	1458	1541	1624	1707
		6	29.1	1713	1283	1360	1437	1514	1591	1668
		7	37.3	1580	1272	1343	1415	1486	1557	1628
HE 500 A	1262	1	0.00	7011	1861	2177	2492	2808	3124	3439
		2	5.75	5787	1803	2064	2324	2584	2845	3105
		3	11.5	4562	1739	1944	2149	2354	2560	2765
		4	17.3	3337	1668	1818	1968	2118	2268	2418
		5	23.0	2112	1590	1685	1780	1875	1971	2066
		6	33.8	1933	1578	1665	1752	1839	1926	2012
		7	44.5	1753	1561	1640	1718	1797	1876	1955
HE 550 A	1477	1	0.00	7519	2165	2504	2842	3180	3519	3857
		2	6.00	6241	2104	2385	2666	2947	3228	3509
		3	12.0	4963	2037	2260	2483	2707	2930	3153
		4	18.0	3685	1962	2128	2293	2459	2625	2791
		5	24.0	2407	1880	1989	2097	2205	2313	2422
		6	39.4	2143	1861	1957	2054	2150	2247	2343
		7	58.2	1880	1838	1922	2007	2091	2176	2261

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEA

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 A	1709	1	0.00	8041	2497	2858	3220	3582	3944	4306
		2	6.25	6710	2433	2735	3037	3339	3641	3943
		3	12.5	5378	2362	2604	2846	3088	3330	3572
		4	18.8	4047	2283	2465	2647	2830	3012	3194
		5	25.0	2716	2197	2319	2442	2564	2686	2808
		6	45.1	2363	2170	2276	2383	2489	2595	2702
		7	77.2	2010	2135	2226	2316	2407	2497	2588
HE 650 A	1960	1	0.00	8577	2856	3242	3628	4014	4400	4786
		2	6.50	7192	2790	3113	3437	3761	4084	4408
		3	13.0	5808	2715	2977	3238	3499	3761	4022
		4	19.5	4423	2633	2832	3031	3230	3429	3628
		5	26.0	3039	2542	2679	2816	2952	3089	3226
		6	51.2	2592	2506	2623	2740	2856	2973	3089
		7	96.3	2144	2457	2553	2650	2746	2843	2939
HE 700 A	2247	1	0.00	9248	3288	3704	4120	4536	4952	5368
		2	6.75	7810	3219	3570	3921	4273	4624	4976
		3	13.5	6372	3141	3427	3714	4001	4288	4574
		4	20.3	4935	3054	3276	3498	3720	3942	4164
		5	27.0	3497	2959	3116	3274	3431	3588	3746
		6	62.9	2904	2909	3040	3171	3301	3432	3563
		7	120.4	2312	2834	2938	3042	3146	3250	3354
HE 800 A	2779	1	0.00	10146	4063	4520	4977	5433	5890	6346
		2	7.00	8655	3992	4381	4771	5160	5550	5939
		3	14.0	7164	3910	4233	4555	4878	5200	5522
		4	21.0	5673	3820	4075	4330	4586	4841	5096
		5	28.0	4182	3720	3908	4096	4284	4473	4661
		6	79.6	3359	3646	3797	3948	4099	4250	4402
		7	156.8	2536	3521	3635	3749	3864	3978	4092
HE 900 A	3454	1	0.00	11378	5069	5581	6093	6605	7117	7629
		2	7.50	9780	4992	5432	5872	6312	6752	7192
		3	15.0	8183	4903	5272	5640	6008	6376	6745
		4	22.5	6585	4805	5101	5397	5694	5990	6286
		5	30.0	4988	4695	4919	5144	5368	5593	5817
		6	100	3916	4589	4765	4941	5118	5294	5470
		7	195	2844	4398	4526	4654	4782	4910	5038
HE 1000 A	4096	1	0.00	12311	6039	6593	7147	7701	8255	8809
		2	7.75	10661	5959	6438	6918	7398	7878	8357
		3	15.5	9010	5867	6273	6678	7083	7489	7894
		4	23.3	7359	5764	6095	6426	6758	7089	7420
		5	31.0	5708	5649	5906	6163	6420	6677	6934
		6	120	4393	5508	5706	5904	6101	6299	6497
		7	232	3078	5240	5379	5517	5656	5794	5933

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 B	33.3	1	0	923	83.1	125	166	208	249	291
		2	2.50	746	74.9	108	142	176	209	243
		3	5.00	568	66.3	91.9	117	143	169	194
		4	7.50	391	57.3	74.9	92.5	110	128	145
		5	10.00	213	47.9	57.5	67.1	76.7	86.3	95.9
		6								
		7								
HE 120 B	52.8	1	0.00	1207	119	174	228	282	337	391
		2	2.75	973	109	152	196	240	284	328
		3	5.50	738	97.2	130	164	197	230	263
		4	8.25	504	85.3	108	131	153	176	199
		5	11.00	270	72.7	84.8	97.0	109	121	133
		6								
		7								
HE 140 B	78.4	1	0.00	1527	165	234	302	371	440	508
		2	3.00	1228	151	206	262	317	372	427
		3	6.00	930	136	178	220	262	304	346
		4	9.00	632	121	149	178	206	235	263
		5	12.00	334	105	120	135	150	165	180
		6								
		7								
HE 160 B	113	1	0.00	1928	226	312	399	486	573	659
		2	3.25	1558	208	279	349	419	489	559
		3	6.50	1189	190	244	297	351	404	458
		4	9.75	820	171	208	245	282	318	355
		5	13.00	451	150	171	191	211	232	252
		6								
		7								
HE 180 B	154	1	0.00	2318	292	396	501	605	709	814
		2	3.50	1871	271	355	440	524	608	692
		3	7.00	1424	249	313	377	441	505	569
		4	10.50	976	225	269	313	357	401	445
		5	14.00	529	200	224	248	272	296	319
		6								
		7								
HE 200 B	205	1	0.00	2773	374	499	624	749	873	998
		2	3.75	2240	349	450	551	652	753	853
		3	7.50	1708	323	400	476	553	630	707
		4	11.25	1175	294	347	400	453	506	559
		5	15.00	643	264	293	322	351	380	409
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 B	264	1	0.00	3231	465	611	756	901	1047	1192
		2	4.00	2606	436	553	670	788	905	1022
		3	8.00	1981	404	494	583	672	761	850
		4	12.0	1356	371	432	493	554	615	676
		5	16.0	731	335	368	401	433	466	499
		6								
		7								
HE 240 B	336	1	0.0	3763	576	745	914	1084	1253	1422
		2	4.3	3039	542	679	815	952	1089	1225
		3	8.5	2315	505	609	713	817	922	1026
		4	12.8	1590	466	537	609	680	752	823
		5	17.0	866	423	462	501	540	579	618
		6								
		7								
HE 260 B	410	1	0.00	4203	681	870	1059	1248	1437	1627
		2	4.38	3396	643	796	949	1101	1254	1407
		3	8.75	2588	602	718	835	951	1068	1184
		4	13.1	1780	558	638	718	798	878	958
		5	17.5	973	510	554	598	641	685	729
		6								
		7								
HE 280 B	490	1	0.00	4665	798	1008	1217	1427	1637	1847
		2	4.50	3770	756	925	1095	1265	1434	1604
		3	9.00	2876	710	839	969	1098	1227	1357
		4	13.5	1981	661	750	839	928	1017	1106
		5	18.0	1086	608	657	705	754	803	852
		6								
		7								
HE 300 B	597	1	0.00	5293	953	1191	1429	1667	1905	2144
		2	4.75	4281	905	1098	1290	1483	1676	1868
		3	9.50	3270	853	1000	1147	1294	1442	1589
		4	14.3	2258	797	898	1000	1102	1203	1305
		5	19.0	1246	736	792	848	904	960	1016
		6								
		7								
HE 320 B	687	1	0.00	5726	1082	1340	1598	1855	2113	2371
		2	5.13	4635	1031	1239	1448	1656	1865	2073
		3	10.3	3543	974	1133	1293	1452	1612	1771
		4	15.4	2451	912	1023	1133	1243	1353	1464
		5	20.5	1360	845	907	968	1029	1090	1151
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 B	769	1	0.00	6067	1201	1474	1747	2020	2293	2566
		2	5.38	4922	1147	1368	1590	1811	2033	2254
		3	10.8	3777	1087	1257	1427	1597	1767	1937
		4	16.1	2632	1022	1140	1259	1377	1496	1614
		5	21.5	1487	951	1018	1085	1152	1219	1286
		6								
		7								
HE 360 B	857	1	0.00	6411	1327	1616	1904	2193	2481	2770
		2	5.63	5213	1270	1505	1739	1974	2209	2443
		3	11.3	4015	1207	1388	1569	1749	1930	2111
		4	16.9	2817	1138	1265	1392	1518	1645	1772
		5	22.5	1619	1063	1136	1209	1281	1354	1427
		6	23.0	1611	1062	1135	1207	1280	1352	1425
		7	23.4	1603	1062	1134	1206	1278	1351	1423
HE 400 B	1033	1	0.00	7022	1580	1896	2212	2528	2844	3160
		2	6.00	5744	1519	1777	2036	2294	2553	2811
		3	12.0	4466	1451	1652	1853	2054	2255	2456
		4	18.0	3188	1376	1520	1663	1807	1950	2094
		5	24.0	1910	1295	1381	1467	1553	1638	1724
		6	28.3	1833	1289	1372	1454	1537	1619	1702
		7	32.7	1755	1284	1363	1442	1521	1600	1679
HE 450 B	1272	1	0.00	7739	1915	2264	2612	2960	3308	3657
		2	6.50	6355	1849	2135	2421	2707	2993	3279
		3	13.0	4970	1775	1998	2222	2446	2669	2893
		4	19.5	3586	1692	1853	2015	2176	2337	2499
		5	26.0	2201	1601	1700	1799	1899	1998	2097
		6	33.3	2068	1592	1685	1778	1871	1964	2057
		7	40.6	1935	1581	1668	1755	1842	1929	2016
HE 500 B	1538	1	0.00	8470	2287	2668	3049	3430	3812	4193
		2	7.00	6979	2215	2529	2843	3157	3471	3786
		3	14.0	5488	2134	2381	2628	2875	3122	3369
		4	21.0	3997	2043	2223	2403	2583	2763	2943
		5	28.0	2506	1943	2056	2169	2282	2395	2507
		6	38.5	2312	1929	2033	2137	2241	2345	2449
		7	49.0	2118	1910	2005	2100	2196	2291	2386
HE 550 B	1786	1	0.00	9021	2639	3044	3450	3856	4262	4668
		2	7.25	7476	2564	2900	3237	3573	3910	4246
		3	14.5	5932	2479	2746	3013	3280	3547	3814
		4	21.8	4388	2385	2582	2780	2977	3174	3372
		5	29.0	2844	2280	2408	2536	2664	2792	2920
		6	44.5	2549	2257	2372	2486	2601	2716	2831
		7	63.3	2255	2230	2331	2433	2534	2636	2737

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEB

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 B	2053	1	0.00	9585	3019	3451	3882	4313	4745	5176
		2	7.50	7988	2942	3301	3661	4020	4380	4739
		3	15.0	6390	2854	3141	3429	3717	4004	4292
		4	22.5	4793	2755	2971	3186	3402	3618	3833
		5	30.0	3195	2645	2789	2933	3077	3221	3364
		6	50.7	2796	2613	2739	2865	2990	3116	3242
		7	82.3	2396	2572	2680	2787	2895	3003	3111
HE 650 B	2339	1	0.00	10164	3430	3888	4345	4802	5260	5717
		2	7.75	8513	3350	3733	4116	4499	4883	5266
		3	15.5	6862	3259	3567	3876	4185	4494	4803
		4	23.3	5211	3156	3390	3625	3859	4094	4328
		5	31.0	3561	3041	3201	3361	3522	3682	3842
		6	57.1	3051	2998	3135	3272	3410	3547	3684
		7	101	2541	2939	3053	3167	3282	3396	3510
HE 700 B	2660	1	0.00	10877	3916	4405	4895	5384	5874	6363
		2	8.00	9173	3833	4246	4659	5071	5484	5897
		3	16.0	7469	3738	4074	4410	4746	5082	5418
		4	24.0	5765	3631	3890	4149	4409	4668	4928
		5	32.0	4061	3511	3694	3876	4059	4242	4425
		6	69.1	3390	3451	3604	3756	3909	4061	4214
		7	125	2719	3363	3485	3607	3730	3852	3974
HE 800 B	3268	1	0.00	11864	4805	5339	5873	6407	6940	7474
		2	8.00	10107	4719	5174	5629	6084	6539	6993
		3	16.0	8350	4621	4996	5372	5748	6124	6499
		4	24.0	6592	4509	4806	5102	5399	5696	5992
		5	32.0	4835	4384	4602	4819	5037	5255	5472
		6	69.1	3901	4295	4471	4646	4822	4997	5173
		7	125	2966	4149	4282	4416	4549	4683	4816
HE 900 B	4019	1	0.00	13181	5932	6525	7118	7711	8304	8897
		2	8.25	11317	5840	6350	6859	7368	7877	8387
		3	16.5	9454	5734	6160	6585	7011	7436	7861
		4	24.8	7590	5614	5955	6297	6639	6980	7322
		5	33.0	5726	5479	5736	5994	6252	6509	6767
		6	86.1	4511	5352	5555	5758	5961	6164	6367
		7	161	3295	5130	5278	5426	5575	5723	5871
HE 1000 B	4748	1	0.00	14200	7029	7668	8307	8946	9585	10224
		2	8.75	12283	6935	7488	8040	8593	9146	9699
		3	17.5	10366	6825	7292	7758	8225	8691	9158
		4	26.3	8449	6700	7081	7461	7841	8221	8601
		5	35.0	6532	6560	6854	7148	7442	7735	8029
		6	107	5041	6391	6618	6845	7072	7298	7525
		7	199	3550	6080	6240	6400	6560	6719	6879

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 100 M	75.3	1	0	1889	187	272	357	442	527	612
		2	5.00	1512	169	237	305	373	441	509
		3	10.0	1136	150	201	252	303	354	405
		4	15.0	760	129	163	197	231	265	299
		5	20.0	383	106	123	140	157	175	192
		6								
		7								
HE 120 M	112	1	0.00	2357	255	361	467	573	679	785
		2	5.25	1888	232	317	402	487	572	657
		3	10.5	1418	208	272	335	399	463	527
		4	15.8	948	181	224	267	309	352	395
		5	21.0	479	152	174	195	217	238	260
		6								
		7								
HE 140 M	158	1	0.00	2861	335	464	592	721	850	979
		2	5.50	2291	308	411	514	617	720	823
		3	11.0	1721	278	355	433	510	588	665
		4	16.5	1151	245	297	349	400	452	504
		5	22.0	581	210	236	262	288	314	340
		6								
		7								
HE 160 M	216	1	0.00	3447	434	589	745	900	1055	1210
		2	5.75	2769	402	527	651	776	901	1025
		3	11.5	2092	366	460	555	649	743	837
		4	17.3	1414	327	391	454	518	582	645
		5	23.0	736	284	317	351	384	417	450
		6								
		7								
HE 180 M	282	1	0.00	4022	543	724	905	1086	1267	1448
		2	6.00	3230	505	651	796	941	1087	1232
		3	12.0	2437	463	573	682	792	902	1012
		4	18.0	1645	417	491	565	639	713	787
		5	24.0	853	366	405	443	481	520	558
		6								
		7								
HE 200 M	363	1	0.00	4661	671	881	1091	1300	1510	1720
		2	6.25	3747	627	796	965	1133	1302	1471
		3	12.5	2833	579	706	834	961	1089	1216
		4	18.8	1919	525	611	697	784	870	956
		5	25.0	1005	466	511	556	601	646	692
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 220 M	453	1	0.00	5304	811	1050	1289	1527	1766	2005
		2	6.50	4261	761	953	1145	1337	1528	1720
		3	13.0	3218	705	850	995	1140	1285	1429
		4	19.5	2175	643	741	839	937	1035	1133
		5	26.0	1132	575	626	677	728	779	830
		6								
		7								
HE 240 M	676	1	0.00	7086	1180	1499	1818	2136	2455	2774
		2	8.00	5677	1111	1367	1622	1878	2133	2389
		3	16.0	4269	1033	1225	1417	1609	1801	1993
		4	24.0	2860	944	1073	1201	1330	1459	1587
		5	32.0	1451	845	910	976	1041	1106	1172
		6								
		7								
HE 260 M	806	1	0.00	7796	1368	1719	2070	2421	2771	3122
		2	8.13	6250	1293	1574	1855	2137	2418	2699
		3	16.3	4704	1206	1418	1630	1841	2053	2265
		4	24.4	3158	1109	1251	1393	1535	1677	1819
		5	32.5	1612	999	1072	1144	1217	1290	1362
		6								
		7								
HE 280 M	948	1	0.00	8527	1573	1957	2341	2724	3108	3492
		2	8.25	6840	1491	1799	2107	2414	2722	3030
		3	16.5	5153	1396	1628	1860	2092	2324	2556
		4	24.8	3466	1289	1445	1601	1757	1913	2069
		5	33.0	1779	1169	1249	1330	1410	1490	1570
		6								
		7								
HE 300 M	1303	1	0.00	10760	2130	2615	3099	3583	4067	4552
		2	9.75	8614	2025	2412	2800	3187	3575	3963
		3	19.5	6468	1900	2191	2482	2773	3064	3355
		4	29.3	4322	1756	1951	2145	2340	2534	2729
		5	39.0	2176	1594	1691	1789	1887	1985	2083
		6								
		7								
HE 320 M	1417	1	0.00	11076	2288	2786	3285	3783	4281	4780
		2	10.0	8882	2179	2579	2979	3378	3778	4178
		3	20.0	6688	2051	2352	2653	2954	3255	3556
		4	30.0	4494	1903	2105	2307	2509	2712	2914
		5	40.0	2300	1735	1838	1942	2045	2149	2252
		6								
		7								

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 340 M	1507	1	0.00	11211	2406	2911	3415	3920	4424	4929
		2	10.0	9017	2298	2704	3109	3515	3921	4327
		3	20.0	6823	2169	2477	2784	3091	3398	3705
		4	30.0	4629	2021	2230	2438	2646	2855	3063
		5	40.0	2435	1854	1963	2073	2182	2292	2401
		6								
		7								
HE 360 M	1594	1	0.00	11317	2521	3030	3540	4049	4558	5067
		2	10.0	9131	2413	2824	3234	3645	4056	4467
		3	20.0	6944	2285	2597	2910	3222	3535	3847
		4	30.0	4757	2137	2351	2565	2779	2993	3207
		5	40.0	2570	1970	2086	2201	2317	2433	2548
		6								
		7								
HE 400 M	1780	1	0.00	11566	2769	3289	3810	4330	4851	5371
		2	10.0	9386	2661	3083	3506	3928	4350	4773
		3	20.0	7207	2533	2858	3182	3506	3831	4155
		4	30.0	5027	2386	2613	2839	3065	3291	3517
		5	40.0	2847	2220	2348	2476	2604	2732	2860
		6								
		7								
HE 450 M	2023	1	0.00	11907	3097	3633	4169	4704	5240	5776
		2	10.0	9727	2989	3427	3864	4302	4740	5178
		3	20.0	7547	2862	3201	3541	3880	4220	4560
		4	30.0	5368	2714	2956	3197	3439	3681	3922
		5	40.0	3188	2548	2691	2835	2978	3121	3265
		6	44.6	3082	2539	2678	2816	2955	3094	3232
		7	49.1	2977	2530	2664	2798	2932	3066	3200
HE 500 M	2267	1	0.00	12223	3432	3982	4532	5082	5632	6182
		2	10.0	10050	3325	3777	4229	4681	5134	5586
		3	20.0	7877	3197	3552	3906	4261	4615	4970
		4	30.0	5705	3051	3308	3564	3821	4078	4334
		5	40.0	3532	2885	3044	3203	3361	3520	3679
		6	50.3	3294	2864	3012	3161	3309	3457	3605
		7	60.6	3056	2839	2976	3114	3251	3389	3526
HE 550 M	2535	1	0.00	12581	3805	4371	4937	5503	6069	6635
		2	10.0	10409	3697	4165	4634	5102	5571	6039
		3	20.0	8236	3570	3941	4311	4682	5052	5423
		4	30.0	6063	3423	3696	3969	4242	4515	4788
		5	40.0	3891	3257	3432	3607	3782	3957	4132
		6	56.1	3518	3224	3382	3541	3699	3857	4016
		7	75.0	3145	3186	3327	3469	3610	3752	3893

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

HEM

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
HE 600 M	2803	1	0.00	12911	4183	4764	5345	5926	6507	7088
		2	10.0	10746	4076	4560	5043	5527	6010	6494
		3	20.0	8580	3949	4336	4722	5108	5494	5880
		4	30.0	6415	3803	4092	4381	4669	4958	5247
		5	40.0	4249	3638	3829	4020	4211	4402	4594
		6	62.0	3739	3591	3759	3928	4096	4264	4432
		7	93.5	3228	3533	3678	3823	3969	4114	4259
HE 650 M	3085	1	0.00	13266	4585	5182	5779	6376	6973	7570
		2	10.0	11101	4478	4977	5477	5976	6476	6975
		3	20.0	8935	4351	4753	5155	5557	5959	6361
		4	30.0	6770	4205	4509	4814	5119	5423	5728
		5	40.0	4604	4039	4246	4454	4661	4868	5075
		6	68.4	3960	3979	4157	4335	4514	4692	4870
		7	112	3317	3898	4047	4196	4346	4495	4644
HE 700 M	3368	1	0.00	13597	4993	5604	6216	6828	7440	8052
		2	10.0	11438	4886	5401	5915	6430	6945	7459
		3	20.0	9280	4760	5177	5595	6012	6430	6847
		4	30.0	7121	4614	4934	5255	5575	5896	6216
		5	40.0	4963	4449	4672	4895	5119	5342	5565
		6	77.6	4181	4373	4561	4750	4938	5126	5314
		7	130	3399	4265	4418	4571	4724	4877	5030
HE 800 M	3991	1	0.00	14353	5903	6549	7195	7841	8487	9133
		2	10.0	12201	5797	6346	6895	7444	7993	8542
		3	20.0	10050	5671	6123	6575	7028	7480	7932
		4	30.0	7899	5526	5881	6237	6592	6947	7303
		5	40.0	5747	5361	5620	5878	6137	6396	6654
		6	93.9	4668	5250	5460	5671	5881	6091	6301
		7	166	3588	5075	5237	5398	5560	5721	5883
HE 900 M	4614	1	0.00	15038	6835	7511	8188	8865	9541	10218
		2	10.0	12894	6729	7309	7889	8469	9049	9630
		3	20.0	10749	6603	7087	7571	8054	8538	9022
		4	30.0	8605	6458	6846	7233	7620	8007	8395
		5	40.0	6461	6294	6585	6876	7167	7457	7748
		6	112.3	5110	6146	6376	6606	6836	7066	7296
		7	202.9	3759	5894	6063	6232	6401	6571	6740
HE 1000 M	5294	1	0.00	15769	7862	8572	9282	9991	10701	11411
		2	10.0	13625	7756	8369	8983	9596	10209	10822
		3	20.0	11481	7631	8148	8664	9181	9697	10214
		4	30.0	9337	7486	7906	8326	8747	9167	9587
		5	40	7192	7322	7646	7969	8293	8617	8940
		6	131	5567	7132	7382	7633	7883	8134	8384
		7	240	3942	6788	6965	7143	7320	7497	7675

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 80	7.41	1	0	270	21.9	34.0	46.1	58.3	70.4	82.6
		2	1.30	227	19.9	30.1	40.4	50.6	60.8	71.1
		3	2.60	185	17.9	26.3	34.6	42.9	51.2	59.5
		4	3.90	142	15.9	22.3	28.7	35.1	41.5	47.9
		5	5.20	100	13.8	18.3	22.8	27.3	31.8	36.3
		6	9.35	83.7	13.0	16.7	20.5	24.3	28.0	31.8
		7	15.0	67.5	12.1	15.1	18.1	21.2	24.2	27.2
IPE 100	12.6	1	0.00	366	32.9	49.4	65.8	82.3	98.7	115
		2	1.43	310	30.4	44.3	58.3	72.2	86.2	100
		3	2.85	254	27.8	39.2	50.6	62.1	73.5	85.0
		4	4.28	199	25.1	34.0	43.0	51.9	60.8	69.8
		5	5.70	143	22.3	28.8	35.2	41.6	48.1	54.5
		6	10.9	117	21.0	26.2	31.5	36.8	42.1	47.3
		7	18.6	91.4	19.5	23.6	27.7	31.8	35.9	40.0
IPE 120	19.4	1	0.00	469	46.4	67.5	88.6	110	131	152
		2	1.58	397	43.1	61.0	78.9	96.7	115	132
		3	3.15	325	39.7	54.4	69.0	83.7	98.3	113
		4	4.73	254	36.3	47.7	59.1	70.5	82.0	93.4
		5	6.30	182	32.7	40.9	49.1	57.3	65.5	73.7
		6	12.6	150	31.0	37.7	44.4	51.2	57.9	64.6
		7	22.5	117	29.0	34.3	39.5	44.8	50.1	55.3
IPE 140	28.2	1	0.00	582	62.9	89.1	115	141	168	194
		2	1.73	493	58.8	81.0	103	125	147	170
		3	3.45	403	54.6	72.7	90.9	109	127	145
		4	5.18	314	50.2	64.3	78.4	92.6	107	121
		5	6.90	225	45.7	55.8	65.9	76.0	86.1	96.2
		6	14.5	185	43.5	51.8	60.2	68.5	76.8	85.2
		7	26.4	146	41.0	47.6	54.1	60.7	67.2	73.8
IPE 160	39.6	1	0.00	714	83.5	116	148	180	212	244
		2	1.85	606	78.5	106	133	160	188	215
		3	3.70	498	73.4	95.8	118	141	163	186
		4	5.55	390	68.1	85.7	103	121	138	156
		5	7.40	283	62.7	75.4	88.1	101	114	126
		6	15.6	231	59.8	70.1	80.5	90.9	101	112
		7	29.8	178	56.4	64.4	72.4	80.5	88.5	96.5
IPE 180	53.0	1	0.00	848	107	145	183	221	260	298
		2	2.00	719	101	133	166	198	230	263
		3	4.00	590	94.8	121	148	174	201	228
		4	6.00	461	88.4	109	130	151	171	192
		5	8.00	332	81.8	96.7	112	127	141	156
		6	17.8	272	78.4	90.6	103	115	127	140
		7	33.6	212	74.3	83.9	93.4	103	113	122

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 80	7.41	1	0	270	21.9	34.0	46.1	58.3	70.4	82.6
		2	1.30	227	19.9	30.1	40.4	50.6	60.8	71.1
		3	2.60	185	17.9	26.3	34.6	42.9	51.2	59.5
		4	3.90	142	15.9	22.3	28.7	35.1	41.5	47.9
		5	5.20	100	13.8	18.3	22.8	27.3	31.8	36.3
		6	9.35	83.7	13.0	16.7	20.5	24.3	28.0	31.8
		7	15.0	67.5	12.1	15.1	18.1	21.2	24.2	27.2
IPE 100	12.6	1	0.00	366	32.9	49.4	65.8	82.3	98.7	115
		2	1.43	310	30.4	44.3	58.3	72.2	86.2	100
		3	2.85	254	27.8	39.2	50.6	62.1	73.5	85.0
		4	4.28	199	25.1	34.0	43.0	51.9	60.8	69.8
		5	5.70	143	22.3	28.8	35.2	41.6	48.1	54.5
		6	10.9	117	21.0	26.2	31.5	36.8	42.1	47.3
		7	18.6	91.4	19.5	23.6	27.7	31.8	35.9	40.0
IPE 120	19.4	1	0.00	469	46.4	67.5	88.6	110	131	152
		2	1.58	397	43.1	61.0	78.9	96.7	115	132
		3	3.15	325	39.7	54.4	69.0	83.7	98.3	113
		4	4.73	254	36.3	47.7	59.1	70.5	82.0	93.4
		5	6.30	182	32.7	40.9	49.1	57.3	65.5	73.7
		6	12.6	150	31.0	37.7	44.4	51.2	57.9	64.6
		7	22.5	117	29.0	34.3	39.5	44.8	50.1	55.3
IPE 140	28.2	1	0.00	582	62.9	89.1	115	141	168	194
		2	1.73	493	58.8	81.0	103	125	147	170
		3	3.45	403	54.6	72.7	90.9	109	127	145
		4	5.18	314	50.2	64.3	78.4	92.6	107	121
		5	6.90	225	45.7	55.8	65.9	76.0	86.1	96.2
		6	14.5	185	43.5	51.8	60.2	68.5	76.8	85.2
		7	26.4	146	41.0	47.6	54.1	60.7	67.2	73.8
IPE 160	39.6	1	0.00	714	83.5	116	148	180	212	244
		2	1.85	606	78.5	106	133	160	188	215
		3	3.70	498	73.4	95.8	118	141	163	186
		4	5.55	390	68.1	85.7	103	121	138	156
		5	7.40	283	62.7	75.4	88.1	101	114	126
		6	15.6	231	59.8	70.1	80.5	90.9	101	112
		7	29.8	178	56.4	64.4	72.4	80.5	88.5	96.5
IPE 180	53.0	1	0.00	848	107	145	183	221	260	298
		2	2.00	719	101	133	166	198	230	263
		3	4.00	590	94.8	121	148	174	201	228
		4	6.00	461	88.4	109	130	151	171	192
		5	8.00	332	81.8	96.7	112	127	141	156
		6	17.8	272	78.4	90.6	103	115	127	140
		7	33.6	212	74.3	83.9	93.4	103	113	122

a=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,bY1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı, cY2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 200	70.6	1	0.00	1012	137	182	228	273	319	364
		2	2.13	861	130	168	207	246	285	323
		3	4.25	710	122	154	186	218	250	282
		4	6.38	559	115	140	165	190	216	241
		5	8.50	408	107	125	144	162	181	199
		6	18.6	331	103	118	132	147	162	177
		7	36.4	253	97.3	109	120	131	143	154
IPE 220	91.1	1	0.00	1186	171	224	277	331	384	438
		2	2.30	1006	162	208	253	298	344	389
		3	4.60	826	154	191	228	265	303	340
		4	6.90	647	145	174	203	232	261	290
		5	9.20	467	135	156	177	199	220	241
		6	20.0	382	130	148	165	182	199	216
		7	39.2	296	124	138	151	164	178	191
IPE 240	117	1	0.00	1388	212	275	337	400	462	525
		2	2.45	1179	203	256	309	362	415	468
		3	4.90	971	193	236	280	324	367	411
		4	7.35	762	182	216	251	285	319	354
		5	9.80	553	171	196	221	246	271	296
		6	17.8	450	166	186	206	226	247	267
		7	41.2	347	158	174	189	205	221	236
IPE 270	155	1	0.00	1629	271	345	418	491	565	638
		2	2.55	1385	260	322	385	447	509	572
		3	5.10	1141	248	300	351	402	453	505
		4	7.65	896	236	276	316	357	397	437
		5	10.2	652	223	252	281	311	340	369
		6	23.6	530	215	239	263	287	311	335
		7	48.1	407	206	224	243	261	279	298
IPE 300	201	1	0.00	1910	344	430	516	602	688	774
		2	2.68	1625	331	404	477	550	623	696
		3	5.35	1340	317	377	437	498	558	618
		4	8.03	1055	302	350	397	445	492	540
		5	10.7	770	287	322	356	391	426	460
		6	26.2	624	278	306	334	362	390	418
		7	55.3	477	266	288	309	331	352	373
IPE 330	257	1	0.00	2222	430	530	630	730	830	930
		2	2.88	1896	415	500	586	671	756	841
		3	5.75	1569	399	470	540	611	681	752
		4	8.63	1243	382	438	494	550	606	662
		5	11.5	916	364	406	447	488	529	571
		6	28.2	736	353	386	419	452	486	519
		7	60.7	556	338	363	388	413	438	463

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

IPE

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPE 360	326	1	0.00	2581	534	650	767	883	999	1115
		2	3.18	2198	516	615	714	813	912	1011
		3	6.35	1814	498	579	661	743	824	906
		4	9.53	1431	478	542	606	671	735	800
		5	12.7	1048	456	504	551	598	645	692
		6	31.0	847	443	482	520	558	596	634
		7	66.4	645	426	455	484	513	542	571
IPE 400	418	1	0.00	3000	675	810	945	1080	1215	1350
		2	3.38	2568	655	770	886	1002	1117	1233
		3	6.75	2137	634	730	826	922	1018	1114
		4	10.1	1706	611	688	764	841	918	995
		5	13.5	1274	587	644	702	759	816	874
		6	34.4	1012	569	615	660	706	752	797
		7	77.2	750	544	578	612	646	679	713
IPE 450	544	1	0.00	3507	868	1026	1184	1342	1499	1657
		2	3.65	3015	845	981	1116	1252	1388	1523
		3	7.30	2523	821	934	1048	1161	1275	1388
		4	11.0	2030	794	886	977	1068	1160	1251
		5	14.6	1538	767	836	905	974	1043	1113
		6	44.1	1207	743	798	852	906	961	1015
		7	93.6	877	708	748	787	826	866	905
IPE 500	701	1	0.00	4100	1107	1292	1476	1661	1845	2030
		2	4.00	3532	1080	1239	1398	1557	1716	1875
		3	8.00	2964	1052	1185	1319	1452	1585	1719
		4	12.0	2396	1021	1129	1237	1345	1453	1560
		5	16.0	1828	988	1071	1153	1235	1318	1400
		6	53.0	1427	959	1023	1087	1151	1216	1280
		7	108	1025	912	958	1004	1050	1096	1142
IPE 550	890	1	0.00	4771	1396	1610	1825	2040	2254	2469
		2	4.30	4130	1365	1551	1737	1923	2109	2295
		3	8.60	3489	1333	1490	1647	1804	1961	2118
		4	12.9	2848	1298	1426	1554	1682	1810	1939
		5	17.2	2207	1260	1360	1459	1558	1658	1757
		6	59.3	1700	1221	1298	1374	1451	1527	1604
		7	124	1193	1157	1211	1264	1318	1372	1425
IPE 600	1122	1	0.00	5538	1744	1994	2243	2492	2741	2991
		2	4.75	4796	1709	1925	2141	2357	2573	2789
		3	9.50	4054	1671	1854	2036	2219	2401	2584
		4	14.3	3312	1630	1779	1928	2077	2226	2375
		5	19.0	2570	1586	1701	1817	1933	2048	2164
		6	67.9	1977	1538	1627	1716	1805	1894	1983
		7	138	1385	1456	1518	1581	1643	1705	1768

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 80	7.28	1	0	269	21.8	33.9	46.0	58.0	70.1	82.2
		2	1.48	225	19.8	29.9	40.0	50.1	60.2	70.3
		3	2.95	181	17.7	25.8	34.0	42.1	50.2	58.4
		4	4.43	137	15.6	21.7	27.9	34.0	40.2	46.3
		5	5.90	93	13.4	17.6	21.7	25.9	30.1	34.3
		6	11.1	80	12.7	16.3	19.9	23.5	27.1	30.7
		7	15.7	67	12.0	15.0	18.0	21.0	24.1	27.1
IPN 100	12.7	1	0	376	33.9	50.8	67.7	84.7	102	119
		2	1.70	316	31.1	45.3	59.5	73.8	88.0	102
		3	3.40	256	28.3	39.8	51.3	62.8	74.3	85.8
		4	5.10	195	25.3	34.1	42.9	51.7	60.4	69.2
		5	6.80	135	22.3	28.3	34.4	40.5	46.5	52.6
		6	14.2	114	21.2	26.3	31.5	36.6	41.8	46.9
		7	20.6	94	19.9	24.1	28.4	32.6	36.8	41.1
IPN 120	20.3	1	0	504	49.9	72.6	95.3	118	141	163
		2	1.93	425	46.3	65.4	84.5	104	123	142
		3	3.85	346	42.5	58.0	73.6	89.1	105	120
		4	5.78	266	38.6	50.6	62.6	74.5	86.5	98.5
		5	7.70	187	34.5	43.0	51.4	59.8	68.2	76.6
		6	16.8	157	32.8	39.9	46.9	54.0	61.0	68.0
		7	25.2	126	30.9	36.5	42.2	47.9	53.6	59.2
IPN 140	30.5	1	0	646	69.8	98.9	128	157	186	215
		2	2.15	545	65.1	89.7	114	139	163	188
		3	4.30	445	60.3	80.3	100	120	140	160
		4	6.45	344	55.3	70.8	86.2	102	117	133
		5	8.60	243	50.1	61.0	72.0	82.9	93.8	105
		6	20.0	202	47.7	56.8	65.9	75.0	84.1	93.2
		7	30.1	162	45.0	52.2	59.5	66.8	74.0	81.3
IPN 160	43.5	1	0	809	94.7	131	168	204	240	277
		2	2.38	685	89.0	120	151	181	212	243
		3	4.75	560	82.9	108	133	159	184	209
		4	7.13	435	76.7	96.2	116	135	155	175
		5	9.50	310	70.1	84.1	98	112	126	140
		6	22.7	256	66.9	78.4	90	101	113	125
		7	34.8	202	63.1	72.2	81.3	90.4	99.5	109
IPN 180	59.7	1	0	990	125	169	214	259	303	348
		2	2.60	839	118	156	193	231	269	307
		3	5.20	688	110	141	172	203	234	265
		4	7.80	536	103	127	151	175	199	223
		5	10.4	385	94.7	112	129	147	164	181
		6	25.4	316	90.5	105	119	133	147	162
		7	39.5	248	85.4	96.5	108	119	130	141

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 200	79.9	1	0.00	1186	160	213	267	320	373	427
		2	2.83	1005	152	197	242	287	333	378
		3	5.65	825	143	180	217	254	291	328
		4	8.48	644	134	163	192	221	250	279
		5	11.3	464	124	145	166	186	207	228
		6	28.6	380	119	136	153	170	187	204
		7	44.3	296	112	125	139	152	165	179
IPN 220	104	1	0.00	1402	202	265	328	391	454	517
		2	3.05	1190	192	246	299	353	406	460
		3	6.10	978	182	226	270	314	358	402
		4	9.15	766	171	205	240	274	308	343
		5	12.2	553	159	184	209	234	259	284
		6	31.4	452	152	173	193	213	234	254
		7	49.0	351	144	160	176	192	207	223
IPN 240	132	1	0.00	1637	250	324	398	471	545	619
		2	3.28	1390	239	301	364	427	489	552
		3	6.55	1144	227	278	330	381	433	484
		4	9.83	897	214	254	295	335	375	416
		5	13.10	651	200	229	259	288	317	347
		6	34.22	530	192	216	240	264	288	311
		7	53.76	409	182	200	219	237	256	274
IPN 260	164	1	0.00	1892	307	392	477	562	647	732
		2	3.53	1609	293	366	438	511	583	655
		3	7.05	1327	279	339	399	458	518	578
		4	10.6	1044	264	311	358	405	452	499
		5	14.1	761	248	283	317	351	385	420
		6	37.6	617	239	266	294	322	350	377
		7	59.1	473	226	247	268	290	311	332
IPN 280	202	1	0.00	2166	370	468	565	663	760	858
		2	3.80	1844	355	438	521	604	687	770
		3	7.60	1523	339	408	476	545	613	682
		4	11.4	1202	322	376	430	484	538	593
		5	15.2	881	304	343	383	423	462	502
		6	40.8	711	292	324	356	388	420	452
		7	64.5	541	276	300	325	349	373	398
IPN 300	243	1	0.00	2450	441	551	661	772	882	992
		2	4.05	2090	424	518	612	706	800	894
		3	8.10	1731	406	484	562	640	717	795
		4	12.2	1371	386	448	510	572	633	695
		5	16.2	1012	366	411	457	502	548	593
		6	44.1	812	351	388	424	461	497	534
		7	70.1	612	332	360	387	415	442	470

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları

KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

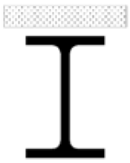
IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 320	292	1	0.00	2758	521	645	770	894	1018	1142
		2	4.33	2356	502	608	714	821	927	1033
		3	8.65	1954	482	570	658	746	834	922
		4	13.0	1552	460	530	600	669	739	809
		5	17.3	1149	436	488	540	592	643	695
		6	47.4	919	419	461	502	543	585	626
		7	75.5	690	396	427	458	489	520	551
IPN 340	345	1	0.00	3078	609	748	886	1025	1163	1302
		2	4.58	2633	588	707	825	944	1062	1181
		3	9.15	2188	566	664	763	861	960	1058
		4	13.7	1743	541	620	698	776	855	933
		5	18.3	1298	515	573	631	690	748	807
		6	50.7	1034	494	541	587	634	680	727
		7	81.2	769	467	501	536	571	605	640
IPN 360	408	1	0.00	3444	713	868	1023	1178	1333	1488
		2	4.88	2949	689	822	955	1087	1220	1353
		3	9.75	2454	664	774	885	995	1106	1216
		4	14.6	1959	636	724	812	901	989	1077
		5	19.5	1464	606	672	738	804	870	936
		6	54.1	1162	583	635	687	740	792	844
		7	86.7	861	550	589	627	666	705	744
IPN 380	473	1	0.00	3799	820	991	1162	1333	1504	1675
		2	5.13	3256	795	941	1088	1234	1381	1528
		3	10.3	2714	767	889	1011	1133	1255	1377
		4	15.4	2172	736	834	932	1029	1127	1225
		5	20.5	1630	703	776	850	923	996	1070
		6	57.4	1290	675	733	792	850	908	966
		7	92.4	950	637	680	723	765	808	851
IPN 400	548	1	0.00	4189	943	1131	1320	1508	1697	1885
		2	5.40	3595	914	1076	1238	1400	1561	1723
		3	10.8	3000	883	1018	1153	1288	1423	1558
		4	16.2	2406	849	958	1066	1174	1282	1391
		5	21.6	1812	812	894	976	1057	1139	1220
		6	60.2	1430	781	845	910	974	1038	1103
		7	97.6	1047	737	784	831	878	925	972
IPN 450	767	1	0.00	5219	1292	1526	1761	1996	2231	2466
		2	6.08	4485	1257	1458	1660	1862	2064	2266
		3	12.2	3752	1218	1386	1555	1724	1893	2062
		4	18.2	3019	1175	1310	1446	1582	1718	1854
		5	24.3	2285	1128	1230	1333	1436	1539	1642
		6	68.9	1795	1085	1165	1246	1327	1408	1488
		7	112	1305	1023	1081	1140	1199	1258	1316

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo A.3.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için dayanım tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

POZİTİF TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

F_y =355 MPa

IPN

$\Phi_b M_n$ (kNm)

KESİT	$\Phi_b M_p$	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n	Y_2[c], mm					
	kNm		mm	kN	50	100	150	200	250	300
IPN 500	1035	1	0.00	6355	1716	2002	2288	2574	2860	3145
		2	6.75	5468	1673	1919	2165	2411	2657	2903
		3	13.5	4581	1625	1831	2037	2244	2450	2656
		4	20.3	3695	1572	1738	1904	2071	2237	2403
		5	27.0	2808	1513	1639	1766	1892	2018	2145
		6	78.0	2198	1456	1555	1654	1753	1852	1951
		7	126	1589	1373	1444	1516	1587	1659	1730
IPN 550	1355	1	0.00	7526	2201	2540	2879	3217	3556	3895
		2	7.50	6461	2150	2441	2731	3022	3313	3604
		3	15.0	5396	2091	2334	2577	2820	3062	3305
		4	22.5	4331	2025	2220	2415	2610	2805	3000
		5	30.0	3266	1952	2099	2246	2393	2540	2687
		6	84.2	2574	1885	2001	2116	2232	2348	2464
		7	136	1882	1785	1870	1955	2039	2124	2209
IPN 600	1742	1	0.00	9017	2840	3246	3652	4058	4463	4869
		2	8.10	7781	2780	3130	3480	3831	4181	4531
		3	16.2	6544	2711	3006	3300	3594	3889	4183
		4	24.3	5308	2633	2872	3111	3349	3588	3827
		5	32.4	4071	2546	2729	2912	3095	3278	3462
		6	93.8	3163	2453	2595	2737	2880	3022	3164
		7	153	2254	2311	2412	2514	2615	2717	2818

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı, [c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

EK-B

Tablo B.1. Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEA

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 100 A	3.49	1	0	498	583	753	13.7	26.7	45.0	68.7	97.6	132
		2	2.00	404	473	611	12.6	24.3	40.7	61.9	87.8	118
		3	4.00	310	363	469	11.3	21.3	35.4	53.5	75.7	102
		4	6.00	216	253	327	9.7	17.5	28.6	43.0	60.5	81.2
		5	8.00	122	143	185	7.5	12.6	19.9	29.2	40.6	54.1
		6										
		7										
HE 120 A	6.06	1	0	595	696	898	20.5	37	60.3	89.6	125	167
		2	2.00	482	564	728	19.0	34	54.6	80.9	113	150
		3	4.00	369	432	557	17.2	30	47.6	70.1	97.4	130
		4	6.00	256	300	387	14.8	25	38.7	56.4	77.9	103
		5	8.00	143	168	217	11.7	18	27.1	38.5	52.4	68.7
		6										
		7										
HE 140 A	10.3	1	0	738	864	1115	31.6	53.9	83.9	122	168	221
		2	2.13	598	700	903	29.4	49.3	76.2	110	151	199
		3	4.25	458	536	692	26.7	43.7	66.7	95.8	131	172
		4	6.38	318	373	481	23.2	36.6	54.7	77.6	105	137
		5	8.50	179	209	270	18.6	27.3	39.0	53.8	71.6	92.5
		6										
		7										
HE 160 A	16.7	1	0	912	1067	1377	47.5	76.8	116	165	223	291
		2	2.25	743	869	1122	44.4	70.7	106	149	202	263
		3	4.50	573	671	866	40.5	63.1	93	131	176	229
		4	6.75	404	473	611	35.6	53.6	78	108	143	185
		5	9.00	235	275	355	29.4	41.4	57	77.3	101	129
		6	9.60	231	271	350	29.2	41.1	57	76.6	100	128
		7	10.2	228	267	344	29.0	40.8	56	75.8	99.2	126
HE 180 A	25.1	1	0	1065	1246	1608	66.7	103	151	210	280	362
		2	2.38	864	1011	1305	62.4	94.9	138	190	253	327
		3	4.75	663	776	1001	57.0	84.9	121	167	221	283
		4	7.13	462	540	698	50.3	72.3	101	137	179	229
		5	9.50	261	305	394	41.5	55.8	74.5	97.8	125	158
		6										
		7										
HE 200 A	36.9	1	0	1264	1480	1910	93.5	139	198	271	357	457
		2	2.50	1029	1205	1555	87.7	129	182	247	324	414
		3	5.00	794	930	1200	80.6	116	162	218	284	361
		4	7.50	559	655	845	71.6	100	136	181	233	294
		5	10.0	324	380	490	60.0	78.7	103	132	168	208
		6	10.6	320	375	484	59.8	78.3	102	132	166	207
		7	11.2	316	370	477	59.5	77.8	102	131	165	205

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

HEA

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 220 A	54.1	1	0	1511	1768	2283	131	189	263	353	459	581
		2	2.75	1227	1436	1853	123	175	241	322	417	527
		3	5.50	942	1103	1424	113	158	215	284	365	459
		4	8.25	658	770	994	101	136	181	236	300	374
		5	11.0	374	437	564	85	108	137	173	215	263
		6										
		7										
HE 240 A	77.6	1	0	1805	2112	2726	182	255	347	459	589	739
		2	3.00	1466	1716	2215	171	237	319	419	536	671
		3	6.00	1128	1320	1704	158	214	285	371	471	586
		4	9.00	790	924	1193	141	186	242	310	389	480
		5	12.0	451	528	682	119	149	185	230	282	342
		6										
		7										
HE 260 A	105	1	0	2040	2387	3081	237	324	433	563	715	888
		2	3.13	1658	1940	2505	224	302	399	516	652	807
		3	6.25	1276	1493	1928	207	274	357	457	574	708
		4	9.38	894	1046	1351	186	238	305	384	477	582
		5	12.5	512	600	774	158	193	236	289	350	419
		6	12.6	511	598	772	158	193	236	288	349	419
		7	12.8	510	597	770	158	192	236	288	349	418
HE 280 A	137	1	0	2287	2676	3454	303	405	532	683	858	1057
		2	3.25	1859	2175	2808	286	378	491	626	783	962
		3	6.50	1431	1675	2162	265	344	441	557	692	845
		4	9.75	1003	1174	1516	238	301	378	470	577	698
		5	13.0	576	674	870	204	245	296	356	427	507
		6	13.2	574	671	867	203	244	295	356	426	506
		7	13.5	572	669	864	203	244	295	355	425	505
HE 300 A	183	1	0	2644	3094	3994	396	520	672	852	1060	1296
		2	3.50	2150	2516	3248	374	485	622	783	970	1182
		3	7.00	1657	1939	2503	347	443	560	698	859	1041
		4	10.5	1163	1361	1757	313	389	482	592	719	863
		5	14.0	670	784	1012	269	319	380	453	537	633
		6	14.5	665	779	1005	269	318	379	452	536	631
		7	14.9	661	773	998	268	318	378	450	534	628
HE 320 A	229	1	0	2923	3421	4416	491	634	808	1013	1250	1517
		2	3.88	2377	2782	3591	464	592	748	932	1144	1384
		3	7.75	1831	2142	2765	431	541	675	833	1015	1221
		4	11.6	1284	1503	1940	389	476	583	708	852	1015
		5	15.5	738	864	1115	335	392	463	545	641	748
		6	15.9	734	859	1109	334	392	462	544	639	746
		7	16.2	731	855	1104	334	391	461	543	637	744

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam)Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEA

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 340 A	277	1	0	3137	3671	4739	585	746	939	1166	1427	1720
		2	4.13	2556	2991	3861	554	698	872	1075	1309	1573
		3	8.25	1974	2310	2982	515	639	788	964	1165	1392
		4	12.4	1392	1629	2103	467	565	684	824	984	1164
		5	16.5	811	949	1225	404	469	549	642	749	870
		6	17.8	798	933	1205	402	467	545	637	743	862
		7	19.2	784	918	1185	400	464	542	633	737	854
HE 360 A	331	1	0	3356	3927	5069	692	871	1085	1335	1621	1942
		2	4.38	2739	3205	4138	656	816	1009	1233	1490	1779
		3	8.75	2122	2483	3206	611	749	915	1109	1330	1579
		4	13.1	1505	1761	2274	555	665	798	953	1130	1329
		5	17.5	888	1040	1342	482	557	647	751	871	1005
		6	19.9	864	1011	1305	479	552	640	742	859	990
		7	22.3	839	982	1267	475	547	633	733	847	975
HE 400 A	451	1	0	3737	4373	5645	928	1143	1397	1691	2025	2399
		2	4.75	3067	3589	4633	881	1074	1304	1569	1870	2207
		3	9.50	2397	2805	3621	824	991	1190	1420	1681	1973
		4	14.3	1727	2021	2609	752	888	1049	1235	1446	1682
		5	19.0	1058	1238	1598	661	756	868	998	1145	1310
		6	24.8	996	1165	1504	652	742	849	973	1113	1271
		7	30.6	934	1093	1411	642	727	829	947	1080	1230
HE 450 A	637	1	0	4183	4895	6319	1286	1549	1856	2207	2603	3044
		2	5.25	3443	4029	5201	1223	1460	1737	2055	2412	2810
		3	10.5	2703	3163	4083	1147	1353	1594	1870	2180	2526
		4	15.8	1962	2296	2964	1052	1219	1415	1640	1893	2174
		5	21.0	1222	1430	1846	931	1049	1188	1347	1526	1725
		6	29.1	1134	1327	1713	914	1026	1157	1307	1476	1664
		7	37.3	1046	1224	1580	897	1002	1125	1265	1424	1600
HE 500 A	870	1	0	4641	5431	7011	1729	2045	2410	2825	3289	3803
		2	5.75	3831	4483	5787	1647	1933	2263	2638	3058	3522
		3	11.5	3020	3534	4562	1547	1796	2084	2411	2777	3182
		4	17.3	2209	2585	3337	1424	1628	1863	2131	2430	2761
		5	23.0	1398	1636	2112	1268	1414	1583	1775	1990	2228
		6	33.8	1279	1497	1933	1241	1378	1536	1715	1915	2137
		7	44.5	1160	1358	1753	1213	1340	1486	1652	1838	2043
HE 550 A	1119	1	0	4977	5825	7519	2203	2569	2987	3458	3983	4560
		2	6.00	4131	4835	6241	2103	2434	2814	3241	3717	4240
		3	12.0	3285	3845	4963	1981	2272	2605	2979	3396	3855
		4	18.0	2439	2855	3685	1832	2073	2348	2658	3003	3382
		5	24.0	1593	1865	2407	1645	1822	2025	2254	2508	2788
		6	39.4	1419	1660	2143	1600	1762	1948	2157	2389	2645
		7	58.2	1244	1456	1880	1553	1699	1866	2055	2264	2495

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

HEA

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 600 A	1412	1	0	5323	6229	8041	2760	3179	3655	4187	4776	5421
		2	6.25	4442	5198	6710	2638	3020	3452	3936	4472	5059
		3	12.5	3560	4166	5378	2493	2828	3210	3636	4108	4626
		4	18.8	2679	3135	4047	2315	2595	2914	3270	3664	4097
		5	25.0	1798	2104	2716	2093	2304	2544	2813	3111	3437
		6	45.1	1564	1830	2363	2024	2215	2431	2673	2940	3233
		7	77.2	1331	1557	2010	1951	2119	2309	2522	2758	3016
HE 650 A	1752	1	0	5678	6644	8577	3406	3883	4420	5018	5677	6396
		2	6.50	4761	5572	7192	3261	3696	4186	4732	5332	5988
		3	13.0	3845	4499	5808	3087	3473	3907	4390	4921	5502
		4	19.5	2928	3427	4423	2877	3202	3568	3975	4423	4912
		5	26.0	2012	2354	3039	2617	2867	3148	3461	3806	4182
		6	51.2	1716	2008	2592	2519	2741	2990	3268	3573	3907
		7	96.3	1419	1661	2144	2414	2604	2819	3059	3322	3609
HE 700 A	2153	1	0	6122	7164	9248	4185	4732	5344	6022	6764	7572
		2	6.75	5170	6050	7810	4014	4515	5075	5696	6376	7115
		3	13.5	4218	4936	6372	3811	4257	4757	5310	5915	6574
		4	20.3	3267	3823	4935	3567	3948	4374	4845	5362	5924
		5	27.0	2315	2709	3497	3268	3568	3904	4276	4683	5127
		6	62.9	1923	2250	2904	3124	3386	3679	4002	4357	4743
		7	120	1530	1791	2312	2966	3185	3430	3701	3997	4320
HE 800 A	3034	1	0	6716	7860	10146	5864	6535	7278	8093	8979	9936
		2	7.00	5729	6705	8655	5639	6258	6942	7692	8508	9389
		3	14.0	4742	5550	7164	5376	5932	6547	7221	7955	8747
		4	21.0	3755	4395	5673	5064	5545	6078	6663	7298	7985
		5	28.0	2768	3240	4182	4686	5078	5512	5987	6504	7063
		6	79.6	2224	2602	3359	4442	4776	5146	5551	5991	6468
		7	157	1679	1965	2536	4166	4435	4732	5058	5412	5795
HE 900 A	4221	1	0	7532	8814	11378	8148	8981	9894	10888	11961	13115
		2	7.5	6474	7576	9780	7851	8621	9466	10384	11377	12444
		3	15.0	5417	6339	8183	7506	8203	8968	9799	10697	11662
		4	22.5	4359	5101	6585	7100	7711	8381	9109	9896	10742
		5	30.0	3302	3864	4988	6614	7122	7679	8285	8939	9642
		6	100	2592	3034	3916	6232	6659	7126	7635	8185	8776
		7	195	1883	2203	2844	5792	6125	6490	6888	7317	7779
HE 1000 A	5538	1	0	8150	9537	12311	10688	11677	12752	13914	15162	16497
		2	7.75	7057	8258	10661	10318	11236	12233	13312	14471	15710
		3	15.5	5964	6980	9010	9891	10726	11635	12617	13672	14800
		4	23.3	4872	5701	7359	9392	10131	10936	11805	12739	13738
		5	31.0	3779	4422	5708	8801	9427	10108	10845	11636	12481
		6	120	2908	3403	4393	8247	8767	9332	9943	10600	11302
		7	232	2037	2384	3078	7598	7994	8424	8888	9388	9922

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEB

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 100 B	4.50	1	0	611	715	923	17.5	33.7	56.5	85.7	121	164
		2	2.50	494	578	746	16.1	30.6	51.0	77.1	109	147
		3	5.00	376	440	568	14.4	26.8	44.1	66.4	93.6	126
		4	7.50	259	303	391	12.2	21.9	35.4	52.8	74.1	99.2
		5	10.0	141	165	213	9.4	15.5	24.0	35.0	48.4	64.2
		6										
		7										
HE 120 B	8.64	1	0	799	935	1207	29.2	52.2	83.6	124	172	229
		2	2.75	644	754	973	27.0	47.5	75.6	111	154	205
		3	5.50	489	572	738	24.3	41.7	65.6	95.9	133	176
		4	8.25	334	391	504	20.8	34.3	52.8	76.4	105	138
		5	11.0	179	209	270	16.2	24.5	36.0	50.6	68.3	89.1
		6										
		7										
HE 140 B	15.1	1	0	1011	1183	1527	46.1	77.2	119	172	235	309
		2	3.00	813	952	1228	42.7	70.5	108	155	211	278
		3	6.00	616	721	930	38.5	62.1	93.9	134	182	238
		4	9.00	418	490	632	33.2	51.5	76.0	107	144	187
		5	12.0	221	259	334	26.2	37.4	52.4	71.3	94.1	121
		6										
		7										
HE 160 B	24.9	1	0	1276	1493	1928	70.8	113	169	238	321	417
		2	3.25	1032	1207	1558	65.9	104	153	215	289	375
		3	6.50	787	921	1189	59.9	92.0	135	187	251	324
		4	9.75	543	635	820	52.3	77.4	111	152	201	259
		5	13.0	298	349	451	42.3	58.3	79.4	106	137	174
		6										
		7										
HE 180 B	38.3	1	0	1535	1796	2318	102	156	226	313	416	535
		2	3.50	1238	1449	1871	95.5	144	206	284	375	482
		3	7.00	942	1103	1424	87.0	128	181	247	326	416
		4	10.5	646	756	976	76.2	108	150	201	262	333
		5	14.0	350	410	529	62.1	82.1	108	140	179	223
		6										
		7										
HE 200 B	57.0	1	0	1835	2148	2773	145	213	301	408	535	682
		2	3.75	1483	1735	2240	135	197	275	371	485	615
		3	7.50	1130	1323	1708	124	176	243	325	422	533
		4	11.3	778	910	1175	109	150	202	266	342	429
		5	15.0	425	498	643	90.0	116	149	189	237	292
		6										
		7										

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEB

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 220 B	80.9	1	0	2139	2503	3231	197	282	388	518	671	846
		2	4.00	1725	2019	2606	185	260	356	471	607	764
		3	8.00	1311	1535	1981	169	233	315	413	529	662
		4	12.0	898	1051	1356	150	200	263	339	430	533
		5	16.0	484	567	731	124	155	194	242	299	363
		6										
		7										
HE 240 B	113	1	0	2491	2915	3763	266	369	499	655	838	1048
		2	4.25	2012	2354	3039	249	342	458	598	761	948
		3	8.50	1532	1793	2315	229	308	407	526	665	825
		4	12.75	1053	1232	1590	204	265	342	435	544	668
		5	17.00	573	671	866	170	209	257	316	384	462
		6										
		7										
HE 260 B	149	1	0	2782	3256	4203	341	462	613	794	1004	1244
		2	4.38	2248	2630	3396	321	429	564	725	913	1127
		3	8.75	1713	2005	2588	295	388	503	641	801	983
		4	13.1	1179	1379	1780	263	336	425	533	658	801
		5	17.5	644	754	973	221	267	324	392	471	561
		6										
		7										
HE 280 B	193	1	0	3088	3614	4665	430	571	745	952	1192	1465
		2	4.50	2496	2921	3770	405	531	687	872	1086	1330
		3	9.00	1904	2228	2876	374	481	614	772	955	1163
		4	13.5	1311	1535	1981	334	418	522	645	788	951
		5	18.0	719	842	1086	282	336	401	480	570	673
		6										
		7										
HE 300 B	252	1	0	3504	4100	5293	550	718	923	1165	1445	1761
		2	4.75	2834	3317	4281	518	668	852	1068	1318	1602
		3	9.50	2164	2533	3270	479	608	764	949	1163	1405
		4	14.3	1495	1749	2258	430	530	653	798	965	1155
		5	19.0	825	965	1246	365	429	507	600	706	827
		6										
		7										
HE 320 B	308	1	0	3791	4436	5726	664	853	1083	1353	1664	2015
		2	5.13	3068	3590	4635	626	796	1002	1243	1521	1835
		3	10.3	2345	2745	3543	580	725	901	1107	1345	1613
		4	15.4	1623	1899	2451	521	635	773	935	1121	1331
		5	20.5	900	1053	1360	445	517	606	709	828	963
		6										
		7										

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEB

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 340 B	367	1	0	4016	4700	6067	780	990	1242	1536	1874	2254
		2	5.38	3258	3813	4922	737	925	1150	1415	1717	2058
		3	10.8	2500	2926	3777	684	845	1038	1264	1523	1815
		4	16.1	1743	2039	2632	617	744	896	1075	1279	1509
		5	21.5	985	1152	1487	529	612	711	827	960	1110
		6										
		7										
HE 360 B	432	1	0	4244	4967	6411	910	1140	1415	1736	2102	2512
		2	5.63	3451	4038	5213	860	1067	1314	1601	1929	2298
		3	11.3	2658	3110	4015	800	977	1189	1436	1718	2034
		4	16.9	1865	2182	2817	724	864	1032	1228	1451	1702
		5	22.5	1072	1254	1619	624	717	828	958	1105	1271
		6	23.0	1066	1248	1611	624	716	827	956	1102	1267
		7	23.4	1061	1242	1603	623	715	825	953	1100	1264
HE 400 B	577	1	0	4648	5440	7022	1195	1467	1788	2159	2580	3049
		2	6.00	3802	4450	5744	1133	1378	1667	2001	2379	2802
		3	12.0	2956	3460	4466	1057	1269	1519	1807	2134	2499
		4	18.0	2110	2470	3188	963	1133	1333	1565	1827	2121
		5	24.0	1264	1480	1910	841	957	1095	1254	1433	1634
		6	28.3	1213	1420	1833	833	945	1078	1232	1406	1600
		7	32.7	1162	1360	1755	824	933	1061	1210	1378	1566
HE 450 B	799	1	0	5123	5995	7739	1623	1950	2332	2768	3258	3803
		2	6.50	4207	4923	6355	1542	1837	2181	2574	3017	3508
		3	13.0	3290	3850	4970	1444	1699	1998	2339	2722	3149
		4	19.5	2374	2778	3586	1321	1528	1770	2046	2356	2701
		5	26.0	1457	1705	2201	1164	1309	1478	1671	1888	2129
		6	33.3	1369	1602	2068	1147	1284	1445	1629	1836	2066
		7	40.6	1281	1499	1935	1129	1259	1412	1586	1783	2001
HE 500 B	1072	1	0	5607	6562	8470	2146	2533	2981	3488	4055	4681
		2	7.00	4620	5407	6979	2042	2392	2797	3255	3767	4333
		3	14.0	3633	4252	5488	1916	2221	2573	2972	3417	3910
		4	21.0	2646	3097	3997	1760	2009	2296	2621	2984	3386
		5	28.0	1659	1942	2506	1562	1739	1944	2175	2434	2720
		6	38.5	1530	1791	2312	1532	1699	1891	2108	2351	2620
		7	49.0	1402	1640	2118	1501	1657	1836	2038	2265	2516
HE 550 B	1367	1	0	5971	6988	9021	2709	3154	3662	4234	4869	5568
		2	7.25	4949	5792	7476	2583	2986	3447	3965	4541	5174
		3	14.5	3927	4595	5932	2432	2785	3188	3641	4146	4700
		4	21.8	2905	3399	4388	2245	2536	2869	3243	3659	4116
		5	29.0	1882	2203	2844	2010	2223	2467	2741	3046	3381
		6	44.5	1688	1975	2549	1958	2154	2378	2630	2910	3218
		7	63.3	1493	1747	2255	1904	2082	2285	2514	2768	3047

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEB

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 600 B	1710	1	0	6345	7425	9585	3364	3870	4444	5085	5794	6570
		2	7.50	5288	6188	7988	3213	3674	4195	4778	5423	6128
		3	15.0	4230	4950	6390	3033	3438	3897	4410	4977	5598
		4	22.5	3173	3713	4793	2813	3150	3533	3960	4433	4950
		5	30.0	2115	2475	3195	2537	2790	3077	3398	3752	4140
		6	50.7	1851	2166	2796	2457	2685	2945	3234	3554	3905
		7	82.3	1586	1856	2396	2372	2574	2804	3060	3344	3654
HE 650 B	2106	1	0	6728	7873	10164	4119	4692	5336	6052	6839	7698
		2	7.75	5635	6595	8513	3941	4463	5050	5703	6421	7204
		3	15.5	4543	5316	6862	3729	4190	4710	5286	5921	6613
		4	23.3	3450	4037	5211	3471	3859	4296	4781	5314	5897
		5	31.0	2357	2758	3561	3151	3448	3782	4153	4562	5007
		6	57.1	2020	2363	3051	3035	3300	3597	3928	4291	4688
		7	101	1682	1968	2541	2911	3140	3398	3684	3999	4343
HE 700 B	2569	1	0	7200	8426	10877	5020	5671	6399	7203	8084	9042
		2	8.00	6072	7106	9173	4812	5408	6074	6809	7615	8492
		3	16.0	4944	5786	7469	4565	5095	5688	6342	7060	7839
		4	24.0	3816	4466	5765	4267	4718	5223	5780	6390	7053
		5	32.0	2688	3146	4061	3902	4256	4651	5089	5568	6088
		6	69.1	2244	2626	3390	3734	4043	4389	4771	5190	5645
		7	125	1800	2107	2719	3549	3810	4101	4423	4775	5158
HE 800 B	3591	1	0	7854	9191	11864	6975	7769	8646	9607	10651	11779
		2	8.25	6690	7829	10107	6704	7434	8241	9125	10086	11124
		3	16.5	5527	6468	8350	6386	7042	7767	8561	9423	10355
		4	24.8	4364	5107	6592	6008	6575	7202	7888	8634	9440
		5	33.0	3201	3746	4835	5550	6010	6518	7075	7679	8332
		6	86.1	2582	3022	3901	5265	5658	6092	6568	7085	7643
		7	161	1963	2298	2966	4945	5262	5613	5997	6415	6866
HE 900 B	4941	1	0	8726	10211	13181	9582	10557	11624	12785	14038	15384
		2	8.75	7492	8767	11317	9229	10130	11116	12188	13346	14589
		3	17.5	6258	7323	9454	8818	9632	10524	11493	12540	13664
		4	26.3	5024	5880	7590	8333	9045	9825	10673	11589	12573
		5	35.0	3791	4436	5726	7752	8343	8989	9692	10451	11266
		6	107	2986	3494	4511	7308	7805	8349	8941	9580	10266
		7	199	2181	2553	3295	6798	7187	7614	8078	8580	9118
HE 1000 B	6447	1	0	9400	11000	14200	12497	13647	14897	16247	17697	19247
		2	9.00	8131	9515	12283	12059	13126	14285	15538	16883	18320
		3	18.0	6862	8030	10366	11553	12523	13578	14718	15941	17249
		4	27.0	5593	6545	8449	10961	11819	12751	13759	14840	15997
		5	36.0	4324	5060	6532	10259	10984	11772	12622	13536	14513
		6	126	3337	3905	5041	9617	10220	10875	11582	12342	13154
		7	237	2350	2750	3550	8867	9327	9827	10367	10947	11567

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEM

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 100 M	11.4	1	0	1250	1463	1889	43.6	80	129	191	267	356
		2	5.00	1001	1172	1512	40.1	72.0	116	171	239	318
		3	10.00	752	880	1136	35.6	62.6	100	147	203	270
		4	15.00	503	589	760	29.9	50.5	78.7	115	158	209
		5	20.00	254	297	383	22.3	34.4	51.0	72.1	98	128
		6										
		7										
HE 120 M	20.2	1	0	1560	1826	2357	68.0	116.1	181	262	360	475
		2	5.25	1249	1462	1888	62.7	105.5	163	235	323	424
		3	10.50	939	1098	1418	56.1	92.3	141	202	276	362
		4	15.75	628	735	948	47.6	75.2	112	159	215	281
		5	21.00	317	371	479	36.3	52.6	74.4	102	135	174
		6										
		7										
HE 140 M	32.9	1	0	1894	2217	2861	101	163	246	349	472	615
		2	5.50	1517	1775	2291	93.5	149	223	314	423	550
		3	11.00	1139	1333	1721	84.1	131	193	270	363	470
		4	16.50	762	892	1151	72.0	108	155	214	285	367
		5	22.00	384	450	581	55.9	77.0	105	140	181	229
		6										
		7										
HE 160 M	51.0	1	0	2282	2670	3447	146	226	331	459	612	789
		2	5.75	1833	2145	2769	136	207	300	415	551	709
		3	11.50	1385	1620	2092	123	183	262	359	475	609
		4	17.25	936	1095	1414	106	153	214	289	377	481
		5	23.00	487	570	736	84	113	149	195	249	311
		6										
		7										
HE 180 M	74.8	1	0	2663	3116	4022	202	301	429	585	769	981
		2	6.00	2138	2502	3230	188	277	390	529	693	882
		3	12.00	1614	1888	2437	171	246	342	460	599	759
		4	18.00	1089	1274	1645	149	206	280	371	478	601
		5	24.00	564	661	853	119	154	199	253	318	392
		6										
		7										
HE 200 M	106	1	0	3086	3611	4661	274	396	550	737	957	1210
		2	6.25	2480	2903	3747	256	364	502	669	865	1090
		3	12.50	1875	2195	2833	233	325	442	583	750	941
		4	18.75	1270	1486	1919	204	275	365	474	603	750
		5	25.00	665	778	1005	166	209	264	330	408	498
		6										
		7										

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEM

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 220 M	146	1	0	3511	4109	5304	362	508	691	911	1169	1464
		2	6.50	2820	3301	4261	338	468	631	828	1057	1320
		3	13.0	2130	2493	3218	309	419	557	724	918	1141
		4	19.5	1440	1685	2175	272	356	463	591	741	912
		5	26.0	749	877	1132	222	273	338	415	506	609
		6										
		7										
HE 240 M	243	1	0	4691	5489	7086	584	794	1054	1363	1722	2131
		2	8.00	3758	4398	5677	547	733	964	1239	1559	1923
		3	16.0	2826	3307	4269	500	657	852	1085	1355	1663
		4	24.0	1893	2215	2860	439	560	709	887	1094	1329
		5	32.0	961	1124	1451	359	430	519	624	746	885
		6										
		7										
HE 260 M	313	1	0	5161	6039	7796	731	972	1269	1620	2026	2487
		2	8.13	4137	4841	6250	685	900	1163	1476	1838	2248
		3	16.3	3114	3644	4704	627	809	1032	1297	1602	1950
		4	24.4	2090	2446	3158	554	693	864	1067	1301	1567
		5	32.5	1067	1249	1612	456	539	641	761	900	1058
		6										
		7										
HE 280 M	396	1	0	5645	6606	8527	900	1176	1513	1909	2365	2882
		2	8.25	4528	5299	6840	845	1091	1390	1743	2149	2609
		3	16.5	3411	3992	5153	776	984	1237	1536	1880	2269
		4	24.8	2295	2685	3466	687	847	1041	1270	1534	1833
		5	33.0	1178	1378	1779	570	665	781	918	1076	1254
		6										
		7										
HE 300 M	592	1	0	7123	8335	10760	1326	1697	2144	2667	3265	3940
		2	9.75	5702	6673	8614	1244	1574	1972	2437	2969	3569
		3	19.5	4282	5011	6468	1143	1422	1757	2150	2599	3106
		4	29.3	2861	3348	4322	1012	1225	1481	1781	2124	2511
		5	39.0	1441	1686	2176	839	964	1114	1290	1491	1718
		6										
		7										
HE 320 M	681	1	0	7332	8580	11076	1503	1900	2375	2928	3559	4268
		2	10.0	5880	6881	8882	1413	1766	2189	2681	3243	3874
		3	20.0	4427	5181	6688	1300	1599	1957	2373	2848	3382
		4	30.0	2975	3482	4494	1156	1385	1659	1978	2343	2752
		5	40.0	1523	1782	2300	964	1100	1264	1454	1671	1915
		6										
		7										

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEM

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 340 M	764	1	0	7421	8685	11211	1662	2078	2573	3147	3800	4532
		2	10.0	5969	6985	9017	1564	1935	2377	2888	3471	4123
		3	20.0	4517	5286	6823	1443	1758	2133	2567	3061	3615
		4	30.0	3064	3586	4629	1289	1532	1821	2157	2538	2966
		5	40.0	1612	1887	2435	1084	1233	1409	1614	1847	2109
		6										
		7										
HE 360 M	849	1	0	7492	8767	11317	1825	2259	2774	3367	4041	4794
		2	10.0	6044	7073	9131	1721	2109	2568	3098	3699	4372
		3	20.0	4597	5379	6944	1591	1922	2313	2764	3276	3849
		4	30.0	3149	3685	4757	1427	1684	1988	2339	2738	3184
		5	40.0	1701	1991	2570	1210	1371	1561	1781	2030	2309
		6										
		7										
HE 400 M	1041	1	0	7656	8960	11566	2194	2668	3223	3860	4578	5378
		2	10.0	6213	7271	9386	2074	2498	2996	3567	4210	4927
		3	20.0	4771	5583	7207	1926	2290	2716	3205	3757	4371
		4	30.0	3328	3894	5027	1739	2027	2363	2749	3184	3669
		5	40.0	1885	2206	2847	1496	1684	1903	2155	2439	2755
		6										
		7										
HE 450 M	1315	1	0	7882	9224	11907	2716	3242	3853	4547	5325	6187
		2	10.0	6439	7535	9727	2575	3048	3597	4221	4921	5696
		3	20.0	4996	5847	7547	2402	2810	3284	3823	4426	5095
		4	30.0	3553	4158	5368	2185	2513	2892	3323	3807	4343
		5	40.0	2110	2470	3188	1907	2129	2387	2680	3009	3373
		6	44.6	2040	2388	3082	1891	2108	2359	2644	2964	3319
		7	49.1	1970	2306	2977	1875	2086	2330	2608	2919	3264
HE 500 M	1619	1	0	8091	9468	12223	3295	3875	4541	5293	6132	7056
		2	10.0	6653	7785	10050	3131	3655	4256	4935	5692	6526
		3	20.0	5215	6102	7877	2933	3387	3909	4499	5156	5881
		4	30.0	3776	4419	5705	2686	3055	3479	3958	4491	5079
		5	40.0	2338	2736	3532	2370	2631	2929	3267	3643	4057
		6	50.3	2181	2552	3294	2330	2577	2860	3179	3535	3928
		7	60.6	2023	2367	3056	2289	2521	2788	3089	3424	3794
HE 550 M	1980	1	0	8328	9746	12581	3981	4620	5349	6165	7071	8065
		2	10.0	6890	8063	10409	3791	4371	5030	5770	6590	7490
		3	20.0	5452	6380	8236	3563	4069	4645	5292	6008	6795
		4	30.0	4014	4697	6063	3281	3697	4171	4702	5291	5938
		5	40.0	2576	3014	3891	2925	3227	3571	3957	4385	4855
		6	56.1	2329	2725	3518	2854	3134	3452	3809	4205	4639
		7	75.0	2082	2437	3145	2780	3036	3327	3654	4016	4414

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



HEM

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
HE 600 M	2374	1	0	8547	10002	12911	4731	5431	6222	7104	8077	9141
		2	10.0	7113	8324	10746	4515	5151	5870	6671	7555	8521
		3	20.0	5680	6647	8580	4256	4815	5447	6151	6928	7777
		4	30.0	4246	4969	6415	3939	4403	4928	5514	6160	6866
		5	40.0	2813	3292	4249	3541	3888	4280	4716	5198	5725
		6	62.0	2475	2896	3739	3432	3747	4102	4498	4935	5413
		7	93.5	2137	2500	3228	3317	3597	3913	4266	4655	5081
HE 650 M	2817	1	0	8782	10277	13266	5572	6336	7194	8145	9190	10328
		2	10.0	7348	8599	11101	5327	6024	6805	7672	8623	9660
		3	20.0	5915	6922	8935	5035	5650	6340	7106	7946	8862
		4	30.0	4481	5244	6770	4679	5195	5775	6418	7123	7892
		5	40.0	3048	3567	4604	4237	4631	5072	5563	6101	6687
		6	68.4	2622	3068	3960	4084	4435	4830	5267	5747	6270
		7	112	2195	2569	3317	3919	4225	4568	4948	5366	5821
HE 700 M	3293	1	0	9001	10533	13597	6481	7310	8235	9256	10372	11584
		2	10.0	7572	8861	11438	6206	6964	7809	8742	9762	10869
		3	20.0	6143	7189	9280	5879	6552	7302	8130	9036	10020
		4	30.0	4714	5517	7121	5484	6055	6690	7392	8160	8993
		5	40.0	3285	3845	4963	4998	5441	5936	6482	7079	7727
		6	77.6	2768	3239	4181	4792	5182	5618	6098	6623	7193
		7	130	2250	2633	3399	4568	4900	5270	5678	6125	6610
HE 800 M	4426	1	0	9501	11118	14353	8648	9622	10698	11874	13152	14530
		2	10.0	8077	9452	12201	8306	9201	10190	11271	12445	13712
		3	20.0	6653	7785	10050	7903	8706	9592	10561	11613	12749
		4	30.0	5229	6119	7899	7423	8115	8879	9714	10621	11600
		5	40.0	3805	4452	5747	6840	7398	8013	8685	9416	10205
		6	93.9	3090	3616	4668	6498	6976	7504	8082	8709	9385
		7	166.35	2375	2780	3588	6115	6504	6935	7405	7916	8468
HE 900 M	5704	1	0	9955	11649	15038	11105	12228	13456	14791	16231	17777
		2	10.0	8535	9988	12894	10691	11727	12861	14093	15423	16850
		3	20.0	7116	8327	10749	10207	11143	12167	13280	14480	15769
		4	30.0	5696	6666	8605	9636	10453	11347	12318	13367	14492
		5	40.0	4277	5005	6461	8951	9625	10364	11166	12031	12961
		6	112	3383	3959	5110	8444	9013	9637	10313	11044	11828
		7	203	2489	2912	3759	7865	8314	8805	9339	9915	10533
HE 1000 M	7223	1	0	10439	12216	15769	14040	15326	16723	18231	19850	21580
		2	10.0	9019	10555	13625	13542	14735	16030	17428	18929	20533
		3	20.0	7600	8894	11481	12967	14050	15228	16498	17863	19321
		4	30.0	6181	7233	9337	12293	13250	14289	15410	16614	17901
		5	40.0	4761	5572	7192	11493	12299	13174	14119	15133	16217
		6	131	3685	4313	5567	10780	11451	12180	12967	13812	14715
		7	240	2610	3054	3942	9950	10464	11023	11626	12274	12966

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPE

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPE 80	0.80	1	0	179	209	270	3.88	8.25	14.5	22.7	32.8	44.7
		2	1.30	150	176	227	3.62	7.61	13.3	20.8	30.0	41.0
		3	2.60	122	143	185	3.30	6.86	12.0	18.6	26.8	36.5
		4	3.90	94	110	142	2.93	5.95	10.3	15.9	22.9	31.2
		5	5.20	66	77	100	2.47	4.83	8.22	12.6	18.1	24.6
		6	9.4	55	65	84	2.26	4.33	7.30	11.2	15.9	21.6
		7	15.0	45	52	67	2.03	3.78	6.29	9.6	13.6	18.4
IPE 100	1.71	1	0	242	283	366	6.86	13.3	22.3	33.9	48.1	64.8
		2	1.43	205	240	310	6.44	12.3	20.6	31.2	44.2	59.6
		3	2.85	168	197	254	5.94	11.2	18.6	28.1	39.7	53.5
		4	4.28	132	154	199	5.34	9.9	16.2	24.4	34.3	46.1
		5	5.70	95	111	143	4.61	8.23	13.3	19.8	27.8	37.2
		6	10.9	78	91	117	4.21	7.34	11.7	17.3	24.2	32.3
		7	18.6	61	71	91	3.77	6.35	10.0	14.6	20.3	26.9
IPE 120	3.18	1	0	310	363	469	11.2	20.1	32.3	47.8	66.6	88.7
		2	1.58	263	308	397	10.5	18.7	29.9	44.1	61.4	81.6
		3	3.15	215	252	325	9.7	17.0	27.0	39.8	55.2	73.3
		4	4.73	168	197	254	8.79	15.1	23.6	34.5	47.8	63.3
		5	6.30	121	141	182	7.65	12.6	19.5	28.2	38.7	51.1
		6	12.6	99	116	150	7.05	11.4	17.3	24.8	33.9	44.6
		7	22.5	78	91	117	6.37	9.9	14.8	21.0	28.6	37.4
IPE 140	5.41	1	0	385	451	582	17.2	29.1	45.1	65.2	89.4	118
		2	1.73	326	382	493	16.2	27.1	41.8	60.2	82.4	108
		3	3.45	267	312	403	15.1	24.8	37.9	54.3	74.1	97.3
		4	5.18	208	243	314	13.7	22.0	33.2	47.3	64.2	84.1
		5	6.90	149	174	225	12.0	18.6	27.5	38.7	52.2	67.9
		6	14.5	123	143	185	11.1	16.8	24.6	34.2	45.9	59.6
		7	26.4	96	113	146	10.1	14.9	21.3	29.3	39.0	50.3
IPE 160	8.69	1	0	472	553	714	25.7	41.3	61.9	87.5	118	154
		2	1.85	401	469	606	24.3	38.6	57.5	81.0	109	142
		3	3.70	330	386	498	22.7	35.5	52.4	73.5	98.7	128
		4	5.55	258	302	390	20.7	31.7	46.3	64.4	86.1	111
		5	7.40	187	219	283	18.3	27.2	38.9	53.4	70.8	91.1
		6	15.6	153	179	231	17.0	24.6	34.7	47.2	62.1	79.6
		7	29.8	118	138	178	15.5	21.7	30.0	40.2	52.5	66.7
IPE 180	13.17	1	0	562	657	848	36.6	56.3	82.0	114	151	195
		2	2.00	476	557	719	34.7	52.8	76.3	105	140	180
		3	4.00	391	457	590	32.4	48.6	69.6	95.6	126	162
		4	6.00	305	357	461	29.7	43.5	61.6	83.9	110	141
		5	8.00	219	257	332	26.3	37.4	51.9	69.6	90.8	115
		6	17.8	180	211	272	24.5	34.1	46.6	61.9	80.2	101
		7	33.6	140	164	212	22.5	30.4	40.7	53.4	68.4	85.9

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPE

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPE 200	19.4	1	0	253	296	382	48.5	63.6	82.7	106	133	164
		2	2.13	196	230	296	44.8	57.2	72.9	91.9	114	140
		3	4.25	919	1075	1388	95.4	134	181	239	307	384
		4	6.38	781	914	1179	90.8	126	170	223	285	356
		5	8.50	642	752	971	85.4	117	156	204	259	323
		6	18.6	504	590	762	78.9	106	140	181	229	283
		7	36.4	366	428	553	71.1	93	120	153	191	235
IPE 220	27.7	1	0	298	349	450	66.6	85.2	109	137	170	208
		2	2.30	230	269	347	61.5	76.7	95.9	119	146	177
		3	4.60	1079	1262	1629	136	185	244	315	398	492
		4	6.90	917	1073	1385	130	174	229	295	370	457
		5	9.20	755	884	1141	123	162	211	270	338	416
		6	20.0	593	694	896	114	148	190	241	299	366
		7	39.2	431	505	652	103	130	164	205	252	306
IPE 240	38.9	1	0	351	410	530	96.4	120	149	184	225	271
		2	2.45	270	316	407	89.3	109	132	161	194	232
		3	4.90	1264	1480	1910	191	252	326	413	514	628
		4	7.35	1076	1259	1625	182	238	306	387	479	584
		5	9.80	887	1038	1340	172	222	283	355	439	533
		6	17.8	699	817	1055	160	203	256	318	390	471
		7	41.2	510	597	770	145	180	223	273	331	397
IPE 270	57.9	1	0	413	483	624	137	166	203	246	296	352
		2	2.55	316	370	477	127	151	180	215	256	301
		3	5.10	1471	1722	2222	262	338	428	535	657	794
		4	7.65	1255	1469	1896	251	320	404	502	614	741
		5	10.2	1039	1216	1569	237	300	375	463	564	678
		6	23.6	823	963	1243	221	275	340	417	504	603
		7	48.1	606	710	916	202	246	299	361	432	513
IPE 300	83.6	1	0	487	570	736	190	227	272	325	386	454
		2	2.68	368	430	556	176	206	242	284	333	388
		3	5.35	1708	1999	2581	355	448	559	688	835	1000
		4	8.03	1455	1702	2198	340	425	527	645	781	933
		5	10.7	1201	1406	1814	321	398	490	596	718	854
		6	26.2	947	1109	1431	300	366	445	537	642	760
		7	55.3	694	812	1048	274	327	391	466	551	646
IPE 330	118	1	0	560	656	847	258	303	358	422	495	576
		2	2.88	427	500	645	240	277	321	373	432	498
		3	5.75	1986	2324	3000	495	612	749	907	1087	1288
		4	8.63	1700	1990	2568	475	582	709	855	1021	1206
		5	11.5	1415	1656	2137	451	548	662	794	943	1110
		6	28.2	1129	1321	1706	423	507	607	721	852	997
		7	60.7	844	987	1274	389	458	540	634	742	861

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPE

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPE 360	163	1	0	1708	1999	2581	355	448	559	688	835	1000
		2	3.18	1455	1702	2198	340	425	527	645	781	933
		3	6.35	1201	1406	1814	321	398	490	596	718	854
		4	9.53	947	1109	1431	300	366	445	537	642	760
		5	12.7	694	812	1048	274	327	391	466	551	646
		6	31.0	560	656	847	258	303	358	422	495	576
		7	66.4	427	500	645	240	277	321	373	432	498
IPE 400	231	1	0	1986	2324	3000	495	612	749	907	1087	1288
		2	3.38	1700	1990	2568	475	582	709	855	1021	1206
		3	6.75	1415	1656	2137	451	548	662	794	943	1110
		4	10.1	1129	1321	1706	423	507	607	721	852	997
		5	13.5	844	987	1274	389	458	540	634	742	861
		6	34.4	670	784	1012	365	423	492	572	663	764
		7	77.2	496	581	750	337	383	438	502	574	654
IPE 450	337	1	0	2322	2717	3507	711	859	1032	1230	1452	1699
		2	3.65	1996	2336	3015	683	820	980	1162	1368	1596
		3	7.30	1670	1954	2523	650	774	919	1084	1270	1477
		4	11.0	1344	1573	2030	611	720	847	992	1155	1336
		5	14.6	1018	1191	1538	565	655	761	881	1017	1167
		6	44.1	799	935	1207	529	605	693	794	908	1035
		7	93.6	580	679	877	487	546	615	694	783	882
IPE 500	482	1	0	2714	3176	4100	1002	1189	1406	1651	1926	2229
		2	4.00	2338	2736	3532	963	1137	1337	1564	1818	2099
		3	8.00	1962	2296	2964	918	1076	1257	1463	1694	1948
		4	12.0	1586	1856	2396	865	1004	1164	1345	1547	1771
		5	16.0	1210	1416	1828	803	918	1052	1203	1372	1559
		6	53.0	944	1105	1427	750	847	959	1086	1227	1384
		7	108	679	794	1025	690	765	852	950	1060	1181
IPE 550	671	1	0	3158	3696	4771	1381	1616	1885	2187	2523	2893
		2	4.30	2734	3199	4130	1330	1548	1798	2078	2390	2733
		3	8.60	2310	2703	3489	1271	1470	1697	1952	2236	2548
		4	12.9	1885	2206	2848	1202	1378	1579	1805	2056	2332
		5	17.2	1461	1709	2207	1120	1269	1439	1630	1843	2076
		6	59.3	1125	1317	1700	1044	1168	1309	1468	1644	1838
		7	124	790	924	1193	955	1049	1157	1278	1412	1560
IPE 600	921	1	0	3666	4290	5538	1876	2169	2500	2871	3280	3729
		2	4.75	3175	3715	4796	1808	2079	2387	2731	3111	3527
		3	9.50	2684	3141	4054	1728	1976	2256	2569	2915	3294
		4	14.3	2193	2566	3312	1636	1855	2103	2380	2687	3023
		5	19.0	1701	1991	2570	1527	1712	1922	2157	2417	2701
		6	67.9	1309	1532	1977	1424	1578	1752	1947	2162	2398
		7	138	917	1073	1385	1303	1420	1553	1701	1865	2044

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPN 80	6.98	1	0	178	208	269	10.0	14.4	20.6	28.8	38.8	50.7
		2	1.48	149	174	225	9.8	13.7	19.4	26.8	36.0	46.8
		3	2.95	120	140	181	9.45	13.0	18.0	24.5	32.6	42.2
		4	4.43	91	106	137	9.05	12.0	16.2	21.7	28.5	36.5
		5	5.90	61	72	93	8.56	10.8	14.0	18.2	23.3	29.4
		6	11.1	53	62	80	8.39	10.4	13.3	17.0	21.6	27.1
		7	15.7	44	52	67	8.21	10.0	12.4	15.7	19.7	24.5
IPN 100	13.9	1	0	249	292	376	19.2	25.8	35.1	47.0	61.6	78.8
		2	1.70	209	245	316	18.7	24.8	33.2	44.1	57.4	73.2
		3	3.40	169	198	256	18.2	23.5	31.0	40.7	52.5	66.4
		4	5.10	129	151	195	17.5	22.0	28.4	36.5	46.5	58.3
		5	6.80	89	105	135	16.7	20.2	25.1	31.4	39.1	48.2
		6	14.2	76	89	114	16.4	19.5	23.8	29.3	36.1	44.2
		7	20.6	62	73	94	16.0	18.7	22.4	27.1	33.0	39.9
IPN 120	24.2	1	0	334	391	504	32.8	42.4	55.5	72.2	92.4	116
		2	1.93	281	329	425	32.1	40.8	52.8	68.1	86.6	108
		3	3.85	229	268	346	31.2	39.0	49.7	63.2	79.7	99.0
		4	5.78	176	206	266	30.1	36.8	45.8	57.4	71.4	87.8
		5	7.70	124	145	187	28.8	34.0	41.1	50.2	61.1	74.0
		6	16.8	104	121	157	28.3	32.8	39.0	46.9	56.5	67.8
		7	25.2	83	98	126	27.6	31.5	36.7	43.4	51.5	61.0
IPN 140	38.6	1	0	428	501	646	51.8	64.9	82.7	105	132	163
		2	2.15	361	422	545	50.6	62.7	79.0	99.4	124	153
		3	4.30	294	344	445	49.3	60.1	74.6	92.7	115	140
		4	6.45	228	266	344	47.8	56.9	69.2	84.7	103	125
		5	8.60	161	188	243	45.8	53.0	62.7	74.9	89.6	107
		6	20.0	134	157	202	44.9	51.2	59.7	70.3	83.1	98.1
		7	30.1	107	125	162	43.9	49.2	56.3	65.2	75.9	88.5
IPN 160	57.8	1	0	536	627	809	77.0	94.7	118	147	182	222
		2	2.38	453	530	685	75.4	91.6	113	140	172	209
		3	4.75	371	434	560	73.5	88.0	107	131	159	192
		4	7.13	288	337	435	71.2	83.6	100	120	145	173
		5	9.50	205	240	310	68.4	78.2	91	107	127	149
		6	22.7	170	199	256	67.0	75.5	87	101	117	137
		7	34.8	134	157	202	65.5	72.5	81.9	93.5	107	124
IPN 180	82.5	1	0	656	767	990	110	133	163	200	244	295
		2	2.60	555	650	839	108	129	156	190	230	277
		3	5.20	455	533	688	105	124	148	179	215	256
		4	7.80	355	415	536	102	118	139	165	196	232
		5	10.4	255	298	385	97.8	111	128	148	173	201
		6	25.4	209	245	316	95.8	107	121	139	161	185
		7	39.5	164	192	248	93.5	103	115	129	147	167

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPN 200	114	1	0	785	919	1186	151	180	218	264	318	381
		2	2.83	665	779	1005	148	175	209	251	301	359
		3	5.65	546	639	825	144	168	199	237	281	333
		4	8.48	426	499	644	140	161	187	219	258	302
		5	11.3	307	359	464	135	151	172	198	229	264
		6	28.6	252	294	380	132	146	164	186	213	243
		7	44.3	196	230	296	129	140	155	174	195	220
IPN 220	151	1	0	928	1086	1402	202	239	285	341	407	483
		2	3.05	788	922	1190	198	231	274	326	386	456
		3	6.10	647	757	978	193	223	261	307	362	424
		4	9.15	507	593	766	187	213	246	286	332	386
		5	12.2	366	429	553	180	201	227	259	296	339
		6	31.4	299	350	452	176	194	217	244	276	313
		7	49.0	232	272	351	172	186	205	227	254	284
IPN 240	197	1	0	1083	1268	1637	263	308	365	433	512	603
		2	3.28	920	1077	1390	258	299	351	413	486	570
		3	6.55	757	886	1144	251	288	335	391	456	531
		4	9.83	594	695	897	244	276	316	364	420	485
		5	13.1	431	504	651	235	260	292	331	376	428
		6	34.2	351	410	530	229	251	279	312	351	396
		7	53.8	271	317	409	223	241	264	291	323	359
IPN 260	251	1	0	1253	1466	1892	337	392	460	541	636	743
		2	3.53	1065	1247	1609	330	380	443	517	604	704
		3	7.05	878	1028	1327	322	367	423	490	568	657
		4	10.6	691	809	1044	312	351	399	457	524	601
		5	14.1	504	589	761	300	332	371	417	471	533
		6	37.6	408	478	617	293	320	353	393	440	493
		7	59.1	313	366	473	285	307	334	367	405	448
IPN 280	308	1	0	1434	1678	2166	418	483	564	660	771	898
		2	3.80	1221	1429	1844	409	469	543	632	734	851
		3	7.60	1008	1180	1523	398	453	519	599	691	795
		4	11.4	796	931	1202	386	433	491	559	639	729
		5	15.2	583	683	881	371	409	456	511	576	649
		6	40.8	471	551	711	362	394	434	482	537	600
		7	64.5	358	419	541	352	378	410	449	493	544
IPN 300	379	1	0	1622	1898	2450	517	595	689	802	931	1078
		2	4.05	1384	1619	2090	506	578	665	768	887	1022
		3	8.10	1146	1341	1731	493	557	636	729	836	957
		4	12.2	908	1062	1371	478	534	602	682	775	880
		5	16.2	670	784	1012	460	505	560	626	702	787
		6	44.1	538	629	812	448	486	534	589	654	727
		7	70.1	405	474	612	434	465	503	548	600	658

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPN 320	460	1	0	1826	2137	2758	632	723	834	964	1113	1282
		2	4.33	1560	1825	2356	618	702	804	924	1062	1218
		3	8.65	1293	1514	1954	602	678	770	878	1002	1142
		4	13.0	1027	1202	1552	584	649	729	823	931	1052
		5	17.3	761	890	1149	561	615	680	756	844	944
		6	47.4	609	712	919	546	592	647	712	787	871
		7	75.5	456	534	690	529	565	610	662	722	789
IPN 340	553	1	0	2037	2384	3078	763	869	997	1146	1318	1511
		2	4.58	1743	2040	2633	746	844	962	1100	1258	1436
		3	9.15	1448	1695	2188	727	816	922	1046	1188	1349
		4	13.7	1154	1350	1743	705	781	874	982	1106	1245
		5	18.3	859	1005	1298	677	740	816	905	1007	1121
		6	50.7	684	801	1034	658	712	776	851	937	1034
		7	81.2	509	596	769	637	679	731	790	859	936
IPN 360	647	1	0	2280	2668	3444	904	1028	1175	1348	1544	1765
		2	4.88	1952	2284	2949	884	998	1135	1293	1475	1678
		3	9.75	1624	1901	2454	861	964	1087	1230	1393	1577
		4	14.6	1297	1517	1959	833	923	1030	1155	1298	1458
		5	19.5	969	1134	1464	800	874	962	1065	1182	1314
		6	54.1	769	900	1162	777	839	914	1001	1100	1211
		7	86.7	570	667	861	750	799	859	927	1006	1094
IPN 380	763	1	0	2515	2943	3799	1071	1213	1381	1576	1799	2047
		2	5.13	2156	2523	3256	1047	1178	1334	1514	1719	1949
		3	10.3	1797	2103	2714	1020	1138	1278	1441	1626	1833
		4	15.4	1438	1683	2172	987	1090	1213	1355	1516	1697
		5	20.5	1079	1263	1630	948	1033	1134	1251	1385	1534
		6	57.4	854	999	1290	919	991	1076	1175	1288	1414
		7	92.4	629	736	950	886	943	1010	1088	1177	1277
IPN 400	879	1	0	2773	3245	4189	1248	1410	1602	1823	2074	2354
		2	5.40	2380	2785	3595	1220	1370	1547	1751	1983	2242
		3	10.8	1986	2324	3000	1187	1323	1483	1667	1877	2111
		4	16.2	1593	1864	2406	1149	1267	1407	1568	1751	1956
		5	21.6	1199	1404	1812	1102	1200	1316	1450	1601	1770
		6	60.2	946	1107	1430	1067	1150	1247	1360	1487	1630
		7	97.6	693	811	1047	1027	1092	1169	1257	1357	1469
IPN 450	1258	1	0	3455	4043	5219	1813	2034	2291	2585	2916	3283
		2	6.08	2969	3474	4485	1771	1975	2213	2485	2791	3130
		3	12.2	2484	2906	3752	1723	1907	2122	2368	2645	2952
		4	18.2	1998	2338	3019	1665	1827	2015	2231	2473	2742
		5	24.3	1513	1770	2285	1596	1730	1887	2066	2268	2492
		6	68.9	1188	1391	1795	1542	1655	1787	1937	2106	2295
		7	112	864	1011	1305	1480	1568	1671	1789	1921	2068

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

Tablo B.1.(Devam) Kuvvetli eksenleri etrafında pozitif eğilmeye maruz kalan S235, S275 ve S355 çelik sınıfında HEA, HEB, HEM, IPE ve IPN profil kullanılan çelik ankrajlı kompozit kirişler için alt sınır atalet momenti tabloları



IPN

KOMPOZİT KİRİŞ

ELASTİK ALT-SINIR

ATALET MOMENTİ

I_{LB} (10^6 mm^4)

KESİT	I_x	PTE[a]	Y_1[b]	ΣQ_n (kN)			Y_2[c], mm					
	$10^6 mm^4$		mm	S235	S275	S355	50	100	150	200	250	300
IPN 500	1713	1	0	4207	4923	6355	2519	2810	3145	3526	3951	4421
		2	6.75	3620	4236	5468	2458	2728	3038	3390	3783	4218
		3	13.5	3033	3549	4581	2388	2632	2913	3232	3588	3982
		4	20.3	2446	2862	3695	2306	2520	2766	3046	3359	3704
		5	27.0	1859	2175	2808	2207	2385	2591	2824	3085	3373
		6	78.0	1455	1703	2198	2127	2277	2449	2645	2864	3105
		7	126	1052	1231	1589	2036	2152	2286	2438	2608	2796
IPN 550	2286	1	0	4982	5830	7526	3406	3777	4201	4678	5208	5791
		2	7.50	4277	5005	6461	3321	3663	4055	4496	4985	5524
		3	15.0	3572	4180	5396	3221	3531	3885	4284	4726	5213
		4	22.5	2867	3355	4331	3104	3375	3685	4033	4421	4846
		5	30.0	2162	2530	3266	2964	3188	3445	3734	4054	4407
		6	84.2	1704	1994	2574	2857	3046	3262	3505	3775	4072
		7	136	1246	1458	1882	2734	2882	3052	3243	3455	3688
IPN 600	2931	1	0	5969	6985	9017	4486	4963	5502	6106	6772	7503
		2	8.10	5150	6027	7781	4372	4813	5313	5872	6490	7166
		3	16.2	4332	5069	6544	4239	4640	5094	5601	6162	6776
		4	24.3	3513	4112	5308	4083	4436	4836	5283	5777	6319
		5	32.4	2695	3154	4071	3898	4195	4530	4906	5321	5775
		6	93.8	2094	2450	3163	3739	3986	4266	4579	4926	5305
		7	153	1492	1746	2254	3553	3743	3959	4201	4467	4759

[a]=PTE'nin 7 konumu için Şekil 4.1'e bakınız,[b]Y_1=çelik profil üst kotuna olan uzaklığı,
[c]Y_2=Beton basınç kuvvetinin çelik profil üst kotuna olan uzaklığı

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akçelik M. C., Pınarbaşı Çuhadaroğlu S., Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'e Göre Çelik Ankrajlı Kompozit Kiriş Tasarımı, *4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi,* İstanbul, 23-24 Nisan 2019.

ÖZGEÇMİŞ

01 Mart, 1992 Çat, Erzurum doğumludur. 2006 yılında Erzurum Lisesi'ni (Anadolu) kazanıp 2010 yılında mezun oldu. 2011'de Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı.1 yıl ingilizce hazırlık ve 4 yıl lisans eğitimi sonucunda 2016 yılında bölümden ikincilikle mezun olarak İnşaat Mühendisliği diploması aldı. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Doç. Dr. Seval Pınarbaşı Çuhadaroğlu yönetiminde yüksek lisans çalışmasına başladı. Aynı zamanda Kocaeli Devlet Su İşleri 15. Şube Müdürlüğü'nde inşaat mühendisi olarak çalışmaya başladı. Bu süre zarfında, teklif ve ihale mühendisi, teknik ofis ve planlama mühendisi olarak birçok projede aktif rol oynadı.