

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK U PROFİLLERİN  
ENKESİT ÖZELLİKLERİNİN VE BASINÇ  
DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ**

**HİHAL ÇELİK**

**KOCAELİ 2020**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK U PROFİLLERİN  
ENKESİT ÖZELLİKLERİNİN VE BASINÇ  
DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

HİLAL ÇELİK

Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU

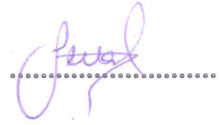
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç. Dr. Fuad OKAY

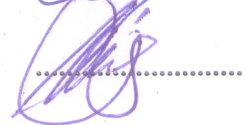
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Dr. Öğr. Üyesi Melis TAŞKIN

Jüri Üyesi, Süleyman Demirel Üniv.







Tezin Savunulduğu Tarih: 24.01.2020

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, ülkemizde farklı firmalar tarafından üretilen soğuk şekillendirilmiş U kesitli çelik yapı elemanlarının aksnel basınç kuvveti etkisi altındaki davranışlarının, 2016 yılında Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından yayınlanan AISI S100-16 numaralı “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Tasarımı için Kuzey Amerika Yönetmeliği”nde tanımlanan tasarım esasları çerçevesinde incelenerek dayanım hesaplarının yapılması ve aynı enstitü tarafından 2014 yılında yayınlanan “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu”nda Amerikan profilleri için sunulan tasarım tablolarına benzer tasarım tablolarını hazırlayarak ülkemizde hafif çelik yapı tasarımı yapan mühendis ve mimarlara tasarımlarında kolaylık sağlamak amacıyla yapılmıştır. Tezde ayrıca, bu tür profillerin dayanım hesaplarında kullanılan temel enkesit özelliklerinin belirlenmesi amacıyla literatürde yaygın şekilde kullanılan yöntemler araştırılmış ve karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamda en büyük destekçim olan, samimiyeti, eşsiz çabası ve pozitif yaklaşımı ile her zaman çalışmalarına yön veren, pes ettiğim her an yeniden başlamama vesile olan sevgili danışmanım Doç. Dr. Seval Pınarbaşı Çuhadaroğlu’na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca karşılaştığım zorluklarda desteğini esirgemeyen, hiçbir yardım isteğimi geri çevirmemiş olan, hem eğitimci hem de insan olarak çok kıymetli gördüğüm hocalarım Doç. Dr. Fuad Okay ve Dr. Erkan Akpınar’a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimli ve iyi birer insan olabilmemiz için kardeşim ve bana hem arkadaş hem de örnek alınabilecek birer büyük olan, kalbimde özlemlerini ömür boyu hissedeceğim dedem Yaşar Çelik’e ve babaannem Atiye Çelik’e en büyük teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca bana güç veren, varlıklarıyla huzur bulduğum sevgili babam Ramazan Çelik’e, annem Emine Çelik’e, kardeşim Bilal’e, tatlı anneannem ve dedeme teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim sırasında, birlikte gülüp ağladığım, yan yana ders çalıştığım ve hayatımdaki en zor dönemleri birlikte yaşadığım sevgili ev arkadaşlarım Tuba Betül Özkan ve Nezahat Bilen Demirci’ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Ocak – 2020

Hilal ÇELİK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	x
ABSTRACT .....	xi
GİRİŞ .....	1
1. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK YAPI ELEMANLARI .....	5
1.1. Yapı Malzemesi Olarak Çelik .....	5
1.2. Soğuk Şekillendirme Yöntemleri .....	6
1.2.1. Sürekli şekillendirme .....	6
1.2.2. Presle bükme .....	7
1.3. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Sınıflandırılması .....	7
1.3.1. Soğuk şekillendirilmiş profiller .....	7
1.3.2. Soğuk şekillendirilmiş yassı elemanlar.....	9
1.4. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Üstün ve Zayıf Yönleri .....	10
1.5. Ülkemizde Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Kullanımı ve Tasarımı .....	12
2. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN ENKESİT ÖZELLİKLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI.....	16
2.1. Çalışmada Ele Alınan Profiller .....	16
2.2. Enkesit Özelliklerinin Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler .....	22
2.2.1. Yöntem I .....	22
2.2.2. Yöntem II.....	32
2.2.3. Yöntem III.....	40
2.2.4. Yöntem IV .....	48
2.3. Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	54
3. EKSENEL BASINÇ KUVVETİ TAŞIYAN SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ PROFİLLERİN BAŞLICA DAYANIM SINIR DURUMLARI.....	60
3.1. Akma .....	62
3.2. Genel Burkulma .....	62
3.2.1. Kesitinde çift simetri ekseni veya nokta simetrisi bulunan profiller .....	64
3.2.2. Kesitinde tek simetri ekseni bulunan profiller .....	64
3.2.3. Kesitinde simetri ekseni bulunmayan profiller .....	66
3.3. Yerel Burkulma .....	66
3.4. Çarpılmalı Burkulma.....	70

4. AISI S100-16'YA GÖRE EKSENEL BASINÇ ETKİSİNDEKİ SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN TASARIM ESASLARI .....	72
4.1. AISI S100-16'da Tanımlanan Tasarım Yöntemleri .....	73
4.2. U Profiller için AISI S100-16'da Tanımlanan Tasarım Esasları .....	75
5. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN TASARIM EKSENEL BASINÇ KUVVETİ DAYANIMLARININ HESAPLANMASI VE TASARIM TABLOLARININ OLUŞTURULMASI .....	81
5.1. Profillerin Genel Burkulmalarının Engellendiği Durumlardaki Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımları .....	82
5.2. Profillerin Genel Burkulmaların Engellenmediği Durumlarda Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımları .....	91
6. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN BOYUTLARININ AKMA GERİLMESİNDEKİ TASARIM EKSENEL BASINÇ KUVVETİ DAYANIMLARINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ.....	122
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	135
KAYNAKLAR .....	138
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	140
ÖZGEÇMİŞ .....	141

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Sürekli şekil verme yöntemiyle üretilen elemanlar, (a) döşeme sacı, (b) gövde rijitleştiricili C profil .....	6
Şekil 1.2.	Çelik levhaların presle bükme yöntemiyle şekillendirilmesi .....	7
Şekil 1.3.	Soğukşekillendirilmiş çelik profillerin (a) ana taşıyıcı eleman, (b) yardımcı eleman olarak kullanımları .....	8
Şekil 1.4.	Yaygın şekilde kullanılan soğuk şekillendirilmiş profil kesitleri.....	8
Şekil 1.5.	Tipik bir soğuk şekillendirilmiş U profil .....	9
Şekil 1.6.	Soğuk şekillendirilmiş yassı elemanların kullanımı.....	9
Şekil 1.7.	TBDY Şekil 10.3'te tanımlanan minimum başlık genişlikleri.....	14
Şekil 2.1.	Soğuk şekillendirilmiş bir U profili .....	16
Şekil 2.2.	Yöntem I'de kullanılan simgeler .....	22
Şekil 2.3.	Tipik bir U profilin yuvarlak-köşe kabulüyle belirlenen çizgisel kesiti .....	32
Şekil 2.4.	Çeyrek çemberin bazı geometrik özellikleri .....	33
Şekil 2.5.	Tipik bir U profilin kare-köşe kabulüyle belirlenen çizgisel kesiti .....	41
Şekil 2.6.	ÜF2 firmasına ait U300x107x3 profilinin boyutlarının SAP2000 programına tanımlanması .....	49
Şekil 2.7.	ÜF2 firmasına ait U300x107x3 profilinin enkesit değerlerinin SAP2000 programından okunması .....	49
Şekil 2.8.	Çalışmada incelenen profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan güçlü eksendeki atalet momentlerindeki hata yüzdelerinin kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi .....	56
Şekil 2.9.	Çalışmada incelenen profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan güçlü eksendeki atalet momentlerindeki hata yüzdelerinin kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi .....	57
Şekil 2.10.	Çalışmada incelenen profillerin kesit yükseklikleri ile başlık genişliklerinin karşılaştırılması .....	58
Şekil 3.1.	Soğuk şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarının dayanım sınır durumları .....	61
Şekil 3.2.	Simetri ekseni olmayan bir basınç elemanında gözlenen eğilmeli-burulmalı burkulma.....	63
Şekil 3.3.	Çift simetri eksenli kesitler .....	64
Şekil 3.4.	Tek simetri eksenli kesitler .....	65
Şekil 3.5.	Soğuk şekillendirilmiş bir U profilin aksenal basınç yükü altında eğilmeli-burulmalı burkulması.....	66
Şekil 3.6.	Rijitleştirilmiş basınç elemanı (s.c.e.) içeren soğuk şekillendirilmiş kesitler .....	67
Şekil 3.7.	Rijitleştirilmemiş basınç parçaları içeren soğuk şekillendirilmiş kesitler .....	67

Şekil 3.8.	$\Omega$ kesitli soğuk şekillendirilmiş bir çelik yapı elemanının rijitleştirilmiş basınç başlığının burkulması .....	68
Şekil 3.9.	Rijitleştirilmiş bir basınç parçasında burkulma sonrası oluşan gerçek ve yaklaşık gerilme dağılımları .....	69
Şekil 3.10	Soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin rijitleştirilmemiş basınç başlığının burkulması .....	69
Şekil 3.11.	Soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin başlığı için etkin genişliğin tanımlanması.....	70
Şekil 3.12.	Eksenel basınç kuvveti taşıyan, başlıkları ve gövdesi narin, soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin etkin kesiti .....	70
Şekil 3.13.	Eksenel basınç kuvveti taşıyan, soğuk şekillendirilmiş bir C profilinde yerel burkulma (solda) ile çarpılmalı burkulmanın (sağda) karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.1.	Farklı gerilme türleri ve sınır koşulları için plak burkulma katsayıları .....	80
Şekil 6.1.	Çalışmada incelenen profillerin akma gerilmesinde tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımlarının kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi.....	123
Şekil 6.2.	H=150 mm ve (a) B=40 mm, (b) B=80 mm için tasarım dayanımlarının kalınlıkla değişimi.....	126
Şekil 6.3.	H=300 mm ve (a) B=60 mm, (b) B=120 mm için tasarım dayanımlarının kalınlıkla değişimi.....	126
Şekil 6.4.	H=150 mm ve (a) t=1 mm, (b) t=3 mm için tasarım dayanımlarının başlık genişliğiyle değişimi.....	126
Şekil 6.5.	H=300 mm ve (a) t=2 mm, (b) t=5 mm için tasarım dayanımlarının başlık genişliğiyle değişimi.....	127
Şekil 6.6.	B=60 mm ve (a) t=1 mm, (b) t=3 mm için tasarım dayanımlarının kesit yüksekliğiyle değişimi.....	127
Şekil 6.7.	B=100 mm ve (a) t=2 mm, (b) t=5 mm için tasarım dayanımlarının kesit yüksekliğiyle değişimi.....	127
Şekil 6.8.	Farklı H ve B değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanımlarındaki artışın kalınlıkla değişimi .....	129
Şekil 6.9.	Farklı H ve t değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanımlarındaki artışın başlık genişliğiyle değişimi .....	130
Şekil 6.10.	Farklı B ve t değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanımlarındaki artışın kesit yüksekliğiyle değişimi .....	132
Şekil 6.11.	Farklı H, B ve t değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanım oranlarının başlık iç yarıçapı ile değişimi .....	133

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. TBDY (2018) Tablo 10.2’de verilen enkesit koşulları .....	13
Tablo 2.1. ÜF1 firmasına ait profillerin boyutları ve bazı enkesit özellikleri .....	17
Tablo 2.2. ÜF2 firmasına ait profillerin boyutları ve bazı enkesit özellikleri .....	18
Tablo 2.3. ÜF3 firmasına ait profillerin boyutları ve bazı enkesit özellikleri .....	19
Tablo 2.4. Çalışmada incelenen profillerin temel boyutlarının (H, B, t) en küçük ve en büyük değerleri ile iç büküm yarıçapları (R) .....	21
Tablo 2.5. ÜF1’e ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	26
Tablo 2.6. ÜF2’ye ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	27
Tablo 2.7. ÜF3’e ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan dayanımı tasarım tablosu .....	28
Tablo 2.8. ÜF1’e ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	34
Tablo 2.9. ÜF2’ye ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	35
Tablo 2.10. ÜF3’e ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	36
Tablo 2.11. ÜF1’e ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	43
Tablo 2.12. ÜF2’ye ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	44
Tablo 2.13. ÜF3’e ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	45
Tablo 2.14. ÜF1’e ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	50
Tablo 2.15. ÜF2’ye ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	51
Tablo 2.16. ÜF3’e ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri .....	52
Tablo 2.17. Yöntem II’den elde edilen enkesit değerleri için en büyük hata yüzdeleri .....	54
Tablo 2.18. Yöntem III’ten elde edilen enkesit değerleri için en büyük hata yüzdeleri .....	54
Tablo 2.19. Yöntem IV’ten elde edilen enkesit değerleri için en büyük hata yüzdeleri .....	54
Tablo 5.1. S235 çelik kalitesi için, ÜF1 firmasına ait profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları .....	83
Tablo 5.2. S235 çelik kalitesi için, ÜF2 firmasına ait profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları .....	84



Tablo 5.3. S235 çelik kalitesi için, ÜF3 firmasına ait profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları.....	85
Tablo 5.4. ÜF1'e ait U profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları.....	93
Tablo 5.5. ÜF2'ye ait U profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları.....	97
Tablo 5.6. ÜF3'e ait U profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları.....	103



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Çizgisel kesitte düz gövde yüksekliği, (mm)
A'	: Dıştan dışa gövde yüksekliği, (mm)
$\bar{a}$	: Kare-köşeli çizgisel kesitin gövde yüksekliği, (mm)
A, A <sub>g</sub>	: Kayıpsız enkesit alanı, (mm <sup>2</sup> )
A <sub>e</sub>	: Etkin alan, (mm <sup>2</sup> )
B	: Başlık genişliği, (mm)
b	: Çizgisel kesitte düz başlık genişliği, (mm)
b	: Etkin genişlik, (mm)
$\bar{b}$	: Kare-köşeli çizgisel kesitin başlık genişliği, (mm)
B'	: Dıştan dışa başlık genişliği, (mm)
C <sub>w</sub>	: Çarpılma sabiti, (mm <sup>6</sup> )
E	: Elastisite modülü, (GPa)
e <sub>x</sub>	: GM ile gövdenin dış yüzü arasındaki mesafe, (mm)
F <sub>y</sub>	: Çeliğin karakteristik akma gerilmesi, (MPa)
F <sub>n</sub>	: Karakteristik basınç gerilmesi (Genel burkulma gerilmesi)
F <sub>cre</sub>	: Elastik burkulma gerilmesi, (N/mm <sup>2</sup> )
F <sub>cr1</sub>	: Elastik burkulma gerilmesi, (N/mm <sup>2</sup> )
G	: Birim boy kütle
G	: Kayma modülü, (GPa)
H	: Gövde yüksekliği
I <sub>x</sub>	: x eksenine göre atalet momenti, (mm <sup>4</sup> )
I <sub>y</sub>	: y eksenine göre atalet momenti, (mm <sup>4</sup> )
i <sub>x</sub>	: x eksenine göre asal atalet yarıçapı, (mm)
i <sub>y</sub>	: y eksenine göre asal atalet yarıçapı, (mm)
J	: Burulma sabiti, (mm <sup>4</sup> )
k	: Plak burkulma katsayısı
P <sub>cr</sub>	: Elastik burkulma yükü
P <sub>d</sub>	: Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>n</sub>	: Karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>u</sub>	: Gerekli aksenal basınç kuvveti dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>x</sub>	: x eksenine göre eğilmeli burkulma yükü
P <sub>y</sub>	: Basınç elemanının (soğuk şekillendirilmiş) akma yükü
P <sub>y</sub>	: y eksenine göre eğilmeli burkulma yükü
P <sub>z</sub>	: z eksenine göre burulmalı-burkulma yükü
R	: İç büküm yarıçapı, (mm)
r	: Merkez çizginin büküm yarıçapı, (mm)
R <sub>a</sub>	: Tasarım dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )
R <sub>n</sub>	: Karakteristik (Nominal) dayanım, (N/mm <sup>2</sup> )
R <sub>u</sub>	: Gerekli dayanım, (N/mm <sup>2</sup> )
r <sub>x</sub>	: x eksenine göre asal atalet yarıçapı, (mm)
r <sub>y</sub>	: y eksenine göre asal atalet yarıçapı, (mm)
r <sub>0</sub>	: Kayma merkezine göre polar atalet yarıçapı, (mm)

$t$	: Kalınlık, (mm)
$u$	: Merkez çizginin köşeler arası mesafesi, (mm)
$w$	: Düz genişlik, (mm)
$W_{ex}$	: x eksenine göre elastik mukavemet momenti, (mm <sup>3</sup> )
$W_{ey}$	: y eksenine göre elastik mukavemet momenti, (mm <sup>3</sup> )
$x_0$	: GM ile KM arası yatay mesafe
$\bar{x}_c$	: Merkez çizgi ile GM arası yatay mesafe, (mm)
$y_0$	: GM ile KM arası düşey mesafe, (mm)
$\rho$	: Yoğunluk
$\rho$	: Yerel azaltma katsayısı
$\Omega$	: Güvenlik katsayısı
$\phi R_n$	: Tasarım dayanımı
$\phi$	: Dayanım katsayısı
$\phi_c$	: Eksenel basınç etkisindeki elemanlar için dayanım katsayısı
$\phi_c P_n$	: Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı
$\lambda$	: Narinlik katsayısı (Slenderness factor)
$\mu$	: Poisson oranı
$\sigma_{ex}$	: x eksenini etrafında elastik eğilmeli burkulma gerilmesi
$\sigma_t$	: Elastik burulmalı burkulma gerilmesi

### Kısaltmalar

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASD	: Allowable Strength Design (Güvenlik Katsayıları ile Tasarım)
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CFS	: Cold Formed Steel (Soğuk Şekillendirilmiş Çelik)
C.G.	: Center of Gravity (Ağırlık Merkezi)
ÇYTHYAY	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği
GKT	: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
GM	: Geometrik Merkez
KM	: Kayma Merkezi
LRFD	: Load and Resistance Factor (Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım)
LSD	: Limit States Design (Sınır Durumlara Göre Tasarım)
S.C.	: Shear Center (Kayma Merkezi)
SDT	: Sınır Durumlara Göre Tasarım
S.C.E.	: Stiffened Compression Element (Rijitleştirilmiş Basınç Elemanı)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
U.C.E.	: Unstiffened Compression Element (Rijitleştirilmemiş Basınç Elemanı)
ÜF1	: Üretici Firma 1
ÜF2	: Üretici Firma 2
ÜF3	: Üretici Firma 3
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

## SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK U PROFİLLERİN ENKESİT ÖZELLİKLERİNİN VE BASINÇ DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

### ÖZET

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanları, kalınlıkları benzer boyutlu hadde profillerin et kalınlıklarına kıyasla çok daha küçük olan çelik levhaların şekillendirme makinelerinde bükülmeleriyle üretilen taşıyıcı elemanlardır. Ülkemizde hafif çelik binalarda ana taşıyıcı, geleneksel çelik yapılarda ise yardımcı taşıyıcı elemanlar olarak yaygın şekilde kullanılıyor olmalarına rağmen, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin tasarımları için güncel bir ulusal yönetmelik bulunmamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, ülkemizde farklı firmalar tarafından üretilen soğuk şekillendirilmiş U profillerin aksel basınç kuvveti etkisindeki dayanımlarını, güncel deprem yönetmeliğimiz tarafından da atıfta bulunulan AISI S100-16 yönetmeliğinde tanımlanan tasarım esaslarını kullanarak hesaplamak ve ülkemizde tasarımlarında soğuk şekillendirilmiş çelik profil kullanan mühendis ve mimarlar için pratik tasarım tabloları oluşturmaktır. Bu amaçla tezde, ülkemizde yaygın şekilde kullanıldığı düşünülen farklı boyutlara sahip 164 adet soğuk şekillendirilmiş U profil ele alınmıştır. Çalışmada, belirlenen profillerin satışını yapan firmaların ürün kataloglarında, profillerin temel enkesit özelliklerinden yalnız bir kısmının listelendiği, özellikle burkulma hesaplarında ihtiyaç duyulan burulma sabitleri ile kayma merkezleri hakkında tasarımcıya bilgi sunulmadığı fark edilmiştir. Bu nedenle, tezin ilk aşamasında, tezin kapsamında incelenen profillerin bütün temel enkesit özellikleri Amerikan Demir Çelik Enstitüsü tarafından 2014 yılında yayınlanan tasarım kılavuzunda sunulan formüller kullanılarak hesaplanmış ve tablolar halinde tasarımcılara sunulmuştur. İlgili enkesit özellikleri literatürde yaygın şekilde kullanılan diğer yöntemlerle de hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Tezin ikinci aşamasında ise profillerin tasarım aksel basınç kuvveti dayanımları, AISI S100-16 yönetmeliği ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi kullanılarak hesaplanmış; farklı burkulma boyları için hesaplanan dayanım değerleri tablolularak tasarımcılara sunulmuştur. Tezde ayrıca, profillerin hem enkesit özelliklerinin hem de basınç dayanımlarının kesit boyutlarıyla değişimleri de araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hafif Çelik Yapı, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanı, Tasarım Aksel Basınç Kuvveti Dayanımı, U Profil, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT).

## **DETERMINATION OF CROSS SECTIONAL PROPERTIES AND AXIAL COMPRESSIVE STRENGTHS OF COLD FORMED STEEL U PROFILES**

### **ABSTRACT**

Cold-formed steel (CFS) structural members are load carrying elements produced in forming machines by cold-rolling or braking of steel sheets that have much smaller thicknesses than those of similar-sized hot-rolled profiles. Even though CFS profiles are widely used in our country as primary load carrying members in light-gage steel buildings and secondary members in traditional steel structures, there is no up-to-date national specification for the design of CFS profiles. The main objective of this thesis is to compute the axial compressive strengths of CFS U profiles manufactured by different producers in our country by using the design guidelines given in AISI S100-16 specification, which is also referred by our current seismic specification, and to prepare practical design tables. For this purpose, 164 different CFS U profiles are examined in the thesis. It has been noticed that no information is given in the manufacturer's catalogs about the torsional properties of the examined profiles, which are required in their buckling calculations. For this reason, all basic sectional properties of the examined profiles are computed first using the formulas given in the design guide published by American Iron and Steel Institute in 2014. Then, the design axial compressive strengths of the profiles are computed using AISI S100-16 and Load and Resistance Factor Design (LRFD), and the strength values computed for different values of buckling lengths are presented to the designers. The variations of sectional properties and compressive strengths of the examined sections with their dimensions are also investigated in the thesis.

**Keywords:** Light-Gage Steel Structure, Cold Formed Structural Steel Member, Design Axial Compression Strength, U Profile, Load and Resistance Factor Design (LRFD).

## GİRİŞ

Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar, modern yaşamın her alanında bulunmaktadır. Bu elemanlar; kapı doğramaları, pencere çerçeveleri, demir yolu vagonları ile depolama raf sistemlerinde sıklıkla kullanılmalarının yanı sıra, başta inşaat, makine ve havacılık mühendisliği olmak üzere farklı mühendislik uygulamalarında da yaygın şekilde kullanılmaktadır [1]. Soğuk şekillendirilmiş profillerin, son yıllarda, inşaat sektöründe, az katlı ve geniş açıklığa sahip olmayan yapılarda ana taşıyıcı elemanlar olarak, çok katlı yapılarda ise çatı ve yan duvar kaplamaları ile ikincil taşıyıcı elemanlar olarak kullanıldığı da bilinmektedir [2]. Üretim, nakliye ve montaj kolaylığı sağlamaları nedeniyle, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin kullanımı çelik bir yapının tasarımında ekonomi, imalatında ise hız kazandırmaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde, bilgisayar kontrollü makinelerde proje detaylarına uygun olarak üretilen boy ve ölçülerdeki profillerin istenilen noktalarına şekillendirme öncesi gerekli ölçülerde delik açılabilen, profillerin korozyona karşı dayanımı galvaniz kaplama veya sıcak sac üzeri boyama ile kolayca ve hızlı şekilde artırılabilir. Çeliğin çevre dostu ve geri dönüştürülebilir bir malzeme olması da, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin inşaat sektöründe tercih edilme sebeplerindendir [3].

Bina yapımında soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların kullanımı, hem Amerika Birleşik Devletleri hem de İngiltere’de 1850’li yıllarda başlamasına rağmen, yaklaşık yüz yıl boyunca bu tür çelik elemanların binalardaki kullanımının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir [4]. Bunun belki de en önemli nedeni, o yıllarda, soğuk şekillendirilmiş elemanları kullanarak tasarım yapmak isteyen mühendis ve mimarları yönlendiren standartların/yönetmeliklerin bulunmamasıdır. Soğuk şekillendirilmiş yapı elemanlarının tasarımı üzerine hazırlanan ilk yönetmelik, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute, AISI) tarafından 1946 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) yayınlanan “İnce Cidarlı Çelik Yapı Elemanlarının Tasarımı için Yönetmelik (Specification for Design of Light Gage Steel Structural Member)” [5] isimli yönetmeliktir [4].

Bu yönetmelikle birlikte, soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik yapı elemanlarının inşaat sektöründe kullanımı hızla artmıştır.

Ülkemizde ise soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının kullanımı, çeliğin yapı sektöründe kullanımının artmasıyla hız kazanmış; bu tür elemanların tasarımı için hazırlanan ilk resmi doküman olan TS 11372 - Çelik Yapılar – Hafif - Soğukta Şekillendirilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları [6] başlıklı standart, 1994 yılında Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yayınlanmıştır. Ancak, bahsi geçen yönetmelikte ilerleyen yıllarda herhangi bir güncelleme yapılmadığı için, son yıllarda, ülkemizde soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının tasarımında Kuzey Amerika [7] veya Avrupa [8] yönetmeliklerinin kullanıldığı görülmektedir. Hafif çelik yapıların temel tasarım esasları güncellenmemiş olmasına rağmen, 2018 yılında yayınlanan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin (TBDY (2018)) [9] 10. bölümünde 'Deprem Etkisi Altında Hafif Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar' başlığı altında, yatay yük taşıyıcı sistemleri kaplamalı veya çaprazlı panel sistemlerden oluşan hafif çelik binalardaki soğuk şekillendirilmiş taşıyıcı elemanlar ile bu elemanların birleşimleri için boyutlandırılma esaslarının tanımlandığı görülmektedir. TBDY (2018)'in bazı bölümlerinde (örnek olarak, Bölüm 10.3.3.1(b)'de), etkin alan ve dayanım hesapları için, TS 11372 standardına değil de, yukarıda bahsi geçen Kuzey Amerika [7] veya Avrupa [8] yönetmeliklerine atıfta bulunulduğu dikkate alındığında, TS 11372 standardının günümüzde güncelliğini yitirdiği söylenebilir. TBDY (2018)'de, soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların tasarımına yer verilmesiyle birlikte, ilerleyen süreçte ülkemizde bu elemanların kullanımının daha da yaygınlaşması beklenmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, ülkemizde farklı firmalar tarafından üretilen soğuk şekillendirilmiş U enkesitli çelik yapı elemanlarının aksel basınç kuvveti dayanımlarını, TBDY (2018) tarafından da atıfta bulunulan, 2016 yılında Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından yayınlanan AISI S100-16 numaralı ve "Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Tasarımı için Kuzey Amerika Yönetmeliği" (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members) [7] başlıklı yönetmelikte tanımlanan tasarım esaslarını

kullanarak hesaplamak ve ülkemizde hafif çelik yapı tasarımı yapan mühendis ve mimarlar için pratik tasarım tabloları oluşturmaktır.

Bu amaçla ilk olarak, ülkemizde hafif çelik profil imalatı ve/veya satışı yapan ve ürün kataloglarına internetten ulaşılabilen üç firmanın katalogları incelenmiş, kataloglarda yer alan ve ülkemizde sıklıkla kullanıldığı düşünülen 164 farklı U profilinin boyutları ve enkesit özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Firmaların sunduğu profil tablolarında, profillerin tasarımında ihtiyaç duyulan temel enkesit özelliklerinin yalnız bir kısmının listelendiği, özellikle basınç ve/veya eğilme etkisindeki elemanların tasarımında kullanılan burulma ve çarpılma sabitleri ile profillerin kayma merkezleri ile geometrik merkezleri arasındaki uzaklıkların tasarımcıya sunulmadığı fark edilmiştir. Hem ülkemizde hafif çelik tasarımı yapan mühendis ve mimarlara U profillerin tasarımında kullanılan enkesit özelliklerinin tamamını içeren tablolar sunmak hem de tezin ikinci aşamasında profillerin dayanım hesaplarında kullanmak amacıyla, tezin ilk aşamasında, tezin kapsamında incelenen U profillerin temel enkesit özelliklerinin tamamı, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından 2014 yılında yayınlanan “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu” (Cold-Formed Steel Design Manual) [10] Bölüm 3’te sunulan formüller kullanılarak hesaplanmış ve tasarımcılara tablolar halinde sunulmuştur. İlgili enkesit özellikleri, dayanım hesaplarında kolaylık sağladığı için soğuk şekillendirilmiş elemanların tasarımında sıkça kullanılan “çizgisel yöntem”le de hesaplanmış, elde edilen değerler tablolanan değerlerle karşılaştırılarak çizgisel yöntemdeki hata oranları belirlenmiştir. Tablolanan enkesit özellikleri, ayrıca, yapı analiz ve tasarımında ülkemizde yaygın şekilde kullanılan SAP 2000 [11] programından elde edilen değerlerle de karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, ilk olarak aksenal basınç kuvveti etkisindeki soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken sınır durumlar hakkında bilgi sunulmuş; bu tür elemanlar için AISI S100-16 [7] yönetmeliğinde tanımlanan temel tasarım esasları özetlenmiştir. Ardından, tezde incelenen bütün U profillerin tasarım basınç kuvveti dayanımları AISI S100-16 yönetmeliğindeki tasarım esasları ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler tablolar halinde sunulmuştur. Dayanım hesaplarında, elemanların burulmalı burkulma boyları, zayıf eksende



eğilmeli burkulma boylarına eşit alınmıştır. Çalışmada, profillerin S235 çelik kaliteli levhalardan üretildiği kabul edilmiş; dayanım hesaplarında, soğuk şekillendirme nedeniyle profillerin akma dayanımında oluşan artış dikkate alınmamıştır. Profillerin basınç dayanımları önce olası bütün genel burkulma modlarının engellendiği kabulü ile hesaplanmış, ardından genel burkulma modları dikkate alınarak farklı burkulma boyları için dayanımlar yeniden hesaplanmıştır. Genel burkulma modlarının bir sınır durum olmadığı elemanlar için tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı, elemanda oluşan en büyük gerilme (i) akma gerilmesine, (ii) gövdenin tamamen etkin olduğu en büyük gerilmeye, (iii) başlığın tamamen etkin olduğu en büyük gerilmeye eşitlenerek ayrı ayrı hesaplanmıştır. Genel burkulma modlarının dikkate alındığı durumlarda ise, her bir profil için kuvvetli ekseninde eğilmeli burkulmalı sınır durumu için altı farklı etkin burkulma boyu değeri belirlenmiş, bu değerlerden her biri için zayıf ekseninde eğilmeli (veya burulmalı) burkulma sınır durumu için beş farklı destekleme durumu dikkate alınarak eleman dayanımları hesaplanmış ve tablolaştırılmıştır. Tezde sunulan tasarım tablolarının ülkemizde soğuk şekillendirilmiş çelik U profillerle tasarım yapan mühendis ve mimarlara hız ve zaman kazandıracağı düşünülmektedir.

## **1. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK YAPI ELEMANLARI**

Çelik yapılarda kullanılan iki tür çelik eleman vardır. Bunlardan ilki ülkemizde daha çok bilinen, sıcak şekillendirilmiş tek parçalı elemanlar ile bileşik veya yapma kesitli elemanlardır. İkincisi ise birincisine göre nispeten daha az bilinen fakat TBDY (2018)'de [9] bazı tasarım esasları tanımlanan; ince çelik levhaların oda sıcaklığında ard arda yerleştirilen merdane çiftlerinden geçirilerek veya presle bükülerek şekillendirilmesiyle elde edilen ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanlardır. Bu bölümde, soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanların genel malzeme özellikleri, üretim teknikleri, üstün ve zayıf yönleri ile kullanım alanları kısaca özetlenerek ülkemizde bu tür profillerin tasarımında kullanılan yönetmeliklerden bahsedilecektir.

### **1.1. Yapı Malzemesi Olarak Çelik**

Bir yapı malzemesinden en doğru şekilde yararlanabilmek için, kullanılan malzemenin karakteristik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Demir cevherinden elde edilen, mekanik olarak işlenebilen, dövme, presleme veya haddeleme yöntemleri ile şekil verilebilen alaşımlara çelik denir. Bünyesinde karbon, fosfor, manganez, kükürt, azot, bakır gibi elementleri de belirli oranlarda bulunduran çelik, diğer yapı malzemelerine kıyasla daha homojen ve izotrop yapıya sahiptir. İçeriğindeki karbon miktarının artmasıyla, dayanımı artsa da çelik sertleşir ve daha gevrek bir malzemeye dönüşür. Günümüzde, üretim yöntemi ve farklı oranlarda birleştirilen elementlerin etkisiyle değişik yapı çelikleri üretilebilmektedir [9].

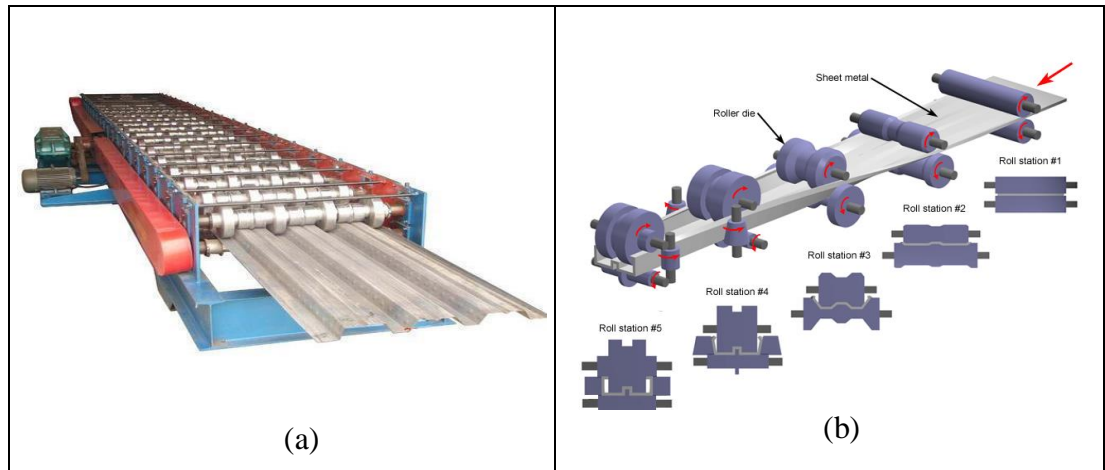
Öz ağırlığının taşıdığı yüke oranının oldukça küçük olması, yapı çeliğinin yüksek dayanımlı bir malzeme olduğunun kanıtıdır. Genel olarak, soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların dayanım/ağırlık oranlarının, sıcak şekillendirilmiş hadde profillerin dayanım/ağırlık oranlarından daha yüksek olması, soğuk şekillendirilmiş elemanlar için bir avantaj olup, kullanıldıkları yapının toplam ağırlığının azalmasında etkili olmaktadır [2]. Çeliğin yüksek elastisite modülüne sahip olması, stabilite kayıplarına,

dinamik yüklere ve titreşimlere karşı daha dirençli bir davranış göstermesini sağlar. Buna karşın çelik, ısı, ses ve elektriği iyi iletme özelliğine sahip bir malzemedir. Çeliğin yangına karşı dayanıksız bir malzeme olması nedeniyle, çelik yapı tasarımında mutlaka yangına ve korozyona karşı gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır.

## 1.2. Soğuk Şekillendirme Yöntemleri

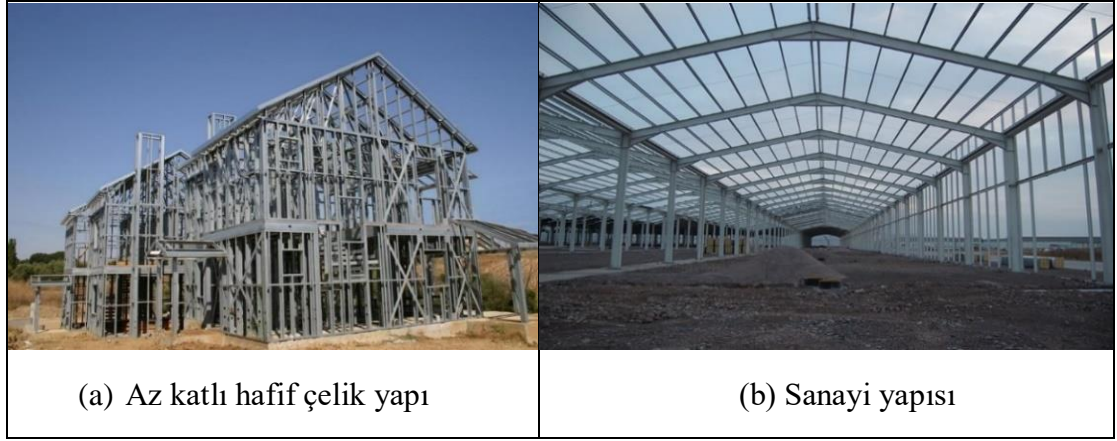
### 1.2.1. Sürekli şekillendirme

Sürekli şekil verme yönteminde, ince çelik levhalar oda sıcaklığında sıralı merdane çiftlerinin arasından geçirilerek şekil verilir. Bu yöntem genel olarak, tek parçalı çelik yapı elemanları ile döşeme ve çatı kaplaması ile duvar panellerinin üretiminde kullanılır [2]. Bu yöntemin en önemli üstünlükleri, malzemenin korozyona karşı dayanımını artırmak amacıyla profile uygulanan boya veya galvaniz kaplamaya zarar vermeden şekillendirme yapılabilmesi ve üretim hızının yüksek olmasıdır. Şekil 1.1 çelik levhaların sıralı merdane çiftleri arasından geçirilerek şekil verilmesini göstermektedir. Şekil 1.1(a)'da kompozit döşemelerde yaygın şekilde kullanılan bir döşeme sacının üretimi, Şekil 1.1 (b)'de ise gövde rijitleştiricili bir C profilin üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 1.1 (b)'den de detaylı olarak görülebileceği gibi, bu yöntemde, her bir merdane istasyonunda levhaya farklı bir şekil verme işlemi uygulanarak profil son şekline getirilmektedir.



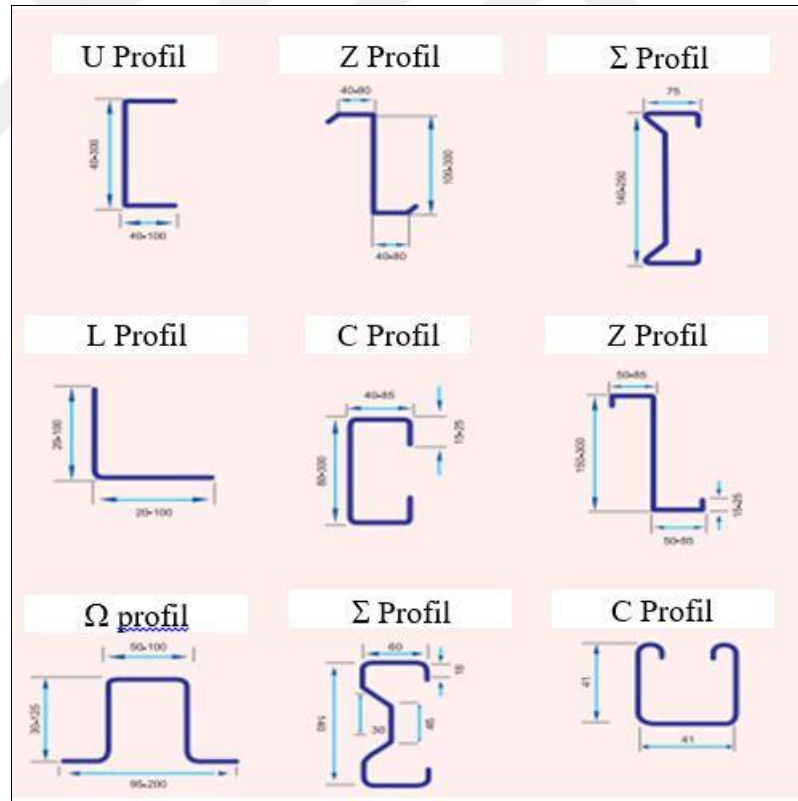
Şekil 1.1. Sürekli şekil verme yöntemiyle üretilen elemanlar, (a) döşeme sacı [12], (b) gövde rijitleştiricili C profil [13]





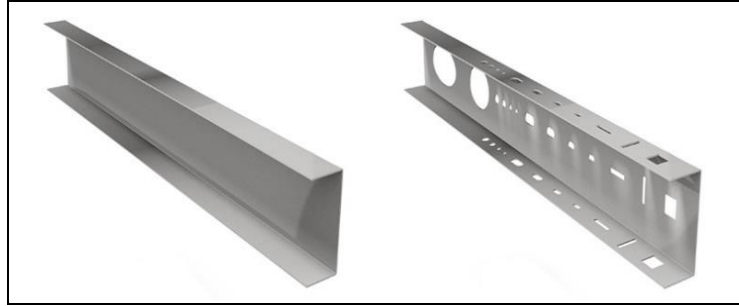
Şekil 1.3. Soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin (a) ana taşıyıcı eleman [15] (b) yardımcı eleman [16] olarak kullanımları

U, C, Z, T, L,  $\Sigma$  (sigma) ve  $\Omega$  (omega) enkesitli profiller (Şekil 1.4), hem dünya da hem de ülkemizde hafif çelik sektöründe yaygın olarak kullanılan profiller arasında yer almaktadır.



Şekil 1.4. Yaygın şekilde kullanılan soğuk şekillendirilmiş profil kesitleri [17]

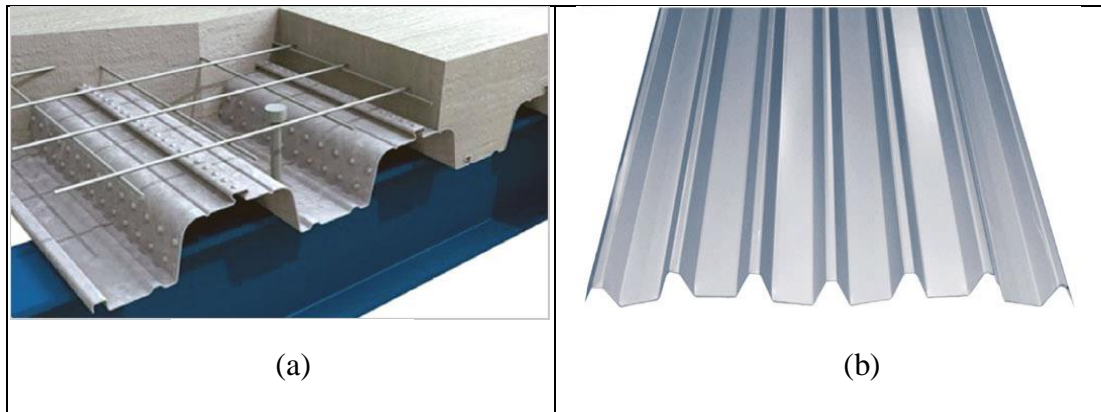
Bu tezde, soğuk şekillendirilmiş U profiller ele alınmıştır. Şekil 1.5'te tipik bir soğuk şekillendirilmiş U profil gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, bu tür profillerin üretiminde istenilen ebatlardaki boşluklar kolayca açılabilir.



Şekil 1.5. Tipik bir soğuk şekillendirilmiş U profil [1]

### 1.3.2. Soğuk şekillendirilmiş yassı elemanlar

Soğuk şekillendirilmiş yassı elemanlar; genelde çatı, döşeme ve duvar kaplaması olarak kullanılırlar. Bu tür elemanlar tek başlarına kullanılabilecekleri gibi, Şekil 1.6(a)'da gösterildiği gibi betonla birlikte kompozit olarak da kullanılabilir [18]. Soğuk şekillendirilmiş yassı elemanların çatı ve duvar kaplaması olarak kullanılmaları durumunda temel görevleri, üzerlerine etkiyen kar, rüzgar ve benzeri yükleri ana taşıyıcı elemanlara güvenle aktarmaktır [19, 20]. Şekil 1.6(b)'de çatı ve duvar kaplamasında kullanılan tipik bir soğuk şekillendirilmiş eleman gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Soğuk şekillendirilmiş yassı elemanların kullanımı [3]

#### 1. 4. Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Üstün ve Zayıf Yönleri

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının sahip olduğu üstünlükler şöyle sıralanabilir:

- Yüklerin ve açıklığın nispeten az olduğu durumlarda soğuk şekil verme yöntemiyle sıcak şekil verme yöntemine kıyasla daha hafif elemanlar üretilebilmektedir. Üretim maliyetlerinin de düşük olması nedeniyle, soğuk şekillendirilmiş profillerle inşa edilen az katlı yapıların tasarımcılara ekonomik bir seçenek sunduğu kabul edilir [18].
- Soğuk şekil verme yöntemiyle, sıcak şekil verme yöntemiyle imalatı mümkün ya da ekonomik olmayan alışılmışın dışında kesit geometrilerine sahip profiller üretilebilmektedir [20].
- Soğuk şekillendirilmiş profiller çoğu zaman üst üste istiflenebildiğinden, paketleme ve nakliyede büyük kolaylık sağlamaktadır.
- Gelişen teknolojiyle birlikte soğuk şekillendirilmiş profillere, üretim aşamasında, istenilen şekil ve boyutlarda delikler açılabilen; bu da imalatta büyük kolaylık sağlamaktadır.
- Sıcak şekillendirilmiş hadde profillere kıyasla dayanım/ağırlık oranları daha yüksek olduğundan, burkulma durumları göz önünde bulundurularak boyutlandırıldıklarında, yapının toplam ağırlığını azaltmaktadırlar [21].
- Soğuk şekillendirilmiş panellerin döşeme, çatı veya duvar imalatında kullanılmaları durumunda, elemanların kalıpsız inşasını sağlarlar. Ayrıca, tesisatın yerleştirilmesinde panel geometrisindeki boşluklar rahatça kullanılabilir.
- Soğuk şekillendirilmiş paneller, doğru tasarlandıklarında, sadece yüzeylerine dik gelen yükleri değil, kendi düzlemlerindeki yükleri de diğer taşıyıcı elemanlara güvenle aktarabilirler [19].
- Geri dönüştürülebilir malzemenin üretilmesi sayesinde, soğuk şekillendirilmiş elemanlar sürdürülebilir, çevreci ve yeşil bina olanağı sağlamaktadır.
- Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının yapısal ahşap elemanlara kıyasla en belirgin üstünlükleri, hava koşullarından daha az etkilenmeleri, dayanım ve rijitliklerinin daha yüksek olması, hızlı ve çoklu imalat olanağı ile kurtlanma sorunlarının olmamasıdır.

Yukarıda sıralanan üstünlük özelliklerinin yanı sıra, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin tasarımda mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bazı zayıf yönleri de mevcuttur. Bu zayıflıklar şöyle sıralanabilir:

- Açıklıkların ve/veya yüklerin büyük olduğu durumlarda ekonomik sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle, yönetmelikler soğuk şekillendirilmiş profillerle inşa edilen yapılarda kat adedini sınırlandırmaktadır. Soğuk şekillendirilmiş profiller, yüksek yapılarda çoğu zaman yalnızca sıcak şekillendirilmiş ana taşıyıcı çelik elemanlara yardımcı eleman olarak kullanılabilirler.
- Soğuk şekil verme işleminde profile ard arda uygulanan işlem sayısı sınırlıdır. Profile uygulanan şekil verme işleminin fazla tekrarı, malzemede büyük zorlamaların meydana gelmesine neden olur. Bu durumda, profilde çatlama ve kırılmalar gözlenebilmektedir [19].
- Soğuk şekillendirilmiş profillerin kalınlıkları sıcak şekillendirilmiş hadde profillere kıyasla çok daha küçük olduğundan yerel burkulmaya ve yangına karşı dirençleri çok düşüktür. Ayrıca, depolama ve taşıma esnasında daha hassas davranılması, montajlarının daha dikkatli yapılması gerekmektedir [22].
- Çoğu soğuk şekillendirilmiş profil açık enkesite sahip olduğundan, bu tür profillerin burulmaya karşı dirençleri çok düşüktür. Bu nedenle, burulma içeren burkulma sınır durumları soğuk şekillendirilmiş profillerin davranışını belirleyen bir sınır durum olabilmektedir.
- Soğuk şekillendirilmiş profillerin köşelerindeki et kalınlığı hadde profillerine kıyasla daha küçük olduğundan, tekil yüklere karşı dirençleri daha azdır [22].
- Her ne kadar şekillendirme işlemi, yüksek sıcaklıklarda yapılmıyor olsa da soğuk şekillendirilmiş profillerde de artık gerilmeler oluşmaktadır ve bu gerilmelerin profillerin burkulma davranışlarına etkisi mutlaka tasarıma dahil edilmelidir. Ancak, soğuk şekillendirilmiş profillerde oluşan artık gerilmelerin gerek oluşma nedenleri gerekse kesit üzerindeki dağılımlarının sıcak şekillendirilmiş profillere kıyasla çok daha farklı olduğu unutulmamalıdır [23].



## 1.5. Ülkemizde Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Kullanımı ve Tasarımı

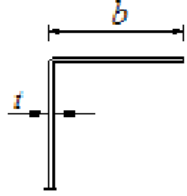
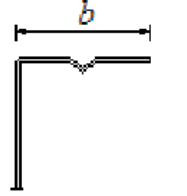
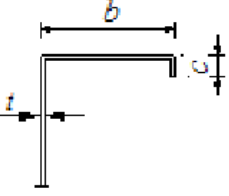
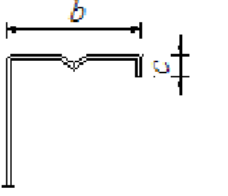
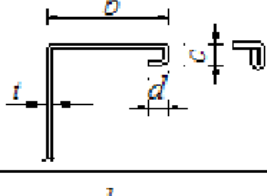
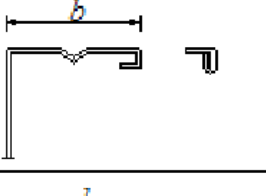
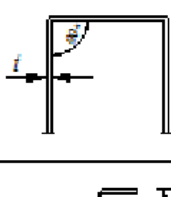
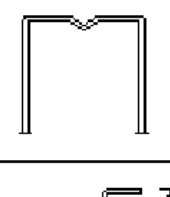


Hafif çelik yapı elemanları olarak da bilinen soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların ülkemizde inşa edilen yapılardaki kullanımı, bu tür elemanların yaygın şekilde kullanıldığı, başta ABD olmak üzere İngiltere, Japonya, Kanada ve Avusturalya gibi ülkelere kıyasla daha azdır. Ancak, özellikle 1999 yılında yaşanan Kocaeli depreminden sonra, mevcut klasik taşıyıcı sistemlerin yerine geçebilecek alternatif yapı sistemlerinin araştırılmaya başlanmasıyla birlikte, hafif çelik taşıyıcı sistemlerin kullanımının ülkemizde de artmaya başladığı görülmektedir [18].

Ülkemizde, soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanların tasarım esasları ilk olarak 1994 yılında yayınlanan TS 11372 [6] standardı ile düzenlenmiştir. Bu standart, büyük yüklere maruz kalmayan soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcı sistemlerde, bükme iç yarıçapları belirli sınırlar içinde kalan ince cidarlı çelik yapı elemanları için elastik teoriye dayalı hesap kurallarını içermektedir. Ancak, yayımlandığı 1994 yılından günümüze kadar, herhangi bir güncelleme yapılmamış olması nedeniyle TS 11372 ülkemizde artık kullanılmamaktadır. Soğuk şekil verilmiş çelik yapı tasarımı üzerine ülkemizde yürürlükte olan en güncel doküman 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) [9]'dir; zira, bu yönetmeliğin 10. bölümünde deprem etkisi altındaki hafif çelik binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için özel kurallar tanımlanmıştır. Özellikle etkin alan ve dayanım hesaplarında, TBDY (2018)'in tasarımcıları, TS 11372'ye göre daha güncel ve modern olan Kuzey Amerika [8] veya Avrupa [8] yönetmeliklerine yönlendirdiği görülmektedir.

TBDY (2018) [9] Bölüm 10.2.3'te soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların, "et kalınlıkları 0,45 mm ile 16 mm arasında değişen çelik yassı mamullerin şekillendirme makinelerinde bükülmesi" ile elde edildiği belirtilmektedir. Yönetmelik'in aynı bölümünde, bu tür elemanların malzeme özellikleri için minimum koşullar tanımlanmıştır. Buna göre, soğuk şekillendirilen çelik malzemenin akma gerilmesi en az 235 MPa, kopma dayanımının akma gerilmesine oranı ise en az 1,08 olmalıdır. Yönetmelik, kopma birim uzama oranı %10'dan daha büyük ancak %16'dan daha küçük olan "normal sünek" malzemelerin yalnız aşık, cephe kuşakları ve taşıyıcı olmayan dikme elemanlarında kullanılmasına izin vermektedir.

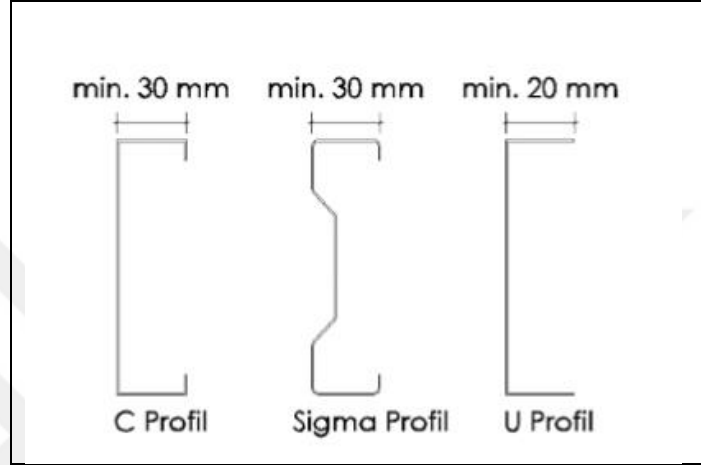
TBDY (2018)'de [9] tasarım kuralları verilen kaplamalı ve çaprazlı panel sistemlerde kullanılacak profillerin enkesit koşulları ise Bölüm 10.2.4'te tanımlanmıştır. Soğuk şekillendirilmiş bir profilin basınç etkisinde kalan parçasının (veya parçalarının) genişlik/kalınlık oran(lar)ının, profilin yerel burkulma davranışını belirleyen önemli parametrelerden biri olduğu bilinmektedir. TBDY (2018), Tablo 10.2'de (tezde, Tablo 1.1'de) farklı sınır koşullarına sahip basınç etkisindeki parçaların genişlik/kalınlık oranlarını sınırlandırmıştır.

Tablo 1.1. TBDY (2018) Tablo 10.2'de verilen enkesit koşulları [9]

ENKESİT ÖZELLİKLERİ		Sınır Değerler
		$b/t < 50$
		$b/t < 60$ $c/t < 50$
		$b/t < 90$ $c/t < 60$ $d/t < 50$
		$b/t < 500$
		$h_i/t < 500 \sin(\phi)$ $45 < \phi < 90$

Bu koşulların yanı sıra, Madde 10.2.4.2'de kenar rijitleştiricilerin boyları, rijitleştiricilerin eleman dayanımına etkin katılımını sağlamak amacıyla sınırlandırılmıştır. Madde 10.2.4.5'te, profillerin iç büküm yarıçaplarının et

kalınlığının beş katından ve başlık genişliğinin onda birinden küçük olması durumunda, iç büküm yarıçaplarının enkesit özelliklerine etkisinin göz ardı edilmesi istenmektedir. Ayrıca, TBDY 2018 Madde 10.2.4.7’de, C ve  $\Sigma$  profillerin başlık genişliklerinin, profillere bağlanacak kaplamaların vidalanabilmesini sağlamak amacıyla, en az 30 mm olması gerektiği belirtilmektedir (Şekil 1.7). Benzer şekilde, U profillerin başlık genişliklerinin de en az 20 mm olması istenmektedir.



Şekil 1.7. TBDY (2018) Şekil 10.3’te tanımlanan minimum başlık genişlikleri [9]

TBDY (2018) Bölüm 10.2.5’te, hafif çelik bir binanın taşıyıcı sisteminin boyutlandırılmasında, 2016 yılında yayınlanarak yürürlüğe giren ve 2018 yılında güncellenen “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYEEY, 2018)”te [24] tanımlanan Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemlerinden herhangi birinin kullanılabilmesi belirtilmektedir. Bununla birlikte, binanın temelini boyutlandırılmasında yalnız YDKT yönteminin kullanımına izin verilmektedir.

TBDY (2018) Tablo 4.1’e göre, yönetmelik kapsamında boyutlandırılacak hafif çelik taşıyıcı sistemler için izin verilen bina yükseklik sınıfı  $BYS=8$ ’dir. Diğer bir ifadeyle, TBDY (2018) Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 uyarınca, bu tür binalar için yönetmelikteki yükseklik sınırı, deprem tehlikesi yüksek olan (standart tasarım yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı 0,50’den büyük olan) binalarda 7 m, diğer binalarda ise 10,5 m’dir. Sonuç olarak, TBDY (2018)’e göre, ülkemizde yapılabilecek

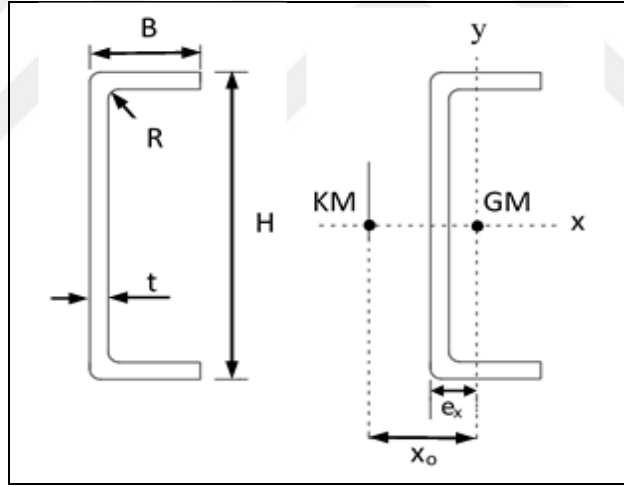
hafif elik binaların kat adedi deprem tehlikesi yüksek binalarda yaklaşık 2 kat, nispeten düşük binalarda ise 3 katla sınırlanırılmıştır.



## 2. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN ENKESİT ÖZELLİKLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

### 2.1. Çalışmada Ele Alınan Profiller

Soğuk şekillendirilmiş tipik bir U profilin boyutları, asal eksenleri ve kayma merkezi (KM) ile geometrik merkezinin (GM) konumları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi, bu çalışmada, profilin başlık genişliği için  $B$ , yüksekliği için  $H$ , kalınlığı için  $t$  ve iç büküm yarıçapı için ise  $R$  simgeleri kullanılmaktadır. Profilin asal eksenleri  $x$  (güçlü) ve  $y$  (zayıf) eksenleri olup, GM ile gövdenin dış yüzü arasındaki mesafe  $e_x$ , GM ile KM arasındaki mesafe ise  $x_o$  simgeleriyle gösterilmektedir.

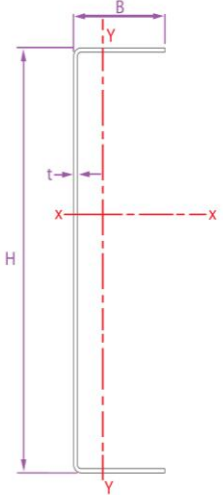


Şekil 2.1. Soğuk şekillendirilmiş bir U profili


Bu çalışmada, ülkemizde hafif çelik profil imalatı ve/veya satışı yapan, profil tablolarına internetten ulaşılabilen ve sektörün önde gelen firmalarından olduğu düşünülen üç firmanın ürün kataloglarında listelenen U profiller ele alınmıştır. İlgili firmalar, çalışmada ÜF1, ÜF2 ve ÜF3 olarak adlandırılmıştır. Çalışmada ele alınan toplam profil sayısı 164 olup, ilgili profiller, ÜF1 firması için Tablo 2.1’de (29 enkesit), ÜF2 firması için Tablo 2.2’de (43 enkesit) ve ÜF3 firması için Tablo 2.3’te

(87 enkesit) sunulmuştur. Profil tabloları ilgili firmaların internet sitelerinden indirilmiş olup, tablolardan yalnız enkesit boyutları okunmuştur.

Tablo 2.1. ÜF1 firmasına ait profillerin boyutları ve bazı enkesit özellikleri

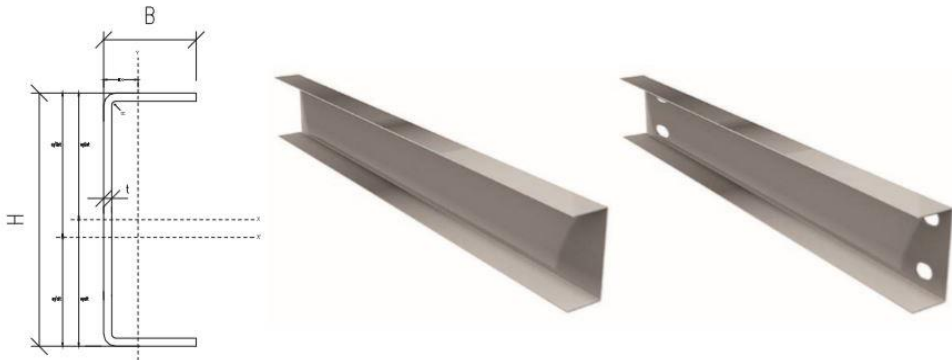


100 ≤ H ≤ 400  
38 ≤ A ≤ 100      1.5 ≤ t ≤ 4  
38 ≤ B ≤ 100



U Profil	H mm	B mm	t mm	Açılım mm	Ağırlık kg/m	Alan F cm <sup>2</sup>	Eğilme Eksen (x-x)			Eğilme Eksen (y-y)			Eksene olan uzaklık	
							I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	e <sub>x</sub> (cm)	e <sub>y</sub> (cm)
U10015	100	53	1,50	200	2,36	3,00	49,53	9,91	4,06	8,64	2,24	1,70	1,45	5,00
U10020	100	54	2,00	200	3,14	4,00	65,86	13,17	4,06	11,90	3,07	1,73	1,52	5,00
U10025	100	55	2,50	200	3,93	5,00	82,13	16,43	4,05	15,36	3,92	1,75	1,58	5,00
U10030	100	56	3,00	200	4,69	6,00	98,33	19,67	4,05	19,02	4,82	1,78	1,65	5,00
U12015	120	63	1,50	240	2,83	3,60	85,71	14,29	4,88	14,69	3,19	2,02	1,70	6,00
U12020	120	64	2,00	240	3,77	4,80	114,01	19,00	4,87	20,13	4,34	2,05	1,77	6,00
U12025	120	65	2,50	240	4,72	6,00	142,21	23,70	4,87	25,85	5,54	2,08	1,83	6,00
U12030	120	66	3,00	240	5,66	7,20	170,30	28,38	4,86	31,85	6,78	2,10	1,90	6,00
U15015	150	53	1,50	250	2,95	3,75	125,47	16,73	5,78	9,78	2,37	1,61	1,17	7,50
U15020	150	54	2,00	250	3,93	5,00	166,85	22,25	5,78	13,51	3,24	1,64	1,23	7,50
U15025	150	55	2,50	250	4,91	6,25	208,04	27,74	5,77	17,49	4,16	1,67	1,29	7,50
U15030	150	56	3,00	250	5,90	7,50	249,05	33,21	5,76	21,73	5,11	1,70	1,35	7,50
U20020*A	200	54	2,00	300	4,72	6,00	329,87	32,99	7,41	14,58	3,34	1,56	1,04	10,00
U20025*A	200	55	2,50	300	5,90	7,50	411,34	41,13	7,41	18,91	4,29	1,59	1,09	10,00
U20030*A	200	56	3,00	300	7,07	9,00	492,47	49,25	7,40	23,54	5,29	1,62	1,15	10,00
U20020*B	200	69	2,00	330	5,19	6,60	389,87	38,99	7,69	28,92	5,36	2,09	1,51	10,00
U20025*B	200	70	2,50	330	6,48	8,25	486,35	48,63	7,68	37,16	6,84	2,12	1,57	10,00
U20030*B	200	71	3,00	330	7,78	9,90	582,48	58,25	7,67	45,83	8,37	2,15	1,62	10,00
U22020	220	94	2,00	400	6,29	8,00	608,85	55,35	8,72	69,70	9,78	2,95	2,27	11,00
U22025	220	95	2,50	400	7,86	10,00	759,85	69,08	8,72	88,83	12,40	2,98	2,33	11,00
U22030	220	96	3,00	400	9,43	12,00	910,42	82,77	8,71	108,66	15,09	3,01	2,40	11,00
U25020	250	79	2,00	400	6,29	8,00	723,67	57,89	9,51	44,71	7,31	2,36	1,63	12,50
U25025	250	80	2,50	400	7,86	10,00	903,00	72,24	9,50	57,27	9,07	2,39	1,68	12,50
U25030	250	81	3,00	400	9,43	12,00	1081,75	86,54	9,49	70,42	11,07	2,42	1,74	12,50
U25040	250	83	4,00	400	12,58	16,00	1437,59	115,01	9,48	98,50	15,28	2,48	1,85	12,50
U30020	300	100	2,00	492	7,73	9,84	1306,02	87,07	11,52	90,21	11,42	3,03	2,10	15,00
U30025	300	100	2,50	490	9,63	12,25	1618,92	107,93	11,50	111,82	14,20	3,02	2,12	15,00
U30030	300	100	3,00	488	11,51	14,64	1926,45	128,43	11,47	133,05	16,95	3,01	2,15	15,00
U30040	300	100	4,00	484	15,22	19,36	2525,54	168,37	11,42	174,45	22,36	3,00	1,20	15,00

Tablo 2.2. ÜF2 firmasına ait profillerin boyutları ve bazı enkesit özellikleri



U Profil U Profile	H mm	B mm	t mm	R mm	Açılım Strip Width mm	Ağırlık Weight kg/m	Alan (F) Area cm <sup>2</sup>	Eğilme Eksenine x-x Bending Axis				Eğilme Eksenine y-y Bending Axis				Eksene olan uzaklık Center of Gravity			
								I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	e <sub>x</sub> (cm)	e <sub>y</sub> (cm)	e <sub>x</sub> <sup>90</sup> (cm)	e <sub>y</sub> <sup>90</sup> (cm)	
U10010	100	54	1,00	6	200	1,58	2,00	32,97	25,73	4,14	3,59	6,11	1,56	1,75	1,48	5,00	4,13	5,87	
U10012	100	54	1,20	6	200	1,90	2,40	39,33	32,10	5,24	3,66	7,28	1,86	1,74	1,49	5,00	4,23	5,77	
U10015	100	55	1,50	6	200	2,37	3,00	49,45	42,43	7,06	3,76	9,48	2,40	1,78	1,54	5,00	4,36	5,64	
U10020	100	55	2,00	6	200	3,16	4,00	64,95	59,95	10,37	3,87	12,46	3,16	1,76	1,56	5,00	4,56	5,44	
U10025	100	56	2,50	6	200	3,95	5,00	81,17	78,57	14,03	3,96	16,12	4,05	1,80	1,62	5,00	4,71	5,29	
U10030	100	57	3,00	6	200	4,74	6,00	97,38	97,38	17,93	4,03	20,02	4,98	1,83	1,68	5,00	4,84	5,16	
U15010	150	49	1,00	6	240	1,90	2,40	78,36	65,54	7,48	5,23	5,29	1,37	1,49	1,03	7,50	6,62	8,38	
U15012	150	49	1,20	6	240	2,28	2,88	93,58	81,09	9,37	5,31	6,31	1,64	1,48	1,04	7,50	6,74	8,26	
U15015	150	50	1,50	6	240	2,84	3,60	117,80	106,17	12,43	5,43	8,27	2,11	1,52	1,08	7,50	6,88	8,12	
U15020	150	50	2,00	6	240	3,79	4,80	155,20	148,29	17,89	5,56	10,87	2,79	1,50	1,10	7,50	7,11	7,89	
U15025	150	51	2,50	6	240	4,74	6,00	194,44	192,78	23,83	5,67	14,15	3,59	1,54	1,16	7,50	7,27	7,73	
U15030	150	52	3,00	6	240	5,69	7,20	233,84	233,84	30,07	5,70	17,67	4,43	1,57	1,21	7,50	7,40	7,60	
U20015	200	55	1,50	6	300	3,56	4,50	249,79	222,19	19,62	7,03	11,64	2,62	1,61	1,05	10,00	9,17	10,83	
U20020	200	55	2,00	6	300	4,74	6,00	329,86	309,84	27,99	7,19	15,31	3,46	1,60	1,07	10,00	9,43	10,57	
U20025	200	56	2,50	6	300	5,93	7,50	413,27	402,72	37,10	7,33	19,88	4,44	1,63	1,12	10,00	9,62	10,38	
U20030	200	57	3,00	6	300	7,11	9,00	497,05	497,05	46,72	7,43	24,75	5,47	1,66	1,17	10,00	9,78	10,22	
U20015*	200	71	1,50	6	333	3,95	5,00	297,07	244,61	20,63	7,00	23,68	4,27	2,18	1,56	10,00	8,71	11,29	
U20020*	200	72	2,00	6	333	5,26	6,66	396,51	345,75	29,71	7,21	32,48	5,81	2,21	1,61	10,00	8,96	11,04	
U20025*	200	72	2,50	6	333	6,58	8,33	491,29	450,05	39,53	7,35	40,17	7,21	2,20	1,63	10,00	9,21	10,79	
U20030*	200	73	3,00	6	333	7,89	9,99	590,20	560,35	50,15	7,49	49,57	8,83	2,23	1,69	10,00	9,40	10,60	
U20015***	200	105	2,00	6	400	6,32	8,00	525,89	402,58	31,99	7,09	91,43	11,88	3,38	2,81	10,00	8,15	11,85	
U20020***	200	107	3,00	6	400	9,48	12,00	788,14	666,65	54,86	7,45	142,21	18,29	3,44	2,92	10,00	8,62	11,38	
U20025***	200	108	4,00	6	400	12,64	16,00	1042,25	949,02	81,04	7,70	191,61	24,58	3,46	3,00	10,00	9,03	10,97	
U20030***	200	110	5,00	6	400	15,80	20,00	1301,75	1246,99	110,03	7,90	248,19	31,51	3,52	3,12	10,00	9,34	10,66	
U25020*	250	80	2,00	6	400	6,32	8,00	722,33	618,41	42,53	8,79	46,24	7,30	2,40	1,66	12,50	11,15	13,85	
U25025*	250	81	2,50	6	400	7,90	10,00	903,93	808,10	56,45	8,99	59,28	9,28	2,43	1,71	12,50	11,40	13,60	
U25030*	250	82	3,00	6	400	9,48	12,00	1085,93	1005,87	71,36	9,16	72,94	11,34	2,47	1,77	12,50	11,62	13,38	
U25040*	250	83	4,00	6	400	12,64	16,00	1439,03	1408,90	103,27	9,38	98,81	15,29	2,49	1,84	12,50	12,01	12,99	
U25050*	250	85	5,00	6	400	15,80	20,00	1802,90	1802,90	137,68	9,49	129,73	19,78	2,55	1,94	12,50	12,29	12,71	
U30020	300	105	2,00	6	500	7,90	10,00	1338,79	1067,99	53,90	10,33	103,15	12,53	3,21	2,26	15,00	12,18	17,82	
U30025	300	106	2,50	6	500	9,88	12,50	1674,51	1395,81	78,56	10,57	131,42	15,87	3,24	2,32	15,00	13,13	16,87	
U30030	300	107	3,00	6	500	11,85	15,00	2010,64	1740,11	99,18	10,77	160,71	19,29	3,27	2,37	15,00	13,38	16,62	
U30040	300	108	4,00	6	500	15,80	20,00	2666,58	2456,50	143,90	11,08	216,83	25,95	3,29	2,44	15,00	13,85	16,15	
U30050	300	110	5,00	6	500	19,75	25,00	3337,41	3212,81	192,94	11,34	281,34	33,30	3,35	2,55	15,00	14,21	15,79	
U40020	400	105	2,00	6	600	9,48	12,00	2651,67	2087,86	72,23	13,19	110,96	12,91	3,04	1,90	20,00	15,27	24,73	
U40025	400	106	2,50	6	600	11,85	15,00	3317,91	2828,55	111,53	13,73	141,45	16,36	3,07	1,95	20,00	17,09	22,91	
U40030	400	107	3,00	6	600	14,22	18,00	3985,47	3508,55	153,84	13,96	173,07	19,90	3,10	2,00	20,00	18,23	21,77	
U40040	400	108	4,00	6	600	18,96	24,00	5293,16	4920,13	220,44	14,32	233,67	26,77	3,12	2,07	20,00	18,73	21,27	
U40050	400	110	5,00	6	600	23,70	30,00	6629,80	6407,26	292,84	14,61	303,52	34,37	3,18	2,17	20,00	19,13	20,87	
U50025	500	106	2,50	6	700	13,83	17,50	5712,26	4483,34	129,37	16,01	148,62	16,68	2,91	1,69	25,00	19,13	30,87	
U50030	500	107	3,00	6	700	16,59	21,00	6862,62	5788,88	176,64	16,60	181,91	20,30	2,94	1,74	25,00	20,47	29,53	
U50040	500	108	4,00	6	700	22,12	28,00	9121,97	8540,05	283,06	17,46	245,73	27,31	2,96	1,80	25,00	22,47	27,53	
U50050	500	110	5,00	6	700	27,65	35,00	11428,91	11080,38	399,36	17,79	319,42	35,09	3,02	1,90	25,00	23,74	26,26	



Tablo 2.3. ÜF3 firmasına ait profillerin boyutları ve bazı enkesit özellikleri

H		A		B		T		Radius		~Açılım		Ağırlık		Alan		Kuvvetli Eksen (x-x)			Zayıf Eksen (y-y)			Ağırlık Merkezi	
Yükseklik	Üst kenar yüksekliği	Alt kenar yüksekliği	Kalınlık	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	e <sub>x</sub> (cm)	e <sub>y</sub> (cm)				
U400x82x4	400	82	82	4	3	550	17,25	21,97	4511,67	225,58	14,3	107,04	15,2	2,2	1,36	0							
U400x81x3,5	400	81	81	3,5	3	550	15,08	19,21	3942,24	197,11	14,3	91,21	13,1	2,18	1,32	0							
U400x80x3	400	80	80	3	3	550	12,92	16,45	3374,33	168,72	14,3	76,12	11,06	2,15	1,27	0							
U400x80x2,5	400	80	80	2,5	3	550	10,8	13,75	2827,71	141,39	14,32	64	9,31	2,16	1,25	0							
U400x79x2	400	79	79	2	3	550	8,83	10,99	2258,99	112,95	14,32	48,85	7,34	2,13	1,21	0							
U380x87x4	380	87	87	4	3	500	15,68	19,97	3549,06	186,79	13,3	59,19	10,1	1,72	1,04	0							
U380x86x3,5	380	86	86	3,5	3	500	13,71	17,46	3099,76	163,15	13,3	50,11	8,68	1,69	1	0							
U380x85x3	380	85	85	3	3	500	11,74	14,95	2652,04	139,58	13,3	41,53	7,29	1,66	0,96	0							
U380x84x2,5	380	84	84	2,5	3	500	9,78	12,45	2205,92	116,1	13,29	33,46	5,96	1,64	0,91	0							
U380x84x2	380	84	84	2	3	500	7,85	9,99	1775,7	93,46	13,32	27,07	4,83	1,64	0,89	0							
U380x77x4	380	77	77	4	3	500	15,68	19,97	3350,53	186,14	12,92	87,45	13,29	2,09	1,32	0							
U380x76x3,5	380	76	76	3,5	3	500	13,71	17,46	2927,46	162,64	12,92	74,4	11,45	2,06	1,28	0							
U380x75x3	380	75	75	3	3	500	11,74	14,95	2505,57	139,2	12,92	61,98	9,65	2,03	1,23	0							
U380x74x2,5	380	74	74	2,5	3	500	9,78	12,45	2084,87	115,83	12,92	50,19	7,92	2,01	1,19	0							
U380x74x2	380	74	74	2	3	500	7,85	9,99	1678,2	93,23	12,95	40,54	6,4	2,01	1,17	0							
U340x87x4	340	87	87	4	3	500	15,68	19,97	3135,18	184,42	12,5	122,32	16,85	2,47	1,64	0							
U340x86x3,5	340	86	86	3,5	3	500	13,71	17,46	2740,32	161,2	12,5	104,44	14,54	2,44	1,59	0							
U340x85x3	340	85	85	3	3	500	11,74	14,95	2348,27	138,02	12,51	87,34	12,29	2,41	1,54	0							
U340x84x2,5	340	84	84	2,5	3	500	9,78	12,45	1953,04	114,88	12,51	71	10,1	2,39	1,5	0							
U340x84x2	340	84	84	2	3	500	7,85	9,99	1572,09	92,48	12,53	57,29	8,16	2,39	1,48	0							
U320x97x4	320	97	97	4	3	500	15,68	19,97	2908,21	181,64	12,03	163,85	20,74	2,86	2	0							
U320x96x3,5	320	96	96	3,5	3	500	13,71	17,46	2541,13	158,82	12,04	140,32	17,93	2,83	1,95	0							
U320x95x3	320	95	95	3	3	500	11,74	14,95	2176,53	136,03	12,04	117,69	15,18	2,8	1,9	0							
U320x94x2,5	320	94	94	2,5	3	500	9,78	12,45	1812,43	113,28	12,05	95,96	12,5	2,77	1,85	0							
U320x94x2	320	94	94	2	3	500	7,85	9,99	1458,96	91,19	12,07	77,37	10,08	2,78	1,83	0							
U300x84x4	300	84	84	4	3	414	12,98	16,53	1913,27	127,55	10,73	49,49	9,04	1,73	1,13	0							
U300x84x3,5	300	84	84	3,5	3	414	11,4	14,52	1686,51	112,43	10,75	43,78	8	1,73	1,11	0							
U300x83x3	300	83	83	3	3	414	9,76	12,43	1443,03	96,2	10,75	36,27	6,73	1,7	1,06	0							
U300x82x2,5	300	82	82	2,5	3	414	8,13	10,35	1200,37	80,02	10,75	29,2	5,5	1,68	1,01	0							
U300x81x2	300	81	81	2	3	414	6,5	8,27	958,55	63,9	10,75	22,56	4,31	1,65	0,97	0							
U300x80x1,5	300	80	80	1,5	3	414	4,87	6,2	717,59	47,84	10,75	16,34	3,17	1,62	0,92	0							
U280x74x4	280	74	74	4	3	414	12,98	16,53	1765,04	126,07	10,3	73,81	12	2,11	1,45	0							
U280x74x3,5	280	74	74	3,5	3	414	11,4	14,52	1555,86	111,13	10,33	65,21	10,61	2,11	1,43	0							
U280x73x3	280	73	73	3	3	414	9,76	12,43	1331,96	95,14	10,33	54,32	8,95	2,09	1,38	0							
U280x72x2,5	280	72	72	2,5	3	414	8,13	10,35	1108,57	79,18	10,33	43,97	7,34	2,06	1,33	0							
U280x71x2	280	71	71	2	3	414	6,5	8,27	885,72	63,27	10,34	34,16	5,77	2,03	1,28	0							
U260x84x4	260	84	84	4	3	414	12,98	16,53	1605,9	123,53	9,83	103,65	15,28	2,5	1,82	0							
U260x83x3	260	83	83	3	3	414	9,76	12,43	1212,61	93,28	9,86	76,51	11,41	2,48	1,75	0							
U260x82x2,5	260	82	82	2,5	3	414	8,13	10,35	1009,79	77,88	9,86	62,19	9,38	2,45	1,7	0							
U260x81x2	260	81	81	2	3	414	6,5	8,27	807,24	62,1	9,87	48,51	7,4	2,42	1,64	0							
U260x80x1,5	260	80	80	1,5	3	414	4,87	6,2	604,97	46,54	9,87	35,47	5,47	2,39	1,59	0							





Çalışmada incelenen profillerin temel boyutlarının (H, B ve t) en küçük ve en büyük değerleri, her firma için ayrı ayrı belirlenerek Tablo 2.4'te sunulmuştur. Tablodan da görülebileceği gibi, ülkemizde, soğuk şekillendirme yöntemiyle, yüksekliği 500 mm, başlık genişliği 110 mm ve kalınlığı 5 mm'ye ulaşan oldukça büyük U profiller üretilmektedir. İncelenen profillerde yüksekliğin 100 mm ile 500 mm, başlık genişliklerinin 49 mm ile 110 mm, et kalınlıklarının ise 1 mm ile 5 mm arasında değiştiği görülmektedir. Firma kataloglarından ya da firmaların satış departmanlarından ulaşılan bilgiler doğrultusunda, çalışmada incelenen profillerin iç büküm yarıçapları (R) Tablo 2.4'ün son sütununda verilmiştir. Buna göre, iç büküm yarıçapı, incelenen iki firmanın profilleri için 6 mm, üçüncü firmanın profilleri için ise 3 mm'dir.

Tablo 2.4. Çalışmada incelenen profillerin temel boyutlarının (H, B ve t) en küçük ve en büyük değerleri ile iç büküm yarıçapları (R)

Üretici Firmalar	$H_{min}$	$H_{max}$	$B_{min}$	$B_{max}$	$t_{min}$	$t_{max}$	$R$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>ÜF1</b>	100	300	53	100	1,5	4	6
<b>ÜF2</b>	100	500	49	110	1	5	6
<b>ÜF3</b>	100	400	52	97	1	4	3

2014 yılında yayınlanan Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu'nda (Cold-Formed Steel Design Manual) [10] yer alan profiller incelendiğinde, bu profillerin yüksekliklerinin 44mm ile 314mm, genişliklerinin 31mm ile 51mm, kalınlıklarının 0,478 mm ile 2,58 mm ve iç büküm yarıçaplarının 3,87 mm ile 6 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler, Tablo 2.4'teki değerlerle karşılaştırıldığında, ülkemizde üretilen soğuk şekillendirilmiş U profillerin genel olarak "Kılavuz"da listelenenlerden daha büyük boyutlara sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmada ele alınan profillerin ilgili firmalar tarafından farklı şekillerde isimlendirildiği gözlenmiştir. Profil tablolarında kolaylık sağlaması amacıyla, ele alınan tüm profiller mm cinsinden üç temel boyutları (H, B ve t) kullanılarak  $U H \times B \times t$  şeklinde yeniden isimlendirilmiştir. Örnek olarak, ÜF2 firması tarafından üretilen ve gövde yüksekliği  $H=300$  mm, başlık genişliği  $B=107$  mm ve kalınlığı  $t=3$  mm olan U profili,  $U300 \times 107 \times 3$  olarak isimlendirilmiştir. Enkesit özelliklerinin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan dördüncü geometrik özellik olan iç büküm yarıçapı

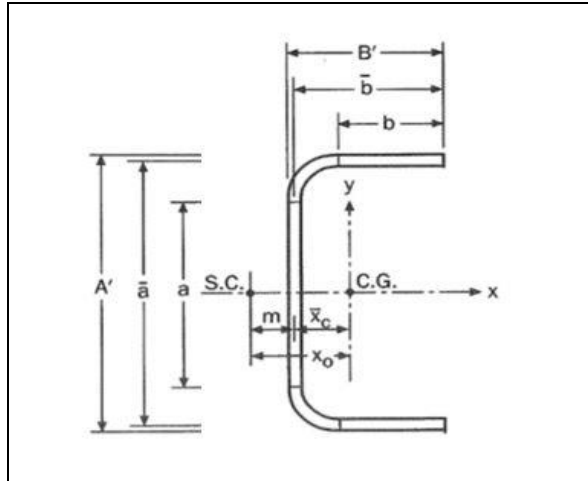
(R), üretici firmalar arasında değişebilmekle birlikte, her bir üretici firmanın ürettiği profiller arasında değişmediğinden isimlendirmeye dahil edilmemiştir.

## 2.2. Enkesit Özelliklerinin Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler

Çalışmada ele alınan profillerin temel enkesit özellikleri dört farklı şekilde belirlenmiştir. İlk olarak, “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu” [10] Bölüm 3.3.2’de sunulan formüller kullanılmıştır. Ardından, ince cidarlı çelik yapı elemanlarının tasarımında sıkça kullanılan “çizgisel yöntem (linear method)” ile hesaplar tekrar edilmiştir. Bu yöntemde, köşelerin atalet momentleri ihmal edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer yöntem ise köşelerdeki eğriliklerin ihmal edildiği “yaklaşık” çizgisel yöntemdir. Son olarak, çalışmada incelenen profillerin tamamının temel enkesit özellikleri, yapı analiz ve tasarımında ülkemizde yaygın şekilde kullanılan SAP 2000 [11] programıyla tek tek belirlenmiştir.

### 2.2.1. Yöntem I

Yöntem I’de “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu”nda [10] (tezde kısaca “Kılavuz” olarak adlandırılacaktır) sunulan formüller kullanılmıştır. Kılavuz’da soğuk şekillendirilmiş U profiller için verilen formüllerde kullanılan simgeler Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Yöntem I’de kullanılan simgeler [10]

Şekil 2.2’den de görülebileceği gibi, Kılavuz’da [10] dıştan dışa boyutlar için A’ ve B’, kare-köşe kabulüyle levha kalınlığının ortasından çizilen çizgilerle oluşturulan

“kare köşeli çizgisel enkesit”in boyutları için  $\bar{a}$  ve  $\bar{b}$ , yuvarlak-köşe kabulüyle levha kalınlığının ortasından çizilen çizgilerle oluşturulan “çizgisel kesit”te düz boyutlar için  $a$  ve  $b$ , profilin gövdesinde et kalınlığının ortasından çizilen “merkez çizgi” ile kayma merkezi (S.C.: Shear Center) ve geometrik merkez (C.G.: Center of Gravity) arasındaki yatay mesafeler için, sırasıyla,  $m$  ve  $\bar{x}_c$ , KM ile GM arasındaki yatay mesafe için  $x_o$ , merkez çizginin büküm yarıçapı için  $r$ , et kalınlığı için  $t$ , asal eksenler için ise  $x$  ve  $y$  simgeleri kullanılmaktadır. Ayrıca yuvarlak-köşe kabulüyle çizilen merkez çizgisinin köşeler arası mesafesi  $u$  sembolü ile verilmiştir.

Kılavuz’da [10], kataloglarda verilen boyutların çoğunlukla dıştan-dışa boyutlar olduğu, yuvarlak-köşeli çizgisel kesitin boyutlarının, burulma katsayılarının (örnek olarak, burulma sabiti  $J$  ve çarpılma sabiti  $C_w$ ) dışında kalan enkesit özelliklerinin belirlenmesinde kullanıldığı, kare-köşeli çizgisel kesitin boyutlarının ise burulma katsayılarının hesabında kullanıldığı, ancak burulma katsayıları için önerilen formüllerin çıkarımında, enkesit alanı, atalet momenti gibi özelliklerin yuvarlak köşeli çizgisel kesitin özellikleri kullanılarak elde edildiği belirtilmektedir. Ayrıca, asal eksenlere göre atalet momentlerinin formülleri elde edilirken, köşeler de dahil olmak üzere, enkesiti oluşturan tüm parçaların katkılarının dikkate alındığı, ancak enkesiti oluşturan herhangi bir düz parçanın zayıf ekseninin ilgili eksene paralel olması durumunda ele alınan parçanın formülasyondaki etkisinin göz ardı edildiği belirtilmektedir.

Soğuk şekillendirilmiş U profiller için Kılavuz’da [10] sunulan ve bu çalışmada kullanılan temel formüller Denklem (2.1)’den Denklem (2.7)’ye kadar verilmektedir.

- Kare-köşe kabulüyle elde edilen çizgisel enkesit boyutları;

$$\bar{a} = A' - t, \quad \bar{b} = B' - (t/2) \quad (2.1)$$

- Yuvarlak-köşe kabulüyle elde edilen çizgisel enkesitin boyutları;

$$a = A' - (2r + t), \quad b = B' - (r + t/2), \quad u = \frac{\pi r}{2} \cong 1,57r \quad (2.2)$$

- Gövde kalınlığının ortasından GM'ye olan mesafe ve enkesit alanı ve birim boy kütle;

$$\bar{x}_c = \frac{2t}{A} \left\{ b \left( \frac{b}{2} + r \right) + u(0,363r) \right\}, \quad A = t[a + 2b + 2u], \quad G = \rho A \quad (2.3)$$

- GM'den geçen asal eksenlere göre atalet momentleri;

$$I_x = 2t \left[ 0,0417a^3 + b \left( \frac{a}{2} + r \right)^2 + u \left( \frac{a}{2} + 0,637r \right)^2 + 0,149r^3 \right] \quad (2.4)$$

$$I_y = 2t \left[ b \left( \frac{b}{2} + r \right)^2 + \frac{b^3}{12} + 0,356r^3 \right] - A\bar{x}_c^2 \quad (2.5)$$

- KM ile GM arasındaki mesafe;

$$x_o = \bar{x}_c + \bar{b} \left( \frac{3\bar{a}^2\bar{b}}{\bar{a}^3 + 6\bar{a}^2\bar{b}} \right) \quad (2.6)$$

- Burulma ve çarpılma sabitleri;

$$J = \frac{t^3}{3} [a + 2b + 2u], \quad C_w = \frac{\bar{a}^2\bar{b}^3t}{12} \left\{ \frac{2\bar{a} + 3\bar{b}}{\bar{a} + 6\bar{b}} \right\} \quad (2.7)$$

Şekil 2.1 ile Şekil 2.2 karşılaştırıldığında, bu çalışmada kullanılan simgelerden bazılarının Denk. (2.1) – Denklem (2.5)'te kullanılan simgelerden farklı olduğu, ancak Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'deki simgelerin aşağıdaki ilişkiler kullanılarak birbirlerine kolaylıkla çevrilebileceği görülmektedir.

$$B = B', \quad H = A', \quad e_x = \bar{x}_c + t/2, \quad R = r - t/2 \quad (2.8)$$

Çalışmada ele alınan ve boyutları Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te sunulan profillerin temel enkesit özellikleri ( $A$ ,  $e_x$ ,  $x_o$ ,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $J$  ve  $C_w$ ) Denklem (2.1)'den Denklem (2.7)'ye kadar olan formüller kullanılarak hesaplanmış, elde edilen değerler sırasıyla Tablo 2.5, Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de üç anlamlı rakama yuvarlanarak sunulmuştur. Tablolarda, ayrıca, enkesitlerin asal eksenlere göre mukavemet

momentleriyle ( $W_{ex}$  ve  $W_{ey}$ ) asal atalet yarıçapları ( $i_x$  ve  $i_y$ ) da listelenmiştir. İlgili değerler Denklem (2.9)'da verilen basit mukavemet ilkeleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{ex} = 2I_x / H, \quad W_{ey} = I_y / (B - e_x), \quad i_x = \sqrt{I_x / A}, \quad i_y = \sqrt{I_y / A} \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)'dan fark edilebileceği gibi, mukavemet momentlerinin hesabında, çizgisel enkesit boyutları değil dıştan dışa enkesit boyutları kullanılmaktadır. Tablo 2.5, Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de profillerin birim boy kütleleri de listelenmiştir. Kütle hesaplarında, çeliğin yoğunluğu  $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmıştır. Tablolarda, profil isimlendirmesinde, Bölüm 2.1'de tanımlanan yöntemin kullanıldığı da belirtilmelidir.

Örnek olarak, ÜF2 firmasına ait profillerden biri olan, U 300×107×3 profilinin Yöntem I kullanılarak hesaplanan kesit özelliklerinin hesap adımları aşağıda sunulmuştur.

- Temel enkesit boyutları;

$$A' = 300 \text{ mm}, \quad B' = 107 \text{ mm}, \quad t = 3 \text{ mm}, \quad R = 6 \text{ mm}$$

- Kare-köşe kabulüyle elde edilen çizgisel enkesitin boyutları Denklem (2.1) ile;

$$\bar{a} = A' - t = 300 - 3 = 297 \text{ mm}, \quad \bar{b} = B' - (t / 2) = 107 - (3 / 2) = 105,5 \text{ mm}$$

- Yuvarlak-köşe kabulüyle elde edilen çizgisel enkesitin boyutları Denklem (2.2) ile;

$$r = R + t / 2 = 6 + 3 / 2 = 7,5 \text{ mm}; \quad u = \frac{\pi r}{2} \cong 1,57r = 1,57 \times 7,5 = 11,775 \text{ mm}$$

$$a = A' - (2r + t) = 300 - (2 \times 7,5 + 3) = 282 \text{ mm}$$

$$b = B' - (r + t / 2) = 107 - (7,5 + 3 / 2) = 98 \text{ mm}$$

Tablo 2.5. ÜF1'e ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF1 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U100x53x1,5	2,32	300	14,6	0,478	9,55	40,2	0,086	2,23	17,0	33,8	0,222	0,149
U100x54x2,0	3,11	400	15,2	0,636	12,7	40,1	0,118	3,05	17,3	34,5	0,528	0,203
U100x55x2,5	3,90	500	15,8	0,793	15,9	40,0	0,153	3,91	17,6	35,2	1,04	0,261
U100x56x3,0	4,70	600	16,4	0,950	19,0	39,8	0,190	4,81	17,8	35,9	1,80	0,321
U120x63x1,5	2,79	360	17,1	0,832	13,9	48,4	0,146	3,18	20,3	40,0	0,267	0,365
U120x64x2,0	3,74	480	17,7	1,11	18,5	48,2	0,201	4,33	20,5	40,7	0,635	0,497
U120x65x2,5	4,69	600	18,3	1,38	23,0	48,1	0,258	5,53	20,8	41,4	1,24	0,635
U120x66x3,0	5,64	720	18,9	1,66	27,6	48,0	0,319	6,78	21,1	42,2	2,16	0,779
U150x53x1,5	2,91	370	11,8	1,22	16,3	57,5	0,097	2,36	16,2	28,8	0,278	0,386
U150x54x2,0	3,89	500	12,4	1,63	21,8	57,4	0,135	3,23	16,5	29,4	0,661	0,531
U150x55x2,5	4,88	620	12,9	2,04	27,2	57,3	0,175	4,15	16,8	30,1	1,30	0,683
U150x56x3,0	5,88	750	13,4	2,45	32,7	57,2	0,217	5,10	17,0	30,7	2,25	0,844
U200x54x2,0	4,68	600	10,4	3,25	32,5	73,9	0,145	3,34	15,6	25,8	0,795	1,05
U200x55x2,5	5,86	750	10,9	4,07	40,7	73,8	0,189	4,28	15,9	26,4	1,56	1,35
U200x56x3,0	7,05	900	11,4	4,89	48,9	73,8	0,235	5,27	16,2	26,9	2,70	1,67
U200x69x2,0	5,15	660	15,1	3,84	38,4	76,5	0,289	5,35	21,0	37,0	0,875	2,03
U200x70x2,5	6,45	820	15,6	4,80	48,0	76,4	0,371	6,83	21,3	37,6	1,71	2,60
U200x71x3,0	7,76	990	16,2	5,77	57,7	76,4	0,458	8,36	21,5	38,3	2,97	3,20
U220x94x2,0	6,25	800	22,7	6,00	54,6	86,8	0,696	9,77	29,6	55,2	1,06	5,87
U220x95x2,5	7,83	1000	23,3	7,50	68,2	86,7	0,888	12,4	29,8	55,9	2,08	7,46
U220x96x3,0	9,41	1200	23,9	9,00	81,8	86,6	1,09	15,1	30,1	56,5	3,60	9,09
U250x79x2,0	6,25	800	16,3	7,15	57,2	94,8	0,446	7,1	23,7	40,8	1,06	4,96
U250x80x2,5	7,83	1000	16,8	8,95	71,6	94,7	0,572	9,1	24,0	41,4	2,08	6,33
U250x81x3,0	9,41	1200	17,3	10,7	86,0	94,7	0,704	11,1	24,2	42,0	3,60	7,75
U250x83x4,0	12,6	1600	18,4	14,3	115	94,6	0,987	15,3	24,8	43,3	8,56	10,8
U300x100x2,0	7,7	980	21,0	12,9	86,2	115	0,901	11,4	30,3	53,0	1,31	14,4
U300x100x2,5	9,6	1220	21,2	16,1	107	115	1,12	14,2	30,2	52,8	2,55	17,8
U300x100x3,0	11,5	1460	21,4	19,2	128	114	1,33	16,9	30,2	52,7	4,39	21,1
U300x100x4,0	15,2	1940	21,8	25,2	168	114	1,75	22,4	30,0	52,4	10,3	27,6

Tablo 2.6. ÜF2'ye ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF2 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U100x54x1,0	1,57	200	14,8	0,329	6,58	40,5	0,061	1,56	17,5	34,8	0,067	0,107
U100x54x1,2	1,88	240	14,9	0,392	7,84	40,4	0,073	1,86	17,4	34,7	0,115	0,127
U100x55x1,5	2,37	300	15,4	0,492	9,85	40,4	0,095	2,40	17,7	35,5	0,226	0,164
U100x55x2,0	3,14	400	15,6	0,645	12,9	40,2	0,125	3,16	17,6	35,3	0,533	0,214
U100x56x2,5	3,94	500	16,2	0,805	16,1	40,0	0,161	4,05	17,9	36,1	1,05	0,274
U100x57x3,0	4,75	600	16,8	0,964	19,3	39,9	0,200	4,98	18,2	36,8	1,81	0,337
U150x49x1,0	1,89	240	10,3	0,782	10,4	57,0	0,053	1,37	14,8	25,8	0,080	0,213
U150x49x1,2	2,26	290	10,4	0,934	12,5	57,0	0,063	1,64	14,8	25,8	0,138	0,253
U150x50x1,5	2,84	360	10,8	1,17	15,7	57,0	0,083	2,11	15,1	26,5	0,271	0,330
U150x50x2,0	3,77	480	11,0	1,55	20,6	56,8	0,109	2,79	15,0	26,3	0,640	0,430
U150x51x2,5	4,73	600	11,6	1,93	25,8	56,7	0,141	3,58	15,3	27,0	1,25	0,556
U150x52x3,0	5,69	720	12,1	2,32	31,0	56,6	0,176	4,42	15,6	27,6	2,17	0,689
U200x55x1,5	3,55	450	10,5	2,49	24,9	74,3	0,116	2,62	16,0	26,6	0,339	0,840
U200x55x2,0	4,71	600	10,7	3,29	32,9	74,1	0,153	3,46	16,0	26,5	0,800	1,10
U200x56x2,5	5,90	750	11,2	4,12	41,2	74,0	0,199	4,44	16,2	27,1	1,57	1,42
U200x57x3,0	7,10	900	11,7	4,95	49,5	74,0	0,247	5,46	16,5	27,7	2,71	1,75
U200x71x1,5	3,92	500	15,6	2,97	29,7	77,0	0,237	4,27	21,8	38,7	0,375	1,67
U200x72x2,0	5,24	670	16,1	3,96	39,6	77,0	0,325	5,81	22,0	39,3	0,891	2,28
U200x72x2,5	6,53	830	16,3	4,90	49,0	76,7	0,401	7,21	22,0	39,2	1,73	2,81
U200x79x3,0	7,86	1000	16,8	5,88	58,8	76,7	0,495	8,82	22,2	39,8	3,00	3,45
U200x105x2,0	6,28	800	28,1	5,25	52,5	81,0	0,914	11,9	33,8	66,5	1,07	6,33
U200x107x3,0	9,46	1200	29,2	7,86	78,6	80,8	1,42	18,3	34,4	68,0	3,61	9,75
U200x108x4,0	12,6	1600	30,0	10,4	104	80,4	1,92	24,6	34,5	68,5	8,56	13,0
U200x110x5,0	15,8	2010	31,2	13,0	130	80,2	2,48	31,5	35,1	70,0	16,8	16,7
U250x80x2,0	6,28	800	16,6	7,21	57,7	95,0	0,462	7,29	24,0	41,6	1,07	5,13
U250x81x2,5	7,87	1000	17,1	9,02	72,2	94,9	0,592	9,28	24,3	42,2	2,09	6,55
U250x82x3,0	9,46	1200	17,7	10,8	86,7	94,8	0,729	11,3	24,6	42,8	3,61	8,02
U250x83x4,0	12,6	1600	18,4	14,3	115	94,6	0,987	15,3	24,8	43,3	8,56	10,8
U250x85x5,0	15,8	2010	19,4	18,0	144	94,4	1,29	19,7	25,4	44,5	16,8	14,0
U300x105x2,0	7,85	1000	22,6	13,4	89,2	116	1,03	12,5	32,1	56,8	1,33	16,4
U300x106x2,5	9,83	1250	23,2	16,7	112	116	1,31	15,9	32,4	57,5	2,61	20,8
U300x107x3,0	11,8	1500	23,7	20,1	134	116	1,61	19,3	32,7	58,1	4,51	25,4
U300x108x4,0	15,7	2000	24,4	26,6	177	115	2,17	25,9	32,9	58,6	10,7	34,0
U300x110x5,0	19,7	2510	25,5	33,3	222	115	2,81	33,3	33,4	59,9	20,9	43,7
U400x105x2,0	9,42	1200	19,0	26,5	133	149	1,11	12,9	30,4	49,8	1,60	32,2
U400x106x2,5	11,8	1500	19,5	33,2	166	149	1,41	16,4	30,7	50,4	3,13	40,9
U400x107x3,0	14,2	1800	20,0	39,8	199	149	1,73	19,9	31,0	50,9	5,41	49,9
U400x108x4,0	18,9	2400	20,7	52,9	264	148	2,33	26,7	31,2	51,4	12,8	67,0
U400x110x5,0	23,7	3010	21,7	66,2	331	148	3,03	34,3	31,7	52,5	25,1	86,4
U500x106x2,5	13,8	1750	16,9	57,1	228	181	1,49	16,7	29,1	44,9	3,65	68,9
U500x107x3,0	16,5	2100	17,4	68,6	274	181	1,82	20,3	29,4	45,4	6,31	84,1
U500x108x4,0	22,0	2800	18,0	91,2	365	180	2,45	27,3	29,6	45,8	15,0	113
U500x110x5,0	27,6	3510	19,0	114	457	180	3,19	35,0	30,1	46,9	29,3	146



Tablo 2.7. ÜF3'e ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U100x52x1,0	1,56	200	13,8	0,326	6,52	40,5	0,0557	1,46	16,7	32,8	0,066	0,096
U100x52x1,2	1,87	240	13,9	0,388	7,77	40,4	0,0664	1,74	16,7	32,8	0,114	0,115
U100x53x1,5	2,35	300	14,4	0,488	9,75	40,3	0,0866	2,25	17,0	33,6	0,225	0,149
U100x54x2,0	3,15	400	15,0	0,649	13,0	40,2	0,120	3,07	17,3	34,3	0,535	0,203
U100x54x2,5	3,91	500	15,2	0,798	16,0	40,0	0,147	3,80	17,2	34,1	1,04	0,248
U120x67x1,2	2,34	300	18,3	0,717	11,9	49,0	0,140	2,88	21,7	43,3	0,143	0,349
U120x68x1,5	2,94	370	18,9	0,899	15,0	49,0	0,181	3,69	22,0	44,1	0,281	0,449
U120x69x2,0	3,93	500	19,5	1,20	19,9	48,9	0,248	5,01	22,3	44,8	0,668	0,610
U120x69x2,5	4,89	620	19,7	1,48	24,6	48,6	0,307	6,22	22,2	44,7	1,30	0,748
U120x70x3,0	5,89	750	20,3	1,77	29,4	48,5	0,378	7,61	22,5	45,4	2,25	0,916
U140x57x1,0	1,95	250	13,3	0,76	10,8	55,1	0,079	1,82	17,8	32,9	0,083	0,272
U140x58x1,5	2,94	370	13,9	1,13	16,2	55,0	0,123	2,79	18,1	33,5	0,281	0,419
U140x59x2,0	3,93	500	14,4	1,51	21,6	54,9	0,170	3,81	18,4	34,2	0,668	0,573
U140x59x2,5	4,89	620	14,6	1,86	26,6	54,7	0,209	4,72	18,3	34,1	1,30	0,703
U140x60x3,0	5,89	750	15,2	2,23	31,9	54,6	0,260	5,80	18,6	34,7	2,25	0,865
U150x78x1,5	3,53	450	20,7	1,66	22,1	60,8	0,283	4,93	25,1	49,2	0,337	1,10
U150x79x2,0	4,72	600	21,2	2,21	29,5	60,6	0,386	6,69	25,3	49,9	0,802	1,49
U150x79x2,5	5,87	750	21,5	2,73	36,4	60,4	0,478	8,30	25,3	49,7	1,56	1,83
U150x80x3,0	7,07	900	22,0	3,28	43,7	60,3	0,588	10,1	25,5	50,5	2,70	2,24
U160x90x1,5	3,93	500	24,6	2,15	26,9	65,5	0,426	6,51	29,2	58,3	0,376	1,88
U160x91x2,0	5,25	670	25,2	2,86	35,8	65,4	0,580	8,81	29,4	59,0	0,892	2,55
U160x91x2,5	6,54	830	25,4	3,54	44,2	65,2	0,718	10,9	29,4	58,9	1,74	3,14
U160x92x3,0	7,87	1000	26,0	4,24	53,0	65,0	0,880	13,3	29,6	59,6	3,01	3,82
U160x93x3,5	9,20	1170	26,6	4,94	61,8	64,9	1,05	15,8	29,9	60,4	4,79	4,52
U160x94x4,0	10,5	1340	27,2	5,64	70,5	64,8	1,22	18,3	30,2	61,1	7,16	5,25
U180x80x1,5	3,93	500	19,6	2,57	28,5	71,6	0,320	5,30	25,3	47,6	0,376	1,80
U180x81x2,0	5,25	670	20,1	3,42	38,0	71,5	0,438	7,19	25,6	48,3	0,892	2,45
U180x81x2,5	6,54	830	20,3	4,23	47,0	71,3	0,542	8,93	25,5	48,2	1,74	3,02
U180x82x3,0	7,87	1000	20,9	5,08	56,4	71,2	0,666	10,9	25,8	48,9	3,01	3,69
U180x84x4,0	10,5	1340	22,0	6,76	75,1	71,0	0,931	15,0	26,3	50,2	7,16	5,10
U200x90x1,5	4,40	560	22,1	3,57	35,7	79,8	0,456	6,71	28,5	53,9	0,421	3,17
U200x91x2,0	5,88	750	22,6	4,75	47,5	79,7	0,621	9,09	28,8	54,6	0,999	4,30
U200x92x2,5	7,37	940	23,2	5,94	59,4	79,6	0,794	11,5	29,1	55,2	1,95	5,46
U200x93x3,0	8,86	1130	23,8	7,13	71,3	79,5	0,973	14,0	29,4	55,9	3,39	6,66
U200x94x3,5	10,4	1320	24,3	8,31	83,1	79,4	1,16	16,6	29,6	56,6	5,39	7,90
U200x94x4,0	11,8	1500	24,5	9,41	94,1	79,1	1,31	18,9	29,6	56,5	8,02	8,90
U220x94x2,0	6,29	800	22,6	6,07	55,1	87,0	0,699	9,79	29,5	55,0	1,07	5,87
U220x94x2,5	7,84	1000	22,8	7,52	68,4	86,8	0,866	12,2	29,5	54,9	2,08	7,25
U220x95x3,0	9,42	1200	23,4	9,02	82,0	86,7	1,06	14,8	29,7	55,6	3,60	8,84
U220x96x3,5	11,0	1400	23,9	10,5	95,7	86,6	1,26	17,5	30,0	56,2	5,73	10,5
U220x97x4,0	12,6	1610	24,5	12,0	109	86,5	1,47	20,3	30,3	56,9	8,57	12,2
U240x84x1,5	4,71	600	17,7	5,14	42,8	92,6	0,385	5,89	25,3	44,7	0,450	3,91
U240x84x2,0	6,29	800	18,2	6,85	57,1	92,5	0,525	7,98	25,6	45,3	1,07	5,32
U240x84x2,5	7,84	1000	18,4	8,50	70,8	92,3	0,651	9,92	25,5	45,1	2,08	6,56
U240x85x3,0	9,42	1200	18,9	10,2	85,0	92,2	0,800	12,1	25,8	45,8	3,60	8,03
U240x86x3,5	11,0	1400	19,5	11,9	99,2	92,1	0,955	14,4	26,1	46,4	5,73	9,54
U240x87x4,0	12,6	1610	20,0	13,6	113	92,0	1,12	16,7	26,4	47,0	8,57	11,1

Tablo 2.7. (Devam) ÜF3'e ait U profillerin Yöntem I kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U260x80x1,5	4,87	620	15,9	6,05	46,5	98,7	0,355	5,54	23,9	40,9	0,466	4,27
U260x81x2,0	6,51	830	16,4	8,07	62,1	98,7	0,485	7,51	24,2	41,5	1,11	5,82
U260x82x2,5	8,15	1040	17,0	10,1	77,7	98,6	0,621	9,55	24,5	42,1	2,16	7,42
U260x83x3,0	9,80	1250	17,5	12,1	93,3	98,6	0,764	11,7	24,7	42,7	3,75	9,09
U260x84x4,0	13,1	1660	18,2	16,1	124	98,3	1,03	15,7	24,9	43,2	8,87	12,2
U280x71x2,0	6,51	830	12,8	8,86	63,3	103	0,341	5,87	20,3	32,9	1,11	4,85
U280x72x2,5	8,15	1040	13,3	11,1	79,2	103	0,439	7,48	20,6	33,4	2,16	6,21
U280x73x3,0	9,80	1250	13,8	13,3	95,2	103	0,542	9,16	20,8	34,0	3,75	7,63
U280x74x3,5	11,5	1460	14,3	15,6	111	103	0,651	10,9	21,1	34,6	5,96	9,12
U280x74x4,0	13,1	1660	14,5	17,7	126	103	0,736	12,4	21,0	34,4	8,87	10,3
U300x60x1,5	4,87	620	9,24	7,18	47,9	108	0,163	3,22	16,2	24,6	0,466	2,74
U300x61x2,0	6,51	830	9,69	9,59	63,9	108	0,225	4,39	16,5	25,1	1,11	3,77
U300x62x2,5	8,15	1040	10,1	12,0	80,0	108	0,292	5,62	16,8	25,6	2,16	4,85
U300x63x3,0	9,80	1250	10,6	14,4	96,2	108	0,362	6,91	17,0	26,1	3,75	6,00
U300x64x3,5	11,5	1460	11,1	16,9	112	108	0,437	8,25	17,3	26,7	5,96	7,20
U300x64x4,0	13,1	1660	11,3	19,1	128	107	0,493	9,35	17,2	26,5	8,87	8,11
U320x94x2,0	7,86	1000	18,3	14,6	91,2	121	0,773	10,2	27,8	46,9	1,33	14,2
U320x94x2,5	9,80	1250	18,5	18,1	113	121	0,959	12,7	27,7	46,8	2,60	17,5
U320x95x3,0	11,8	1500	19,0	21,8	136	120	1,18	15,5	28,0	47,4	4,50	21,4
U320x96x3,5	13,8	1750	19,5	25,4	159	120	1,40	18,3	28,3	48,0	7,16	25,4
U320x97x4,0	15,8	2010	20,0	29,1	182	120	1,64	21,3	28,6	48,6	10,7	29,5
U340x84x2,0	7,86	1000	14,8	15,7	92,5	125	0,573	8,27	23,9	38,5	1,33	12,0
U340x84x2,5	9,80	1250	15,0	19,5	115	125	0,709	10,3	23,8	38,3	2,60	14,9
U340x85x3,0	11,8	1500	15,4	23,5	138	125	0,873	12,5	24,1	38,9	4,50	18,2
U340x86x3,5	13,8	1750	15,9	27,4	161	125	1,04	14,9	24,4	39,5	7,16	21,7
U340x87x4,0	15,8	2010	16,4	31,4	184	125	1,22	17,3	24,7	40,0	10,7	25,3
U360x74x2,0	7,86	1000	11,7	16,8	93,3	129	0,405	6,50	20,1	30,7	1,33	9,76
U360x74x2,5	9,80	1250	11,9	20,9	116	129	0,501	8,07	20,0	30,6	2,60	12,1
U360x75x3,0	11,8	1500	12,3	25,1	139	129	0,619	9,87	20,3	31,1	4,50	14,8
U360x76x3,5	13,8	1750	12,8	29,3	163	129	0,743	11,7	20,6	31,6	7,16	17,7
U360x77x4,0	15,8	2010	13,2	33,5	186	129	0,872	13,7	20,9	32,2	10,7	20,7
U380x64x2,0	7,86	1000	8,93	17,8	93,5	133	0,270	4,91	16,4	23,7	1,33	7,44
U380x64x2,5	9,80	1250	9,14	22,1	116	133	0,334	6,09	16,4	23,6	2,60	9,18
U380x65x3,0	11,8	1500	9,57	26,5	140	133	0,414	7,48	16,6	24,0	4,50	11,3
U380x66x3,5	13,8	1750	10,0	31,0	163	133	0,500	8,92	16,9	24,5	7,16	13,6
U380x67x4,0	15,8	2010	10,4	35,5	187	133	0,590	10,4	17,1	25,0	10,7	16,0
U400x79x2,0	8,64	1100	12,1	22,6	113	143	0,498	7,44	21,3	32,1	1,47	14,9
U400x80x2,5	10,8	1380	12,5	28,3	141	143	0,639	9,47	21,5	32,6	2,87	19,1
U400x80x3,0	13,0	1650	12,7	33,8	169	143	0,760	11,3	21,5	32,5	4,95	22,6
U400x81x3,5	15,1	1930	13,2	39,4	197	143	0,911	13,4	21,7	33,0	7,87	27,0

- Enkesit alanı Denklem (2.3) ile;

$$A = t(a + 2b + 2u) = 3 \times (282 + 2 \times 98 + 2 \times 11,775) = 1504,65 \cong 1500 \text{ mm}^2$$

- Birim boy kütle Denklem (2.3) ile;

$$G = \rho A = 7850 \times 1504,65 \times 10^{-6} \cong 11,8 \text{ kg/m}$$

- Gövde kalınlığının ortasından ve gövdenin dış yüzünden GM'ye olan mesafeler Denklem (2.3) ve Denklem (2.8) ile;

$$\bar{x}_c = \frac{2t}{A} \left\{ b \left( \frac{b}{2} + r \right) + u (0,363r) \right\} = \frac{2 \times 3}{1504,69} \left\{ 98 \times \left( \frac{98}{2} + 7,5 \right) + 11,78 \times (0,363 \times 7,5) \right\} \cong 22,2 \text{ mm}$$

$$e_x = \bar{x}_c + t/2 = 22,2 + 3/2 = 23,7 \text{ mm}$$

- x eksenine göre atalet momenti Denklem (2.4) ile;

$$I_x = 2t \left[ 0,0417a^3 + b \left( \frac{a}{2} + r \right)^2 + u \left( \frac{a}{2} + 0,637r \right)^2 + 0,149r^3 \right]$$

$$\rightarrow I_x = 2 \times 3 \left[ \begin{array}{l} 0,0417 \times 282^3 + 98 \times \left( \frac{282}{2} + 7,5 \right)^2 \\ + 11,78 \times \left( \frac{282}{2} + 0,637 \times 7,5 \right)^2 \\ + 0,149 \times 7,5^3 \end{array} \right] = 20080177,6 \cong 20,1 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- y eksenine göre atalet momenti Denklem (2.5) ile;

$$I_y = 2t \left[ b \left( \frac{b}{2} + r \right)^2 + \frac{b^3}{12} + 0,356r^3 \right] - A \bar{x}_c^2$$

$$\rightarrow I_y = \left\{ \begin{array}{l} 2 \times 3 \left[ \begin{array}{l} 98 \times \left( \frac{98}{2} + 7,5 \right)^2 \\ + \frac{98^3}{12} + 0,356 \times 7,5^3 \end{array} \right] \\ -1504,69 \times 22,21^2 \end{array} \right\} = 1606508,19 \cong 1,61 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- x ve y eksenlerine göre atalet yarıçapları Denklem (2.9) ile;

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{20080177,6}{1504,65}} \cong 116 \text{ mm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1606508,19}{1504,65}} \cong 32,7 \text{ mm}$$

- x ve y eksenlerine göre mukavemet momentleri Denklem (2.9) ile;

$$W_{ex} = \frac{2I_x}{A'} = \frac{2 \times 20080177,6}{300} \cong 134 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{ey} = \frac{I_y}{B' - e_x} = \frac{1606508,19}{107 - 23,7} \cong 19,3 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

- KM ile GM arasındaki mesafe Denklem (2.6) ile;

$$x_o = \bar{x}_c + \bar{b} \left( \frac{3\bar{a}^2\bar{b}}{\bar{a}^3 + 6\bar{a}^2\bar{b}} \right) = 22,2 + 105,5 \times \left( \frac{3 \times 297^2 \times 105,5}{297^3 + 6 \times 297^2 \times 105,5} \right) \cong 58,1 \text{ mm}$$

- Burulma ve çarpılma sabitleri Denklem (2.7) ile;

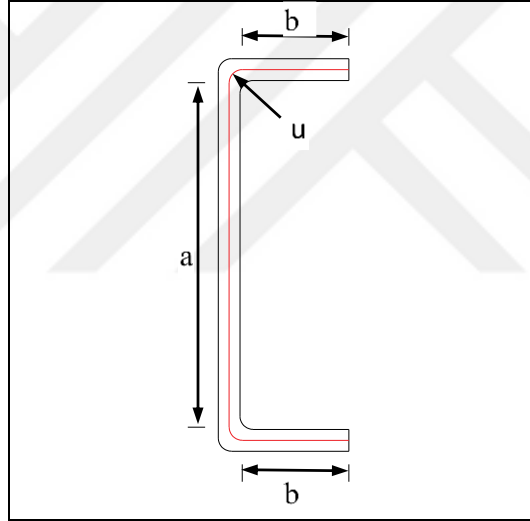
$$J = \frac{t^3}{3} [a + 2b + 2u] = \frac{3^3}{3} [282 + 2 \times 98 + 2 \times 11,78] = 4514,06 \cong 4510 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{\bar{a}^2\bar{b}^3t}{12} \left\{ \frac{2\bar{a} + 3\bar{b}}{\bar{a} + 6\bar{b}} \right\} = \frac{297^2 \times 105,5^3 \times 3}{12} \left\{ \frac{2 \times 297 + 3 \times 105,5}{297 + 6 \times 105,5} \right\} \cong 2,54 \times 10^{10} \text{ mm}^6$$

elde edildi.

### 2.2.2. Yöntem II

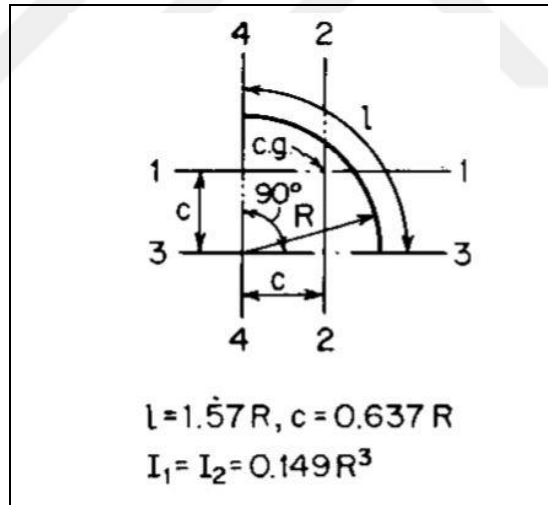
“Çizgisel yöntem” (linear method), soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının enkesit özelliklerinin hesabında yaygın şekilde kullanılan yaklaşık ve pratik bir yöntemdir. Bu yöntemde, çelik malzemenin, elemanın üretiminde kullanılan levhanın kalınlığının tam ortasından geçen çizgi boyunca yoğunlaştığı kabul edilir [10]. Böylece, gerçek alan elemanlarının yerine düz veya eğri çizgisel elemanlar kullanarak enkesit özellikleri hesaplanır. “t” kalınlığı, hesaplara çizgisel enkesitte yapılan hesaplar tamamlandıktan sonra dâhil edilir. Örneğin, enkesit alanı A, çizgisel enkesiti oluşturan tüm çizgilerin boylarının toplamı olan L ile t kalınlığının çarpılmasıyla elde edilir. Şekil 2.3’te yuvarlak-köşe kabulüyle elde edilen çizgisel enkesitin boyutları gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Tipik bir U profilin yuvarlak-köşe kabulüyle belirlenen çizgisel kesiti

Şekil 2.3’teki boyutlar, Denklem (2.2)’de verilen formüller kullanılarak hesaplanabilir. Örneğin, ÜF2 firması tarafından üretilen U300×107×3 ( $r=R + t / 2 = 6 + 3/2 = 7,5$  mm) profilinin yuvarlak köşe kabulüyle hesaplanan çizgisel enkesit boyutları  $b= 107 - 7,5 - 3/2 = 98$  mm,  $a= 300 - (2 \times 7,5 - 3) = 282$  mm ve  $u = 1,57 \times 7,5 = 11,775$  mm’dir. Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının tasarımında çizgisel kesitin özellikleri belirlenirken çoğu zaman köşelerin kendi geometrik merkezlerinden geçen eksenlerine göre atalet momentleri ihmal edilmektedir [10].

Çalışmanın bu aşamasında, çizgisel yöntem kullanılarak yapılan hesaplamalarda, köşelerin atalet momentlerinin ihmal edilmesinin kesit özelliklerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, çalışmada ele alınan enkesitlerin burulma davranışlarıyla ilişkili özelliklerin ( $x_o$ ,  $J$  ve  $C_w$ ) haricindeki bütün özellikleri yuvarlak köşe kabulüyle elde edilen çizgisel kesit kullanılarak ve köşelerin atalet momentleri göz ardı edilerek hesaplanmış, elde edilen değerler ÜF1 firmasının profilleri için Tablo 2.8'de, ÜF2 firmasının profilleri için Tablo 2.9'da ve ÜF3 firmasının profilleri için Tablo 2.10'da üç anlamlı rakama yuvarlanarak sunulmuştur. Asal atalet momentleri hesaplanırken, köşelerin kendi geometrik merkezlerinden geçen eksenlere göre atalet momentlerinin ihmal edilmesine karşın, paralel eksen teoremi gereğince, profilin geometrik merkezine göre ikinci alan momentleri dikkate alınmıştır. Bu hesap için, köşe çizgilerinin geometrik merkezlerinin profilin geometrik merkezinden uzaklığı bilinmelidir. Şekil 2.4'e göre,  $R$  yarıçaplı dörtte bir çemberin geometrik merkezinin (c.g.: center of gravity) 3 ve 4 numaralı eksenlere olan uzaklıkları yaklaşık  $0,637R$ 'ye eşittir.



Şekil 2.4. Çeyrek çemberin bazı geometrik özellikleri [4]

Tezde köşe çizgisinin yarıçapının  $r$  simgesiyle ifade edildiği hatırlandığında, köşe çizgisinin geometrik merkezinin çemberin merkezine olan uzaklığının dik bileşenleri  $c=0,637r$  olarak elde edilebilir.

Tablo 2.8. ÜF1'e ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF1 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm
U100x53x1,5	2,32	300	14,6	0,478	9,55	40,2	0,086	2,23	17,0
U100x54x2,0	3,11	400	15,2	0,636	12,7	40,1	0,118	3,05	17,3
U100x55x2,5	3,90	500	15,8	0,793	15,9	39,9	0,153	3,91	17,5
U100x56x3,0	4,70	600	16,4	0,949	19,0	39,8	0,190	4,80	17,8
U120x63x1,5	2,79	360	17,1	0,832	13,9	48,4	0,146	3,18	20,2
U120x64x2,0	3,74	480	17,7	1,11	18,5	48,2	0,200	4,33	20,5
U120x65x2,5	4,69	600	18,3	1,38	23,0	48,1	0,258	5,52	20,8
U120x66x3,0	5,64	720	18,9	1,66	27,6	48,0	0,319	6,77	21,1
U150x53x1,5	2,91	370	11,8	1,22	16,3	57,5	0,097	2,36	16,2
U150x54x2,0	3,89	500	12,4	1,63	21,8	57,4	0,134	3,23	16,5
U150x55x2,5	4,88	620	12,9	2,04	27,2	57,3	0,174	4,14	16,7
U150x56x3,0	5,88	750	13,4	2,45	32,7	57,2	0,217	5,09	17,0
U200x54x2,0	4,68	600	10,4	3,25	32,5	73,9	0,145	3,33	15,6
U200x55x2,5	5,86	750	10,9	4,07	40,7	73,8	0,188	4,28	15,9
U200x56x3,0	7,05	900	11,4	4,89	48,9	73,8	0,235	5,27	16,2
U200x69x2,0	5,15	660	15,1	3,84	38,4	76,5	0,288	5,35	21,0
U200x70x2,5	6,45	820	15,6	4,80	48,0	76,4	0,371	6,82	21,2
U200x71x3,0	7,76	990	16,2	5,76	57,6	76,4	0,458	8,35	21,5
U220x94x2,0	6,25	800	22,7	6,00	54,5	86,8	0,696	9,77	29,6
U220x95x2,5	7,83	1000	23,3	7,50	68,2	86,7	0,888	12,4	29,8
U220x96x3,0	9,41	1200	23,9	9,00	81,8	86,6	1,088	15,1	30,1
U250x79x2,0	6,25	800	16,3	7,15	57,2	94,8	0,446	7,12	23,7
U250x80x2,5	7,83	1000	16,8	8,95	71,6	94,7	0,572	9,05	24,0
U250x81x3,0	9,41	1200	17,3	10,7	85,9	94,7	0,704	11,1	24,2
U250x83x4,0	12,60	1600	18,4	14,3	115	94,5	0,986	15,3	24,8
U300x100x2,0	7,69	980	21,0	12,9	86,2	115	0,901	11,4	30,3
U300x100x2,5	9,59	1220	21,2	16,1	107	115	1,12	14,2	30,2
U300x100x3,0	11,48	1460	21,4	19,1	128	114	1,33	16,9	30,2
U300x100x4,0	15,23	1940	21,8	25,2	168	114	1,75	22,3	30,0

Tablo 2.9. ÜF2'ye ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF2 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm
U100x54x1,0	1,57	200	14,8	0,329	6,57	40,5	0,061	1,56	17,4
U100x54x1,2	1,88	240	14,9	0,392	7,84	40,4	0,073	1,86	17,4
U100x55x1,5	2,37	300	15,4	0,492	9,8	40,4	0,095	2,39	17,7
U100x55x2,0	3,14	400	15,6	0,645	12,9	40,2	0,124	3,16	17,6
U100x56x2,5	3,94	500	16,2	0,805	16,1	40,0	0,161	4,04	17,9
U100x57x3,0	4,75	600	16,8	0,963	19,3	39,9	0,200	4,97	18,2
U150x49x1,0	1,89	240	10,3	0,782	10,4	57,0	0,053	1,37	14,8
U150x49x1,2	2,26	290	10,4	0,934	12,4	56,9	0,063	1,63	14,8
U150x50x1,5	2,84	360	10,8	1,17	15,7	57,0	0,083	2,11	15,1
U150x50x2,0	3,77	480	11,0	1,55	20,6	56,7	0,108	2,78	15,0
U150x51x2,5	4,73	600	11,6	1,93	25,8	56,7	0,141	3,57	15,3
U150x52x3,0	5,69	720	12,1	2,32	31,0	56,6	0,176	4,41	15,6
U200x55x1,5	3,55	450	10,5	2,49	24,9	74,3	0,116	2,61	16,0
U200x55x2,0	4,71	600	10,7	3,29	32,9	74,1	0,153	3,45	16,0
U200x56x2,5	5,90	750	11,2	4,12	41,2	74,0	0,198	4,43	16,2
U200x57x3,0	7,10	900	11,7	4,95	49,5	74,0	0,247	5,45	16,5
U200x71x1,5	3,92	500	15,6	2,966	29,7	77,0	0,237	4,27	21,8
U200x72x2,0	5,24	670	16,1	3,957	39,6	77,0	0,324	5,81	22,0
U200x72x2,5	6,53	830	16,3	4,899	49,0	76,7	0,401	7,20	22,0
U200x79x3,0	7,86	1000	16,8	5,881	58,8	76,7	0,495	8,81	22,2
U200x105x2,0	6,28	800	28,1	5,250	52,5	81,0	0,914	11,9	33,8
U200x107x3,0	9,46	1200	29,2	7,860	78,6	80,8	1,42	18,3	34,3
U200x108x4,0	12,6	1600	30,0	10,383	104	80,4	1,91	24,6	34,5
U200x110x5,0	15,8	2010	31,2	12,951	130	80,2	2,48	31,5	35,1
U250x80x2,0	6,28	800	16,6	7,21	57,7	95,0	0,462	7,29	24,0
U250x81x2,5	7,87	1000	17,1	9,02	72,2	94,9	0,592	9,27	24,3
U250x82x3,0	9,46	1200	17,7	10,8	86,7	94,8	0,729	11,3	24,6
U250x83x4,0	12,6	1600	18,4	14,3	115	94,5	0,986	15,3	24,8
U250x85x5,0	15,8	2010	19,4	17,9	144	94,4	1,29	19,7	25,4
U300x105x2,0	7,85	1000	22,6	13,4	89,2	116	1,03	12,5	32,1
U300x106x2,5	9,83	1250	23,2	16,7	111	116	1,31	15,9	32,4
U300x107x3,0	11,8	1500	23,7	20,1	134	116	1,61	19,3	32,7
U300x108x4,0	15,7	2000	24,4	26,6	177	115	2,17	25,9	32,9
U300x110x5,0	19,7	2510	25,5	33,3	222	115	2,81	33,3	33,4
U400x105x2,0	9,42	1200	19,0	26,5	132	149	1,11	12,9	30,4
U400x106x2,5	11,8	1500	19,5	33,2	166	149	1,41	16,3	30,7
U400x107x3,0	14,2	1800	20,0	39,8	199	149	1,73	19,9	31,0
U400x108x4,0	18,9	2400	20,7	52,9	264	148	2,33	26,7	31,2
U400x110x5,0	23,7	3010	21,7	66,2	331	148	3,03	34,3	31,7
U500x106x2,5	13,8	1750	16,9	57,1	228	181	1,49	16,7	29,1
U500x107x3,0	16,5	2100	17,4	68,6	274	181	1,82	20,3	29,4
U500x108x4,0	22,0	2800	18,0	91,1	364	180	2,45	27,3	29,6
U500x110x5,0	27,6	3510	19,0	114	457	180	3,19	35,0	30,1



Tablo 2.10. ÜF3'e ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm
U100x52x1,0	1,56	200	13,8	0,326	6,51	40,5	0,056	1,46	16,7
U100x52x1,2	1,87	240	13,9	0,388	7,76	40,4	0,066	1,74	16,7
U100x53x1,5	2,35	300	14,4	0,488	9,75	40,3	0,087	2,24	17,0
U100x54x2,0	3,15	400	15,0	0,649	13,0	40,2	0,120	3,07	17,3
U100x54x2,5	3,91	500	15,2	0,798	16,0	40,0	0,147	3,80	17,2
U120x67x1,2	2,34	300	18,3	0,717	11,9	49,0	0,140	2,88	21,7
U120x68x1,5	2,94	370	18,9	0,899	15,0	49,0	0,181	3,69	22,0
U120x69x2,0	3,93	500	19,5	1,20	19,9	48,9	0,248	5,01	22,3
U120x69x2,5	4,89	620	19,7	1,47	24,6	48,6	0,307	6,22	22,2
U120x70x3,0	5,89	750	20,3	1,77	29,4	48,5	0,378	7,61	22,5
U140x57x1,0	1,95	250	13,3	0,755	10,8	55,1	0,079	1,81	17,8
U140x58x1,5	2,94	370	13,9	1,13	16,2	55,0	0,123	2,79	18,1
U140x59x2,0	3,93	500	14,4	1,51	21,6	54,9	0,170	3,81	18,4
U140x59x2,5	4,89	620	14,6	1,86	26,6	54,7	0,209	4,72	18,3
U140x60x3,0	5,89	750	15,2	2,23	31,9	54,6	0,260	5,79	18,6
U150x78x1,5	3,53	450	20,7	1,66	22,1	60,8	0,283	4,93	25,1
U150x79x2,0	4,72	600	21,2	2,21	29,5	60,6	0,386	6,69	25,3
U150x79x2,5	5,87	750	21,5	2,73	36,4	60,4	0,478	8,30	25,3
U150x80x3,0	7,07	900	22,0	3,27	43,7	60,3	0,587	10,1	25,5
U160x90x1,5	3,93	500	24,6	2,15	26,9	65,5	0,426	6,51	29,2
U160x91x2,0	5,25	670	25,2	2,86	35,8	65,4	0,580	8,81	29,4
U160x91x2,5	6,54	830	25,4	3,54	44,2	65,2	0,718	10,9	29,4
U160x92x3,0	7,87	1000	26,0	4,24	53,0	65,0	0,880	13,3	29,6
U160x93x3,5	9,20	1170	26,6	4,94	61,7	64,9	1,05	15,8	29,9
U160x94x4,0	10,5	1340	27,2	5,64	70,5	64,8	1,22	18,3	30,2
U180x80x1,5	3,93	500	19,6	2,57	28,5	71,6	0,320	5,30	25,3
U180x81x2,0	5,25	670	20,1	3,42	38,0	71,5	0,438	7,19	25,6
U180x81x2,5	6,54	830	20,3	4,23	47,0	71,3	0,542	8,93	25,5
U180x82x3,0	7,87	1000	20,9	5,08	56,4	71,2	0,666	10,9	25,8
U180x84x4,0	10,5	1340	22,0	6,76	75,1	71,0	0,931	15,0	26,3
U200x90x1,5	4,40	560	22,1	3,57	35,7	79,8	0,456	6,71	28,5
U200x91x2,0	5,88	750	22,6	4,75	47,5	79,7	0,621	9,09	28,8
U200x92x2,5	7,37	940	23,2	5,94	59,4	79,6	0,794	11,5	29,1
U200x93x3,0	8,86	1130	23,8	7,12	71,2	79,5	0,973	14,0	29,4
U200x94x3,5	10,4	1320	24,3	8,31	83,1	79,3	1,16	16,6	29,6
U200x94x4,0	11,8	1500	24,5	9,41	94,1	79,1	1,31	18,9	29,6
U220x94x2,0	6,29	800	22,6	6,06	55,1	87,0	0,699	9,79	29,5
U220x94x2,5	7,84	1000	22,8	7,52	68,4	86,8	0,866	12,2	29,5
U220x95x3,0	9,42	1200	23,4	9,02	82,0	86,7	1,06	14,8	29,7
U220x96x3,5	11,0	1400	23,9	10,5	95,6	86,6	1,26	17,5	30,0
U220x97x4,0	12,6	1610	24,5	12,0	109	86,5	1,47	20,3	30,3
U240x84x1,5	4,73	600	18,0	5,18	43,1	92,7	0,398	6,02	25,7
U240x84x2,0	6,29	800	18,2	6,85	57,1	92,5	0,525	7,98	25,6
U240x84x2,5	7,84	1000	18,4	8,50	70,8	92,2	0,651	9,92	25,5
U240x85x3,0	9,42	1200	18,9	10,2	85,0	92,2	0,800	12,1	25,8
U240x86x3,5	11,0	1400	19,5	11,9	99,2	92,1	0,955	14,4	26,1
U240x87x4,0	12,6	1610	20,0	13,6	113	92,0	1,12	16,7	26,4

Tablo 2.10. (Devam) ÜF3'e ait U profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm
U260x80x1,5	4,87	620	15,9	6,05	46,5	98,7	0,355	5,54	23,9
U260x81x2,0	6,51	830	16,4	8,07	62,1	98,7	0,485	7,51	24,2
U260x82x2,5	8,15	1040	17,0	10,1	77,7	98,6	0,621	9,55	24,5
U260x83x3,0	9,80	1250	17,5	12,1	93,3	98,5	0,764	11,7	24,7
U260x84x4,0	13,1	1660	18,2	16,1	124	98,3	1,03	15,7	24,9
U280x71x2,0	6,51	830	12,8	8,86	63,3	103	0,341	5,87	20,3
U280x72x2,5	8,15	1040	13,3	11,1	79,2	103	0,439	7,48	20,6
U280x73x3,0	9,80	1250	13,8	13,3	95,1	103	0,542	9,16	20,8
U280x74x3,5	11,5	1460	14,3	15,6	111	103	0,651	10,9	21,1
U280x74x4,0	13,1	1660	14,5	17,6	126	103	0,736	12,4	21,0
U300x60x1,5	4,87	620	9,2	7,18	47,8	108	0,163	3,22	16,2
U300x61x2,0	6,51	830	9,7	9,59	63,9	108	0,225	4,39	16,5
U300x62x2,5	8,15	1040	10,1	12,0	80,0	108	0,292	5,62	16,8
U300x63x3,0	9,80	1250	10,6	14,4	96,2	108	0,362	6,91	17,0
U300x64x3,5	11,5	1460	11,1	16,9	112	107	0,436	8,24	17,3
U300x64x4,0	13,1	1660	11,3	19,1	128	107	0,493	9,35	17,2
U320x94x2,0	7,86	1000	18,3	14,6	91,2	121	0,773	10,2	27,8
U320x94x2,5	9,80	1250	18,5	18,1	113	120	0,959	12,7	27,7
U320x95x3,0	11,8	1500	19,0	21,8	136	120	1,18	15,5	28,0
U320x96x3,5	13,8	1750	19,5	25,4	159	120	1,40	18,3	28,3
U320x97x4,0	15,8	2010	20,0	29,1	182	120	1,64	21,2	28,6
U340x84x2,0	7,86	1000	14,8	15,7	92,5	125	0,573	8,27	23,9
U340x84x2,5	9,80	1250	15,0	19,5	115	125	0,709	10,3	23,8
U340x85x3,0	11,8	1500	15,4	23,5	138	125	0,872	12,5	24,1
U340x86x3,5	13,8	1750	15,9	27,4	161	125	1,04	14,9	24,4
U340x87x4,0	15,8	2010	16,4	31,3	184	125	1,22	17,3	24,7
U360x74x2,0	7,86	1000	11,7	16,8	93,2	129	0,405	6,50	20,1
U360x74x2,5	9,80	1250	11,9	20,8	116	129	0,501	8,07	20,0
U360x75x3,0	11,8	1500	12,3	25,1	139	129	0,619	9,87	20,3
U360x76x3,5	13,8	1750	12,8	29,3	163	129	0,742	11,7	20,6
U360x77x4,0	15,8	2010	13,2	33,5	186	129	0,872	13,7	20,8
U380x64x2,0	7,86	1000	8,9	17,8	93,5	133	0,270	4,91	16,4
U380x64x2,5	9,80	1250	9,1	22,1	116	133	0,334	6,09	16,4
U380x65x3,0	11,8	1500	9,6	26,5	140	133	0,414	7,48	16,6
U380x66x3,5	13,8	1750	10,0	31,0	163	133	0,500	8,92	16,9
U380x67x4,0	15,8	2010	10,4	35,5	187	133	0,590	10,4	17,1
U400x79x2,0	8,64	1100	12,1	22,6	113	143	0,498	7,44	21,3
U400x80x2,5	10,8	1380	12,5	28,3	141	143	0,639	9,47	21,5
U400x80x3,0	13,0	1650	12,7	33,7	169	143	0,760	11,3	21,5
U400x81x3,5	15,1	1930	13,2	39,4	197	143	0,910	13,4	21,7

Tablo 2.8, Tablo 2.9 ve Tablo 2.10'da, profillerin atalet momentleri hesaplanırken, köşelerin ikinci alan momentleri bu eşitlik kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, Yöntem I'de olduğu gibi, Yöntem II'de de, enkesiti oluşturan herhangi bir düz parçanın zayıf ekseninin ilgili eksene paralel olması durumunda, ilgili parçanın atalet momentinin ihmal edildiği belirtilmelidir.

Bölüm 2.2.1'de, Yöntem I'e göre hesap adımları verilen U300×107×3 profilinin enkesit özelliklerinin Yöntem II'ye göre belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sunulmuştur;

- Temel enkesit boyutları;

$$H = 300 \text{ mm}, B = 107 \text{ mm}, t = 3 \text{ mm}, R = 6 \text{ mm}$$

- Çizgisel kesitin boyutları Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) kullanılarak;

$$a = A' - 2(R + t) = 300 - 2 \times (6 + 3) = 282 \text{ mm}$$

$$b = B' - (R + t) = 107 - (6 + 3) = 98 \text{ mm}$$

$$r = R + t / 2 = 6 + 3 / 2 = 7,5 \text{ mm}, u = \pi r / 2 = \pi \times 7,5 / 2 \cong 11,781 \text{ mm}$$

- Enkesit alanı Denklem (2.3) kullanılarak;

$$A = (2u + 2b + a)t = (2 \times 11,781 + 2 \times 98 + 282) \times 3 = 1504,686 \cong 1510 \text{ mm}^2$$

- Birim boy kütle Denklem (2.3) kullanılarak;

$$G = \rho A = 7850 \times 1504,686 \times 10^{-6} \cong 11,8 \text{ kg/m}$$

- Gövde çizgisinden ve gövdenin dış yüzünden GM'ye olan mesafeler Denklem (2.3) ve Denklem (2.8) kullanılarak;

$$\bar{x}_c = \frac{2b \left( B' - \frac{t}{2} - \frac{b}{2} \right) + 2u(r - 0,637r)}{2b + 2u + a}$$

$$\rightarrow \bar{x}_c = \frac{2 \times 98 \times \left(107 - \frac{3}{2} - \frac{98}{2}\right) + 2 \times 11,781 \times (7,5 - 0,637 \times 7,5)}{2 \times 98 + 2 \times 11,781 + 282} \cong 22,2 \text{ mm}$$

$$e_x = \bar{x}_c + t/2 = 22,2 + 3/2 = 23,7 \text{ mm}$$

- x eksenine göre atalet momenti;

$$y_f = \frac{A'}{2} - \frac{t}{2} = \frac{300}{2} - \frac{3}{2} = 148,5 \text{ mm} \quad (2.10)$$

- x eksenine göre atalet momenti;

$$y_c = \frac{a}{2} + c = \frac{a}{2} + 0,637r = \frac{282}{2} + 0,637 \times 7,5 = 145,7775 \text{ mm} \quad (2.11)$$

- x eksenine göre atalet momenti;

- Çizgisel kesitin x eksenine göre atalet momenti Denklem (2.12) ile,

$$I'_x = 2b(y_f)^2 + 2u(y_c)^2 + a^3/12 \quad (2.12)$$

$$\rightarrow I'_x = 2 \times 98 \times 148,5^2 + 2 \times 11,781 \times 145,7775^2 + 282^3/12 = 6691771,764 \text{ mm}^3$$

- Profilin x eksenine göre atalet momenti,

$$I_x = I'_x \times t = 6691771,764 \times 3 \cong 20075315,29 \text{ mm}^4$$

$$\rightarrow I_x \cong 20,1 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- y eksenine göre atalet momenti;

- Çizgisel kesitin gövde çizgisine göre atalet momenti Denklem (2.13) ile,

$$I'_y = 2 \left[ \frac{b^3}{12} + b \left( \frac{b}{2} + r \right)^2 \right] + 2u(r - 0,637r)^2 \quad (2.13)$$

$$I'_y = 2 \times \left[ \frac{98^3}{12} + 98 \times \left( \frac{98}{2} + 7,5 \right)^2 \right] + 2 \times 11,781 \times (7,5 - 0,637 \times 7,5)^2$$

$$I'_y = 782720,98 \text{ mm}^4$$

- Profilin y eksenine göre atalet momenti,

$$I_y = I'_y \times t - A \bar{x}_c^2$$

$$I_y = 782720,98 \times 3 - 1504,686 \times 22,21^2 = 1605925,326 \cong 1,61 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- x ve y eksenlerine göre atalet yarıçapları Denklem (2.9) kullanılarak;

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{20075315,29}{1504,686}} \cong 116 \text{ mm}, \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1605925,326}{1504,686}} \cong 32,7 \text{ mm}$$

- x ve y eksenlerine göre mukavemet momentleri Denklem (2.9) kullanılarak;

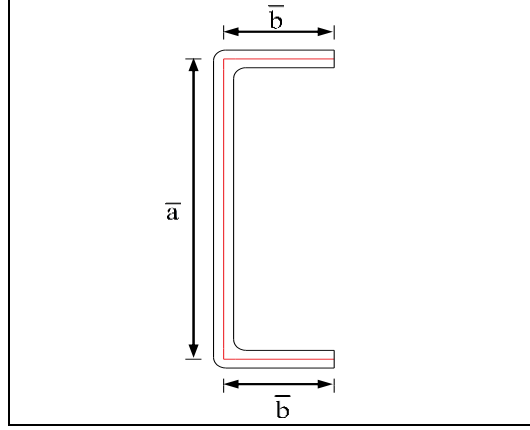
$$W_{ex} = \frac{2I_x}{H} = \frac{2 \times 20075315,29}{300} \cong 134 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{ey} = \frac{I_y}{B - e_x} = \frac{1605925,326}{107 - 23,7} \cong 19,3 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

elde edildi.

### 2.2.3. Yöntem III

Tezde incelenen profillerin enkesit özellikleri hesaplanırken kullanılan üçüncü yöntem ise köşelerdeki eğriliklerin ihmal edildiği “yaklaşık” çizgisel yöntemdir. Kare-köşe kabulüyle elde edilen çizgisel enkesitler (Şekil 2.5), soğuk şekillendirilmiş profillerin elastik-ötesi yedek eğilme momenti dayanımlarının belirlenmesinde olduğu gibi nispeten karışık denklemlerin çözümünün gerektiği durumlarda sıkça kullanılmaktadır [4]. Bu yöntemde de, incelenen profillerin çizgisel enkesiti Yöntem II’de tanımlandığı gibi belirlenir; fakat, başlık-gövde birleşimindeki yuvarlak köşelerdeki eğrilikler ihmal edilerek, Şekil 2.5’te gösterildiği gibi doğrudan birleştirilir. Bu şekilde elde edilen bir enkesit, yalnız doğrusal çizgilerden oluştuğu için, enkesitin geometrik özellikleri kolayca belirlenebilmektedir. Şekil 2.5’te gösterilen boyutlar, Denklem (2.1)’de verilen formüller kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 2.5. Tipik bir U profilinin kare-köşe kabulüyle belirlenen çizgisel kesiti

Örneğin, ÜF2 firmasına ait U300×107×3 profilinin kare-köşe kabulüyle hesaplanan çizgisel enkesit boyutları  $\bar{a} = 107 - 3/2 = 105,5$  mm,  $\bar{b} = 300 - 3 = 297$  mm'dir. Bu yöntemde de, atalet momenti hesaplarında, enkesiti oluşturan herhangi bir düz parçanın zayıf ekseninin ilgili eksene paralel olması durumunda, ilgili parçanın atalet momenti ihmal edilmiştir.

Kare-köşe kabulüyle çizilen kesitin geometrik ve kayma merkezleri arasındaki mesafe için Kaynak [4]'te Tablo B.1'de Denklem (2.14) önerilmiştir;

$$x_o = \frac{\bar{b}^2}{\bar{a}+2\bar{b}} + \frac{3\bar{b}^2}{\bar{a}+6\bar{b}} \quad (2.14)$$

Profillerin burulma sabiti ise, Denk. (2.15) ile hesaplanabilir;

$$J = \frac{t^3}{3} [\bar{a} + 2\bar{b}] \quad (2.15)$$

Denk. (2.7)'de çarpılma sabiti için verilen formül incelendiğinde, Yöntem I'de  $C_w$  hesabında dik(kare)-köşe kabulüyle belirlenen çizgisel boyutların kullanıldığı fark edilebilir. Bu nedenle, Yöntem III'le hesaplanan  $C_w$  değerleri, Yöntem I'le hesaplananlarla aynıdır.

Çalışmada incelenen bütün profillerin enkesit özellikleri kare köşe kabulüyle elde edilen çizgisel kesit kullanılarak hesaplanmış, elde edilen değerler ÜF1 firmasının

profilleri için Tablo 2.11’de, ÜF2 firmasının profilleri için Tablo 2.12’de ve ÜF3 firmasının profilleri için Tablo 2.13’te üç anlamlı rakama yuvarlanarak sunulmuştur.

Bölüm 2.2.1’de, Yöntem I’e göre, Bölüm 2.2.2’de Yöntem II’ye göre hesap adımları verilen U300×107×3 profilinin enkesit özelliklerinin Yöntem III’e göre belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sunulmuştur;

- Temel enkesit boyutları;

$$H = 300 \text{ mm}, B = 107 \text{ mm}, t = 3 \text{ mm}, R = 6 \text{ mm}$$

- Çizgisel kesitin boyutları Denklem (2.1) kullanılarak;

$$\bar{a} = A' - t = 300 - 3 = 297 \text{ mm}, \bar{b} = B' - (t / 2) = 107 - (3 / 2) = 105,5 \text{ mm}$$

- Enkesit alanı Denklem (2.16) ile;

$$A = (\bar{a} + 2\bar{b})t = (297 + 2 \times 105,5) \times 3 = 1524 \text{ mm}^2 \quad (2.16)$$

- Birim boy kütle Denklem (2.3) kullanılarak;

$$G = \rho A = 7850 \times 1524 \times 10^{-6} \cong 12,0 \text{ kg/m}$$

- Gövde çizgisinden ve gövdenin dış yüzünden GM’ye olan mesafeler Denklem (2.8) ve Denklem (2.17) ile;

$$\bar{x}_c = \frac{2\bar{b} \times (\bar{b} / 2)}{\bar{a} + 2\bar{b}} = \frac{2 \times 105,5 \times (105,5 / 2)}{297 + 2 \times 105,5} \cong 21,9 \text{ mm} \quad (2.17)$$

$$e_x = \bar{x}_c + t / 2 = 21,9 + 3 / 2 = 23,4 \text{ mm}$$

Tablo 2.11. ÜF1'e ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF1 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U100x53x1,5	2,39	300	14,2	0,500	9,99	40,5	0,088	2,26	17,0	33,3	0,228	0,149
U100x54x2,0	3,20	410	14,8	0,666	13,3	40,4	0,121	3,09	17,2	34,0	0,544	0,203
U100x55x2,5	4,02	510	15,3	0,832	16,6	40,3	0,157	3,96	17,5	34,7	1,07	0,261
U100x56x3,0	4,85	620	15,9	0,997	19,9	40,2	0,195	4,87	17,8	35,4	1,85	0,321
U120x63x1,5	2,86	360	16,7	0,864	14,4	48,7	0,149	3,21	20,2	39,6	0,273	0,365
U120x64x2,0	3,83	490	17,3	1,15	19,2	48,6	0,204	4,37	20,5	40,3	0,651	0,497
U120x65x2,5	4,81	610	17,8	1,44	24,0	48,5	0,263	5,58	20,7	41,0	1,28	0,635
U120x66x3,0	5,79	740	18,4	1,72	28,7	48,3	0,326	6,84	21,0	41,7	2,21	0,779
U150x53x1,5	2,98	380	11,5	1,27	17,0	57,9	0,098	2,37	16,1	28,5	0,285	0,386
U150x54x2,0	3,99	510	12,1	1,70	22,7	57,9	0,136	3,25	16,4	29,1	0,677	0,531
U150x55x2,5	5,00	640	12,6	2,13	28,4	57,8	0,177	4,17	16,7	29,8	1,33	0,683
U150x56x3,0	6,03	770	13,1	2,56	34,1	57,7	0,220	5,14	16,9	30,4	2,30	0,844
U200x54x2,0	4,77	610	10,2	3,37	33,7	74,5	0,147	3,35	15,5	25,6	0,811	1,05
U200x55x2,5	5,99	760	10,7	4,23	42,3	74,4	0,190	4,30	15,8	26,1	1,59	1,35
U200x56x3,0	7,21	920	11,2	5,08	50,8	74,4	0,237	5,30	16,1	26,7	2,75	1,67
U200x69x2,0	5,24	670	14,8	3,96	39,6	77,0	0,291	5,38	20,9	36,7	0,891	2,03
U200x70x2,5	6,57	840	15,4	4,96	49,6	76,9	0,375	6,86	21,2	37,4	1,74	2,60
U200x71x3,0	7,91	1010	15,9	5,96	59,6	76,9	0,463	8,40	21,4	38,0	3,02	3,20
U220x94x2,0	6,34	810	22,4	6,15	55,9	87,2	0,702	9,81	29,5	54,8	1,08	5,87
U220x95x2,5	7,95	1010	23,0	7,69	69,9	87,1	0,896	12,4	29,8	55,5	2,11	7,46
U220x96x3,0	9,56	1220	23,5	9,23	83,9	87,0	1,10	15,2	30,0	56,2	3,65	9,09
U250x79x2,0	6,34	810	16,1	7,34	58,7	95,3	0,449	7,14	23,6	40,6	1,08	4,96
U250x80x2,5	7,95	1010	16,6	9,19	73,5	95,3	0,577	9,09	23,9	41,2	2,11	6,33
U250x81x3,0	9,56	1220	17,1	11,0	88,3	95,2	0,710	11,1	24,1	41,8	3,65	7,75
U250x83x4,0	12,8	1630	18,1	14,8	118	95,1	0,995	15,3	24,7	43,0	8,70	10,8
U300x100x2,0	7,79	990	20,8	13,2	88,0	115	0,906	11,4	30,2	52,7	1,32	14,4
U300x100x2,5	9,71	1240	21,0	16,4	109	115	1,12	14,2	30,1	52,6	2,58	17,8
U300x100x3,0	11,6	1480	21,1	19,6	131	115	1,34	17,0	30,1	52,4	4,45	21,1
U300x100x4,0	15,4	1970	21,5	25,8	172	115	1,76	22,4	29,9	52,1	10,5	27,6



Tablo 2.12. ÜF2'ye ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF2 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U100x54x1,0	1,62	210	14,4	0,343	6,86	40,8	0,062	1,57	17,4	34,3	0,069	0,107
U100x54x1,2	1,94	250	14,5	0,409	8,18	40,7	0,074	1,88	17,4	34,3	0,118	0,127
U100x55x1,5	2,44	310	15,0	0,514	10,3	40,7	0,097	2,42	17,7	35,0	0,233	0,164
U100x55x2,0	3,23	410	15,2	0,675	13,5	40,5	0,127	3,20	17,6	34,9	0,549	0,214
U100x56x2,5	4,06	520	15,7	0,844	16,9	40,4	0,165	4,10	17,9	35,6	1,08	0,274
U100x57x3,0	4,90	620	16,3	1,01	20,2	40,3	0,205	5,04	18,1	36,3	1,87	0,337
U150x49x1,0	1,93	250	10,1	0,814	10,9	57,5	0,054	1,38	14,8	25,6	0,082	0,213
U150x49x1,2	2,31	290	10,1	0,972	13,0	57,4	0,064	1,64	14,7	25,5	0,141	0,253
U150x50x1,5	2,91	370	10,6	1,22	16,3	57,5	0,084	2,12	15,0	26,2	0,278	0,330
U150x50x2,0	3,86	490	10,8	1,61	21,5	57,3	0,110	2,80	15,0	26,1	0,656	0,430
U150x51x2,5	4,85	620	11,3	2,02	27,0	57,2	0,143	3,60	15,2	26,7	1,29	0,556
U150x52x3,0	5,84	740	11,8	2,43	32,4	57,2	0,179	4,45	15,5	27,3	2,23	0,689
U200x55x1,5	3,61	460	10,3	2,58	25,8	74,9	0,117	2,63	16,0	26,4	0,345	0,840
U200x55x2,0	4,80	610	10,5	3,41	34,1	74,7	0,154	3,47	15,9	26,3	0,816	1,10
U200x56x2,5	6,02	770	11,0	4,27	42,7	74,6	0,200	4,45	16,2	26,9	1,60	1,42
U200x57x3,0	7,25	920	11,5	5,14	51,4	74,6	0,249	5,48	16,4	27,4	2,77	1,75
U200x71x1,5	3,99	510	15,3	3,05	30,5	77,5	0,239	4,29	21,7	38,4	0,381	1,67
U200x72x2,0	5,34	680	15,8	4,08	40,8	77,4	0,328	5,83	22,0	39,1	0,907	2,28
U200x72x2,5	6,65	850	16,0	5,05	50,5	77,2	0,405	7,24	21,9	38,9	1,766	2,81
U200x73x3,0	8,01	1020	16,5	6,07	60,7	77,2	0,500	8,86	22,2	39,5	3,060	3,45
U200x105x2,0	6,37	810	27,6	5,37	53,7	81,3	0,924	11,9	33,7	66,1	1,08	6,33
U200x107x3,0	9,61	1220	28,8	8,05	80,5	81,1	1,44	18,4	34,3	67,5	3,67	9,75
U200x108x4,0	12,8	1630	29,5	10,7	107	80,8	1,94	24,7	34,5	68,1	8,70	13,0
U200x110x5,0	16,1	2050	30,7	13,3	133	80,6	2,51	31,7	35,0	69,5	17,1	16,7
U250x80x2,0	6,37	810	16,4	7,40	59,2	95,5	0,466	7,32	23,9	41,3	1,08	5,13
U250x81x2,5	7,99	1020	16,9	9,27	74,1	95,4	0,597	9,31	24,2	41,9	2,12	6,55
U250x82x3,0	9,61	1220	17,4	11,1	89,1	95,4	0,735	11,4	24,5	42,5	3,67	8,02
U250x83x4,0	12,8	1630	18,1	14,8	118	95,1	0,995	15,3	24,7	43,0	8,70	10,8
U250x85x5,0	16,1	2050	19,1	18,5	148	95,0	1,31	19,8	25,2	44,2	17,1	14,0
U300x105x2,0	7,94	1010	22,4	13,6	91,0	116	1,04	12,6	32,0	56,6	1,35	16,4
U300x106x2,5	9,95	1270	22,9	17,1	114	116	1,32	15,9	32,3	57,2	2,64	20,8
U300x107x3,0	12,0	1520	23,4	20,5	137	116	1,62	19,3	32,6	57,8	4,57	25,4
U300x108x4,0	16,0	2030	24,1	27,2	181	116	2,18	26,0	32,8	58,3	10,8	34,0
U300x110x5,0	20,0	2550	25,2	34,1	227	116	2,83	33,4	33,3	59,5	21,3	43,7
U400x105x2,0	9,51	1210	18,8	27,0	135	149	1,11	12,9	30,3	49,6	1,62	32,2
U400x106x2,5	11,9	1520	19,3	33,8	169	149	1,42	16,4	30,6	50,2	3,16	40,9
U400x107x3,0	14,3	1820	19,8	40,6	203	149	1,74	19,9	30,9	50,7	5,47	49,9
U400x108x4,0	19,1	2430	20,5	53,9	270	149	2,35	26,8	31,1	51,1	13,0	67,0
U400x110x5,0	23,9	3050	21,4	67,6	338	149	3,05	34,4	31,6	52,3	25,4	86,4
U500x106x2,5	13,9	1770	16,8	58,1	232	181	1,49	16,7	29,0	44,8	3,68	68,9
U500x107x3,0	16,7	2120	17,2	69,8	279	181	1,82	20,3	29,3	45,3	6,37	84,1
U500x108x4,0	22,2	2830	17,9	92,8	371	181	2,46	27,3	29,5	45,6	15,1	113
U500x110x5,0	27,9	3550	18,8	116	466	181	3,20	35,1	30,0	46,7	29,6	146

Tablo 2.13. ÜF3'e ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U100x52x1,0	1,59	200	13,6	0,333	6,66	40,6	0,056	1,47	16,7	32,6	0,067	0,096
U100x52x1,2	1,90	240	13,7	0,397	7,95	40,5	0,067	1,75	16,7	32,6	0,116	0,115
U100x53x1,5	2,39	300	14,2	0,500	9,99	40,5	0,088	2,26	17,0	33,3	0,228	0,149
U100x54x2,0	3,20	410	14,8	0,666	13,3	40,4	0,121	3,09	17,2	34,0	0,544	0,203
U100x54x2,5	3,98	510	15,0	0,820	16,4	40,2	0,149	3,82	17,2	33,9	1,06	0,248
U120x67x1,2	2,37	300	18,1	0,730	12,2	49,2	0,141	2,89	21,6	43,1	0,145	0,349
U120x68x1,5	2,98	380	18,6	0,916	15,3	49,1	0,183	3,70	22,0	43,9	0,285	0,449
U120x69x2,0	3,99	510	19,2	1,22	20,3	49,0	0,251	5,04	22,2	44,6	0,677	0,610
U120x69x2,5	4,97	630	19,4	1,51	25,1	48,8	0,310	6,25	22,1	44,4	1,32	0,748
U120x70x3,0	5,98	760	20,0	1,81	30,1	48,7	0,383	7,65	22,4	45,1	2,29	0,916
U140x57x1,0	1,98	250	13,2	0,770	11,0	55,3	0,080	1,82	17,8	32,7	0,084	0,272
U140x58x1,5	2,98	380	13,7	1,16	16,5	55,2	0,124	2,80	18,1	33,4	0,285	0,419
U140x59x2,0	3,99	510	14,2	1,54	22,0	55,1	0,171	3,82	18,3	34,0	0,677	0,573
U140x59x2,5	4,97	630	14,4	1,91	27,2	54,9	0,211	4,74	18,3	33,9	1,32	0,703
U140x60x3,0	5,98	760	15,0	2,29	32,7	54,8	0,262	5,82	18,5	34,5	2,29	0,865
U150x78x1,5	3,57	450	20,4	1,69	22,5	60,9	0,285	4,95	25,0	48,9	0,341	1,10
U150x79x2,0	4,77	610	21,0	2,25	30,0	60,8	0,389	6,71	25,3	49,6	0,811	1,49
U150x79x2,5	5,95	760	21,2	2,78	37,1	60,6	0,482	8,34	25,2	49,5	1,58	1,83
U150x80x3,0	7,16	910	21,8	3,34	44,5	60,5	0,593	10,2	25,5	50,2	2,74	2,24
U160x90x1,5	3,97	510	24,4	2,18	27,2	65,7	0,429	6,53	29,1	58,1	0,379	1,88
U160x91x2,0	5,31	680	25,0	2,90	36,3	65,5	0,584	8,84	29,4	58,8	0,901	2,55
U160x91x2,5	6,61	840	25,2	3,60	45,0	65,3	0,724	11,0	29,3	58,6	1,76	3,14
U160x92x3,0	7,96	1010	25,7	4,31	53,9	65,2	0,887	13,4	29,6	59,3	3,04	3,82
U160x93x3,5	9,31	1190	26,3	5,03	62,9	65,1	1,06	15,9	29,8	60,0	4,84	4,52
U160x94x4,0	10,7	1360	26,9	5,74	71,8	65,0	1,23	18,4	30,1	60,8	7,25	5,25
U180x80x1,5	3,97	510	19,4	2,60	28,9	71,8	0,322	5,32	25,2	47,4	0,379	1,80
U180x81x2,0	5,31	680	19,9	3,47	38,6	71,7	0,440	7,21	25,5	48,1	0,901	2,45
U180x81x2,5	6,61	840	20,1	4,31	47,8	71,5	0,545	8,96	25,4	48,0	1,76	3,02
U180x82x3,0	7,96	1010	20,7	5,17	57,4	71,4	0,671	10,9	25,7	48,6	3,04	3,69
U180x84x4,0	10,7	1360	21,8	6,90	76,6	71,2	0,938	15,1	26,3	50,0	7,25	5,10
U200x90x1,5	4,44	570	21,9	3,62	36,2	80,0	0,458	6,73	28,5	53,7	0,424	3,17
U200x91x2,0	5,93	760	22,4	4,82	48,2	79,9	0,625	9,11	28,7	54,4	1,01	4,30
U200x92x2,5	7,44	950	23,0	6,03	60,3	79,8	0,798	11,6	29,0	55,0	1,97	5,46
U200x93x3,0	8,95	1140	23,5	7,24	72,4	79,7	0,979	14,1	29,3	55,7	3,42	6,66
U200x94x3,5	10,5	1330	24,1	8,45	84,5	79,6	1,17	16,7	29,6	56,4	5,45	7,90
U200x94x4,0	11,9	1520	24,3	9,58	95,8	79,4	1,32	19,0	29,5	56,2	8,11	8,90
U220x94x2,0	6,34	810	22,4	6,15	55,9	87,2	0,702	9,81	29,5	54,8	1,08	5,87
U220x94x2,5	7,91	1010	22,6	7,63	69,3	87,0	0,871	12,2	29,4	54,7	2,10	7,25
U220x95x3,0	9,51	1210	23,1	9,16	83,3	86,9	1,07	14,9	29,7	55,3	3,64	8,84
U220x96x3,5	11,1	1420	23,7	10,7	97,2	86,8	1,27	17,6	30,0	56,0	5,79	10,5
U220x97x4,0	12,7	1620	24,2	12,2	111	86,8	1,48	20,4	30,2	56,7	8,66	12,2
U240x84x1,5	4,77	610	17,9	5,25	43,7	92,9	0,399	6,03	25,6	45,3	0,456	4,04
U240x84x2,0	6,34	810	18,1	6,95	57,9	92,7	0,527	8,00	25,5	45,1	1,08	5,32
U240x84x2,5	7,91	1010	18,2	8,63	71,9	92,5	0,654	9,94	25,5	45,0	2,10	6,56
U240x85x3,0	9,51	1210	18,8	10,4	86,4	92,5	0,803	12,1	25,7	45,6	3,64	8,03
U240x86x3,5	11,1	1420	19,3	12,1	101	92,4	0,960	14,4	26,0	46,2	5,79	9,54
U240x87x4,0	12,7	1620	19,8	13,8	115	92,3	1,12	16,7	26,3	46,9	8,66	11,1

Tablo 2.13. (Devam) ÜF3'e ait U profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	x <sub>0</sub>	J	C <sub>w</sub>
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm <sup>6</sup> (x10 <sup>9</sup> )
U260x80x1,5	4,91	630	15,8	6,13	47,2	99,0	0,356	5,54	23,9	40,7	0,469	4,27
U260x81x2,0	6,56	840	16,3	8,19	63,0	99,0	0,487	7,52	24,1	41,3	1,11	5,82
U260x82x2,5	8,22	1050	16,8	10,2	78,8	98,9	0,624	9,57	24,4	41,9	2,18	7,42
U260x83x3,0	9,89	1260	17,3	12,3	94,8	98,9	0,768	11,7	24,7	42,5	3,78	9,09
U260x84x4,0	13,2	1680	18,0	16,3	126	98,6	1,04	15,8	24,9	43,0	8,96	12,2
		0										
U280x71x2,0	6,56	840	12,7	8,99	64,2	104	0,342	5,88	20,2	32,8	1,11	4,85
U280x72x2,5	8,22	1050	13,2	11,3	80,4	104	0,441	7,50	20,5	33,3	2,18	6,21
U280x73x3,0	9,89	1260	13,7	13,5	96,7	104	0,544	9,18	20,8	33,9	3,78	7,63
U280x74x3,5	11,6	1470	14,1	15,8	113	104	0,653	10,9	21,1	34,5	6,02	9,12
U280x74x4,0	13,2	1680	14,3	18,0	128	103	0,739	12,4	21,0	34,3	8,96	10,3
U300x60x1,5	4,91	630	9,17	7,28	48,6	108	0,164	3,22	16,2	24,5	0,469	2,74
U300x61x2,0	6,56	840	9,61	9,74	64,9	108	0,226	4,40	16,4	25,0	1,11	3,77
U300x62x2,5	8,22	1050	10,1	12,2	81,4	108	0,292	5,63	16,7	25,5	2,18	4,85
U300x63x3,0	9,89	1260	10,5	14,7	97,9	108	0,363	6,92	17,0	26,0	3,78	6,00
U300x64x3,5	11,6	1470	11,0	17,2	115	108	0,438	8,26	17,2	26,6	6,02	7,20
U300x64x4,0	13,2	1680	11,2	19,5	130	108	0,495	9,36	17,2	26,4	8,96	8,11
U320x94x2,0	7,91	1010	18,2	14,8	92,3	121	0,776	10,2	27,7	46,8	1,34	14,2
U320x94x2,5	9,87	1260	18,4	18,4	115	121	0,962	12,7	27,7	46,6	2,62	17,5
U320x95x3,0	11,9	1510	18,8	22,1	138	121	1,18	15,5	27,9	47,2	4,54	21,4
U320x96x3,5	13,9	1770	19,3	25,8	161	121	1,41	18,3	28,2	47,8	7,22	25,4
U320x97x4,0	15,9	2020	19,8	29,5	184	121	1,64	21,3	28,5	48,4	10,8	29,5
U340x84x2,0	7,91	1010	14,7	15,9	93,6	126	0,574	8,28	23,9	38,4	1,34	12,0
U340x84x2,5	9,87	1260	14,9	19,8	116	125	0,711	10,3	23,8	38,2	2,62	14,9
U340x85x3,0	11,9	1510	15,3	23,8	140	125	0,875	12,6	24,1	38,8	4,54	18,2
U340x86x3,5	13,9	1770	15,8	27,8	164	125	1,05	14,9	24,3	39,3	7,22	21,7
U340x87x4,0	15,9	2020	16,3	31,8	187	125	1,23	17,3	24,6	39,9	10,8	25,3
U360x74x2,0	7,91	1010	11,6	17,0	94,5	130	0,406	6,50	20,1	30,7	1,34	9,76
U360x74x2,5	9,87	1260	11,8	21,1	117	130	0,503	8,08	20,0	30,5	2,62	12,1
U360x75x3,0	11,9	1510	12,2	25,4	141	130	0,620	9,88	20,3	31,0	4,54	14,8
U360x76x3,5	13,9	1770	12,7	29,7	165	130	0,744	11,8	20,5	31,5	7,22	17,7
U360x77x4,0	15,9	2020	13,1	34,0	189	130	0,875	13,7	20,8	32,1	10,8	20,7
U380x64x2,0	7,91	1010	8,88	18,0	94,8	134	0,271	4,91	16,4	23,6	1,34	7,44
U380x64x2,5	9,87	1260	9,08	22,4	118	133	0,335	6,09	16,3	23,5	2,62	9,18
U380x65x3,0	11,9	1510	9,50	26,9	142	133	0,415	7,48	16,6	24,0	4,54	11,3
U380x66x3,5	13,9	1770	9,92	31,5	166	134	0,501	8,93	16,8	24,4	7,22	13,6
U380x67x4,0	15,9	2020	10,3	36,1	190	134	0,591	10,4	17,1	24,9	10,8	16,0
U400x79x2,0	8,70	1110	12,0	22,9	114	144	0,499	7,45	21,2	32,1	1,48	14,9
U400x80x2,5	10,9	1390	12,4	28,6	143	144	0,641	9,48	21,5	32,6	2,89	19,1
U400x80x3,0	13,0	1660	12,6	34,2	171	143	0,762	11,3	21,4	32,4	4,99	22,6
U400x81x3,5	15,2	1940	13,1	40,0	200	143	0,913	13,4	21,7	32,9	7,93	27,0

- x eksenine göre atalet momenti;
  - Çizgisel kesitin x eksenine göre atalet momenti Denklem (2.18) ile,

$$I'_x = 2\bar{b}\left(\frac{H}{2} - \frac{t}{2}\right)^2 + \bar{a}^3 / 12 \quad (2.18)$$

$$\rightarrow I'_x = 2 \times 105,5 \times \left(\frac{300}{2} - \frac{3}{2}\right)^2 + \frac{1}{12} \times 297^3 = 6836197,5 \text{ mm}^3$$

- Profilin x eksenine göre atalet momenti,

$$I_x = I'_x \times t = 6836197,5 \times 3 = 20508592,5 \text{ mm}^4, \rightarrow I_x \cong 20,1 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- y eksenine göre atalet momenti Denklem (2.19) ile;

- Çizgisel kesitin gövde çizgisine göre atalet momenti,

$$I'_y = 2 \left[ \frac{\bar{b}^3}{12} + \bar{b} \left( \frac{\bar{b}}{2} \right)^2 \right] = 2 \times \left( \frac{(105,5)^3}{12} + 105,5 \times (105,5/2)^2 \right) = 782827,5833 \text{ mm}^3 \quad (2.19)$$

- Profilin y eksenine göre atalet momenti Denklem (2.20) ile,

$$I_y = I'_y \times t - A\bar{x}_c^2 \quad (2.20)$$

$$I_y = 782827,5833 \times 3 - 1524 \times 21,9^2 = 1617557,11 \cong 1,61 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- x ve y eksenlerine göre atalet yarıçapları Denklem (2.9) kullanılarak;

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{20508592,5}{1524}} \cong 116 \text{ mm}, \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1617557,11}{1524}} \cong 32,6 \text{ mm}$$

- x ve y eksenlerine göre mukavemet momentleri Denklem (2.9) kullanılarak;

$$W_{ex} = \frac{2I_x}{H} = \frac{2 \times 20508592,5}{300} \cong 137 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{ey} = \frac{I_y}{B - e_x} = \frac{1617557,11}{107 - 23,4} \cong 19,3 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

- KM ile GM arasındaki mesafe Denklem (2.10) kullanılarak;

$$x_o = \frac{\bar{b}^2}{\bar{a}+2\bar{b}} + \frac{3\bar{b}^2}{\bar{a}+6\bar{b}} = \frac{(105,5)^2}{297+2 \times 105,5} + \frac{3 \times (105,5)^2}{297+6 \times 105,5} \cong 57,8 \text{ mm}$$

- Burulma ve çarpılma sabitleri Denklem (2.7) ve Denklem (2.11) kullanılarak;

$$J = \frac{t^3}{3} [\bar{a} + 2\bar{b}] = \frac{3^3}{3} [297 + 2 \times 105,5] = 4572 \text{ mm}^4$$

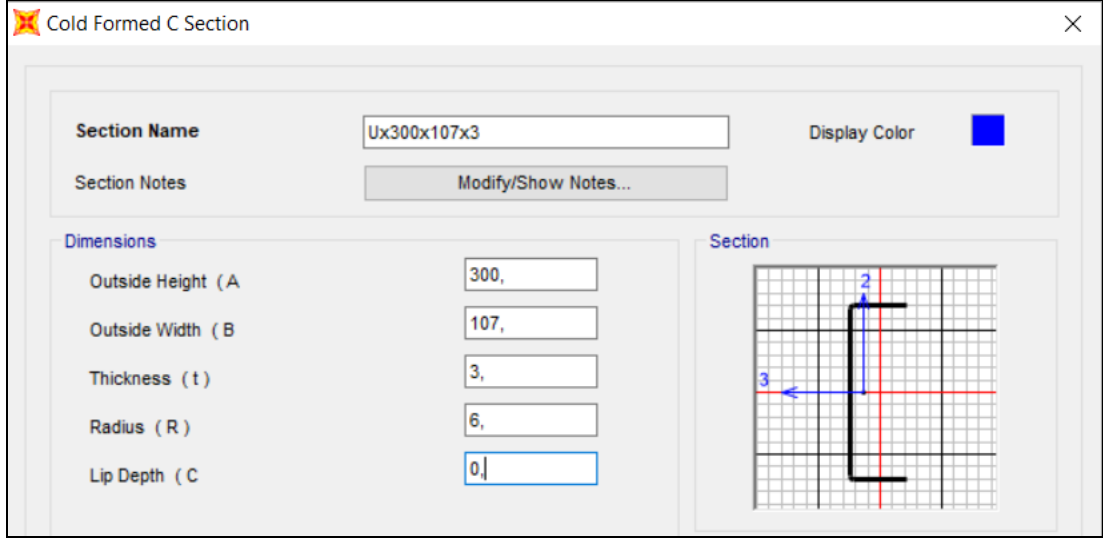
$$C_w = \frac{\bar{a}^2 \bar{b}^3 t}{12} \left\{ \frac{2\bar{a} + 3\bar{b}}{\bar{a} + 6\bar{b}} \right\} = \frac{297^2 \times 105,5^3 \times 3}{12} \left\{ \frac{2 \times 297 + 3 \times 105,5}{297 + 6 \times 105,5} \right\} \cong 2,54 \times 10^{10} \text{ mm}^6$$

elde edildi.

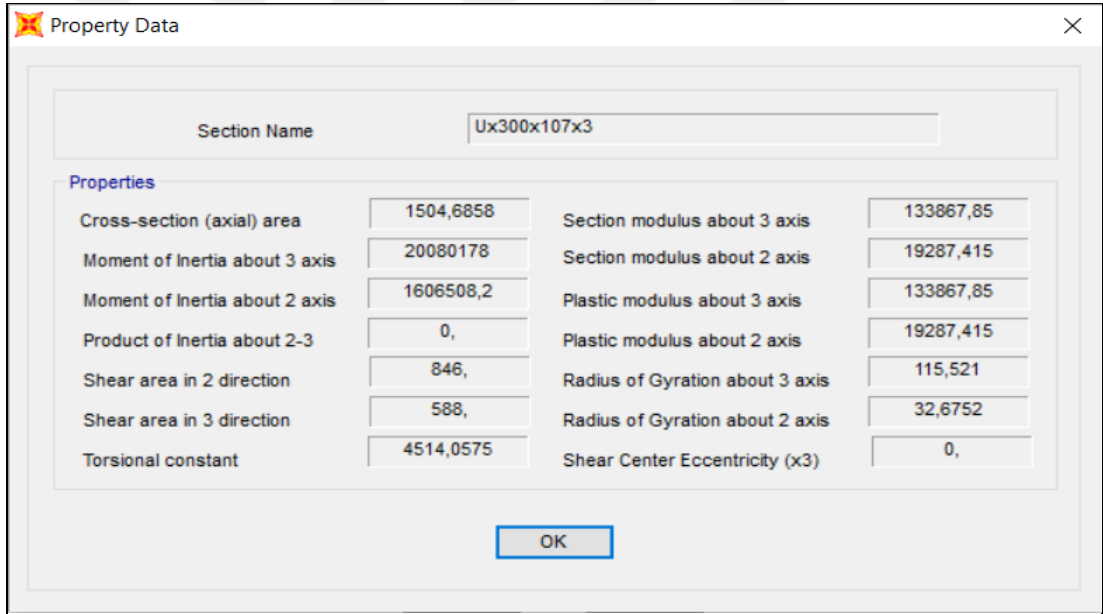
#### 2.2.4. Yöntem IV

Tezde incelenen profillerin enkesit özellikleri belirlenirken kullanılan yöntemlerden dördüncüsü, enkesit değerlerinin ülkemizde çelik yapı analiz ve tasarımında yaygın şekilde kullanılan ticari programlardan biri olan SAP2000 [11] programından doğrudan alınmasıdır. Çalışmada kullanılan versiyonunun veri tabanında, dünyada ve Avrupa’da sık kullanılan soğuk şekillendirilmiş profiller tanımlanmamış olmasına karşın, ince cidarlı U profiller “yeni enkesitler” olarak programın sunduğu form (Şekil 2.6) doldurularak programa tanımlanabilmektedir. Çalışmada incelenen profillerin tamamı programa tek tek tanımlanarak enkesit özellikleri programdan okunmuştur. Şekil 2.6’da ÜF2 firmasına ait U300×107×3 profilinin boyutlarının programa girilmesi gösterilmiştir. Şekil 2.6’da, A simgesiyle gösterilen boyut, kesit yüksekliğini (H) ifade etmektedir. B, t ve R simgeleri, çalışmada kullanılan simgelerle aynıdır. Çalışmada U profiller ele alındığı için, rijitleştirici boyu (lip depth) olarak tanımlanan C değeri sıfır girilmiştir. Programda ölçü birimi olarak milimetre kullanılmıştır.

Şekil 2.7’de, Şekil 2.6’da enkesit boyutları tanımlanan profilin program tarafından listelenen geometrik özellikleri listelenmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, program, GM (GM: Geometrik Merkez) ve KM’nin (KM: Kayma Merkezi) konumları ile çarpılma sabiti ( $C_w$ ) haricinde incelenen enkesit özelliklerinin tamamını listelemektedir.



Şekil 2.6. ÜF2 firmasına ait U300×107×3 profilinin boyutlarının SAP 2000 [11] programına tanımlanması



Şekil 2.7. ÜF2 firmasına ait U300 × 107 × 3 profilinin enkesit değerlerinin SAP 2000 [11] programından okunması

U300 × 107 × 3 profili için programın verdiği enkesit değerleri, enkesit alanı için (cross-sectional (axial) area)  $A=1505 \text{ mm}^2$ , güçlü asal eksen etrafında atalet ve elastik mukavemet momentleri için (moment of inertia and section modulus about 3 axis)  $I_x=20080179 \text{ mm}^4$  ve  $W_{ex}=133868 \text{ mm}^3$  ile atalet yarıçapı (radius of gyration about 3 axis) için  $i_x=115 \text{ mm}$ , zayıf asal eksen etrafında atalet ve elastik mukavemet momentleri için (moment of inertia and section modulus about 2 axis)  $I_y=1606508 \text{ mm}^4$  ve  $W_{ey}=19287 \text{ mm}^3$  ile atalet yarıçapı (radius of gyration about 2 axis) için

$i_y=32,7$  mm, burulma sabiti (torsional constant) için  $J=4514$  mm<sup>4</sup>'tür.  $e_x$  değerleri programda verilmemiş olmasına karşın, bütün profiller için, Denk. (2.9)'da  $W_{ey}$  için verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2.14. ÜF1'e ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF1 Profilleri	G	A	$e_x$	$I_x$	$W_x$	$i_x$	$I_y$	$W_y$	$i_y$	J
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )
U100x53x1,5	2,32	300	14,6	0,478	9,55	40,2	0,086	2,23	17,0	0,222
U100x54x2,0	3,11	400	15,2	0,636	12,7	40,1	0,118	3,05	17,3	0,528
U100x55x2,5	3,90	500	15,8	0,793	15,9	40,0	0,153	3,91	17,6	1,04
U100x56x3,0	4,70	600	16,4	0,950	19,0	39,8	0,190	4,81	17,8	1,80
U120x63x1,5	2,79	360	17,1	0,832	13,9	48,4	0,146	3,18	20,3	0,267
U120x64x2,0	3,74	480	17,7	1,11	18,5	48,2	0,201	4,33	20,5	0,635
U120x65x2,5	4,69	600	18,3	1,38	23,0	48,1	0,258	5,53	20,8	1,24
U120x66x3,0	5,64	720	18,9	1,66	27,6	48,0	0,319	6,78	21,1	2,16
U150x53x1,5	2,91	370	11,8	1,22	16,3	57,5	0,097	2,36	16,2	0,278
U150x54x2,0	3,89	500	12,4	1,63	21,8	57,4	0,135	3,23	16,5	0,661
U150x55x2,5	4,88	620	12,9	2,04	27,2	57,3	0,175	4,15	16,8	1,30
U150x56x3,0	5,88	750	13,4	2,45	32,7	57,2	0,217	5,10	17,0	2,25
U200x54x2,0	4,68	600	10,4	3,25	32,5	73,9	0,145	3,34	15,6	0,795
U200x55x2,5	5,86	750	10,9	4,07	40,7	73,8	0,189	4,28	15,9	1,56
U200x56x3,0	7,05	900	11,4	4,89	48,9	73,8	0,235	5,27	16,2	2,70
U200x69x2,0	5,15	660	15,1	3,84	38,4	76,5	0,289	5,35	21,0	0,875
U200x70x2,5	6,45	820	15,6	4,80	48,0	76,4	0,371	6,83	21,3	1,71
U200x71x3,0	7,76	990	16,2	5,77	57,7	76,4	0,458	8,36	21,5	2,97
U220x94x2,0	6,25	800	22,7	6,00	54,6	86,8	0,696	9,77	29,6	1,06
U220x95x2,5	7,83	1000	23,3	7,50	68,2	86,7	0,888	12,4	29,8	2,08
U220x96x3,0	9,41	1200	23,9	9,00	81,8	86,6	1,09	15,1	30,1	3,60
U250x79x2,0	6,25	800	16,3	7,15	57,2	94,8	0,446	7,12	23,7	1,06
U250x80x2,5	7,83	1000	16,8	8,95	71,6	94,7	0,572	9,06	24,0	2,08
U250x81x3,0	9,41	1200	17,3	10,7	86,0	94,7	0,704	11,1	24,2	3,60
U250x83x4,0	12,6	1600	18,4	14,3	115	94,6	0,987	15,3	24,8	8,56
U300x100x2,0	7,69	980	21,0	12,9	86,2	115	0,901	11,4	30,3	1,31
U300x100x2,5	9,59	1220	21,2	16,1	107	115	1,12	14,2	30,2	2,55
U300x100x3,0	11,5	1460	21,4	19,2	128	114	1,33	16,9	30,2	4,39
U300x100x4,0	15,2	1940	21,8	25,2	168	114	1,75	22,4	30,0	10,3

Tablo 2.15. ÜF2'ye ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF2 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	J
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )
U100x54x1,0	1,57	200	14,8	0,329	6,58	40,5	0,061	1,56	17,5	0,007
U100x54x1,2	1,88	240	14,9	0,392	7,84	40,4	0,073	1,86	17,4	0,012
U100x55x1,5	2,37	300	15,4	0,492	9,85	40,4	0,095	2,40	17,7	0,023
U100x55x2,0	3,14	400	15,6	0,645	12,9	40,2	0,125	3,16	17,6	0,053
U100x56x2,5	3,94	500	16,2	0,805	16,1	40,0	0,161	4,05	17,9	0,105
U100x57x3,0	4,75	600	16,8	0,964	19,3	39,9	0,200	4,98	18,2	0,181
U150x49x1,0	1,89	240	10,3	0,782	10,4	57,0	0,053	1,37	14,8	0,008
U150x49x1,2	2,26	290	10,4	0,934	12,5	57,0	0,063	1,64	14,8	0,014
U150x50x1,5	2,84	360	10,8	1,17	15,7	57,0	0,083	2,11	15,1	0,027
U150x50x2,0	3,77	480	11,0	1,55	20,6	56,8	0,109	2,79	15,0	0,064
U150x51x2,5	4,73	600	11,6	1,93	25,8	56,7	0,141	3,58	15,3	0,125
U150x52x3,0	5,69	720	12,1	2,32	31,0	56,6	0,176	4,42	15,6	0,217
U200x55x1,5	3,55	450	10,5	2,49	24,9	74,3	0,116	2,62	16,0	0,034
U200x55x2,0	4,71	600	10,7	3,29	32,9	74,1	0,153	3,46	16,0	0,080
U200x56x2,5	5,90	750	11,2	4,12	41,2	74,0	0,199	4,44	16,2	0,157
U200x57x3,0	7,10	900	11,7	4,95	49,5	74,0	0,247	5,46	16,5	0,271
U200x71x1,5	3,92	500	15,6	2,97	29,7	77,0	0,237	4,27	21,8	0,037
U200x72x2,0	5,24	670	16,1	3,96	39,6	77,0	0,325	5,81	22,0	0,089
U200x72x2,5	6,53	830	16,3	4,90	49,0	76,7	0,401	7,21	22,0	0,173
U200x73x3,0	7,86	1000	16,8	5,88	58,8	76,7	0,495	8,82	22,2	0,300
U200x105x2,0	6,28	800	28,1	5,25	52,5	81,0	0,914	11,9	33,8	0,107
U200x107x3,0	9,46	1200	29,2	7,86	78,6	80,8	1,42	18,3	34,4	0,361
U200x108x4,0	12,6	1600	30,0	10,4	104	80,5	1,92	24,6	34,5	0,856
U200x110x5,0	15,8	2010	31,2	13,0	130	80,2	2,48	31,5	35,1	1,68
U250x80x2,0	6,28	800	16,6	7,215	57,7	95,0	0,462	7,29	24,0	0,107
U250x81x2,5	7,87	1000	17,1	9,024	72,2	94,9	0,592	9,28	24,3	0,209
U250x82x3,0	9,46	1200	17,7	10,8	86,7	94,8	0,729	11,3	24,6	0,361
U250x83x4,0	12,6	1600	18,4	14,3	115	94,6	0,987	15,3	24,8	0,856
U250x85x5,0	15,8	2010	19,4	18,0	144	94,4	1,29	19,7	25,4	1,68
U300x105x2,0	7,85	1000	22,6	13,4	89,2	116	1,03	12,5	32,1	0,133
U300x106x2,5	9,83	1250	23,2	16,7	112	116	1,31	15,9	32,4	0,261
U300x107x3,0	11,8	1500	23,7	20,1	134	116	1,61	19,3	32,7	0,451
U300x108x4,0	15,7	2000	24,4	26,6	177	115	2,17	25,9	32,9	1,07
U300x110x5,0	19,7	2510	25,5	33,3	222	115	2,81	33,3	33,4	2,09
U400x105x2,0	9,42	1200	19,0	26,5	133	149	1,11	12,9	30,4	0,160
U400x106x2,5	11,8	1500	19,5	33,2	166	149	1,41	16,4	30,7	0,313
U400x107x3,0	14,2	1800	20,0	39,8	199	149	1,73	19,9	31,0	0,541
U400x108x4,0	18,9	2400	20,7	52,9	264	148	2,33	26,7	31,2	1,28
U400x110x5,0	23,7	3010	21,7	66,2	331	148	3,03	34,3	31,7	2,51
U500x106x2,5	13,8	1750	16,9	57,1	228	181	1,49	16,7	29,1	0,365
U500x107x3,0	16,5	2100	17,4	68,6	274	181	1,82	20,3	29,4	0,631
U500x108x4,0	22,0	2800	18,0	91,2	365	180	2,45	27,3	29,6	1,50
U500x110x5,0	27,6	3510	19,0	114	457	180	3,19	35,0	30,1	2,93



Tablo 2.16. ÜF3'e ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	J
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )
U100x52x1,0	1,56	200	13,8	0,326	6,52	40,5	0,056	1,46	16,7	0,066
U100x52x1,2	1,87	240	13,9	0,388	7,77	40,4	0,066	1,74	16,7	0,114
U100x53x1,5	2,35	300	14,4	0,488	9,75	40,3	0,087	2,25	17,0	0,225
U100x54x2,0	3,15	400	15,0	0,649	13,0	40,2	0,120	3,07	17,3	0,535
U100x54x2,5	3,91	500	15,2	0,798	16,0	40,0	0,147	3,80	17,2	1,04
U120x67x1,2	2,34	300	18,3	0,717	11,9	49,0	0,140	2,88	21,7	0,143
U120x68x1,5	2,94	370	18,9	0,899	15,0	49,0	0,181	3,69	22,0	0,281
U120x69x2,0	3,93	500	19,5	1,20	19,9	48,9	0,248	5,01	22,3	0,668
U120x69x2,5	4,89	620	19,7	1,48	24,6	48,6	0,307	6,22	22,2	1,30
U120x70x3,0	5,89	750	20,3	1,77	29,4	48,5	0,378	7,61	22,5	2,25
U140x57x1,0	1,95	250	13,3	0,755	10,8	55,1	0,079	1,82	17,8	0,083
U140x58x1,5	2,94	370	13,9	1,13	16,2	55,0	0,123	2,79	18,1	0,281
U140x59x2,0	3,93	500	14,4	1,51	21,6	54,9	0,170	3,81	18,4	0,668
U140x59x2,5	4,89	620	14,6	1,86	26,6	54,7	0,209	4,72	18,3	1,30
U140x60x3,0	5,89	750	15,2	2,23	31,9	54,6	0,260	5,80	18,6	2,25
U150x78x1,5	3,53	450	20,7	1,66	22,1	60,8	0,283	4,93	25,1	0,337
U150x79x2,0	4,72	600	21,2	2,21	29,5	60,6	0,386	6,69	25,3	0,802
U150x79x2,5	5,87	750	21,5	2,73	36,4	60,4	0,478	8,30	25,3	1,56
U150x80x3,0	7,07	900	22,0	3,28	43,7	60,3	0,588	10,1	25,5	2,70
U160x90x1,5	3,93	500	24,6	2,15	26,9	65,5	0,426	6,51	29,2	0,376
U160x91x2,0	5,25	670	25,2	2,86	35,8	65,4	0,580	8,81	29,4	0,892
U160x91x2,5	6,54	830	25,4	3,54	44,2	65,2	0,718	10,9	29,4	1,74
U160x92x3,0	7,87	1000	26,0	4,24	53,0	65,0	0,880	13,3	29,6	3,01
U160x93x3,5	9,20	1170	26,6	4,94	61,8	64,9	1,05	15,8	29,9	4,79
U160x94x4,0	10,5	1340	27,2	5,64	70,5	64,8	1,22	18,3	30,2	7,16
U180x80x1,5	3,93	500	19,6	2,57	28,5	71,6	0,320	5,30	25,3	0,376
U180x81x2,0	5,25	670	20,1	3,42	38,0	71,5	0,438	7,19	25,6	0,892
U180x81x2,5	6,54	830	20,3	4,23	47,0	71,3	0,542	8,93	25,5	1,74
U180x82x3,0	7,87	1000	20,9	5,08	56,4	71,2	0,666	10,9	25,8	3,01
U180x84x4,0	10,5	1340	22,0	6,76	75,1	71,0	0,931	15,0	26,3	7,16
U200x90x1,5	4,40	560	22,1	3,57	35,7	79,8	0,456	6,71	28,5	0,421
U200x91x2,0	5,88	750	22,6	4,75	47,5	79,7	0,621	9,09	28,8	0,999
U200x92x2,5	7,37	940	23,2	5,94	59,4	79,6	0,794	11,5	29,1	1,95
U200x93x3,0	8,86	1130	23,8	7,13	71,3	79,5	0,973	14,0	29,4	3,39
U200x94x3,5	10,4	1320	24,3	8,31	83,1	79,4	1,16	16,6	29,6	5,39
U200x94x4,0	11,8	1500	24,5	9,41	94,1	79,1	1,31	18,9	29,6	8,02
U220x94x2,0	6,29	800	22,6	6,07	55,1	87,0	0,699	9,79	29,5	1,07
U220x94x2,5	7,84	1000	22,8	7,52	68,4	86,8	0,866	12,2	29,5	2,08
U220x95x3,0	9,42	1200	23,4	9,02	82,0	86,7	1,06	14,8	29,7	3,60
U220x96x3,5	11,0	1400	23,9	10,5	95,7	86,6	1,26	17,5	30,0	5,73
U220x97x4,0	12,6	1610	24,5	12,0	109	86,5	1,47	20,3	30,3	8,57
U240x84x1,5	4,71	600	18,7	5,14	42,8	92,6	0,385	5,89	25,3	0,450
U240x84x2,0	6,29	800	18,2	6,85	57,1	92,5	0,525	7,98	25,6	1,07
U240x84x2,5	7,84	1000	18,4	8,50	70,8	92,3	0,651	9,92	25,5	2,08
U240x85x3,0	9,42	1200	18,9	10,2	85,0	92,2	0,800	12,1	25,8	3,60
U240x86x3,5	11,0	1400	19,5	11,9	99,2	92,1	0,955	14,4	26,1	5,73
U240x87x4,0	12,6	1610	20,0	13,6	113	92,0	1,12	16,7	26,4	8,57

Tablo 2.16. (Devam) ÜF3'e ait U profillerin Yöntem IV kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri

ÜF3 Profilleri	G	A	e <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	J
	kg/m	mm <sup>2</sup>	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )	mm <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	mm	mm <sup>4</sup> (x10 <sup>3</sup> )
U260x80x1,5	4,87	620	15,9	6,05	46,5	98,7	0,355	5,54	23,9	0,466
U260x81x2,0	6,51	830	16,4	8,07	62,1	98,7	0,485	7,51	24,2	1,11
U260x82x2,5	8,15	1040	17,0	10,1	77,7	98,6	0,621	9,55	24,5	2,16
U260x83x3,0	9,80	1250	17,5	12,1	93,3	98,6	0,764	11,7	24,7	3,75
U260x84x4,0	13,1	1660	18,2	16,1	124	98,3	1,03	15,7	24,9	8,87
U280x71x2,0	6,51	830	12,8	8,86	63,3	103	0,341	5,87	20,3	1,11
U280x72x2,5	8,15	1040	13,3	11,1	79,2	103	0,439	7,48	20,6	2,16
U280x73x3,0	9,80	1250	13,8	13,3	95,2	103	0,542	9,16	20,8	3,75
U280x74x3,5	11,5	1460	14,3	15,6	111	103	0,651	10,9	21,1	5,96
U280x74x4,0	13,1	1660	14,5	17,7	126	103	0,736	12,4	21,0	8,87
U300x60x1,5	4,87	620	9,2	7,18	47,9	108	0,163	3,22	16,2	0,466
U300x61x2,0	6,51	830	9,7	9,59	63,9	108	0,225	4,39	16,5	1,11
U300x62x2,5	8,15	1040	10,1	12,0	80,0	108	0,292	5,62	16,8	2,16
U300x63x3,0	9,80	1250	10,6	14,4	96,2	108	0,362	6,91	17,0	3,75
U300x64x3,5	11,5	1460	11,1	16,9	112	108	0,437	8,25	17,3	5,96
U300x64x4,0	13,1	1660	11,3	19,1	128	107	0,493	9,35	17,2	8,87
U320x94x2,0	7,86	1000	18,3	14,6	91,2	121	0,773	10,2	27,8	1,33
U320x94x2,5	9,80	1250	18,5	18,1	113	121	0,959	12,7	27,7	2,60
U320x95x3,0	11,8	1500	19,0	21,8	136	120	1,18	15,5	28,0	4,50
U320x96x3,5	13,8	1750	19,5	25,4	159	120	1,40	18,3	28,3	7,16
U320x97x4,0	15,8	2010	20,0	29,1	182	120	1,64	21,3	28,6	10,7
U340x84x2,0	7,86	1000	14,8	15,7	92,5	125	0,573	8,27	23,9	1,33
U340x84x2,5	9,80	1250	15,0	19,5	115	125	0,709	10,3	23,8	2,60
U340x85x3,0	11,8	1500	15,4	23,5	138	125	0,873	12,5	24,1	4,50
U340x86x3,5	13,8	1750	15,9	27,4	161	125	1,04	14,9	24,4	7,16
U340x87x4,0	15,8	2010	16,4	31,4	184	125	1,22	17,3	24,7	10,7
U360x74x2,0	7,86	1000	11,7	16,8	93,3	129	0,405	6,50	20,1	1,33
U360x74x2,5	9,80	1250	11,9	20,9	116	129	0,501	8,07	20,0	2,60
U360x75x3,0	11,8	1500	12,3	25,1	139	129	0,619	9,87	20,3	4,50
U360x76x3,5	13,8	1750	12,8	29,3	163	129	0,743	11,7	20,6	7,16
U360x77x4,0	15,8	2010	13,2	33,5	186	129	0,872	13,7	20,9	10,7
U380x64x2,0	7,86	1000	8,9	17,8	93,5	133	0,270	4,91	16,4	1,33
U380x64x2,5	9,80	1250	9,1	22,1	116	133	0,334	6,09	16,4	2,60
U380x65x3,0	11,8	1500	9,6	26,5	140	133	0,414	7,48	16,6	4,50
U380x66x3,5	13,8	1750	10,0	31,0	163	133	0,500	8,92	16,9	7,16
U380x67x4,0	15,8	2010	10,4	35,5	187	133	0,590	10,4	17,1	10,7
U400x79x2,0	8,64	1100	12,1	22,6	113	143	0,498	7,44	21,3	1,47
U400x80x2,5	10,8	1380	12,5	28,3	141	143	0,639	9,47	21,5	2,87
U400x80x3,0	13,0	1650	12,7	33,8	169	143	0,760	11,3	21,5	4,95
U400x81x3,5	15,1	1930	13,2	39,4	197	143	0,911	13,4	21,7	7,87

### 2.3. Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çalışmada ele alınan ve Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te listelenen profillerin, tasarımlarında sık kullanılan enkesit özellikleri Bölüm 2.2'de tanımlanan dört farklı yöntemle belirlenerek Tablo 2.5'ten Tablo 2.16'ya kadar sunulan 12 tabloda listelenmiştir. Daha az kabul içermesi nedeniyle Yöntem I'den elde edilen değerler temel alınarak, Yöntem II, III ve IV'ten elde edilen değerlerdeki hata yüzdeleri hesaplanmıştır. Hata yüzdelerinin incelenen bütün profiller için tek tek verilmesi pratik olmayacağından, aynı firma tarafından üretilen/satılan profiller kendi içinde gruplanarak, her grupta elde edilen en büyük hata oranları belirlenip, Yöntem II için Tablo 2.17'de, Yöntem III için Tablo 2.18'de, Yöntem IV için Tablo 2.19'da sunulmuştur.

Tablo 2.17. Yöntem II'den elde edilen enkesit değerleri için en büyük hata yüzdeleri

Firma	En Büyük % Hatalar			
	$I_x \& W_x$	$i_x$	$I_y \& W_y$	$i_y$
ÜF1	-0,04	-0,02	-0,47	-0,24
ÜF2	-0,04	-0,02	-0,51	-0,26
ÜF3	-0,01	0,00	-0,09	-0,05

Tablo 2.18. Yöntem III'ten elde edilen enkesit değerleri için en büyük hata yüzdeleri

Firma	En Büyük % Hatalar								
	A	$e_x$	$I_x \& W_x$	$i_x$	$I_y$	$W_{ey}$	$i_y$	$x_o$	J
ÜF1	3,23	-3,08	5,02	0,87	-0,03	-1,29	-1,59	-1,41	3,23
ÜF2	3,20	-3,05	4,94	0,95	-0,03	-1,29	-1,58	-1,39	3,20
ÜF3	1,83	-1,73	2,78	0,47	-0,01	-0,68	-0,91	-0,77	1,83

Tablo 2.19. Yöntem IV'ten elde edilen enkesit değerleri için en büyük hata yüzdeleri

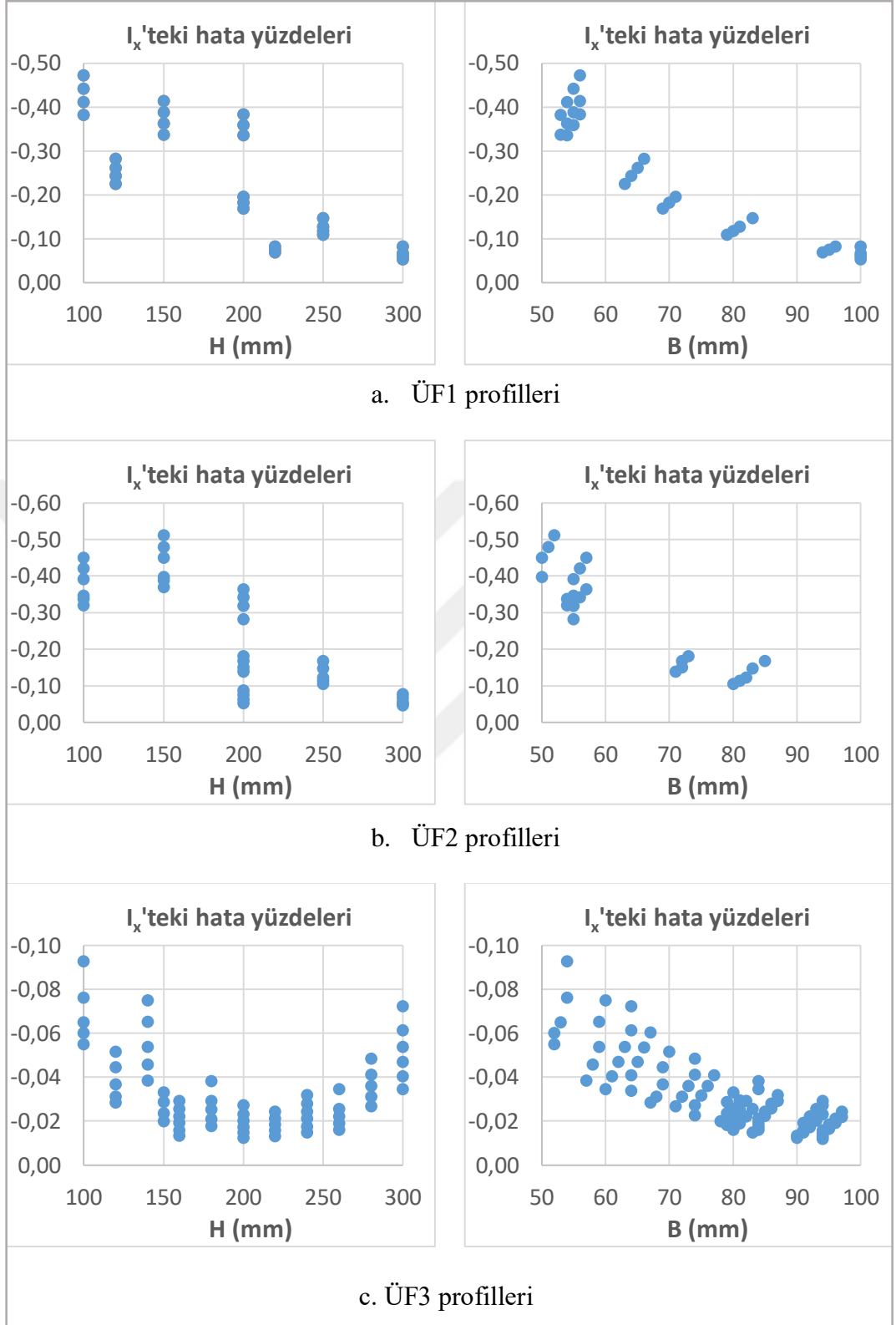
Firma	En Büyük % Hatalar								
	A	$e_x$	$I_x \& W_x$	$i_x$	$I_y$	$W_{ey}$	$i_y$	$x_o$	J
ÜF1	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
ÜF2	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
ÜF3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 2.17'den görülebileceği gibi, yuvarlak-köşe varsayimli çizgisel yöntemde köşelerin atalet momentlerinin göz ardı edilmesi nedeniyle oluşan hata, incelenen profillerin güçlü eksenleri etrafındaki atalet ve mukavemet momentleriyle atalet yarıçaplarında yok denecek kadar azdır (%0,05'ten küçüktür). ÜF1 ve ÜF2 firmalarının profilleri için, zayıf eksendeki enkesit özelliklerinde oluşan en büyük hata yüzdelерinin hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. En büyük hata oranları, atalet/mukavemet momentlerinde yaklaşık %0,5, atalet yarıçaplarında ise yaklaşık %0,25'tir. Hata oranlarının ÜF3 firmasının profilleri için çok daha küçük olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, incelenen bütün enkesitler dikkate alındığında, Yöntem II için belirlenen hata oranlarının çok küçük (%1'in altında) olduğu görülmektedir.

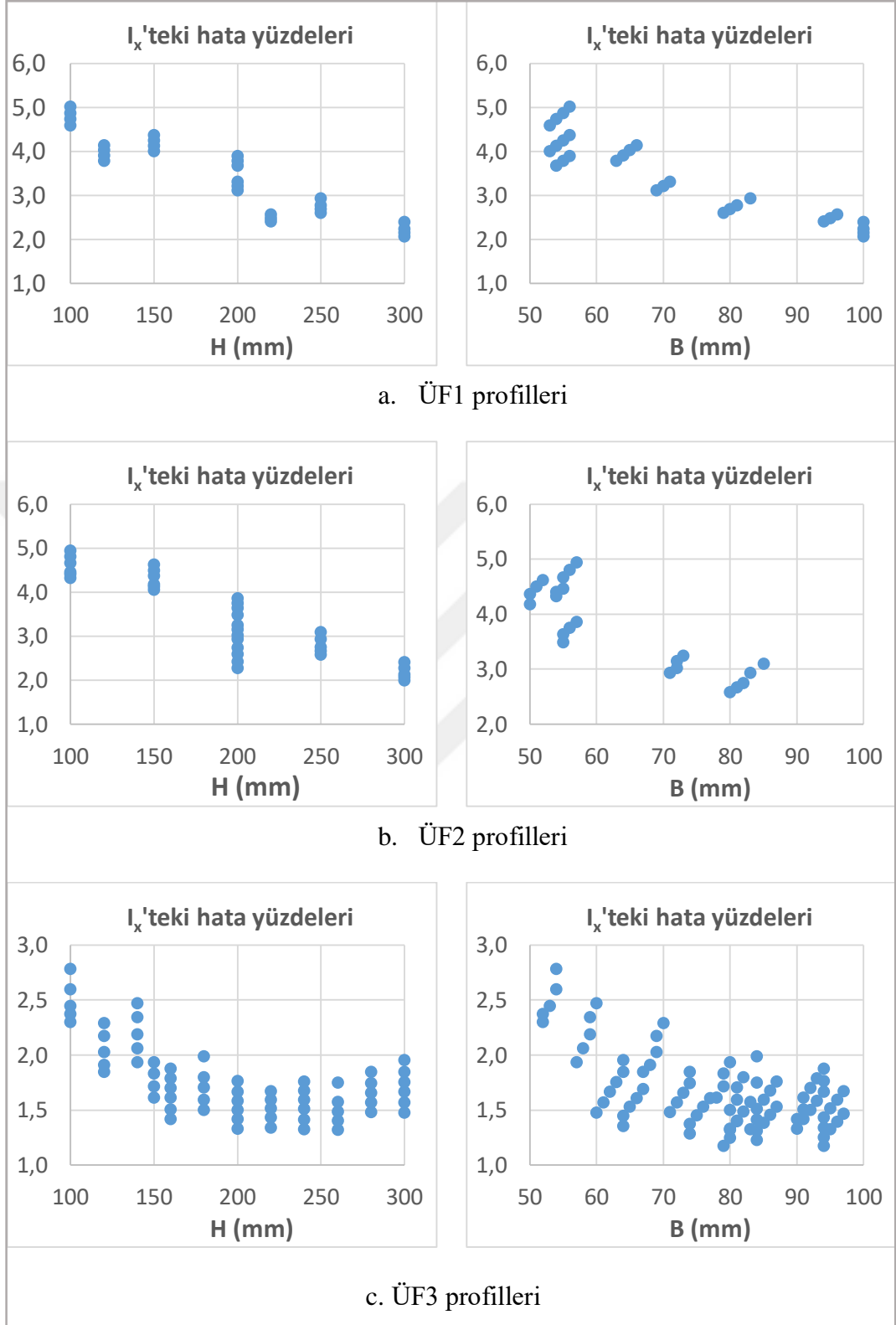
Soğuk şekillendirilmiş elemanların enkesit ve dayanım hesaplarında, Yöntem III'te kullanılan dik(kare)-köşe kabulü büyük kolaylık sağlamaktadır. Tablo 2.17 ve Tablo 2.18 karşılaştırıldığında, kare-köşe kabulüyle hesaplanan enkesit özelliklerindeki hata oranlarının yuvarlak-köşe kabulüyle hesaplanana oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Tablo 2.18'deki en büyük hata oranının yaklaşık %5'e eşit olduğu fark edilebilir. En yüksek hata oranları  $I_x$  ve  $W_x$  değerlerinde gözlenmiştir. Yöntem II'de olduğu gibi, ÜF3 firmasına ait profiller için hesaplanan hata oranlarının diğer iki firmaya ait profiller için hesaplanan hata oranlarından daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, Tablo 2.4'ten de fark edilebileceği gibi, ÜF3 firmasının profillerindeki iç büküm yarıçapının diğer iki firmanın profillerindeki iç büküm yarıçapının yarısı olmasıdır.

Yöntem IV için Tablo 2.19'da verilen hata yüzdeleri incelendiğinde, tezin kapsamında ele alınan bütün profiller için SAP 2000 [11] programında okunan enkesit değerlerinin Yöntem I'den elde edilen değerlere hemen hemen eşit olduğu, hata oranlarının ihmal edilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da, çalışmada incelenen profillerin Yöntem II ve Yöntem III kullanılarak hesaplanan atalet momentlerindeki yüzde hataların kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi gösterilmektedir. Grafiklerde, aynı kesit yüksekliğine sahip elemanlarda kalınlığı daha yüksek olan profillerdeki hata oranlarının daha büyük olduğu gözlenmiştir.

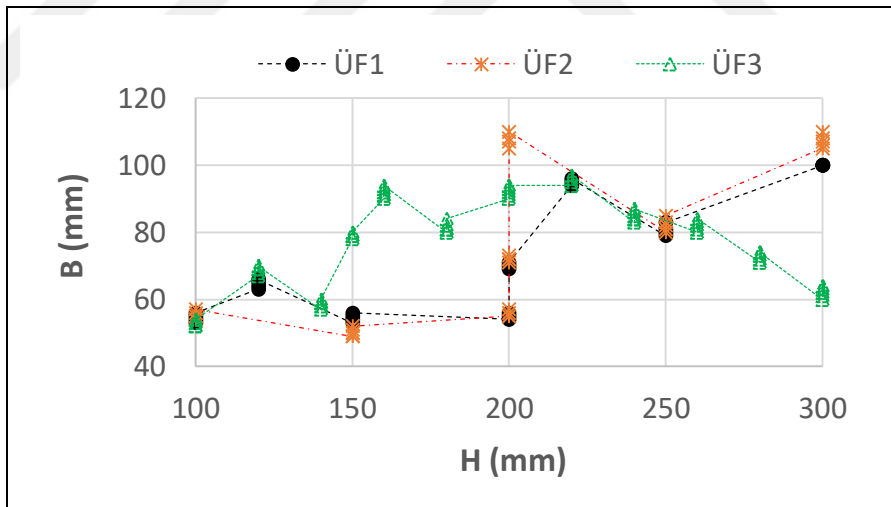


Şekil 2.8. Çalışmada incelenen profillerin Yöntem II kullanılarak hesaplanan güçlü eksendeki atalet momentlerindeki hata yüzdelerinin kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi



Şekil 2.9. Çalışmada incelenen profillerin Yöntem III kullanılarak hesaplanan güçlü eksendeki atalet momentlerindeki hata yüzdelerinin kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 incelendiğinde Yöntem II ve Yöntem III için elde edilen hata oranlarının genel olarak kesit yüksekliği ve/veya başlık genişliği azaldıkça arttığı gözlenmiştir. Ancak, ÜF3 firmasının profillerinde kesit yüksekliği arttıkça hata oranları önce azalmakta sonra artmaktadır. ÜF3 firmasının profillerinde gözlenen bu değişimin nedenini belirlemek amacıyla, tezde incelenen profillerin kesit yüksekliklerinin başlık genişlikleriyle değişimleri çizdirilerek Şekil 2.10'da sunulmuştur. Şekilden de fark edilebileceği gibi, kesit yüksekliği oldukça büyük olan ÜF3 profillerinin ( $H > 250$  mm) başlık genişlikleri diğer iki firmanın profillerinin başlık genişliklerinden küçüktür. Diğer taraftan, kesit yüksekliklerinin orta değerlerinde (140-180 arası) ÜF3 profillerinin başlık genişliklerinin ÜF1 ve ÜF2 profillerinin başlık genişliklerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Şekil 2.8(c) ve Şekil 2.9(c)'de ÜF3 profilleri için H'ye göre çizdirilen hata oranları, H'nin orta değerlerinde en küçük değerlerine ulaşmakta, daha sonra artan H değerleriyle artmaktadır. Şekil 2.10'dan, ülkemizde farklı firmalar tarafından üretilen/ profillerin boyutlarının birbirlerinden oldukça farklı olabildikleri de gözlenmiştir.



Şekil 2.10. Çalışmada incelenen profillerin kesit yükseklikleri ile başlık genişliklerinin karşılaştırılması

Sonuç olarak, tezin ilk aşaması olan bu bölümde, tasarımlarında Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te listelenen soğuk şekillendirilmiş U profillerinden herhangi birini kullanmayı tercih eden mimar ve mühendislerin, burulma sabitleri de dahil olmak üzere dayanım hesaplarında kullanılan toplam (kayıpsız) enkesit özelliklerini kolayca okuyabilecekleri tablolar (Tablo 2.5, Tablo 2.6 ve Tablo 2.7) sunulmuştur.

Tasarımcılar, tablolarda bulunmayan profillerin kesit özelliklerini de Bölüm 2.1.1’de verilen denklemleri (Yöntem I’i) kullanarak hesaplayabilirler.

Çalışmada, Yöntem I’e göre, nispeten daha basit denklemler içeren Yöntem II’nin (yuvarlak köşe kabullü çizgisel yöntemin) incelenen profillerin enkesit özelliklerini %1’den bile küçük hata paylarıyla tahmin edebildiği belirlenmiştir. İncelenen dört yöntemden, en fazla kabul içeren ancak hesap adımları en kolay olan Yöntem III’te (kare köşe kabullü çizgisel yöntemde) ise hata yüzdelerinin nispeten daha yüksek olduğu, ancak en büyük hata oranının %5 civarında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, karışık formülasyonlar gerektiren dayanım hesaplarında, Yöntem III’ün tercih edilmesi önerilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar yalnız çalışmada incelenen profiller için geçerli olup, sonuçların genelleştirilebilmesi için ülkemizde kullanılan ve çalışmanın kapsamı dışında kalan profiller için de benzer çalışmalar yürütülmelidir.

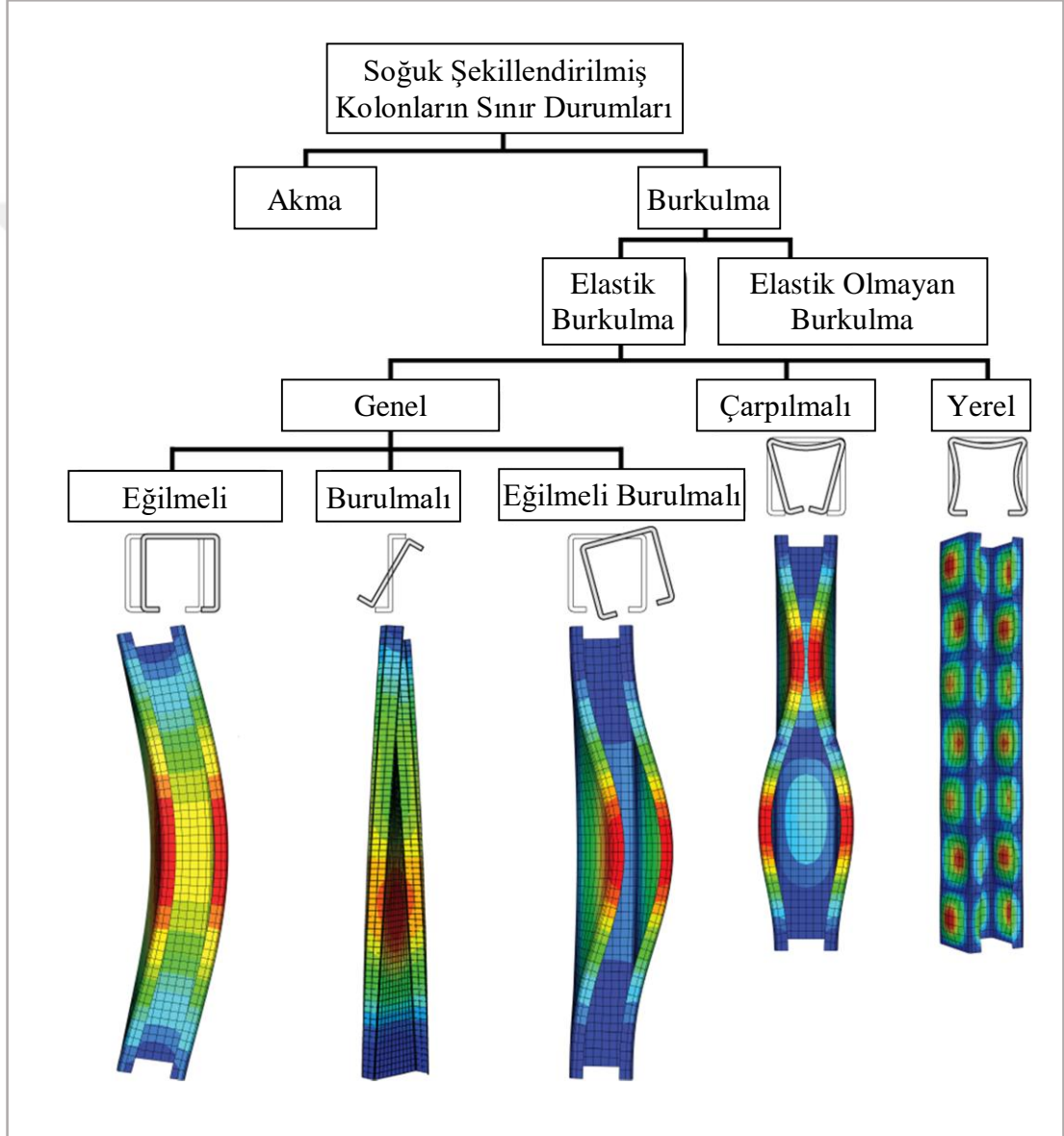


### **3. EKSENEL BASINÇ KUVVETİ TAŞIYAN SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ PROFİLLERİN BAŞLICA DAYANIM SINIR DURUMLARI**

Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller, pek çok uygulamada eksenel basınç yüklerine maruz kalırlar. Tıpkı sıcak şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarında olduğu gibi, burkulma boyu nispeten küçük olan soğuk şekillendirilmiş bir çelik yapı elemanının basınç kapasitesi elemanın akma yüküne ya da elemanı oluşturan enkesit parçalarından birinin burkulma yüküne eşittir. Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının et kalınlıkları sıcak şekillendirilmiş elemanlara göre çok daha küçük olduğundan, kısa boylu soğuk şekillendirilmiş elemanlar çoğu zaman sınır durumlarına elastik bölgede gerçekleşen yerel burkulma ile ulaşırlar. Yine tıpkı sıcak şekillendirilmiş profillerde olduğu gibi, soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanın burkulma boyu yeterince arttırıldığında, eleman sınır durumuna genel burkulma modlarından biriyle ulaşır. Sıcak şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarında yaygın olarak gözlenen genel burkulma modu eğilmeli burkulma iken, burulmalı veya eğilmeli-burulmalı burkulma özellikle açık kesitli soğuk şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarının davranışını belirleyen sınır durumlardan biri olabilmektedir. Soğuk şekillendirilmiş elemanlarda, burulmalı genel burkulma modlarının yaygın olmasının iki temel nedeni vardır. İlki, et kalınlıkları sıcak şekillendirilmiş profillere kıyasla nispeten küçük olan açık kesitli soğuk şekillendirilmiş profillerin burulma rijitliklerinin ve dayanımlarının kapalı kesitli ve/veya sıcak şekillendirilmiş profillere kıyasla daha küçük olmasıdır. Diğer neden ise çoğu soğuk şekillendirilmiş profilin enkesitinin çift simetri eksenine sahip olmaması nedeniyle kayma merkeziyle geometrik merkezinin çakışmıyor olmasıdır. Sıcak şekillendirilmiş basınç elemanlarından farklı olarak, kenar rijitleştiricisine sahip bir soğuk şekillendirilmiş basınç elemanında gözlenebilen bir diğer sınır durum da çarpılmalı burkulmadır.

Soğuk şekillendirilmiş bir yapı elemanında eksenel yük etkisi altında gözlenen dayanım sınır durumları Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanının davranışını belirleyen sınır durumun şekilde gösterilen sınır

durumlardan hangisi olacağı, profilin üretildiği levhanın kalınlığı ile mekanik özelliklerine, elemanın kesitinin simetri eksen(ler)ine sahip olup olmamasına, elemanı oluşturan enkesit parçalarının genişlik/kalınlık oranlarına, elemanda kenar rijitleştiricisi kullanılıp kullanılmadığına, elemanın kesitinin açık ya da kapalı olmasına ve elemanın burkulma boyuna (yani, elemanın uçlarında ve/veya açıklığı boyunca sürekli veya aralıklarla desteklenip desteklenmediğine) bağlıdır [4,7].



Şekil 3.1. Soğuk şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarının dayanım sınır durumları [25]

Tezde incelenen soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım esaslarına temel olması amacıyla, tezin bu bölümünde soğuk şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarının dayanım sınır durumları kısaca özetlenecektir.

### 3.1. Akma

Soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanı akma yükü  $P_y$ 'ye, burkulma boyu oldukça kısa ve aynı zamanda enkesit parçalarının genişlik / kalınlık oranı yeterince küçükse ulaşabilir. Bu tür elemanlarda akma yükü,  $P_y$ , Denklem (3.1) kullanılarak, kayıpsız enkesit alanı  $A$  ile çeliğin karakteristik akma gerilmesi  $F_y$  çarpılarak hesaplanabilir;

$$P_y = AF_y \quad (3.1)$$

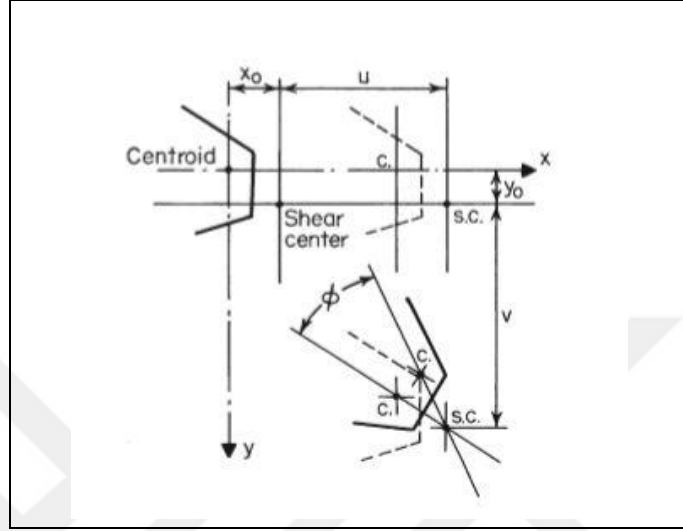
### 3.2. Genel Burkulma

Boyu nispeten uzun olan soğuk şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarının çoğu sınır durumuna eleman boyunca gözlenen genel burkulma modlarından biriyle ulaşır. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, aksenal basınç kuvveti etkisindeki soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanı için üç farklı genel burkulma modu tanımlanabilir. Bunlar, (i) eğilmeli burkulma, (ii) burulmalı burkulma ve (iii) eğilmeli-burulmalı burkulmadır. Eğilmeli burkulma, kapalı (kutu, boru, vb.) kesitli soğuk şekillendirilmiş çelik basınç elemanlarında gözlenen temel göçme modlarından biridir. Bu tür elemanlar burulma rijitlikleri oldukça yüksek olduğundan, burularak burkulmazlar. Buna karşın, açık kesitli soğuk şekillendirilmiş basınç elemanlarının burulma rijitlikleri kapalı kesitlere kıyasla çok daha az olduğundan, burularak veya eğilerek ve burularak burkulabilirler.

Şekil 3.2'de, aksenal basınç yükü etkisi altındaki soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanının tipik bir kesitinin burkulma öncesi ve sonrası konumları gösterilmektedir. Genel sonuçlar elde edebilmek amacıyla, herhangi bir simetri eksenine sahip olmayan bir enkesit seçilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, elemanın ağırlık merkezi (c.g.: center of gravity), kayma merkezi (s.c.: shear center) ile çakışmamaktadır. Kayma merkezi (KM) ile geometrik merkez (GM) arasındaki mesafe yatayda  $x_0$ , düşeyde ise  $y_0$ 'dır. Bu nedenle, eleman bulunduğu düzlem dışına eğilerek burkulurken aynı zamanda burulur. Kaynak [4], Şekil 3.2'de verilen enkesite sahip, uçları mafsallı soğuk

şekillendirilmiş bir basınç elemanının elastik burkulma yükünün ( $P_{cr}$ ) aşağıda verilen karakteristik denklemin en küçük kökünden hesaplanabileceğini belirtmektedir;

$$r_0^2 (P_{cr} - P_x)(P_{cr} - P_y)(P_{cr} - P_z) - y_0^2 (P_{cr})^2 (P_{cr} - P_x) - x_0^2 (P_{cr})^2 (P_{cr} - P_y) = 0 \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. Simetri ekseni olmayan bir basınç elemanında gözlenen eğilmeli-burulmalı burkulma [4]

Denklem (3.1)'de,  $P_x$ ,  $P_y$  ve  $P_z$ , sırasıyla x-eksenine göre eğilmeli, y-eksenine göre eğilmeli ve z eksenine göre burulmalı burkulma yükleridir ve Denklem (3.3) kullanılarak hesaplanabilir;

$$P_x = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}, P_y = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2}, P_z = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{r_0^2} \right) \quad (3.3)$$

Denklem (3.2)'de E ve G yapısal çeliğin sırasıyla elastisite ve kayma modülleri,  $I_x$  ve  $I_y$  kesitin ilgili aksellere göre atalet momentleri, J ve  $C_w$  kesitin burulma ve çarpılma katsayıları,  $K_x L_x$ ,  $K_y L_y$  ve  $K_t L_t$  sırasıyla ilgili aksellere göre burkulmada elemanın etkin burkulma boylarıdır. Hem Denklem (3.2) hem de Denklem (3.3)'te görünen  $r_0$ , kesitin kayma merkezine göre kutupsal atalet yarıçapı olup, aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

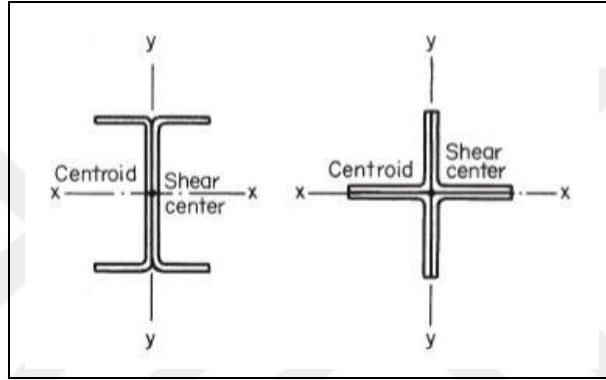
$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te,  $r_x$  ve  $r_y$  kesitin sırasıyla x ve y aksellerine göre atalet yarıçaplarıdır.

### 3.2.1. Kesitinde çift simetri eksenini veya nokta simetrisi bulunan profiller

Şekil 3.3'te gösterilen sırt-sırta birleştirilmiş iki U profille kollarından birleştirilmiş dört L profilde ve çift simetri eksenli kesitlere sahip soğuk şekillendirilmiş elemanlarla eşit başlıklı Z profilde olduğu gibi, kesiti GM'ye göre simetrik olan soğuk şekillendirilmiş elemanlarda, KM ile GM çakıştığından  $x_0$  ve  $y_0$  değerleri sıfıra eşittir. Bu durumda, Denklem (3.2) aşağıdaki basit denkleme indirgenir;

$$r_0^2 (P_{cr} - P_x)(P_{cr} - P_y)(P_{cr} - P_z) = 0 \quad (3.5)$$



Şekil 3.3. Çift simetri eksenli kesitler [4]

Denklem (3.5)'in kökleri;

$$(P_{cr})_1 = P_x, (P_{cr})_2 = P_y, (P_{cr})_3 = P_z \quad (3.6)$$

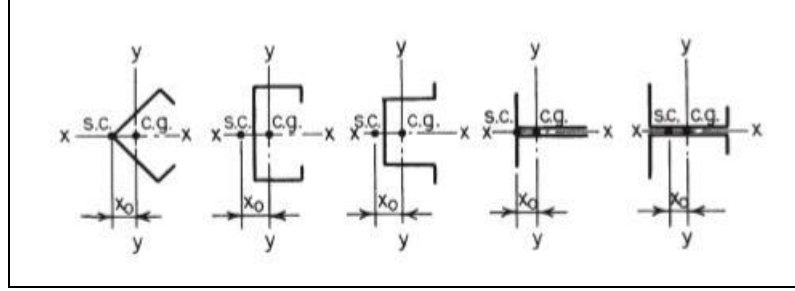
olarak elde edilir. Elemanın burkulma yükü, Denklem (3.6)'dan hesaplanan üç değerden en küçüğüne eşittir. Diğer bir deyişle, kesitinde çift simetri eksenini veya nokta simetrisi bulunan soğuk şekillendirilmiş basınç elemanları, ya asal eksenlerinin biri etrafında eğilerek burkulur ya da kesite dik eksen etrafında burularak burkulur. Bu tür elemanlarda eğilmeli-burulmalı burkulma gözlenmez.

### 3.2.2. Kesitinde tek simetri eksenini bulunan profiller

Şekil 3.4'te gösterilen, eşit kollu L, U, C, T,  $\Omega$  profiller ile sırt-sırta birleştirilmiş başlık genişlikleri farklı iki U profilde olduğu gibi, tek simetri eksenli kesitlere sahip soğuk şekillendirilmiş profillerde, KM ile GM arasında yalnız simetri eksenini boyunca

dışmerkezlilik vardır. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, simetri ekseninin x eksenini olması durumunda,  $y_0$  sifıra eşittir. Bu durumda, Denklem (3.2) aşağıdaki denkleme dönüşür;

$$(P_{cr} - P_y) \left[ r_0^2 (P_{cr} - P_x)(P_{cr} - P_z) - x_0^2 (P_{cr})^2 \right] = 0 \quad (3.7)$$



Şekil 3.4. Tek simetri eksenli kesitler [4]

Denklem (3.7)'nin üç kökü;

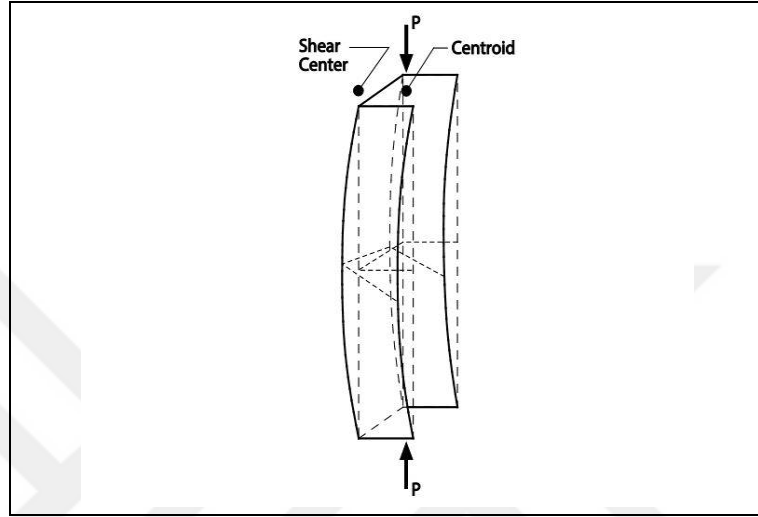
$$\begin{aligned} (P_{cr})_1 &= P_y \\ (P_{cr})_2 &= \frac{1}{2\beta} \left[ (P_x + P_z) + \sqrt{(P_x - P_z)^2 - 4\beta P_x P_z} \right] \\ (P_{cr})_3 &= \frac{1}{2\beta} \left[ (P_x + P_z) - \sqrt{(P_x - P_z)^2 - 4\beta P_x P_z} \right] \end{aligned} \quad (3.8)$$

olarak elde edilir. Denklem (3.8)'de,  $\beta$  aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\beta = 1 - \left( \frac{x_0}{r_0} \right)^2 \quad (3.9)$$

Denklem (3.8)'den fark edilebileceği gibi, enkesitinde tek simetri eksenini bulunan soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanının genel burkulma modlarından biri simetri eksenine dik eksen etrafında eğilmeli burkulmadır. Denklem (3.8)'de verilen iki kökten,  $(P_{cr})_2$  her durumda  $(P_{cr})_3$ 'ten büyük olduğu için göz ardı edilebilir. Ayrıca,  $(P_{cr})_3$ 'ün hem  $(P_x)$ 'ten hem de  $(P_z)$ 'den küçük olduğu fark edilebilir. Denklem (3.8)'de  $(P_{cr})_3$  için verilen ifade dikkatle incelendiğinde, aslında bu kökün x eksenini etrafında eğilmeli ve z eksenini etrafında burulmalı burkulma yükünü temsil ettiği anlaşılabilir. Özet olarak, enkesitinde tek simetri eksenini bulunan soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanının ya simetri eksenine dik ekseninde eğilerek ya da simetri ekseninde eğilerek

ve kayma merkezi etrafında burularak burkulacağı söylenebilir. Tezde incelenen U profiller bu gruba girdiğinden, profillerin tasarım basınç kuvveti dayanımları hesaplanırken, bu iki genel burkulma sınır durumu dikkate alınmıştır. Şekil 3.5'te, soğuk şekillendirilmiş tipik bir U profilin aksenal basınç kuvveti etkisi altında eğilmeli-burulmalı burkulması gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Soğuk şekillendirilmiş bir U profilin aksenal basınç yükü altında eğilmeli-burulmalı burkulması [7]

### 3.2.3. Kesitinde simetri ekseni bulunmayan profiller

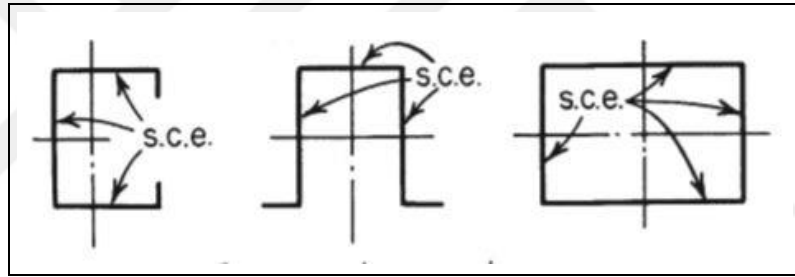
Kesitinde simetri ekseni bulunmayan profillerin burkulma yükünü belirlemek için, Denklem (3.2)'den bütün kökler hesaplanarak en küçüğü alınmalıdır. Yapılan çalışmalar, bu tür bir profil için elde edilen burkulma yükünün Denklem (3.3)'te tanımlanan  $P_x$ ,  $P_y$  ve  $P_z$  yüklerinin üçünden de daha küçük olduğunu göstermiştir. Bu tür profillerde üç burkulma modunda da eğilmeli-burulmalı burkulma gözlenir.

### 3.3. Yerel Burkulma

Soğuk şekillendirilmiş bir çelik yapı elemanının basınç davranışını etkileyen önemli parametrelerden biri de elemanı oluşturan parçaların genişlik/kalınlık ( $w/t$ ) oranıdır. Genişlik/kalınlık oranı oldukça büyük enkesit parçalarına sahip soğuk şekillendirilmiş bir basınç elemanı, aksenal yük kapasitesine ulaşmadan önce yerel burkulmaya maruz kalır. Bu tür elemanlarda, yerel burkulma oldukça küçük yüklerde gözlenebilir. Ancak, çoğu zaman yerel burkulma nihai bir son değildir; aksine, eleman burkulmanın

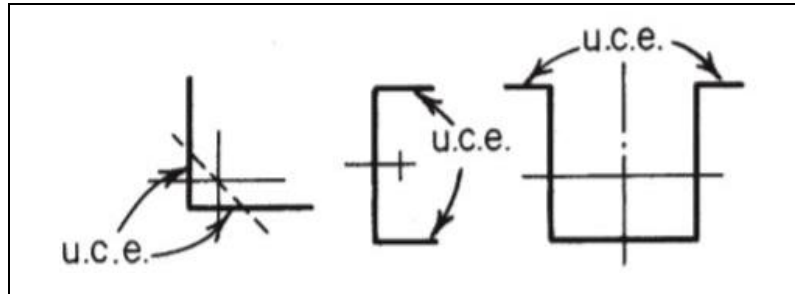
gözlendiği yükten çok daha büyük yükleri emniyetle taşıyabilir. Bu nedenle, güncel yönetmelikler soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarında yerel burkulmayı bir sınır durum olarak almak yerine, yerel burkulma nedeniyle elemanın yük taşıma kapasitesinde gözlenen azalmayı tasarıma dahil etmektedir.

Yerel burkulma davranışları açısından, soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarını oluşturan ve basınç etkisi altında kalan kesit parçaları rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş basınç parçaları olarak ikiye ayrılır. Elemanda oluşan basınç gerilmesinin doğrultusuna paralel iki kenarının her ikisi de bir gövde, başlık, kenar rijitleştirici, ara rijitleştirici vb. ile desteklenen kesit parçaları rijitleştirilmiş basınç parçaları olarak adlandırılır. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, C profilinin başlıkları ve gövdesi,  $\Omega$  profilinin ara başlığı ve gövdeleri ile kutu profilleri oluşturan bütün kesit parçaları rijitleştirilmiş basınç parçasıdır (s.c.e. : stiffened compression element).



Şekil 3.6. Rijitleştirilmiş basınç elemanı (s.c.e.) içeren soğuk şekillendirilmiş kesitler [4]

Elemanda oluşan basınç gerilmesinin doğrultusuna paralel iki kenarından yalnız biri rijitleştirilmiş olan kesit parçalarına ise rijitleştirilmemiş basınç parçası denir.

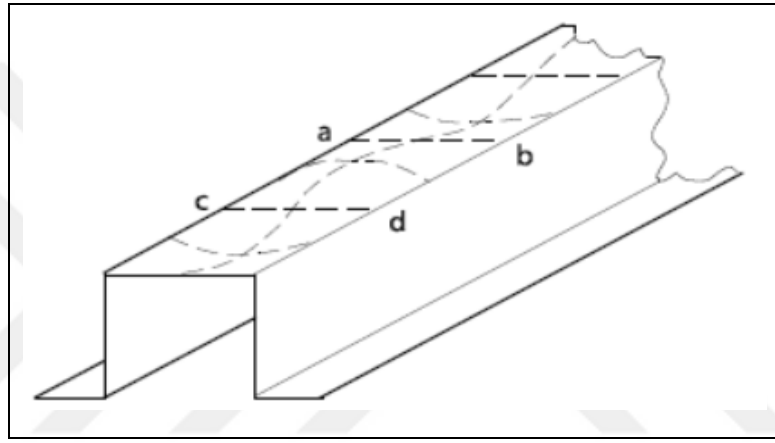


Şekil 3.7. Rijitleştirilmemiş basınç parçaları içeren soğuk şekillendirilmiş kesitler [4]



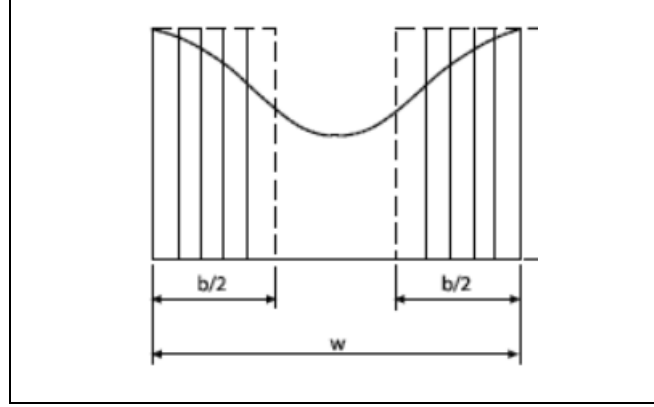
Şekil 3.7’de gösterilen, L profilin kolları,  $\Omega$  profilin kenar başlıkları, U profilin basınç başlıkları rijitleştirilmemiş basınç parçalarına (u.c.e. : unstiffened compression element) örnektir [4].

Şekil 3.8’de, soğuk şekillendirilmiş bir  $\Omega$  profilinin ara başlığında oluşan yerel burkulma gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, profilin rijitleştirilmiş bir enkesit parçası olan başlığında oluşan burkulmadan en çok etkilenen bölge parçanın ortası olup, parçanın gövdelere bağlanan kenarlarına doğru gidildikçe burkulmanın etkisi azalmaktadır.



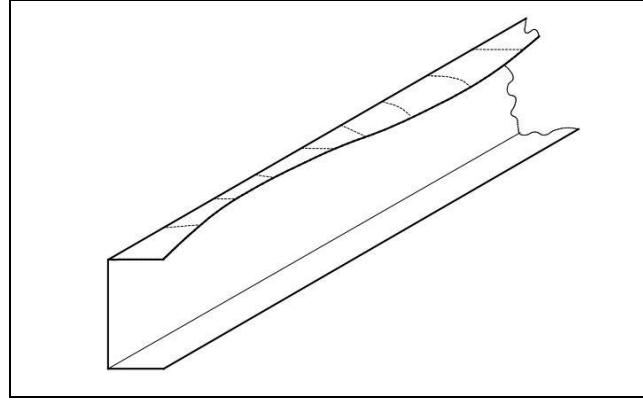
Şekil 3.8.  $\Omega$  kesitli soğuk şekillendirilmiş bir çelik yapı elemanının rijitleştirilmiş basınç başlığının burkulması [7]

Aslında, burkulma sonrası parçada oluşan gerilme dağılımı yaklaşık olarak Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, burkulma sonrası parçanın burkulmadan en fazla etkilenen orta bölümündeki gerilme azalmakta, uçlardaki gerilme artmaktadır. Güncel yönetmeliklerin hemen hemen hepsinde kullanılan “etkin genişlik” yönteminde, burkulma sonrası parçanın taşıdığı ve  $w$  genişliği boyunca düzgün dağılmayan toplam yükün  $b$  hayali etkin genişlik boyunca düzgün dağıldığı (Şekil 3.9) kabul edilir [4]. Diğer bir ifadeyle, burkulma sonrası parçanın yalnız  $b$  uzunluğa sahip bir bölümünün burkulma sonrası yük taşımaya devam ettiği, kalan bölümünün ise hiç yük taşımadığı varsayılır. Bu varsayımla, profilin burkulma sonrası “etkin” (azaltılmış) kesit özellikleri hesaplanabilir.

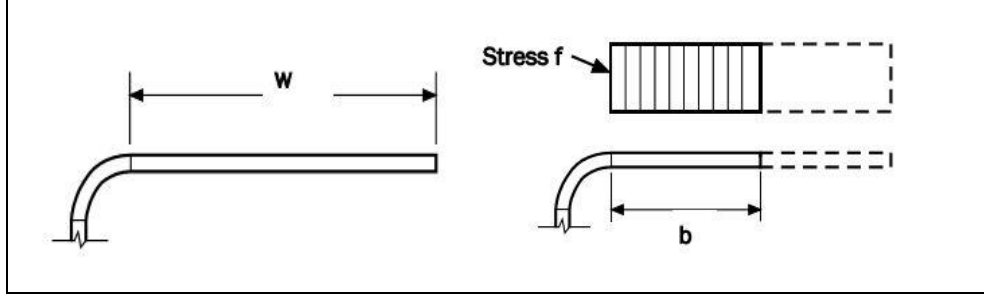


Şekil 3.9. Rijitleştirilmiş bir basınç parçasında burkulma sonrası oluşan gerçek ve yaklaşık gerilme dağılımları [7]

Şekil 3.10'da, soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin üst başlığında oluşan yerel burkulma gösterilmektedir. Şekilden de fark edilebileceği gibi, rijitleştirilmemiş bir enkesit parçası olan başlıkta burkulmadan en çok etkilenen bölge parçanın serbest ucudur. Gövdeye bağlanan kenara doğru gidildikçe burkulmanın etkisi azalmaktadır. Bu nedenle, etkin genişlik yöntemine göre etkin kesit özellikleri belirlenirken, başlıkta etkin olmayan bölgenin Şekil 3.11'de gösterildiği gibi başlığın serbest ucunda kaldığı kabul edilir.

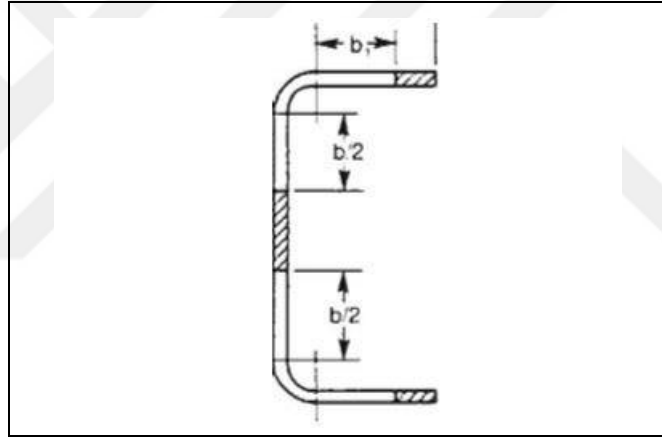


Şekil 3.10. Soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin rijitleştirilmemiş basınç başlığının burkulması [7]



Şekil 3.11. Soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin başlığı için etkin genişliğin tanımlanması [7]

Şekil 3.12’de hem başlıkları hem de gövdesi narin ( $w/t$  oranı yüksek) soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin aksel basınç kuvveti etkisindeki etkin kesiti gösterilmektedir. Profilin etkin alanı ( $A_e$ ), kayıpsız kesit alanından etkin olmayan (taralı) alanlar çıkarılarak hesaplanabilir.



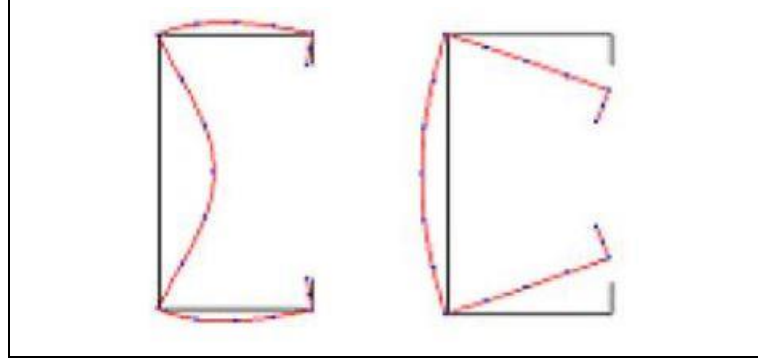
Şekil 3.12. Aksel basınç kuvveti taşıyan, başlıkları ve gövdesi narin, soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin etkin kesiti [4]

Yerel burkulmanın tezde incelenen soğuk şekillendirilmiş U profillerin basınç davranışına etkisi etkin genişlik yöntemi kullanılarak tasarıma dahil edilmiştir. Bu yöntemle göre, dayanım hesaplarında elemanın etkin alanı kullanılmalıdır. Etkin genişlik hesapları için gerekli formüller, dayanım hesaplarında kullanılan yönetmelikten (AISI S100-16) alınmıştır.

### 3.4. Çarpımlı Burkulma

C ve Z profillerde olduğu gibi, başlıklarında kenar rijitleştiricisi bulunan soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının basınç davranışlarını belirleyen sınır

durumlardan biri de çarpılmalı burkulmadır. Şekil 3.13'te aksenal basınç etkisindeki soğuk şekillendirilmiş bir C profilinde gözlenen çarpılmalı burkulma ile yerel burkulma arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 3.13. Aksenal basınç kuvveti taşıyan, soğuk şekillendirilmiş bir C profilinde yerel burkulma (solda) ile çarpılmalı burkulmanın (sağda) karşılaştırılması [26]

Şekil 3.13'ten fark edilebileceği gibi, başlıkların kenar rijitleştiricilere bağlandığı uçları yerel burkulmada hareket etmezken, çarpılmalı burkulmada hareket etmekte; başlıklar uçlarındaki rijitleştiricilerle birlikte başlık gövde birleşimi etrafında rijit bir şekilde dönmektedir.

Bu çalışmada ele alınan U profillerde kenar rijitleştiricisi olmadığından, bu sınır durum tasarım hesaplarında dikkate alınmamıştır.

#### **4. AISI S100-16'YA GÖRE EKSENEL BASINÇ ETKİSİNDEKİ SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN TASARIM ESASLARI**

Daha önce de belirtildiği gibi, soğuk şekillendirilmiş elemanların tasarımı için ülkemizde güncel bir yönetmelik bulunmamaktadır. Her ne kadar 2018 yılında güncellenen deprem yönetmeliği (TBDY, 2018) [9], hafif çelik bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için bazı özel kurallar içerse de, yönetmeliğin 10.2.2.2. maddesinde “Bu bölümde yer almayan ve deprem tasarımı dışındaki hususlar için, uluslararası düzeyde kabul görmüş standart ve yönetmeliklerden yararlanılabilir” ifadesi bulunmaktadır. Aynı yönetmelikte Bölüm 10.3.3'te, eksenel basınç kuvveti etkisindeki soğuk şekillendirilmiş panel dikmeleri için verilen tasarım esasları incelendiğinde, Denklem (10.6)'dan Denklem (10.10)'a kadar olan genel tasarım denklemlerinin, 2016 yılında güncellenen “AISI S100-16: Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Tasarımı için Kuzey Amerika Yönetmeliği”nde [7] verilen dayanım denklemlerine benzediği görülmektedir. Bununla birlikte, TBDY (2018) dikmelerin “etkin alan” hesabında “TS EN 1993-1-3: Çelik Yapıların Projelendirilmesi – Bölüm 1-3: Genel Kurallar – Soğukta Biçimlendirilmiş İnce Ölçülü Elemanlar ve Saçla Kaplama İçin” [27] başlıklı yönetmelikte Bölüm 5.5'te verilen denklemlerin kullanılması gerektiğini belirtmektedir. TS EN 1993-1-3'teki tasarım kuralları, “EN 1993-1-3 : Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting” [28] başlıklı Avrupa yönetmeliğinde verilen tasarım kurallarıyla aynıdır. Diğer yandan, TBDY (2018) Madde 10.3.3.1'de, dikmelerde burulmalı ve burulmalı-eğilmeli burkulma sınır durumlarındaki karakteristik basınç kuvveti dayanımlarının TS EN 1993-1-3 Bölüm 6.2 veya AISI S100 Bölüm C4'e göre hesaplanması gerektiği belirtilmektedir. Her ne kadar TBDY (2018) yönetmeliği AISI S100 yönetmeliğine tarih belirtmeden atıf yapmış olsa da, soğuk şekillendirilmiş basınç elemanlarının tasarım esaslarının AISI S100 yönetmeliğinin 2007 yılındaki baskısında Bölüm C4'te, 2016 yılındaki güncel baskısında ise Bölüm E'de yer aldığı belirlenmiştir.

2016 yılında yürürlüğe giren ve sıcak şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının tasarım esaslarını içeren “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik”in (ÇYTHYEY, 2016) [24], aynı yıl Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD’de) güncelenen “AISC 360-16: Specification for Structural Steel Buildings (Yapısal Çelik Binalar için Yönetmelik)” [29] başlıklı yönetmelikten uyarlandığı bilinmektedir. Hem tasarım yöntemlerinin hem de genel tasarım esaslarının AISC 360-16’ya benzemesi nedeniyle, bu tezde, tezin kapsamında incelenen profillerin dayanım hesaplarında, AISI S100-16 yönetmeliğinde [7] sunulan tasarım denklemlerinin ve esaslarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu bölümde, aksel basınç kuvveti etkisindeki soğuk şekillendirilmiş U profiller için AISI S100-16 yönetmeliğinde Bölüm E’de verilen tasarım esasları özetlenecektir.

#### **4.1. AISI S100-16’da Tanımlanan Tasarım Yöntemleri**

AISI S100-16 yönetmeliği, soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının tasarımı için, üç Kuzey Amerika ülkesi; ABD, Meksika ve Kanada, tarafından hazırlanan uluslararası bir yönetmeliktir. Yönetmelik’te verilen genel tasarım kuralları, adı geçen üç ülke için aynı olup; bazı özel kurallar ve katsayılar Kanada’daki uygulamalar için farklılık göstermektedir. AISI S100-16 Bölüm 3’te, tasarımda üç farklı yöntem kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu yöntemler; Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım (YDKT) (Load and Resistance Factor Design, LRFD) yöntemi, Güvenlik Katsayılarına Göre Tasarım (GKT) (Allowable Strength Design, ASD) yöntemi ve Sınır Durumlara Göre Tasarım (SDT) (Limit States Design, LSD) yöntemidir. Yöntemlerin üçü de taşıma gücü yöntemine göre tasarım esasları içermekle birlikte, YDKT veya GKT yöntemleri daha çok ABD ve Meksika’daki, SDT yöntemi ise Kanada’daki uygulamalar için tanımlanmıştır. AISI S100-16’da tanımlanan YDKT ve GKT yöntemlerinin genel tasarım esasları, ÇYTHYEY (2016)’da tanımlanan YDKT ve GKT yöntemleriyle aynıdır. Her iki yöntemde de elemanların karakteristik (nominal) dayanımları ( $R_n$ ) aynı olup; YDKT yönteminde elemanların tasarım dayanımları ( $\phi R_n$ ), değerleri 1,0’dan küçük olan dayanım katsayılarıyla ( $\phi$ ) çarpılarak; GKT yönteminde ise elemanların güvenli dayanımları ( $R_n/\Omega$ ), değerleri 1,0’dan büyük olan güvenlik katsayılarına ( $\Omega$ ) bölünerek hesaplanmaktadır. İki yöntem arasındaki en temel fark, gerekli dayanım hesaplarında gözlenmekte; YDKT yönteminde gerekli

dayanımların hesaplanmasında kullanılan yük birleşimlerinde bazı temel yükler artırılırken, GKT yönteminde yükler artırılmadan kullanılmaktadır. Bu çalışmada, elemanların tasarım dayanımları hesaplanırken YDKT yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. AISI S100-16 Bölüm B3.2.2'ye göre, YDKT yönteminde, yapısal güvenlik koşulu şu şekilde tanımlanmaktadır;

$$R_u \leq R_a = \phi R_n \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de,  $R_u$ , gerekli dayanım,  $R_a$ , tasarım dayanımı,  $\phi$  dayanım katsayısı,  $R_n$  ise karakteristik dayanımdır. Farklı zorlamaların etkisi altındaki soğuk şekillendirilmiş elemanların  $R_n$  dayanımları ile  $\phi$  katsayıları, AISI S100-16'da C'den K'ya kadar olan bölümlerle Bölüm M'de verilmektedir.

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki soğuk şekillendirilmiş profillerin YDKT yöntemine göre tasarımında sağlanması gereken yapısal güvenlik koşulu, aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilebilir;

$$P_u \leq P_d = \phi_c P_n \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de,  $P_u$ , gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı,  $P_d$ , tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$  ise karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımıdır. AISI S100-16 Bölüm E2'de, eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için dayanım katsayısı ( $\phi_c$ );

$$\phi_c = 0,85 \quad (4.3)$$

olarak tanımlanmıştır.

Her ne kadar tezde incelenen elemanların dayanımı YDKT yöntemi kullanılarak hesaplanmış olsa da, bu şekilde hesaplanan tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımlarının GKT yönteminde kullanılan güvenli eksenel basınç kuvveti dayanımlarına kolayca çevrilebileceği belirtilmelidir.

## 4.2. U Profiller için AISI S100-16’da Tanımlanan Tasarım Esasları

Daha önce de belirtildiği gibi, aksenal basınç kuvveti etkisindeki soğuk şekillendirilmiş profillerin tasarım esasları, AISI S100-16 yönetmeliğinde Bölüm E’de verilmektedir. Yönetmelik’in “E1. Genel Koşullar” başlıklı bölümünde, bu tür elemanların tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımlarının ( $\phi_c P_n$ ) Bölüm E2, Bölüm E3 ve Bölüm E4’te verilen esaslar dikkate alınarak hesaplanması gerektiği belirtilmelidir. Bu bölümlerde sırasıyla, (i) akma veya genel burkulma, (ii) yerel burkulma ile akma veya genel burkulmanın etkileşimi ve (iii) çarpılmalı burkulma sınır durumları ele alınmaktadır. Yönetmelik’te, dayanım hesaplarının birden fazla sınır durum için yapılması durumunda, hesaplanan dayanımlardan en küçüğünün tasarım dayanımına eşit olduğu belirtilmektedir. Tezin kapsamında incelenen U profiller için, çarpılmalı burkulma bir sınır durum olmadığından, bu bölümde önce akma veya genel burkulma sınır durumları için verilen esaslar özetlenecek, ardından yerel burkulmanın akma veya genel burkulmayla etkileşiminin olması durumunda, etkileşim nedeniyle dayanımda gözlenen azalmanın tasarıma nasıl dahil edileceği anlatılacaktır.

En genel haliyle, genel burkulma tehlikesi olan soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarımında izlenmesi gereken yol şu şekilde özetlenebilir: (1) profilin elastik burkulma gerilmesinin belirlenmesi, (2) elastik bölgede burkulmayan profillerde elastik ötesi davranışın etkisini dahil etmek amacıyla elastik burkulma gerilmesinin kritik burkulma gerilmesine dönüştürülmesi, (3) yerel burkulma sınır durumuna genel burkulma sınır durumlarından önce ulaşılması durumunda kritik burkulma gerilmesinin etkidiği kesitin etkin alanının hesaplanması. Genel burkulma tehlikesi olmayan elemanlarda ise tasarım dayanımı, akma sınırı durumunun yerel burkulma sınır durumuyla etkileşiminin olmadığı durumlarda, karakteristik akma gerilmesi ve toplam enkesit alan kullanılarak, etkileşimin olduğu durumlarda ise karakteristik akma gerilmesi ile bu gerilmenin etkidiği kesitte etkin alan kullanılarak hesaplanmalıdır.

Bölüm E2’ye göre, yerel burkulma ile akma veya genel burkulmanın etkileşiminin olmadığı durumlarda, soğuk şekillendirilmiş bir U profilinin karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı ( $P_n$ ), profilin kayıpsız enkesit alanı ( $A_g$ ) ile karakteristik basınç gerilmesi ( $F_n$ ) çarpılarak hesaplanabilir;



$$P_n = A_g F_n \quad (4.4)$$

Denklem (4.4)'te,  $F_n$  genel burkulma sınır durumundaki kritik burkulma gerilmesine eşit olup, aşağıdaki denklemlerden uygun olan kullanılarak hesaplanmalıdır;

$$\text{Eğer } \lambda_c \leq 1,5 \text{ ise } F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y, \quad \text{Eğer } \lambda_c > 1,5 \text{ ise } F_n = \left( \frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te,  $\lambda_c$ , akma gerilmesi  $F_y$ 'nin, elemanın olası genel burkulma sınır durumları için hesaplanan elastik burkulma gerilmelerinden en küçüğüne eşit olan  $F_{cre}$ 'ye oranının kareköküne eşittir;

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} \quad (4.6)$$

Bölüm 3'te de belirtildiği gibi, tezde incelenen soğuk şekillendirilmiş U profiller iki olası genel burkulma sınır durumuna sahiptir: (i) simetri eksenine dik eksen (yani, y eksen) etrafında eğilerek burkulma, (ii) simetri eksen (yani, x eksen) etrafında eğilerek ve elemanın enkesitine dik eksen (yani, z eksen) etrafında burularak burkulma. Bu nedenle, tezde incelenen profiller için  $F_{cre}$  belirlenirken, belirtilen iki sınır durum için elastik burkulma gerilmeleri ayrı ayrı hesaplanıp, elde edilen değerlerden en küçük olan alınmıştır.

AISI S100-16, elastik burkulma gerilmelerinin Bölüm E'de verilen denklemler veya Ek 2'de tanımlanan sayısal veya analitik yöntemler kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmektedir. Bu tezde, Bölüm E2'de kesitinde tek simetri eksen bulunan elemanlar için verilen tasarım denklemleri kullanılmıştır.

Bölüm E2.1'e göre; y eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda, elastik burkulma gerilmesi,

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / i_y)^2} \quad (4.7)$$

denkleminde hesaplanabilir. Denklem (4.7)'de E çeliğin elastisite modülü (203 GPa),  $K_y L_y$  elemanın y ekseninde etkin eğilmeli burkulma boyu,  $i_y$  kesitin y ekseninde atalet yarıçapıdır.

Bölüm E2.2'ye göre; x ekseninde etrafında eğilmeli ve z ekseninde etrafında burulmalı burkulma sınır durumunda, elastik burkulma gerilmesi ( $F_{cre}$ ) aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$F_{cre} = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (4.8)$$

Denklem (4.8)'de,

$$\beta = 1 - (x_o / i_o)^2 \quad (4.9)$$

olup, Denklem (4.9)'da  $x_o$  kesitin kayma merkezi ile geometrik merkezi arasındaki mesafe,  $i_o$  ise kesitin kayma merkezine göre kutupsal atalet yarıçapıdır.  $i_o$ , kesitin asal atalet yarıçapları  $i_x$  ve  $i_y$  ile  $x_o$  mesafesinden Denklem (4.10) kullanılarak hesaplanabilir;

$$i_o = \sqrt{i_x^2 + i_y^2 + x_o^2} \quad (4.10)$$

Denklem (4.8)'de, elastik burulmalı burkulma gerilmesi  $\sigma_t$  ve x ekseninde etrafında elastik eğilmeli burkulma gerilmesi  $\sigma_{ex}$  aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir;

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / i_x)^2} \quad \text{ve} \quad \sigma_t = \frac{1}{A i_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (4.11)$$

Denklem (4.11)'de, G kayma modülü (78 GPa), J burulma sabiti,  $C_w$  çarpılma sabiti,  $K_x L_x$  ve  $K_t L_t$ , sırasıyla, x ekseninde etrafında eğilmeli burkulma ve burulmalı burkulma sınır durumlarında elemanın etkin burkulma boylarıdır. Bu tezde, elemanın zayıf ekseninde eğilmeli burkulma boyunun burulmalı burkulma boyuna eşit olduğu ( $K_y L_y = K_t L_t$ ) kabul edilmiştir.

AISI S100-16 Bölüm E2.2,  $F_{cre}$  'nin, daha güvenli sonuçlar veren aşağıdaki alternatif denklem kullanılarak hesaplanmasına da izin vermektedir.

$$F_{cre} = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}} \quad (4.12)$$

Bu tezde, eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda, elastik burkulma gerilmesi  $F_{cre}$ , Denklem (4.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

Bölüm E3'e göre, elemanlarda yerel burkulma ile akma veya genel burkulma sınır durumları arasında etkileşim olup olmadığı mutlaka kontrol edilmeli; etkileşim olduğunun belirlenmesi durumunda, elemanların mevcut dayanımlarında oluşan azalma tasarıma dahil edilmelidir. Yönetmelik, bunun için iki yöntem sunmuştur: (a) etkin genişlik yöntemi (effective width method) ve (b) doğrudan dayanım yöntemi (direct strength method). Bu çalışmada, yerel burkulma ile genel burkulma (veya akma) sınır durumları arasında etkileşim olduğunun belirlenmesi durumunda, eleman dayanımları etkin genişlik yöntemi kullanılarak azaltılmıştır. Bu yöntemle göre, elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı, genel burkulma gerilmesi  $F_n$  ile bu gerilmeye hesaplanan etkin enkesit alanı  $A_e$  'nin çarpımına eşittir.

$$P_n = A_e F_n \quad (4.13)$$

Denklem (4.13)'te,  $F_n$  Denklem (4.5)'ten hesaplanmalıdır. AISI S100-16 Bölüm E3.1.1'e göre, delik içermeyen U profillerin etkin enkesit alanı ( $A_e$ ), enkesiti oluşturan her bir parçanın etkin genişliği ile kalınlığının çarpımının toplamından elde edilmelidir. Aynı bölümde, enkesiti oluşturan parçaların  $F_n$  gerilmesi altındaki etkin genişliklerinin Ek 1'de tanımlanan esaslara göre hesaplanması gerektiği belirtilmektedir.

AISI S100-16 Ek 1 Bölüm 1.1(a)'ya göre, dayanım hesaplarında (strength determination), rijitleştirilmiş bir enkesit parçasının etkin genişliği (effective width, b), düz genişliği (flat width, w) ile yerel azaltma katsayısı (local reduction factor,  $\rho$ ) çarpılarak hesaplanabilir.

$$b = \rho w \quad (4.14)$$

Yerel azaltma katsayısı  $\rho$ , Denklem (4.15) kullanılarak hesaplanmalıdır;

$$\lambda > 0,673 \text{ ise } \rho = \frac{1-0,22/\lambda}{\lambda} ; \lambda \leq 0,673 \text{ ise } \rho=1 \quad (4.15)$$

Denklem (4.15)'te, narinlik katsayısı (slenderness factor,  $\lambda$ ) aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmelidir;

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}} \quad (4.16)$$

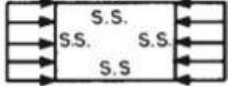
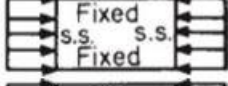
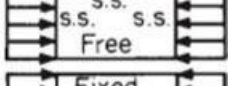
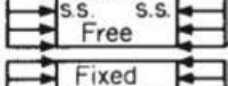
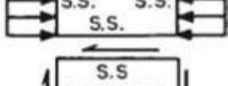
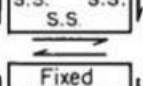

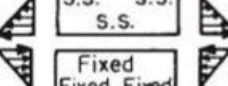
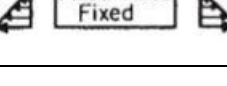
Denklem (4.16)'da,  $f$  ele alınan elemandaki basınç gerilmesi olup, basınç elemanlarında,  $F_n$ 'ye eşittir.  $F_{cr}$  ise ele alınan enkesit parçasının elastik burkulma gerilmesidir ve aşağıdaki plak burkulma denklemi kullanılarak hesaplanabilir;

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(w/t)^2} \quad (4.17)$$

Denklem (4.17)'de,  $k$  plak burkulma katsayısı,  $\mu$  çeliğin Poisson oranı,  $t$  ise ele alınan enkesit parçasının kalınlığıdır.

Şekil 4.1'de, farklı gerilme türlerine maruz kalan, farklı sınır koşullarına sahip uzun plaklar için plak burkulma katsayılarının değerleri listelenmiştir. Durum (a) ve (b)'den de fark edilebileceği gibi, düzgün basınç etkisindeki rijitleştirilmiş bir enkesit parçası için  $k$  değeri 4,0 ile 6,97 arasında değişmektedir. AISI S100-16, bu tür elemanlarda  $k=4,0$  alınması gerektiğini belirtmektedir.

Şekil 4.1'de Durum (c) ve (d)'e göre, düzgün basınç etkisindeki rijitleştirilmemiş bir enkesit parçası için  $k$  değeri 0,425 ile 1,277 arasında değişmektedir. AISI S100-16 Ek 1 Bölüm 1.2.1'de, bu tür elemanlarda,  $k=0,43$  değerinin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle, tezde incelenen U profillerin etkin gövde yükseklikleri hesaplanırken  $k=4$ , etkin başlık genişlikleri hesaplanırken  $k=0,43$  alınmıştır.

Durum Sınır Koşulları	Gerilme Türü	Uzun Levha İçin Katsayısı
(a) 	Basınç	4.0
(b) 	Basınç	6.97
(c) 	Basınç	0.425
(d) 	Basınç	1.277
(e) 	Basınç	5.42
(f) 	Kesme	5.34
(g) 	Kesme	8.98
(h) 	Eğilme	23.9
(i) 	Eğilme	41.8

Şekil 4.1. Farklı gerilme türleri ve sınır koşulları için plak burkulma katsayıları [4]

## 5. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN TASARIM EKSENEL BASINÇ KUVVETİ DAYANIMLARININ HESAPLANMASI VE TASARIM TABLOLARININ OLUŞTURULMASI

Bu bölümde, ülkemizde yaygın şekilde kullanıldığı düşünülen, Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te listelenen, farklı boyutlara sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları ( $\phi_c P_n$ ), AISI S100-16 [7] yönetmeliğinde tanımlanan ve Bölüm 4'te özetlenen tasarım esasları ile YDKT yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Profillerin basınç dayanımları etkin burkulma boylarına bağlı olduğundan, dayanım hesapları genel burkulmanın engellendiği ve izin verildiği durumlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

Genel burkulmanın engellendiği durumlarda, yani profillerin eğilmeli veya eğilmeli-burulmalı burkulmaya karşı sürekli desteklendiğinin kabul edildiği durumlarda, profillerin tasarım dayanımları ilk olarak, tasarım akma yükleri ( $\phi_c P_{ye} = \phi_c F_y A_e$ ) hesaplanarak belirlenmiştir. Profillerin çoğu bu yüke hem gövdelerinde hem de başlıklarında yerel burkulma oluştuktan sonra ulaşmaktadır. Bu bölümde, profillerde yerel burkulmanın oluşmasının istenmediği durumlarda kullanılması amacıyla, tezin kapsamında incelenen bütün profillerin gövdelerinde ve başlıklarında yerel burkulma gözlenmeden taşıyabilecekleri en büyük basınç kuvvetleri (sırasıyla,  $\phi_c P_{n,f=fgövde}$  ve  $\phi_c P_{n,f=başlık}$ ) de hesaplanmış, elde edilen değerler tablolar halinde sunulmuştur.

Genel burkulmanın izin verildiği durumlarda, dayanımlar 5 farklı mesnet/destek koşulu için hesaplanmıştır. İlk olarak, zayıf eksen etrafındaki etkin eğilmeli burkulma boyu  $K_y L_y$ 'nin, kuvvetli eksen etrafındaki etkin eğilmeli burkulma boyu  $K_x L_x$ 'e eşit olduğu ( $K_y L_y = K_x L_x$ ) kabul edilmiştir. Ardından,  $K_y L_y$ 'nin  $K_x L_x$ 'in sırasıyla 1/2, 1/3 ve 1/4'üne eşit olduğu kabul edilerek dayanım hesapları tekrarlanmıştır. Son olarak,  $K_y L_y = 0$  durumu için, yani zayıf ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumunun tamamen engellendiği kabul edilerek profillerin dayanımları hesaplanmış, farklı  $K_x L_x$  ve  $K_y L_y$  değerleri için hesaplanan tasarım dayanımları tablolar halinde sunulmuştur.

Dayanım tabloları oluşturulurken, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından 2014 yılında yayınlanan “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu”nun (Cold-Formed Steel Design Manual) [10] III numaralı Kolon Tasarımı (Column Design) bölümünden faydalanılmıştır. Tasarım dayanımları, yalnız S235 çelik kapasitesi için hesaplanmıştır. ÇYTHYEEY (2016)’ya [24] göre, belirtilen çelik kalitesine sahip levhaların karakteristik akma gerilmeleri ( $F_y$ ) 235 MPa’ya eşittir. Bununla birlikte, yapısal çeliğin elastisite ve kayma modülü değerleri,  $E=203000$  MPa ve  $G= 78000$  MPa olarak AISI S100-16’dan [7] alınmıştır. Tablolarda, tasarım dayanımları üç anlamlı rakama yuvarlanarak sunulmuştur.

Her ne kadar Bölüm 4’te dayanım hesaplarında kullanılan tasarım esasları ve tasarım denklemleri özetlenmiş olsa da, hem tasarımlarında tezde incelenmeyen profilleri kullanacak tasarımcılara yol göstermek hem de tablolarda listelenen dayanım değerlerini el hesaplarıyla doğrulamak amacıyla bu bölümde, ÜF2 firmasına ait U 300×107×3 profili için yapılan dayanım hesapları da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

### **5.1. Profillerin Genel Burkulmalarının Engellendiği Durumlardaki Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımları**

Tezin kapsamında incelenen profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları ( $\phi_c P_n$ ), ÜF1 firmasına ait profiller için Tablo 5.1’de, ÜF2 firmasına ait profiller için Tablo 5.2’de ve ÜF3 firmasına ait profiller için ise Tablo 5.3’te sunulmuştur. Tablolarda,  $f=F_y$  başlıklı sütunlarda listelenen dayanım değerleri ( $(\phi_c P_n)_{f=F_y}$ ), profillerin tasarım akma dayanımlarına eşit olup aşağıdaki denklem ile bulunabilmektedir;

$$(\phi_c P_n)_{f=F_y} = 0,85F_y A_e \quad (5.1)$$

Denklem (5.1), Denklem (4.3) ve Denklem (4.13) kullanılarak elde edilmiştir. Genel burkulma sınır durumları elemanın davranışını belirleyen bir sınır durum olamayacağından, Denklem (4.13)’te genel burkulma gerilmesi  $F_n$ ,  $F_y$ ’ye eşit alınmıştır.

Tablo 5.1. S235 çelik kalitesi için, ÜF1 firmasına ait profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF1 Profilleri	$\phi_c P_n$ (kN)		
	$f=F_y$	$f=f_{gövde}$	$f=f_{başlık}$
U100x53x1,5	40,3	22,8	9,76
U100x54x2,0	64,5	55,0	22,7
U100x55x2,5	88,7	110	43,6
U100x56x3,0	112	193	74,1
U120x63x1,5	41,7	18,0	7,89
U120x64x2,0	67,9	43,3	18,4
U120x65x2,5	97,9	85,9	35,5
U120x66x3,0	127	151	60,5
U150x53x1,5	42,3	12,9	12,2
U150x54x2,0	69,4	30,9	28,5
U150x55x2,5	101	61,3	54,6
U150x56x3,0	135	107	92,6
U200x54x2,0	71,6	19,9	31,1
U200x55x2,5	105	39,4	59,9
U200x56x3,0	143	69,0	102
U200x69x2,0	72,9	21,9	21,4
U200x70x2,5	108	43,1	41,3
U200x71x3,0	147	75,3	70,3
U220x94x2,0	74,6	20,3	13,1
U220x95x2,5	111	40,0	25,3
U220x96x3,0	153	69,8	43,3
U250x79x2,0	74,7	16,4	18,7
U250x80x2,5	111	32,4	36,3
U250x81x3,0	153	56,6	62,2
U250x83x4,0	252	137	145
U300x100x2,0	76,3	13,7	14,0
U300x100x2,5	114	26,9	27,6
U300x100x3,0	159	46,8	48,1
U300x100x4,0	263	112	116



Tablo 5.2. S235 çelik kalitesi için, ÜF2 firmasına ait profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$\phi_c P_n$ (kN)		
	$f=F_y$	$f=f_{gövde}$	$f=f_{başlık}$
U100x54x1,0	20,3	6,64	2,76
U100x54x1,2	27,7	11,6	4,79
U100x55x1,5	40,4	22,9	9,14
U100x55x2,0	64,6	55,1	22,0
U100x56x2,5	88,9	110	42,2
U100x57x3,0	113	194	71,7
U150x49x1,0	20,8	3,67	4,07
U150x49x1,2	28,6	6,37	7,08
U150x50x1,5	42,2	12,6	13,5
U150x50x2,0	68,9	30,2	32,6
U150x51x2,5	100	60,1	62,8
U150x52x3,0	134	106	107
U200x55x1,5	43,3	8,39	12,6
U200x55x2,0	71,7	20,0	30,2
U200x56x2,5	105	39,7	58,3
U200x57x3,0	144	69,5	100
U200x71x1,5	43,9	9,2	8,47
U200x72x2,0	73,1	22,0	19,8
U200x72x2,5	108	43,4	39,2
U200x73x3,0	148	75,7	66,8
U200x105x2,0	74,3	23,3	10,3
U200x107x3,0	152	80,1	34,3
U200x108x4,0	248	193	81,2
U200x110x5,0	350	384	156
U250x80x2,0	74,7	16,5	18,4
U250x81x2,5	111	32,6	35,6
U250x82x3,0	154	56,9	61,0
U250x83x4,0	252	137	145
U250x85x5,0	364	274	278
U300x105x2,0	76,4	13,9	12,9
U300x106x2,5	115	27,3	25,0
U300x107x3,0	159	47,5	42,8
U300x108x4,0	265	114	101
U300x110x5,0	390	226	195
U400x105x2,0	77,4	9,20	14,1
U400x106x2,5	117	18,1	27,3
U400x107x3,0	163	31,4	47,0
U400x108x4,0	273	75,3	112
U400x110x5,0	406	149	215
U500x106x2,5	118	13,3	28,5
U500x107x3,0	165	23,0	49,0
U500x108x4,0	278	55,0	116
U500x110x5,0	416	109	225

Tablo 5.3. S235 çelik kalitesi için, ÜF3 firmasına ait profillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$\phi_c P_n$ (kN)		
	$f=F_y$	$f=f_{gövde}$	$f=f_{başlık}$
U100x52x1,0	18,6	5,82	2,62
U100x52x1,2	25,7	10,1	4,56
U100x53x1,5	38,0	20,0	8,71
U100x54x2,0	61,9	48,3	20,3
U100x54x2,5	87,4	95,9	40,2
U120x67x1,2	26,4	8,27	3,31
U120x68x1,5	39,4	16,3	6,35
U120x69x2,0	65,3	39,2	14,9
U120x69x2,5	95,3	77,7	29,3
U120x70x3,0	127	136	50,1
U140x57x1,0	19,1	3,85	2,69
U140x58x1,5	39,7	13,2	8,95
U140x59x2,0	66,1	31,6	20,9
U140x59x2,5	96,9	62,5	41,3
U140x60x3,0	131	109	70,3
U150x78x1,5	40,5	12,6	5,69
U150x79x2,0	67,9	30,1	13,3
U150x79x2,5	100	59,5	26,3
U150x80x3,0	137	104	44,9
U160x90x1,5	40,9	11,8	4,68
U160x91x2,0	68,9	28,3	11,0
U160x91x2,5	102	55,8	21,6
U160x92x3,0	141	97,4	37,0
U160x93x3,5	182	156	58,3
U160x94x4,0	225	236	86,2
U180x80x1,5	41,1	10,1	6,00
U180x81x2,0	69,4	24,1	14,1
U180x81x2,5	103	47,5	27,8
U180x82x3,0	142	83,0	47,4
U180x84x4,0	231	201	110
U200x90x1,5	41,5	9,00	5,24
U200x91x2,0	70,4	21,5	12,3
U200x92x2,5	106	42,4	23,8
U200x93x3,0	146	74,0	40,8
U200x94x3,5	191	119	64,1
U200x94x4,0	239	178	96,5
U220x94x2,0	71,1	19,2	12,3
U220x94x2,5	107	37,8	24,2
U220x95x3,0	148	66,0	41,4
U220x96x3,5	194	106	65,2
U220x97x4,0	245	159	96,4
U220x97x4,0	245	159	96,4

Tablo 5.3. (Devam) S235 çelik kalitesi için, ÜF3 firmasına ait pro fillerin genel burkulmalarının engellendiği durumlardaki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$\phi_c P_n$ (kN)		
	$f=F_y$	$f=f_{gövde}$	$f=f_{başlık}$
U240x84x2,0	71,2	17,0	15,6
U240x84x2,5	107	33,3	30,8
U240x85x3,0	148	58,1	52,6
U240x86x3,5	195	93,0	82,6
U240x87x4,0	246	140	122
U260x80x1,5	42,0	6,26	7,24
U260x81x2,0	71,5	15,0	17,0
U260x82x2,5	108	29,6	33,0
U260x83x3,0	150	51,6	56,6
U260x84x4,0	248	124	134
U280x71x2,0	71,3	12,9	20,7
U280x72x2,5	107	25,3	40,1
U280x73x3,0	149	44,2	68,7
U280x74x3,5	196	70,8	108
U280x74x4,0	247	106	163
U300x60x1,5	41,7	4,66	10,9
U300x61x2,0	70,9	11,1	25,5
U300x62x2,5	107	22,0	49,4
U300x63x3,0	148	38,3	84,7
U300x64x3,5	194	61,3	133
U300x64x4,0	244	91,9	201
U320x94x2,0	72,8	11,8	14,7
U320x94x2,5	110	23,1	28,9
U320x95x3,0	154	40,2	49,6
U320x96x3,5	204	64,4	78,3
U320x97x4,0	259	96,9	116
U340x84x2,0	72,6	10,4	17,3
U340x84x2,5	110	20,4	34,0
U340x85x3,0	153	35,5	58,4
U340x86x3,5	203	56,7	92,1
U340x87x4,0	258	85,4	137
U360x74x2,0	72,4	9,24	20,5
U360x74x2,5	109	18,1	40,5
U360x75x3,0	153	31,5	69,4
U360x76x3,5	202	50,4	109
U360x77x4,0	256	75,8	162
U380x64x2,0	72,0	8,26	24,8
U380x64x2,5	108	16,2	49,0
U380x65x3,0	151	28,2	84,1
U380x66x3,5	200	45,1	132
U380x67x4,0	253	67,7	196
U400x79x2,0	72,9	8,18	19,2
U400x80x2,5	110	16,1	37,2
U400x80x3,0	154	27,9	65,0
U400x81x3,5	205	44,6	102

Tablolarda,  $f=f_{gövde}$  ve  $f=f_{başlık}$  başlıklı sütunlarda listelenen dayanım değerleri  $((\phi_c P_n)_{f=f_{gövde}}$  ve  $(\phi_c P_n)_{f=f_{başlık}}$ ), profillerin sırasıyla gövdelerinde ve başlıklarında yerel burkulma oluşmaksızın taşıyabilecekleri en büyük aksel basınç kuvvetlerine, yani gerekli aksel basınç kuvveti dayanımlarına eşittir.  $(\phi_c P_n)_{f=f_{gövde}}$  ve  $(\phi_c P_n)_{f=f_{başlık}}$ , Denklem (4.3) kullanılarak ve Denklem (4.13)'te  $F_n$  yerine sırasıyla  $f=f_{gövde}$  ve  $f=f_{başlık}$  yazılarak hesaplanabilir;

$$(\phi_c P_n)_{f=f_{gövde}} = 0,85f_{gövde} A_e \quad (5.2)$$

$$(\phi_c P_n)_{f=f_{başlık}} = 0,85f_{başlık} A_e \quad (5.3)$$

Denklem (5.2) ve Denklem (5.3)'te etkin alanlar ilgili gerilmeler kullanılarak hesaplanmalıdır.

Başlık veya gövdenin tamamen etkin olması için, Denklem (4.15)'te tanımlanan yerel azaltma katsayısı ( $\rho$ ), 1,0 değerine eşit olmalıdır. Bunun için de, Denklem (4.16) ile tanımlanan narinlik katsayısı ( $\lambda$ ), 0,673 değerinden küçük olmalıdır. Diğer bir ifadeyle,

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr1}}} \leq 0,673 \quad (5.4)$$

Elastik burkulma gerilmesi  $F_{cr1}$  için Denklem (4.17)'de verilen bağıntı Denklem (5.4)'te yerine yazılırsa, enkesiti oluşturan herhangi bir parçanın burkulmadan taşıyabileceği en büyük gerilme ( $f_{max}$ ) değeri elde edilir,

$$f_{max} = 0,673^2 k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(w/t)^2} \quad (5.5)$$

Denklem (5.5), çeliğin Poisson oranı  $\mu$  için 0,3 değeri kullanılarak, aşağıdaki şekilde sadeleştirilebilir,

$$f_{max} \cong 0,409 \frac{kE}{(w/t)^2} \quad (5.6)$$

Denklem (5.6)'da, plak burkulma katsayısı k yerine 4,0 değeri yazıldığında, profillerin gövdelerinin tamamen etkin olduğu en büyük gerilme ( $f_{gövde}$ ) elde edilir,

$$f_{gövde} \cong 1,64 \frac{E}{(w/t)^2} \quad (5.7)$$

Benzer şekilde, Denklem (5.6)'da, plak burkulma katsayısı k yerine 0,43 değeri yazıldığında, profillerin başlıklarının tamamen etkin olduğu en büyük gerilme ( $f_{başlık}$ ) elde edilir,

$$f_{başlık} \cong 0,176 \frac{E}{(w/t)^2} \quad (5.8)$$

Örnek olarak, ÜF2 firmasına ait, U300×107×3 profili için  $(\phi_c P_n)_{f=F_y}$ ,  $(\phi_c P_n)_{f=f_{gövde}}$  ve  $(\phi_c P_n)_{f=f_{başlık}}$  değerleri hesaplanarak, belirtilen profil için Tablo 5.2'de sunulan dayanım değerleriyle karşılaştırılacaktır. U300×107×3 profilinin boyutları,

$$H = 300 \text{ mm}, B = 107 \text{ mm}, t = 3 \text{ mm}, R = 6 \text{ mm}$$

olup, gövde ve başlıklarının düz genişlikleri,

$$w_{başlık} = B - (R + t) = 107 - (7,5 + 3/2) = 98 \text{ mm}$$

$$w_{gövde} = H - 2(R + t) = 300 - 2(7,5 + 3/2) = 282 \text{ mm}$$

olarak hesaplanabilir. Dayanım hesaplarında gereken temel enkesit özellikleri için, Tablo 2.6'da sunulan değerler kullanılabilir. Ancak bu bölümde, daha hassas sonuçlar elde etmek için, üç anlamlı rakama yuvarlanmamış değerler kullanılmıştır. Yöntem I kullanılarak yapılan hesaplarda profilin enkesit alanı,  $A=1504,686 \text{ mm}^2$  olarak hesaplanmıştır.

Dayanım hesaplarına geçmeden önce, profilin gövdesinin ve başlıklarının tamamen etkin olduğu gerilme değerleri Denklem (5.7) ve Denklem (5.8) kullanılarak hesaplanmalıdır,

$$f_{\text{gövde}} = 1,637447 \frac{E}{(w_{\text{gövde}} / t)^2} = 1,637447 \times \frac{203 \times 10^3}{(282/3)^2} = 37,619 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{başlık}} = 0,176026 \frac{E}{(w_{\text{başlık}} / t)^2} = 0,176026 \times \frac{203 \times 10^3}{(98/3)^2} = 33,485 \text{ MPa}$$

Yukarıda hesaplanan değerlerden fark edilebileceği gibi, incelenen profilin önce başlıkları ardından gövdesi burkulacaktır. Enkesitin tamamen etkin olduğu gerilme yaklaşık 33,5 MPa'ya eşittir. Bu değer, profilin üretildiği levhanın karakteristik akma dayanımının %15'inden azdır.

Artık, profilin  $F_y$ ,  $f_{\text{gövde}}$  ve  $f_{\text{başlık}}$  gerilmelerindeki tasarım dayanımları hesaplanabilir. İlk olarak, incelenen profilin tasarım akma dayanımı  $((\phi_c P_n)_{f=F_y})$  hesaplanacaktır. Denklem (5.1)'den fark edilebileceği gibi, bu durumda hesaplanması gereken tek değer profilin etkin kesit alanı  $A_e$ 'dir. Bunun için  $f=F_y$  durumunda, gövde ve başlıkların etkin genişlikleri hesaplanmalıdır. Profilin gövde ve başlıkları için elastik burkulma gerilmeleri (sırasıyla,  $F_{\text{cr1,başlık}}$  ve  $F_{\text{cr1,gövde}}$ ), Denklem (4.17) kullanılarak hesaplanabilir,

$$F_{\text{cr1,başlık}} = \frac{0,43 \times \pi^2 \times 203 \times 10^3}{12(1-0,3^2)(98/3)^2} = 73,930 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{cr1,gövde}} = \frac{4 \times \pi^2 \times 203 \times 10^3}{12(1-0,3^2)(282/3)^2} = 83,057 \text{ MPa}$$

Buradan, gövde ve başlıklar için narinlik katsayıları (sırasıyla,  $\lambda_{\text{başlık}}$  ve  $\lambda_{\text{gövde}}$ ), Denklem (4.16) kullanılarak hesaplanabilir,

$$\lambda_{\text{başlık}} = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{235}{73,930}} = 1,783 \text{ ve } \lambda_{\text{gövde}} = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{235}{83,057}} = 1,682$$

Beklendiği gibi, her iki değer de sınır değer olan 0,673'ten büyük olduğu için, her iki parça için de etkin genişlik hesabı yapılmalıdır. Denklem (4.15) kullanılarak, profilin gövdesi ve başlıkları için yerel azaltma katsayıları (sırasıyla,  $\rho_{\text{başlık}}$  ve  $\rho_{\text{gövde}}$ ) hesaplanabilir,

$$\rho_{\text{başlık}} = \frac{1 - 0,22 / \lambda_{\text{başlık}}}{\lambda_{\text{başlık}}} = \frac{1 - 0,22 / 1,783}{1,783} = 0,49165$$

$$\rho_{\text{gövde}} = \frac{1 - 0,22 / 1,682}{1,682} = 0,51674$$

Böylece, Denklem (4.14) kullanılarak gövde ve başlıkların etkin genişlikleri (sırasıyla,  $b_{e,\text{başlık}}$  ve  $b_{e,\text{gövde}}$ ) hesaplanabilir,

$$b_{e(\text{gövde})} = w_{\text{gövde}} \times \rho_{\text{gövde}} = 282 \times 0,51674 = 145,721 \text{ mm}$$

$$b_{e,\text{başlık}} = \rho_{\text{başlık}} w_{\text{başlık}} = 98 \times 0,49165 = 48,182 \text{ mm}$$

Profilin etkin alanı ( $A_e$ ) toplam enkesit alanından ( $A$ ) etkin olmayan alanlar çıkarılarak elde edilir,

$$A_e = A - t \times \left[ 2 \times (w_{\text{başlık}} - b_{e,\text{başlık}}) + (w_{\text{gövde}} - b_{e,\text{gövde}}) \right]$$

$$\rightarrow A_e = 1504,686 - 3 \times \left[ 2 \times (98 - 48,1817) + (282 - 145,72) \right] = 796,939 \text{ mm}^2$$

Buradan profilin tasarım aksenal basınç kuvveti  $(\phi_c P_n)_{f=F_y}$ , Denklem (5.1) kullanılarak hesaplanabilir,

$$(\phi_c P_n)_{f=F_y} = 0,85 F_y A_e = 0,85 \times 796,939 \times 235 \times 10^{-3} = 159,189 \text{ kN}$$

Tablo 5.2'nin ikinci sütunundan, U300×107×3 profili için ilgili değer 159 kN olarak okunabilir.

İkinci olarak, gövdenin tamamen etkin çalıştığı durum için, profilin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı  $(\phi_c P_n)_{f=f_{\text{gövde}}}$  hesaplanacaktır. Gövdenin tamamen etkin çalıştığı en büyük gerilme  $f=f_{\text{gövde}}=37,619 \text{ MPa}$  olup, bu durumda yalnız başlıkların etkin genişliklerinin hesaplanması gerekmektedir.  $f=F_y$  durumu için hesaplanan  $F_{cr1,\text{başlık}}$  değerinin 73,93 MPa'a eşit olduğu göz önünde bulundurularak, başlıkların etkin genişlikleri  $f=F_y$  durumunda detaylıca anlatıldığı gibi hesaplanabilir.

$$\lambda_{\text{başlık}} = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{crl,başlık}}}} = \sqrt{\frac{37,619}{73,93}} = 0,713 > 0,673$$

$$\rightarrow \rho_{\text{başlık}} = \frac{1 - 0,22 / \lambda}{\lambda} = \frac{1 - 0,22 / 0,7133}{0,7133} = 0,9695$$

$$\rightarrow b_{e,\text{başlık}} = w_{\text{başlık}} \times \rho_{\text{başlık}} = 98 \times 0,9695 = 95,011 \text{ mm}$$

Daha önce de belirlendiği gibi, gövdenin tamamen etkin olduğu en büyük  $f_{\text{gövde}}$  gerilmesinde başlıklar tamamen etkin çalışmamaktadır. Bu durumda, profilin tasarım dayanımı  $((\phi_c P_n)_{f=f_{\text{gövde}}})$  etkin alan ( $A_e$ ) hesaplanarak ve Denklem (5.2) kullanılarak belirlenmelidir;

$$A_e = 1504,686 - 2 \times 3 \times (98 - 95,011) = 1486,752 \text{ mm}^2$$

$$(\phi_c P_n)_{f=f_{\text{gövde}}} = 0,85 f_{\text{gövde}} A_e = 0,85 \times 37,619 \times 1486,752 \times 10^{-3} = 47,541 \text{ kN}$$

Tablo 5.2'nin üçüncü sütunundan, U300×107×3 profili için ilgili değer 47,5 kN olarak okunabilir.

Son olarak, başlıkların tamamen etkin çalıştığı durum için, profilin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı  $(\phi_c P_n)_{f=f_{\text{başlık}}}$  hesaplanacaktır. Başlıkların tamamen etkin çalıştığı en büyük gerilme  $f=f_{\text{başlık}}=33,485 \text{ MPa}$  olup, bu durumda hem başlıklar hem de gövde tamamen etkin olduklarından etkin alanı hesabı gerekmemektedir. Başlıkların tamamen etkin olduğu durumda, gövdenin de tamamen etkin çalıştığı gövde için narinlik katsayısı hesaplanarak ispatlanabilir,

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{crl(gövde)}}}} = \sqrt{\frac{33,485}{83,057}} = 0,635 < 0,673$$

Denklem (5.3)'te etkin alan yerine toplam alan kullanılarak,  $(\phi_c P_n)_{f=f_{\text{başlık}}}$  hesaplanabilir,

$$(\phi_c P_n)_{f=f_{\text{başlık}}} = 0,85 f_{\text{başlık}} A = 0,85 \times 33,485 \times 1504,686 \times 10^{-3} = 42,827 \text{ kN}$$

Tablo 5.2'nin son sütunundan, U300×107×3 profili için ilgili değer 42,8 kN olarak okunabilir.



## 5.2. Profililerin Genel Burkulmaların Engellenmediği Durumlarda Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımları

İncelenen profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları ( $\phi_c P_n$ ), profillerin genel burkulmalarının engellenmediği 5 farklı mesnet/destek koşulu ve farklı burkulma boyları için ayrı ayrı hesaplanarak ÜF1 firmasına ait profiller için Tablo 5.4'te, ÜF2 firmasına ait profiller için Tablo 5.5'te ve ÜF3 firmasına ait profiller için ise Tablo 5.6'da sunulmuştur. Tablolarda verilen tasarım dayanımları incelenen her profil için 6 farklı  $K_x L_x$  (kuvvetli ekseninde eğilmeli burkulma boyu) değeri için hesaplanmıştır. Örnek olarak, Tablo 5.4'te ÜF1 firmasına ait U100x53x1,5 profil için listelenen dayanım değerleri sırasıyla, 0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m, 3,0m ve 4,0m'lik  $K_x L_x$  değerlerine karşılık gelmektedir. İncelenen her profilin dayanımı hesaplanırken kullanılan ilk  $K_x L_x$  değeri, profilin x eksenini etrafındaki eğilmeli burkulmadaki narinliği ( $K_x L_x / i_x$ ) yaklaşık 20'ye eşit olacak şekilde son  $K_x L_x$  değeri ise ( $K_x L_x / i_x$ ) narinliği yaklaşık 100'e eşit olacak şekilde seçilmiştir. Profillerin tasarım dayanımları, ilgili profil için belirlenen her  $K_x L_x$  değeri için, 5 farklı  $K_y L_y$  (zayıf ekseninde eğilmeli burkulma boyu) değeri dikkate alınarak hesaplanmış ve tabloların son beş sütununda listelenmiştir. Tasarım dayanımları hesaplanırken profillerin burulmalı burkulma boylarının zayıf ekseninde eğilmeli burkulma boylarına eşit olduğu ( $K_t L_t = K_y L_y$ ) kabul edilmiştir. Tabloların üçüncü sütununda listelenen dayanım değerleri,  $K_y L_y = 0$  kabulüyle hesaplanmıştır. Bu durum, profilin zayıf ekseninde eğilmeli burkulma ve/veya burulmalı burkulmasının tamamen engellendiği durumlara karşılık gelmektedir. Tabloların son sütununda listelenen dayanım değerleri,  $K_y L_y = K_x L_x$  olduğu kabul edilerek hesaplanmıştır.  $K_y L_y = K_x L_x$  olduğu durum, çoğu zaman her iki eğilme düzleminde aynı mesnet koşullarına sahip ara destek içermeyen basınç elemanlarında gözlenir. Profillerde gözlenebilecek farklı mesnet ve destek koşullarını dikkate almak amacıyla, profillerin tasarım dayanımları  $K_y L_y$ 'nin  $K_x L_x$ 'in 1/4'üne, 1/3'üne ve 1/2'sine eşit olduğu durumlar için de hesaplanarak tabloların sırasıyla dördüncü, beşinci ve altıncı sütunlarında sunulmuştur.

Tablo 5.4. ÜF1'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF1 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U100x53x1,5	0,5	40,1	40,0	40,0	39,7	38,3
	1,0	39,5	39,2	38,9	38,0	33,0
	1,5	38,5	37,9	37,3	35,3	26,3
	2,0	37,1	36,2	35,1	32,0	19,2
	3,0	33,5	31,6	29,7	24,4	11,3
	4,0	28,9	26,1	23,5	16,5	
U100x54x2,0	0,5	64,2	64,1	63,9	63,5	61,1
	1,0	63,1	62,7	62,2	60,6	52,3
	1,5	61,4	60,5	59,5	56,2	40,8
	2,0	59,1	57,5	55,8	50,2	30,9
	3,0	52,5	48,9	45,6	37,1	19,2
	4,0	43,8	38,8	34,8	25,9	
U100x55x2,5	0,5	88,1	87,9	87,7	87,0	83,2
	1,0	86,4	85,6	84,9	82,4	70,5
	1,5	83,6	82,0	80,4	75,5	56,7
	2,0	79,8	77,3	74,7	67,5	45,3
	3,0	70,0	65,3	61,2	51,2	25,4
	4,0	58,1	51,8	47,0	36,3	
U100x56x3,0	0,5	111	111	111	110	105
	1,0	109	108	107	104	90,2
	1,5	106	104	102	95,8	74,5
	2,0	101	97,6	94,6	86,2	60,5
	3,0	88,2	82,4	77,7	65,8	31,6
	4,0	72,9	64,2	58,5	47,7	
U120x63x1,5	1,0	41,2	41,0	40,8	40,1	36,4
	1,5	40,5	40,1	39,6	38,2	30,9
	2,0	39,5	38,8	38,1	35,6	24,8
	3,0	36,9	35,5	34,0	29,4	15,0
	4,0	33,5	31,2	29,0	22,8	10,3
	5,0	29,5	26,5	23,7	17,0	
U120x64x2,0	1,0	67,0	66,7	66,3	65,2	59,1
	1,5	65,8	65,1	64,4	62,0	50,3
	2,0	64,2	63,0	61,8	57,8	40,5
	3,0	59,7	57,3	54,9	47,7	24,5
	4,0	53,9	50,2	46,6	36,2	17,6
	5,0	47,2	42,0	37,0	26,3	
U120x65x2,5	1,0	96,5	96,0	95,5	93,8	84,7
	1,5	94,7	93,6	92,5	89,0	70,5
	2,0	92,2	90,4	88,6	82,3	56,9
	3,0	85,3	81,2	77,1	66,0	36,9
	4,0	75,2	69,0	63,6	50,4	24,1
	5,0	63,9	56,2	50,2	37,6	

Tablo 5.4. (Devam) ÜF1'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF1 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U120x66x3,0	1,0	125	124	123	121	108
	1,5	122	120	119	114	91,0
	2,0	118	116	113	105	75,5
	3,0	108	103	97,9	85,0	51,6
	4,0	95,1	87,5	81,1	66,4	29,8
	5,0	80,7	71,3	64,4	49,4	
U150x53x1,5	1,0	41,9	41,8	41,6	40,9	37,1
	2,0	40,7	40,2	39,4	36,8	25,8
	3,0	38,8	37,7	36,1	31,2	15,2
	4,0	36,3	34,5	32,0	25,0	
	5,0	33,3	30,8	27,5	19,4	
	6,0	29,9	26,8	23,0	15,2	
U150x54x2,0	1,0	68,7	68,5	68,1	67,0	60,9
	2,0	66,7	65,8	64,6	60,4	42,4
	3,0	63,5	61,7	59,1	51,4	22,3
	4,0	59,2	56,3	52,4	41,8	
	5,0	54,1	50,1	45,1	31,6	
	6,0	48,3	43,4	37,8	22,3	
U150x55x2,5	1,0	99,8	99,5	99,0	97,2	88,5
	2,0	96,8	95,5	93,6	87,7	61,0
	3,0	91,9	89,2	85,6	75,0	29,0
	4,0	85,4	81,2	75,9	61,0	
	5,0	77,6	71,9	65,4	41,7	
	6,0	68,9	61,9	53,7	29,0	
U150x56x3,0	1,0	134	134	133	130	119
	2,0	130	128	125	118	76,0
	3,0	123	119	114	99,7	36,0
	4,0	114	108	100	76,0	
	5,0	102	93,1	83,5	51,9	
	6,0	87,2	76,6	67,3	36,0	
U200x54x2,0	1,5	70,7	70,2	69,3	66,6	53,4
	2,0	70,0	69,2	67,6	62,9	42,3
	3,0	68,0	66,3	62,9	53,4	23,4
	4,0	65,3	62,5	56,9	42,3	
	6,0	58,1	53,0	42,3	23,4	
	6,0	64,4	56,5	49,3	34,7	
U200x55x2,5	1,5	104	103	102	97,9	78,5
	2,0	103	102	99,4	92,6	61,9
	3,0	99,8	97,4	92,6	78,5	31,3
	4,0	95,7	91,7	83,6	61,9	
	6,0	84,8	77,7	61,9	31,3	
	8,0	71,3	61,9	39,6		

Tablo 5.4. (Devam) ÜF1'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF1 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U200x56x3,0	1,5	141	140	139	133	107
	2,0	140	138	135	126	81,9
	3,0	135	132	126	107	39,0
	4,0	130	124	114	81,9	
	6,0	114	105	81,9	39,0	
	8,0	94,5	81,9	49,4		
U200x69x2,0	1,5	72,0	71,7	71,2	69,7	61,6
	2,0	71,4	70,8	70,0	67,3	54,4
	3,0	69,5	68,4	66,6	61,1	38,1
	4,0	67,0	65,0	62,2	53,6	25,5
	6,0	60,2	56,5	51,3	37,7	
	8,0	51,8	46,4	39,5	25,5	
U200x70x2,5	1,5	106	106	105	103	91,1
	2,0	105	105	103	99,4	80,8
	3,0	103	101	98,3	90,3	55,8
	4,0	98,7	95,9	91,7	79,4	34,7
	6,0	88,5	83,0	75,8	55,8	
	8,0	75,7	67,9	58,7	34,7	
U200x71x3,0	1,5	145	145	144	141	125
	2,0	144	143	141	136	111
	3,0	140	138	134	123	75,5
	4,0	135	131	125	109	42,8
	6,0	120	113	103	75,5	
	8,0	102	91,7	80,3	42,8	
U220x94x2,0	1,5	73,9	73,7	73,4	72,4	67,1
	2,0	73,4	73,0	72,5	70,8	61,9
	3,0	72,0	71,1	70,0	66,4	49,5
	5,0	67,5	65,3	62,7	54,3	28,5
	7,0	61,3	57,6	53,2	40,6	
	9,0	53,9	48,6	42,8	30,1	
U220x95x2,5	1,5	110	110	109	108	99,8
	2,0	109	109	108	105	92,1
	3,0	107	106	104	98,8	74,1
	5,0	100	97,0	93,1	80,9	43,3
	7,0	90,8	85,3	78,9	61,0	
	9,0	79,5	71,7	63,4	45,1	
U220x96x3,0	1,5	152	151	150	148	137
	2,0	150	150	149	145	127
	3,0	147	146	143	136	103
	5,0	138	133	128	111	59,8
	7,0	124	117	108	84,7	
	9,0	108	97,7	86,8	61,4	

Tablo 5.4. (Devam) ÜF1'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF1 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U250x79x2,0	2,0	73,7	73,3	72,7	70,6	60,2
	3,0	72,5	71,6	70,3	65,9	45,8
	4,0	70,8	69,3	67,0	59,9	32,1
	6,0	66,2	63,2	58,7	45,8	
	8,0	60,2	55,6	48,9	32,1	
	10	53,3	47,2	38,9		
U250x80x2,5	2,0	110	109	108	105	89,8
	3,0	108	107	105	98,2	68,2
	4,0	105	103	99,8	89,4	47,2
	6,0	98,4	94,0	87,4	68,2	
	8,0	89,3	82,6	73,1	47,2	
	10	78,8	70,0	58,4		
U250x81x3,0	2,0	151	151	149	145	124
	3,0	149	147	144	135	93,8
	4,0	145	142	137	124	64,0
	6,0	135	129	121	93,8	
	8,0	123	113	101	64,0	
	10	108	95,8	81,2		
U250x83x4,0	2,0	248	247	245	238	203
	3,0	244	241	236	222	152
	4,0	237	232	225	203	92,1
	6,0	220	211	197	152	
	8,0	198	184	166	92,1	
	10	172	154	132		
U300x100x2,0	2,0	75,6	75,4	75,0	73,6	66,6
	4,0	73,6	72,6	71,1	66,2	45,2
	6,0	70,4	68,3	65,2	55,7	27,6
	8,0	66,1	62,8	57,8	44,1	
	10	61,0	56,3	49,6	34,0	
	12	55,3	49,3	41,2	27,5	
U300x100x2,5	2,0	113	113	112	110	99,7
	4,0	110	109	106	99,1	67,4
	6,0	105	102	97,5	83,4	39,9
	8,0	98,8	93,8	86,4	66,2	
	10	91,1	84,0	74,2	50,9	
	12	82,3	73,4	61,7	39,9	
U300x100x3,0	2,0	157	157	156	153	138
	4,0	153	151	148	137	92,1
	6,0	146	142	135	116	53,1
	8,0	137	130	120	92,1	
	10	126	116	103	68,7	
	12	113	101	85,5	53,1	
U300x100x4,0	2,0	261	260	258	254	229
	4,0	253	250	244	227	147
	6,0	241	234	223	191	72,5
	8,0	225	214	197	147	
	10	206	190	170	104	
	12	185	165	142	72,5	

Tablo 5.5. ÜF2'ye ait U Profililerin tasarım aksel basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U100x54x1,0	0,5	20,2	20,2	20,2	20,0	19,4
	1,0	19,9	19,8	19,7	19,2	16,8
	1,5	19,5	19,2	18,9	17,9	13,3
	2,0	18,8	18,3	17,8	16,2	9,76
	3,0	17,0	16,1	15,2	12,4	5,78
	4,0	14,9	13,4	12,1	8,76	
U100x54x1,2	0,5	27,6	27,5	27,5	27,3	26,4
	1,0	27,2	27,0	26,8	26,2	22,8
	1,5	26,5	26,1	25,7	24,4	18,1
	2,0	25,6	25,0	24,3	22,1	13,4
	3,0	23,2	21,9	20,6	16,9	7,76
	4,0	20,1	18,2	16,4	11,9	
U100x55x1,5	0,5	40,2	40,1	40,1	39,8	38,4
	1,0	39,6	39,3	39,0	38,1	33,3
	1,5	38,6	38,0	37,4	35,5	26,6
	2,0	37,2	36,3	35,3	32,2	19,5
	3,0	33,6	31,7	29,8	24,6	11,4
	4,0	29,1	26,2	23,6	16,7	
U100x55x2,0	0,5	64,3	64,2	64,0	63,6	61,3
	1,0	63,2	62,8	62,3	60,8	52,5
	1,5	61,6	60,6	59,6	56,4	41,0
	2,0	59,3	57,6	56,0	50,4	31,1
	3,0	52,7	49,1	45,8	37,2	19,3
	4,0	44,0	39,0	34,9	26,0	
U100x56x2,5	0,5	88,3	88,1	87,9	87,2	83,5
	1,0	86,6	85,9	85,1	82,6	70,8
	1,5	83,8	82,3	80,7	75,8	57,0
	2,0	80,1	77,5	75,0	67,8	45,4
	3,0	70,3	65,5	61,5	51,4	26,7
	4,0	58,5	52,1	47,3	36,6	
U100x57x3,0	0,5	112	112	111	110	106
	1,0	110	109	108	105	90,6
	1,5	106	104	102	96,3	74,8
	2,0	101	98,0	95,0	86,6	60,9
	3,0	88,7	82,8	78,1	66,4	33,2
	4,0	73,5	65,0	59,0	47,9	
U150x49x1,0	1,0	20,6	20,6	20,5	20,1	18,0
	2,0	20,1	19,8	19,3	17,9	11,8
	3,0	19,1	18,5	17,6	14,9	8,85
	4,0	17,9	16,9	15,5	11,6	
	5,0	16,4	15,1	13,2	8,84	
	6,0	14,7	13,1	10,8		

Tablo 5.5. (Devam) ÜF2'ye ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U150x49x1,2	1,0	28,3	28,2	28,1	27,5	24,7
	2,0	27,5	27,1	26,5	24,6	16,1
	3,0	26,2	25,4	24,2	20,5	12,0
	4,0	24,5	23,2	21,3	16,0	
	5,0	22,5	20,6	18,1	12,0	
	6,0	20,2	17,9	14,9		
U150x50x1,5	1,0	41,8	41,6	41,4	40,6	36,6
	2,0	40,6	40,0	39,1	36,3	24,0
	3,0	38,6	37,4	35,7	30,4	13,6
	4,0	36,1	34,2	31,5	24,0	
	5,0	33,0	30,4	26,9	17,7	
	6,0	29,6	26,4	22,2	13,6	
U150x50x2,0	1,0	68,2	68,0	67,6	66,2	59,6
	2,0	66,2	65,2	63,8	59,2	37,8
	3,0	62,9	60,9	58,0	49,5	18,0
	4,0	58,5	55,4	51,1	37,8	
	5,0	53,3	49,1	43,7	25,9	
	6,0	47,5	42,4	36,4	18,0	
U150x51x2,5	1,0	98,9	98,5	97,9	96,0	86,3
	2,0	95,8	94,4	92,3	85,8	52,1
	3,0	90,8	88,0	83,9	71,4	23,4
	4,0	84,2	79,8	74,0	52,1	
	5,0	76,2	70,4	63,4	33,8	
	6,0	67,3	60,1	50,9	23,4	
U150x52x3,0	1,0	132	132	131	128	115
	2,0	128	126	123	115	64,6
	3,0	121	117	112	91,9	29,3
	4,0	112	106	96,5	64,6	
	5,0	98,7	89,3	79,7	42,1	
	6,0	83,4	73,3	64,5	29,3	
U200x55x1,5	1,5	42,8	42,5	42,1	40,5	33,1
	2,0	42,4	41,9	41,1	38,5	26,8
	3,0	41,2	40,3	38,5	33,1	16,0
	4,0	39,6	38,0	35,0	26,8	
	6,0	35,4	32,4	26,8	16,0	
	8,0	30,3	25,9	18,8		
U200x55x2,0	1,0	71,3	71,1	70,8	69,6	63,4
	2,0	70,1	69,4	67,9	63,4	43,4
	3,0	68,1	66,5	63,4	54,2	24,4
	4,0	65,4	62,8	57,6	43,4	
	6,0	58,3	53,3	43,4	24,4	
	8,0	49,5	42,7	29,6		

Tablo 5.5. (Devam) ÜF2'ye ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U200x56x2,5	1,0	105	105	104	102	93,28
	2,0	103	102	99,9	93,3	63,6
	3,0	100	97,7	93,3	79,8	32,9
	4,0	96,0	92,1	84,7	63,6	
	6,0	85,1	78,2	63,6	32,9	
	8,0	71,7	62,5	41,4		
U200x57x3,0	1,0	143	142	142	139	127
	2,0	140	139	136	127	84,7
	3,0	136	133	127	108	41,0
	4,0	130	125	115	84,7	
	6,0	115	106	84,7	41,0	
	8,0	95,4	83,0	51,9		
U200x71x1,5	1,5	43,4	43,2	42,9	42,0	37,4
	2,0	43,0	42,7	42,2	40,7	33,1
	3,0	41,9	41,2	40,2	37,0	23,7
	4,0	40,4	39,3	37,6	32,6	16,9
	6,0	36,5	34,3	31,2	22,9	
	8,0	31,6	28,3	24,1	16,2	
U200x72x2,0	1,5	72,2	71,9	71,5	70,0	62,3
	2,0	71,6	71,0	70,3	67,7	55,4
	3,0	69,7	68,6	67,0	61,7	40,5
	4,0	67,2	65,4	62,7	54,5	27,6
	6,0	60,6	56,9	52,0	38,8	
	8,0	52,2	46,9	40,4	27,6	
U200x72x2,5	1,5	107	106	106	103	91,9
	2,0	106	105	104	99,9	81,8
	3,0	103	101	98,7	91,0	58,7
	4,0	99,0	96,2	92,3	80,3	37,5
	6,0	88,9	83,5	76,5	58,1	
	8,0	76,2	68,4	59,4	37,5	
U200x73x3,0	1,5	146	145	144	141	126
	2,0	144	143	142	137	112
	3,0	140	138	135	124	79,4
	4,0	135	131	126	110	46,2
	6,0	121	113	104	79,4	
	8,0	103	92,5	81,3	46,2	
U200x105x2,0	1,5	73,5	73,3	73,0	72,1	66,8
	2,0	73,0	72,5	72,0	70,4	61,5
	3,0	71,3	70,3	69,3	65,8	49,1
	4,0	69,0	67,4	65,6	59,9	36,4
	6,0	62,9	59,6	56,2	46,1	22,4
	8,0	55,2	50,2	45,3	33,1	



Tablo 5.5. (Devam) ÜF2'ye ait U Profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U200x107x3,0	1,5	150	150	149	147	136
	2,0	149	148	147	144	126
	3,0	146	143	141	134	101
	4,0	141	137	133	122	75,7
	6,0	128	121	114	93,9	45,0
	8,0	111	101	90,8	65,4	
U200x108x4,0	1,5	245	244	243	239	221
	2,0	243	241	239	233	204
	3,0	236	233	229	217	161
	4,0	228	222	216	197	122
	6,0	205	193	180	146	77,5
	8,0	173	154	138	103	
U200x110x5,0	1,5	345	344	342	336	306
	2,0	341	338	335	325	279
	3,0	330	324	318	299	225
	4,0	316	306	296	267	180
	6,0	278	259	243	203	103
	8,0	232	206	188	147	
U250x80x2,0	2,0	73,8	73,4	72,8	70,7	60,7
	3,0	72,5	71,7	70,4	66,1	46,6
	4,0	70,9	69,4	67,1	60,2	32,8
	6,0	66,3	63,4	58,9	46,5	
	8,0	60,3	55,8	49,2	32,8	
	10	53,4	47,4	39,2		
U250x81x2,5	2,0	110	109	108	105	90,4
	3,0	108	107	105	98,5	69,3
	4,0	105	103	100,0	89,8	48,3
	6,0	98,5	94,2	87,7	69,3	
	8,0	89,5	82,8	73,5	48,3	
	10	79,0	70,2	58,9		
U250x82x3,0	2,00	151	151	149	145	125
	3,0	149	147	144	136	95,4
	4,0	145	142	138	124	65,6
	6,0	135	130	121	95,4	
	8,0	123	114	102	65,6	
	10	108	96,2	81,8		
U250x83x4,0	2,0	248,08	246,75	244,62	238	203
	3,0	244	241	236	222	152
	4,0	237	232	225	203	92,1
	6,0	220	211	197	152	
	8,0	198	184	166	92,1	
	10	172	154	132		

Tablo 5.5. (Devam) ÜF2'ye ait U Profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U250x85x5,0	2,0	358	356	353	343	291
	3,0	351	347	340	320	202
	4,0	341	334	324	291	121
	6,0	315	301	284	202	
	8,0	281	257	229	121	
	10	232	204	172	77,4	
U300x105x2,0	2,0	75,7	75,5	75,1	73,9	67,3
	4,0	73,8	72,9	71,5	66,9	46,8
	6,0	70,6	68,6	65,7	56,8	29,6
	8,0	66,4	63,2	58,6	45,5	
	10	61,3	56,8	50,6	35,3	
	12	55,6	49,9	42,3	28,5	
U300x106x2,5	2,0	114	113	113	111	101
	4,0	111	109	107	100	70,8
	6,0	106	103	98,6	85,5	44,1
	8,0	99,4	94,6	87,9	68,8	
	10	91,7	85,0	75,9	53,5	
	12	83,1	74,5	63,6	43,3	
U300x107x3,0	2,0	158	157	157	154	140
	4,0	154	152	149	139	99,2
	6,0	147	143	137	119	60,2
	8,0	138	131	122	96,3	
	10	127	118	105	75,2	
	12	115	103	88,6	60,2	
U300x108x4,0	2,0	263	262	261	256	233
	4,0	255	252	247	232	165
	6,0	244	237	227	198	89,9
	8,0	228	217	202	162	
	10	209	194	175	124	
	12	188	169	147	89,9	
U300x110x5,0	2,0	386	385	383	376	343
	4,0	375	370	363	340	239
	6,0	357	346	332	292	117
	8,0	332	316	296	239	
	10	303	281	256	168	
	12	270	244	214	117	
U400x105x2,0	3,0	76,5	76,0	75,0	72,1	58,4
	5,0	74,9	73,6	71,0	63,6	36,0
	7,0	72,6	70,1	65,3	52,7	
	9,0	69,6	65,8	58,4	40,9	
	12	64,1	58,0	46,8	28,8	
	15	57,6	49,4	36,0		

Tablo 5.5. (Devam) ÜF2'ye ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF2 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y = 0$	$K_y L_y = K_x L_x / 4$	$K_y L_y = K_x L_x / 3$	$K_y L_y = K_x L_x / 2$	$K_y L_y = K_x L_x$
U400x106x2,5	3,0	115	114	113	109	88,1
	5,0	113	111	107	96,0	54,2
	7,0	109	106	98,5	79,6	
	9,0	105	99,1	88,1	61,7	
	9,0	105	99,1	88,1	61,7	
	15	86,5	74,6	54,2		
U400x107x3,0	3,0	161	160	158	152	123
	5,0	157	155	149	134	75,3
	7,0	152	147	138	111	
	9,0	146	138	123	86,1	
	12	134	122	98,8	59,2	
	15	120	104	75,3		
U400x108x4,0	3,0	270	268	265	255	206
	5,0	264	260	251	225	123
	7,0	256	247	231	185	
	9,0	245	232	206	142	
	12	224	204	164	92,7	
	15	200	174	123		
U400x110x5,0	3,0	401	398	394	379	306
	5,0	392	385	372	334	175
	9,0	153	139	121	83	
	9,0	362	343	306	208	
	12	330	303	242	126	
	15	293	258	175		
U500x106x2,5	4,0	116	114	111	103	68,0
	6,0	114	109	103	86,6	
	9,0	110	99,1	86,6	59,0	
	12	104	86,6	68,0		
	15	96,4	72,8	51,9		
	18	88,3	59,0			
U500x107x3,0	4,0	162	159	155	144	95,4
	6,0	159	153	144	121	
	9,0	153	139	121	82,6	
	12	145	121	95,4		
	15	135	102	72,4		
	18	123	82,6			
U500x108x4,0	4,0	274	269	262	243	159
	6,0	269	258	243	204	
	9,0	258	234	204	137	
	12	244	204	159		
	15	226	171	119		
	18	206	137			
U500x110x5,0	4,0	409	402	391	363	238
	6,0	402	385	363	305	
	9,0	385	350	305	201	
	12	363	305	238		
	15	336	255	170		
	18	305	201			

Tablo 5.6. ÜF3'e ait U Profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U100x52x1,0	0,5	18,5	18,5	18,4	18,3	17,7
	1,0	18,2	18,1	18,0	17,6	15,4
	1,5	17,8	17,6	17,3	16,4	12,2
	2,0	17,2	16,8	16,4	14,9	9,07
	3,0	15,7	14,9	14,0	11,5	5,58
	4,0	13,8	12,5	11,3	8,24	
U100x52x1,2	0,5	25,5	25,5	25,5	25,3	24,4
	1,0	25,2	25,0	24,9	24,3	21,2
	1,5	24,6	24,3	23,9	22,7	16,9
	2,0	23,8	23,2	22,6	20,6	12,6
	3,0	21,7	20,5	19,3	15,8	7,54
	4,0	18,9	17,2	15,5	11,4	
U100x53x1,5	0,5	37,8	37,7	37,7	37,4	36,1
	1,0	37,2	37,0	36,7	35,9	31,3
	1,5	36,4	35,8	35,3	33,5	25,2
	2,0	35,1	34,3	33,3	30,4	18,9
	3,0	31,9	30,1	28,4	23,4	11,2
	4,0	27,7	25,1	22,7	16,3	
U100x54x2,0	0,5	61,6	61,5	61,4	61,0	58,8
	1,0	60,7	60,3	59,8	58,3	50,9
	1,5	82,4	80,9	79,3	74,4	55,9
	2,0	57,0	55,5	54,0	49,2	30,5
	3,0	51,3	48,4	45,1	36,6	19,4
	4,0	43,4	38,5	34,5	25,7	
U100x54x2,5	0,5	86,8	86,6	86,4	85,7	81,9
	1,0	85,1	84,4	83,6	81,1	69,4
	1,5	82,4	80,9	79,3	74,4	55,9
	2,0	78,7	76,2	73,7	66,5	44,8
	3,0	69,1	64,5	60,5	50,6	24,5
	4,0	57,6	51,4	46,7	36,6	
U120x67x1,2	1,0	26,1	26,0	25,8	25,4	23,3
	1,5	25,7	25,4	25,2	24,3	20,0
	2,0	25,1	24,7	24,3	22,8	16,3
	3,0	23,6	22,7	21,9	19,1	10,2
	4,0	21,6	20,2	18,9	15,0	7,13
	5,0	19,3	17,4	15,6	11,4	
U120x68x1,5	1,0	38,9	38,7	38,5	38,0	34,7
	1,5	38,3	37,9	37,5	36,3	29,9
	2,0	37,4	36,8	36,1	34,0	24,4
	3,0	35,1	33,8	32,5	28,5	15,2
	4,0	32,1	30,0	28,0	22,4	10,4
	5,0	28,6	25,7	23,1	17,0	

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U120x69x2,0	1,0	64,4	64,1	63,8	62,8	57,4
	1,5	63,4	62,7	62,1	59,9	49,4
	2,0	61,9	60,8	59,7	56,1	40,6
	3,0	57,9	55,7	53,4	46,9	24,7
	4,0	52,7	49,1	45,8	36,4	17,6
	5,0	46,5	41,7	37,2	26,5	
U120x69x2,5	1,0	93,9	93,5	93,0	91,5	83,3
	1,5	92,3	91,3	90,3	87,1	70,6
	2,0	90,0	88,4	86,7	81,4	57,1
	3,0	83,8	80,4	77,0	66,1	36,8
	4,0	75,3	69,1	63,7	50,6	27,2
	5,0	64,4	56,6	50,5	37,7	
U120x70x3,0	1,0	124	124	123	120	108
	1,5	122	120	119	113	91,5
	2,0	118	115	113	105	75,8
	3,0	108	103	98,2	85,4	52,3
	4,0	95,7	88,0	81,6	66,8	35,3
	5,0	81,8	72,2	65,2	50,9	
U140x57x1,0	1,0	18,9	18,8	18,8	18,5	16,9
	1,5	18,7	18,5	18,4	17,7	14,6
	2,0	18,4	18,1	17,8	16,8	11,9
	3,0	17,5	17,0	16,3	14,3	7,59
	4,0	16,3	15,5	14,5	11,5	
	6,0	13,4	12,0	10,3	7,18	
U140x58x1,5	1,0	39,3	39,2	39,0	38,4	35,2
	1,5	38,8	38,6	38,2	36,9	30,5
	2,0	38,2	37,7	37,0	34,8	25,2
	3,0	36,3	35,3	33,9	29,8	16,3
	4,0	33,8	32,1	30,1	24,1	
	6,0	27,6	24,7	21,4	15,1	
U140x59x2,0	1,0	65,5	65,2	64,9	63,9	58,6
	1,5	64,6	64,1	63,5	61,3	50,9
	2,0	63,4	62,6	61,5	57,9	42,5
	3,0	60,2	58,4	56,3	49,5	27,2
	4,0	55,9	53,1	49,8	40,4	
	6,0	45,1	40,2	35,4	24,7	
U140x59x2,5	1,0	95,9	95,5	95,1	93,5	85,5
	1,5	94,6	93,8	92,9	89,6	74,4
	2,0	92,8	91,5	89,8	84,5	62,8
	3,0	87,8	85,1	81,9	72,3	34,7
	4,0	81,2	76,9	72,2	58,9	
	6,0	64,4	56,5	49,3	34,7	

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U140x60x3,0	1,0	130	129	128	126	115
	1,5	128	127	125	121	99,3
	2,0	125	123	121	114	83,1
	3,0	118	114	110	95,7	43,1
	4,0	108	102	94,6	77,4	
	6,0	81,3	71,5	63,0	43,1	
U150x78x1,5	1,0	40,2	40,0	39,9	39,5	37,2
	1,5	39,8	39,5	39,3	38,4	33,6
	2,0	39,2	38,8	38,3	36,8	29,2
	3,0	37,7	36,8	35,8	32,7	20,0
	4,0	35,6	34,1	32,6	27,8	14,3
	6,0	30,3	27,6	24,9	18,2	
U150x79x2,0	1,0	67,4	67,2	67,0	66,3	62,4
	1,5	66,7	66,3	65,8	64,3	56,3
	2,0	65,7	65,0	64,2	61,6	49,0
	3,0	63,0	61,5	59,9	54,7	34,0
	4,0	59,5	57,0	54,3	46,5	23,6
	6,0	50,2	45,6	41,2	30,5	
U150x79x2,5	1,0	99,6	99,3	99,0	97,9	92,0
	1,5	98,6	97,9	97,2	94,9	82,9
	2,0	97,1	96,0	94,8	90,8	72,3
	3,0	92,9	90,6	88,1	80,4	49,9
	4,0	87,4	83,6	79,7	68,4	34,9
	6,0	73,1	66,2	59,9	42,9	
U150x80x3,0	1,0	136	136	135	134	125
	1,5	134	134	133	129	113
	2,0	132	131	129	124	97,8
	3,0	126	123	120	109	68,1
	4,0	119	113	108	91,1	49,2
	6,0	97,0	86,1	77,1	57,5	
U160x90x1,5	1,0	40,6	40,5	40,4	40,1	38,2
	2,0	39,8	39,4	39,0	37,8	31,2
	3,0	38,5	37,7	36,8	34,2	22,5
	4,0	36,7	35,3	34,0	29,8	16,1
	5,0	34,5	32,6	30,7	25,1	12,4
	7,0	29,2	26,1	23,2	17,0	
U160x91x2,0	1,0	68,4	68,2	68,1	67,5	64,2
	2,0	67,0	66,4	65,7	63,5	52,4
	3,0	64,7	63,3	61,9	57,4	38,2
	4,0	61,6	59,3	57,0	50,0	27,0
	5,0	57,7	54,5	51,3	42,0	20,0
	7,0	48,6	43,3	38,6	28,2	

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U160x91x2,5	1,0	102	101	101	100	95,3
	2,0	99,5	98,5	97,5	94,1	77,6
	3,0	95,9	93,8	91,7	84,9	57,0
	4,0	91,1	87,6	84,1	73,9	39,0
	5,0	85,2	80,2	75,4	62,0	29,8
	6,0	80,2	75,4	70,6	57,2	24,9
	7,0	71,0	63,1	56,2	39,6	16,7
U160x92x3,0	1,0	139	139	139	137	130
	2,0	136	135	133	129	106
	3,0	131	128	125	116	76,4
	4,0	124	119	115	101	53,8
	5,0	116	109	102	82,6	42,1
	6,0	109	102	95,3	72,6	31,4
	7,0	95,3	82,6	72,6	52,9	21,7
U160x93x3,5	1,0	181	180	180	178	169
	2,0	177	175	173	167	134
	3,0	170	166	162	148	98,1
	4,0	160	153	146	126	71,7
	5,0	147	137	127	104	57,0
	6,0	137	127	117	90,2	42,3
	7,0	117	102	90,2	68,0	27,6
U160x94x4,0	1,0	222	222	221	218	205
	2,0	216	213	210	201	162
	3,0	206	200	194	178	122
	4,0	192	183	174	152	92,8
	5,0	176	163	153	127	73,0
	6,0	163	153	143	117	63,1
	7,0	139	122	109	84,7	42,3
U180x80x1,5	1,5	40,6	40,4	40,2	39,4	35,5
	2,0	40,2	39,9	39,5	38,2	31,7
	3,0	39,0	38,4	37,6	34,9	23,3
	4,0	37,5	36,4	35,1	30,9	16,7
	6,0	33,5	31,3	28,9	21,8	11,8
	7,0	31,3	28,9	26,5	20,1	10,1
	8,0	28,5	25,3	22,0	15,6	7,7
U180x81x2,0	1,5	68,5	68,2	67,8	66,6	59,8
	2,0	67,8	67,3	66,6	64,5	53,6
	3,0	65,8	64,7	63,4	58,9	39,8
	4,0	63,2	61,3	59,1	52,1	28,7
	6,0	56,2	52,5	48,5	37,1	19,6
	7,0	52,5	48,5	44,5	33,1	15,6
	8,0	47,5	42,2	36,7	26,3	11,8
U180x81x2,5	1,5	102	102	101	99,0	88,9
	2,0	101	100	99,2	95,8	79,6
	3,0	97,9	96,2	94,1	87,4	59,8
	4,0	93,8	91,0	87,6	77,2	42,9
	6,0	83,0	77,5	71,5	55,4	29,8
	7,0	77,5	71,5	65,5	49,4	24,9
	8,0	69,6	61,7	54,0	38,0	16,7

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U180x82x3,0	1,5	140	140	139	136	122
	2,0	139	138	136	132	110
	3,0	134	132	129	120	83,6
	4,0	129	125	120	106	59,3
	6,0	113	106	97,6	75,9	
	8,0	94,0	83,2	71,8	51,4	
U180x84x4,0	1,5	227	226	225	220	197
	2,0	225	223	220	213	174
	3,0	217	213	208	192	133
	4,0	207	200	191	167	86,9
	6,0	176	162	149	119	
	8,0	139	121	108	81,5	
U200x90x1,5	1,5	41,1	41,0	40,8	40,2	36,9
	2,0	40,8	40,5	40,2	39,2	33,8
	3,0	39,9	39,3	38,7	36,5	26,3
	4,0	38,6	37,7	36,6	33,0	19,2
	6,0	35,3	33,5	31,3	25,0	
	8,0	31,1	28,3	25,2	18,0	
U200x91x2,0	1,5	69,7	69,5	69,2	68,1	62,6
	2,0	69,1	68,7	68,2	66,4	57,2
	3,0	67,6	66,6	65,5	61,8	44,8
	4,0	65,4	63,9	62,0	56,0	33,0
	6,0	59,6	56,5	52,9	42,5	
	8,0	52,3	47,5	42,5	30,5	
U200x92x2,5	1,5	104	104	104	102	93,7
	2,0	104	103	102	99,4	85,7
	3,0	101	100	98,0	92,4	67,5
	4,0	97,8	95,4	92,6	83,7	50,2
	6,0	88,8	84,1	78,8	63,7	
	8,0	77,5	70,4	63,1	45,9	
U200x93x3,0	1,5	144	144	143	141	129
	1,5	144	144	143	141	129
	3,0	140	138	135	128	94,0
	4,0	135	132	128	115	70,3
	6,0	122	116	108	88,3	
	8,0	106	96,1	86,4	62,1	
U200x94x3,5	1,5	189	188	187	184	169
	2,0	187	186	184	179	155
	3,0	182	180	177	166	124
	4,0	176	172	166	151	91,8
	6,0	159	150	141	115	
	8,0	137	124	111	79,8	



Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U200x94x4,0	1,5	237	236	235	231	211
	2,0	234	233	231	224	193
	3,0	228	225	221	208	152
	4,0	220	214	208	188	116
	6,0	197	186	174	140	
	8,0	167	148	133	99,5	
U220x94x2,0	1,5	70,5	70,3	70,0	69,1	64,1
	2,0	70,0	69,6	69,2	67,6	59,2
	3,0	68,7	67,9	66,9	63,5	47,7
	5,0	64,6	62,6	60,1	52,2	27,8
	7,0	58,8	55,4	51,2	39,3	
	9,0	51,9	47,0	41,4	29,3	
U220x94x2,5	1,5	106	105	105	104	96,0
	2,0	105	105	104	101	88,7
	3,0	103	102	100	95,1	71,6
	5,0	96,7	93,6	89,8	78,2	42,2
	7,0	87,8	82,5	76,4	59,2	
	9,0	77,2	69,7	61,7	44,0	
U220x95x3,0	1,5	147	146	146	144	133
	2,0	146	145	144	140	123
	3,0	143	141	139	132	99,8
	5,0	134	129	124	108	59,0
	7,0	121	114	105	82,6	
	9,0	106	95,6	84,9	60,7	
U220x96x3,5	1,5	192	192	191	188	174
	2,0	191	190	189	184	161
	3,0	187	185	182	173	132
	5,0	175	169	162	142	74,2
	7,0	158	148	137	109	
	9,0	137	124	111	78,2	
U220x97x4,0	1,5	242	242	241	237	219
	2,0	240	239	237	232	203
	3,0	235	232	229	217	167
	5,0	219	212	204	179	88,1
	7,0	197	185	172	135	
	9,0	170	153	135	98,0	
U240x83x1,5	1,5	41,3	41,2	41,0	40,4	37,0
	2,0	41,0	40,8	40,5	39,4	33,8
	3,0	40,2	39,7	39,0	36,7	26,3
	5,0	37,8	36,5	34,8	29,5	15,0
	7,0	34,4	32,2	29,4	21,5	
	9,0	30,3	27,3	23,5	16,1	

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U240x84x2,0	2,0	70,2	69,9	69,4	67,6	58,6
	3,0	69,1	68,3	67,1	63,4	46,5
	4,0	67,4	66,1	64,2	58,0	34,6
	6,0	63,0	60,3	56,5	45,5	
	8,0	57,2	53,1	47,4	33,4	
	10	50,6	45,0	37,9	25,9	
U240x84x2,5	2,0	105	105	104	101	87,9
	3,0	104	102	101	95,0	70,0
	4,0	101	99,2	96,2	86,9	50,5
	6,0	94,3	90,3	84,5	68,3	
	8,0	85,4	79,1	70,8	50,5	
	10	75,1	66,8	56,7	37,1	
U240x85x3,0	2,0	146	146	144	141	122
	3,0	144	142	140	132	97,4
	4,0	140	137	133	121	69,1
	6,0	130	125	117	95,5	
	8,0	118	109	98,2	69,1	
	10	103	91,8	78,8	47,8	
U240x86x3,5	2,0	192	191	190	185	160
	3,0	189	186	183	173	127
	4,0	184	180	175	158	88,5
	6,0	171	163	153	126	
	8,0	154	142	129	88,5	
	10	134	119	104	57,1	
U240x87x4,0	2,0	242	241	239	233	202
	3,0	238	235	231	218	159
	4,0	231	227	220	200	104
	6,0	214	205	193	159	
	8,0	192	178	162	104	
	10	166	148	129	66,8	
U260x80x1,5	2,0	41,5	41,3	40,9	39,9	34,4
	3,0	40,9	40,4	39,7	37,4	26,7
	4,0	40,0	39,3	38,0	34,2	19,3
	6,0	37,8	36,2	33,7	26,7	
	8,0	34,8	32,3	28,4	19,3	
	10	31,3	27,8	22,9		
U260x81x2,0	2,0	70,6	70,3	69,7	67,9	58,6
	3,0	69,6	68,8	67,6	63,7	45,5
	4,0	68,1	66,8	64,7	58,4	32,5
	6,0	64,2	61,5	57,4	45,5	
	8,0	59,1	54,8	48,6	32,5	
	10	53,0	47,3	39,3		

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U260x82x2,5	2,0	106	106	105	102	88,2
	3,0	105	104	102	95,9	68,4
	4,0	102	101	97,4	88,0	48,3
	6,0	96,4	92,4	86,3	68,4	
	8,0	88,5	82,2	73,2	48,3	
	10	79,1	70,8	59,6		
U260x83x3,0	2,00	148	147	146	142	123
	3,0	145	144	141	133	94,8
	4,0	142	140	135	122	66,1
	6,0	134	128	120	94,8	
	8,0	122	114	102	66,1	
	10	109	97,8	83,4		
U260x84x4,0	2,0	245	244	242	235	201
	3,0	241	238	234	220	153
	4,0	235	231	224	201	96,6
	6,0	220	211	198	153	
	8,0	200	186	169	96,6	
	10	177	159	136		
U280x71x2,0	2,0	70,5	70,1	69,1	66,5	53,7
	3,0	69,6	68,5	66,5	60,8	37,3
	5,0	66,6	63,9	58,6	45,7	
	7,0	62,4	57,4	48,4	30,7	
	9,0	57,2	49,8	37,3		
	11	51,2	41,5	28,9		
U280x72x2,5	2,0	106	105	104	100	80,9
	3,0	105	103	100	91,6	55,9
	5,0	100	96,2	88,2	68,7	
	7,0	93,6	86,5	72,9	45,5	
	9,0	85,6	74,9	55,9		
	11	76,4	62,4	42,7		
U280x73x3,0	2,0	147	146	145	139	112
	3,0	145	143	139	127	77,3
	5,0	139	134	123	95,3	
	7,0	130	120	101	61,5	
	9,0	118	104	77,3		
	11	105	86,4	57,0		
U280x74x3,5	2,0	194	193	190	183	148
	3,0	191	188	183	167	100
	5,0	182	176	161	125	
	7,0	170	158	133	77,9	
	9,0	154	137	100		
	11	137	113	72,1		

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U280x74x4,0	2,0	244	243	239	230	184
	3,0	240	237	230	210	119
	5,0	229	221	202	153	
	7,0	213	197	164	89,8	
	9,0	193	169	119		
	11	170	136	81,8		
U300x60x1,5	2,0	41,3	40,6	39,8	37,4	26,9
	3,0	40,8	39,3	37,4	32,6	16,8
	5,0	39,2	35,2	30,8	21,1	
	7,0	37,0	29,9	22,9		
	9,0	34,1	23,9	16,8		
	11	30,9	18,7			
U300x61x2,0	2,0	70,2	69,1	67,7	63,7	46,0
	3,0	69,4	66,8	63,7	55,7	28,3
	5,0	66,6	60,0	52,6	35,8	
	7,0	62,7	51,0	39,0		
	9,0	57,8	40,8	28,3		
	11	52,2	31,7			
U300x62x2,5	2,0	106	104	102	95,9	69,2
	3,0	104	100	95,9	83,8	41,0
	5,0	100	90,3	79,1	53,6	
	7,0	93,9	76,7	58,7		
	9,0	86,4	61,4	41,0		
	11	77,8	46,9			
U300x63x3,0	2,0	146	144	141	133	96,0
	3,0	145	139	133	116	54,9
	5,0	139	125	110	72,9	
	7,0	130	107	81,0		
	9,0	119	85,1	54,9		
	11	107	62,9			
U300x64x3,5	2,0	192	189	186	175	125
	3,0	190	183	175	153	70,3
	5,0	182	165	144	93,8	
	7,0	170	140	104		
	9,0	156	109	70,3		
	11	139	80,7			
U300x64x4,0	2,0	242	238	233	219	151
	3,0	238	230	219	189	81,8
	5,0	228	206	177	112	
	7,0	213	170	125		
	9,0	193	132	81,8		
	11	169	96,4			

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U320x94x2,0	2,0	72,2	71,9	71,5	70,1	62,8
	4,0	70,5	69,6	67,9	62,8	40,0
	6,0	67,8	65,8	62,4	52,2	
	8,0	64,2	60,8	55,5	40,0	
	10	59,9	55,0	47,8	30,5	
	12	54,9	48,7	39,9		
U320x94x2,5	2,0	109	109	108	106	94,7
	4,0	107	105	103	94,7	59,5
	6,0	102	99,3	94,2	78,3	
	8,0	96,9	91,7	83,7	59,5	
	10	90,2	82,9	72,1	44,8	
	12	82,5	73,2	59,5		
U320x95x3,0	2,0	153	152	151	148	132
	4,0	149	147	143	132	82,8
	6,0	143	139	132	109	
	8,0	135	128	117	82,8	
	10	126	116	101	61,5	
	12	115	102	82,8		
U320x96x3,5	2,0	202	201	200	196	175
	4,0	197	194	190	175	109
	6,0	189	183	174	144	
	8,0	178	169	155	109	
	10	165	152	133	79,9	
	12	151	134	109		
U320x97x4,0	2,0	256	256	254	249	222
	4,0	250	247	241	222	138
	6,0	240	232	221	183	
	8,0	226	214	197	138	
	10	209	193	168	97,6	
	12	190	170	138		
U340x84x2,0	2,5	71,8	71,2	70,2	67,2	53,2
	4,0	70,6	69,1	66,5	59,5	33,2
	6,0	68,1	64,9	59,5	46,2	
	8,0	64,7	59,5	50,9	33,2	
	10	60,6	53,2	41,5		
	13	53,4	42,7	30,1		
U340x84x2,5	2,5	109	108	106	101	79,7
	4,0	107	104	100	89,5	48,9
	6,0	103	97,9	89,5	69,0	
	8,0	97,5	89,5	76,2	48,9	
	10	91,2	79,7	61,6		
	13	80,1	63,5	44,1		

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U340x85x3,0	2,5	152	150	148	142	111
	4,0	149	146	140	125	67,6
	6,0	143	137	125	96,3	
	8,0	136	125	106	67,6	
	10	127	111	86,0		
	13	111	88,6	60,6		
U340x86x3,5	2,5	201	199	196	188	147
	4,0	197	193	186	166	87,9
	6,0	189	181	166	127	
	8,0	179	166	141	87,9	
	10	167	147	113		
	13	146	117	77,4		
U340x87x4,0	2,5	255	253	249	238	187
	4,0	250	245	236	210	108
	6,0	240	230	210	161	
	8,0	227	210	178	108	
	10	211	187	143		
	13	184	148	95,0		
U360x74x2,0	2,5	71,6	70,4	68,9	64,8	46,4
	4,0	70,5	67,5	63,9	54,5	26,5
	6,0	68,1	61,8	54,5	38,0	
	8,0	64,9	54,5	43,6	26,5	
	10	61,1	46,4	33,4		
	13	54,2	34,4			
U360x74x2,5	2,5	108	106	104	97,6	69,1
	4,0	106	102	96,1	81,7	38,2
	6,0	103	92,9	81,7	56,1	
	8,0	97,8	81,7	64,7	38,2	
	10	91,8	69,1	49,0		
	13	81,3	50,6			
U360x75x3,0	2,5	151	148	145	136	96,5
	4,0	148	142	134	114	51,0
	6,0	143	130	114	78,1	
	8,0	136	114	90,4	51,0	
	10	128	96,5	67,6		
	13	113	70,2			
U360x76x3,5	2,5	199	196	192	180	128
	4,0	196	188	178	151	65,2
	6,0	189	172	151	102	
	8,0	180	151	119	65,2	
	10	168	128	86,7		
	13	148	90,2			

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U360x77x4,0	2,5	253	249	244	229	162
	4,0	248	238	225	192	80,4
	6,0	239	218	192	127	
	8,0	227	192	150	80,4	
	10	212	162	108		
	13	186	112			
U380x64x2,0	2,5	71,3	69,1	66,9	61,0	36,7
	4,0	70,1	64,7	59,6	46,9	
	6,0	67,9	56,6	46,9	29,2	
	8,0	64,9	46,9	33,9		
	11	59,2	32,6			
	14	52,3				
U380x64x2,5	2,5	107	104	101	91,4	53,8
	4,0	106	97,3	89,3	69,5	
	6,0	102	84,7	69,5	41,6	
	8,0	97,6	69,5	49,5		
	11	88,7	47,3			
	14	78,2				
U380x65x3,0	2,5	150	145	140	128	73,8
	4,0	147	136	125	97,2	
	6,0	142	118	97,17	56,2	
	8,0	136	97,2	67,07		
	11	123	64,1			
	14	108				
U380x66x3,5	2,5	197	191	185	169	95,7
	4,0	194	179	165	128	
	6,0	188	156	128	72,7	
	8,0	179	128	86,9		
	11	162	82,9			
	14	141				
U380x67x4,0	2,5	250	243	235	214	120
	4,0	246	227	209	159	
	6,0	237	198	159	90,7	
	8,0	226	159	109		
	11	204	104			
	14	175				
U400x79x2,0	3,0	72,0	70,4	68,5	63,4	41,2
	4,0	71,4	68,5	65,3	56,8	29,1
	6,0	69,4	63,4	56,8	41,2	
	9,0	65,2	53,1	41,2		
	12	59,8	41,2	29,1		
	15	53,4	31,5			

Tablo 5.6. (Devam) ÜF3'e ait U Profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

ÜF3 Profilleri	$K_x L_x$ (m)	$\phi_c P_n$ (kN)				
		$K_y L_y=0$	$K_y L_y=K_x L_x/4$	$K_y L_y=K_x L_x/3$	$K_y L_y=K_x L_x/2$	$K_y L_y=K_x L_x$
U400x80x2,5	3,0	109	107	104	96,1	62,6
	4,0	108	104	99,0	86,1	43,5
	6,0	105	96,1	86,1	62,6	
	9,0	98,6	80,6	62,6		
	12	90,3	62,6	43,5		
	15	80,5	47,3			
U400x80x3,0	3,0	153	149	145	134	85,8
	4,0	151	145	138	120	58,0
	6,0	147	134	120	85,8	
	9,0	138	112	85,8		
	12	126	85,8	58,0		
	15	112	64,0			
U400x81x3,5	3,0	202	198	192	177	114
	4,0	200	192	183	159	74,3
	6,0	194	177	159	114	
	9,0	182	148	114		
	12	166	114	74,3		
	15	147	82,1			

Tasarım tablolarında kullanılan  $K_x L_x$  ve  $K_y L_y$  değerleri, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzunda [9] sunulan tasarım tablolarıyla aynı kılavuzda Bölüm III (1.1-(i))'de tanımlanan kurallar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablolar incelendiğinde,  $K_x L_x$  değeri arttıkça elemanın y yönünde desteklenmesinin daha önemli hale geldiği görülmektedir. Kesit yüksekliği nispeten küçük olan profillerde özellikle ilk  $K_x L_x$  boyunda y doğrultusunda elemanın tutulu olması ile  $K_x L_x=K_y L_y$  olması durumu arasında dayanım yönünden büyük farklılık oluşmadığı görülmüştür. Buna karşın,  $K_x L_x$  büyüdükçe  $K_y L_y$ 'nin de artması, profilin tasarım dayanımının ciddi oranlarda azalmasına neden olabilmektedir. Özellikle  $K_x L_x=K_y L_y$  olduğu durumlarda,  $K_x L_x$ 'in incelenen en büyük değerlerinde, profillerin y eksenine etrafındaki eğilmeli burkulmadaki narinlikleri ( $K_y L_y/i_y$ ) çok büyük değerlere ulaşabilmekte, bu da ekonomik olmayan tasarımlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, her ne kadar AISI S100-16'da eleman narinliği ile ilgili bir üst sınır tanımlanmamış olsa da, sıcak şekillendirilmiş elemanlar için tavsiye edilen en büyük narinlik olan 200 değeri [8] bu çalışmada bir üst sınır değer olarak alınmış, profillerin  $K_y L_y/i_y$  narinliklerinin 200 değerini aştığı durumlarda dayanım hesabı yapılmamıştır.



Örnek olarak, Tablo 5.4'te, ÜF1 firmasına ait U100x53x1,5 profili için  $K_xL_x=K_yL_y=4,0\text{m}$  olduğu durumda, profilin güçlü ekseninde narinliği  $K_xL_x/i_x \cong 100$  iken zayıf ekseninde narinliği  $K_yL_y/i_y=235>200$  olduğundan, tablonun bu hücresi boş bırakılmıştır.

Tasarım tablolarında listelenen dayanım değerlerini el hesaplarıyla doğrulamak amacıyla, ÜF2 firmasına ait U 300×107×3 profilinin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları  $K_xL_x=2,0\text{m}$  ve (i)  $K_yL_y=0$ , (ii)  $K_yL_y= K_xL_x/3$  ve (iii)  $K_xL_x=K_yL_y$  olduğu durumlar için ayrı ayrı hesaplanarak Tablo 5.5'te verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. U300×107×3 profilinin boyutları,

$$H = 300 \text{ mm}, B = 107 \text{ mm}, t=3 \text{ mm}, R=6 \text{ mm}$$

olup, dayanım hesapları için gereken enkesit özellikleri Tablo 2.6'dan

$$A=1504,686 \text{ mm}^2, i_x = 115,521 \text{ mm}, i_y = 32,675 \text{ mm}, x_0 = 58,111 \text{ mm}$$

$$J=4514,058 \text{ mm}^4, C_w = 2,54 \times 10^{10} \text{ mm}^6$$

olarak okunabilir. Dayanım hesaplarında kullanılan diğer iki kesit özelliği  $r_0$  ve  $\beta$  değerleri, Denklem (4.9) ve Denklem (4.10) kullanılarak hesaplanabilir;

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2} = \sqrt{115,521^2 + 32,675^2 + 58,111^2} = 133,378 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_0)^2 = 1 - \left( \frac{58,111}{133,378} \right)^2 = 0,810$$

Kayma modülü ve elastisite modülü için AISI S100-16'da soğuk şekillendirilmiş elemanlar için verilen değerler (sırasıyla, 78GPa ve 203GPa) kullanılmıştır.

İncelenen profil için Bölüm 5.1'de hesaplanan ve bu bölümde de kullanılan değerler şöyledir;

$$w_{\text{başlık}} = 32,667 \text{ mm}, w_{\text{gövde}} = 94 \text{ mm}$$

$$F_{\text{cr1,başlık}} = 73,930 \text{ MPa}, F_{\text{cr1,gövde}} = 83,057 \text{ MPa}$$

İlk olarak,  $K_y L_y = 0$  durumu ele alınacaktır.  $K_y L_y = 0$  durumu, zayıf ekseninde elastik burkulma gerilmesinde belirsizliğe neden olacağından  $K_y L_y$  değeri için sıfıra eşit olmayan ancak sıfıra yeterince yakın bir değer (0,1m değeri) kullanılacaktır. y ekseninde etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi  $((F_{cre})_1)$ , Denklem (4.7) kullanılarak hesaplanabilir;

$$(F_{cre})_1 = \sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3}{(0,1 / 32,675)^2} = 2,139 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2$$

Ardından, Denklem (4.11) kullanılarak, x ekseninde etrafında eğilmeli burkulma ve z ekseninde etrafında burulmalı burkulma sınır durumlarında elastik burkulma gerilmeleri hesaplanabilir;

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3}{(2000 / 115,521)^2} \Rightarrow \sigma_{ex} = 6684 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_0^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} \right] = \frac{1}{1504,686 \times 133,378^2} \left[ \frac{78 \times 10^3 (4514,058)}{0,1^2} + \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3 \times (2,54 \times 10^{10})}{0,1^2} \right]$$

$$\Rightarrow \sigma_t = 1,898 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2$$

Buradan, x ekseninde etrafında eğilmeli ve z ekseninde etrafında burulmalı burkulma sınır durumu için elastik burkulma gerilmesi  $((F_{cre})_2)$ , Denklem (4.8) kullanılarak hesaplanabilir;

$$(F_{cre})_2 = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right]$$

$$(F_{cre})_2 = \frac{1}{2 \times (0,810)} \left[ \frac{(6684 + 1,898 \times 10^{11})}{\sqrt{(6684 + 1,898 \times 10^{11})^2 - 4 \times (0,810) \times (6684) \times (1,898 \times 10^{11})}} \right]$$

$$\Rightarrow (F_{cre})_2 = 6684 \text{ N/mm}^2$$

$(F_{cre})_2 < ((F_{cre})_1)$  olduğundan, elastik burkulma gerilmesi  $F_{cre} = 6684 \text{ MPa}$ 'a eşittir. Kritik burkulma gerilmesi  $F_n$ 'nin hesabı için, Denklem (4.6) kullanılarak hesaplanan

$\lambda_c$  değerine bağlı olarak Denklem (4.5)'te verilen bağıntılardan uygun olan kullanılarak elde edilir;

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} = \sqrt{\frac{235}{6684}} = 0,188 < 1,5 \text{ olduğu için;}$$

$$F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,188^2}) \times 235 = 231,563 \text{ N/mm}^2$$

Bundan sonraki adım, yerel burkulmanın genel burkulmadan önce gözlenip gözlenmediğine karar vererek, gözlenmesi durumunda kesitin etkin alanını hesaplamaktır. İlk olarak, başlıklar kontrol edilecektir. Denklem (4.16)'da f yerine  $F_n$  kullanılarak başlıklar için narinlik katsayısı hesaplanabilir;

$$\lambda_{\text{başlık}} = \sqrt{\frac{F_n}{F_{\text{crl,başlık}}}} = \sqrt{\frac{231,563}{73,932}} = 1,770$$

Bu değer 0,673'ten büyük olduğu için, başlıkların etkin genişlikleri hesaplanmalıdır. Denklem (4.15) ve ardından Denklem (4.14) kullanılarak, başlıkların etkin genişlikleri

$$\rho_{\text{başlık}} = \frac{1 - 0,22/\lambda}{\lambda} = \frac{1 - 0,22/1,770}{1,770} = 0,496$$

$$b_{e,\text{başlık}} = w_{\text{başlık}} \times \rho_{\text{başlık}} = 98 \times 0,496 = 48,567 \text{ mm}$$

olarak hesaplanabilir. Ardından, profilin gövdesinin tamamen etkin çalışıp çalışmadığı belirlenmelidir. Başlık hesaplarında izlenen adımlar tekrarlanırsa, başlıkların da tamamen etkin çalışmadığı ve etkin genişliklerinin

$$\lambda_{\text{gövde}} = \sqrt{\frac{F_n}{F_{\text{crl,gövde}}}} = \sqrt{\frac{231,563}{83,057}} = 1,670 > 0,673 \Rightarrow \rho_{\text{gövde}} = \frac{1 - 0,22/1,670}{1,670} = 0,520$$

$$\Rightarrow b_{e,\text{gövde}} = w_{\text{gövde}} \times \rho_{\text{gövde}} = 282 \times 0,520 = 146,637 \text{ mm}$$

olduğu tespit edilebilir. Buradan, profilin etkin alanı  $A_e$  ve tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı  $\phi_c P_n$ , Denklem (4.3) ve Denklem (4.13) kullanılarak hesaplanabilir;

$$A_e = 1504,686 - 3 \times [2 \times (98 - 48,567) + (282 - 146,637)] = 802,003 \text{ mm}^2$$

$$\phi_c P_n = 0,85 A_e F_n = 0,85 \times 802,003 \times 231,563 \times 10^{-3} \cong 158 \text{ kN}$$

Bu değer, tablodan elde edilen 158 kN değerine eşittir.

İkinci olarak, zayıf ekseninde burkulma boyunun kuvvetli ekseninde burkulma boyunun üçte birine eşit olduğu kabul edilerek hesaplar tekrarlanacaktır. Bu durumda, elastik burkulma gerilmeleri,

$$(F_{cre})_1 = \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3}{((2000/3)/32,675)^2} = 4813 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3}{(2000/115,521)^2} \Rightarrow \sigma_{ex} = 6684,324 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_0^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] = \frac{1}{1504,686 \times 133,378^2} \left[ \frac{78 \times 10^3 (4514,058)}{(2000/3)^2} + \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3 \times (2,54 \times 10^{10})}{(2000/3)^2} \right]$$

$$\Rightarrow \sigma_t = 4282,608 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ex} + \sigma_t = 10966,9 \text{ N/mm}^2$$

$$(F_{cre})_2 = \frac{1}{2 \times 0,810} \left[ 10966,9 - \sqrt{(10966,9)^2 - 4 \times 0,810 \times (6684,324)(4282,608)} \right]$$

$$\Rightarrow (F_{cre})_2 = 3531 \text{ N/mm}^2$$

olup,  $F_{cre}$ ;

$$F_{cre} = \min((F_{cre})_1, (F_{cre})_2) = 3531 \text{ N/mm}^2$$

olarak alınmalıdır. Bir önceki durumda olduğu gibi, burkulma elastik olmayan bölgede gerçekleşeceği için, kritik burkulma gerilmesi Denklem (4.5)'te elastik olmayan bölgede burkulma basınç elemanları için verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} = \sqrt{\frac{235}{3531}} \Rightarrow \lambda_c = 0,258 < 1,5$$

$$F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,258^2}) \times 235 = 228,543 \text{ N/mm}^2$$

Elde edilen bu gerilme değeri için, başlıkların etkin genişliği;

$$\lambda_{\text{başlık}} = \sqrt{\frac{228,543}{73,932}} = 1,758 > 0,673 \Rightarrow \rho_{\text{başlık}} = \frac{1-0,22/1,758}{1,758} = 0,498$$

$$b_{e,\text{başlık}} = w_{\text{başlık}} \times \rho_{\text{başlık}} = 98 \times 0,498 = 48,769 \text{ mm}$$

gövdenin etkin genişliği ise;

$$\lambda_{\text{gövde}} = \sqrt{\frac{228,543}{83,057}} = 1,659 > 0,673 \Rightarrow \rho_{\text{gövde}} = \frac{1-0,22/1,659}{1,659} = 0,523$$

$$b_{e,\text{gövde}} = w_{\text{gövde}} \times \rho_{\text{gövde}} = 282 \times 0,523 = 147,441 \text{ mm}$$

olarak hesaplanabilir. Buradan, profilin etkin alanı ve tasarım aksel basınç kuvveti dayanımı;

$$A_e = 1504,686 - 3 \times [2 \times (98 - 48,769) + (282 - 147,441)] = 805,623 \text{ mm}^2$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \times 805,623 \times 228,543 \times 10^{-3} \cong 157 \text{ kN}$$

olarak hesaplanabilir. Tablo 5.5'te ilgili profil için verilen dayanım değeri hesaplanan değere eşittir.

Son olarak,  $K_y L_y = K_x L_x$  durumu ele alınacaktır. Bu durumda, elastik burkulma gerilmesi,

$$(F_{cre})_1 = \sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3}{(2000 / 32,675)^2} \Rightarrow \sigma_{ey} = 535 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3}{(2000 / 115,521)^2} = 6684,324 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{1504,686 \times 133,378^2} \left[ \frac{78 \times 10^3 (4514,058)}{+ \frac{\pi^2 \times 203 \times 10^3 \times (2,54 \times 10^{10})}{2000^2}} \right] = 487,538 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ex} + \sigma_t = 7171,862 \text{ N/mm}^2$$

$$(F_{cre})_2 = \frac{1}{2 \times 0,810} \left[ \frac{(7171,862)}{-\sqrt{(7171,862)^2 - 4 \times 0,810 \times (6684,324)(487,538)}} \right]$$

$$\Rightarrow (F_{cre})_2 = 480 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = \min((F_{cre})_1, (F_{cre})_2) = 480 \text{ N/mm}^2$$

olarak hesaplanabilir. Buradan, kritik burkulma gerilmesi,

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_c}} = \sqrt{\frac{235}{480,474}} \Rightarrow \lambda_c = 0,699 < 1,5$$

$$F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,699^2}) \times 235 = 191,497 \text{ N/mm}^2$$

olarak elde edilir. Hesaplanan bu gerilme değerinde, başlıkların ve gövdenin etkin genişlikleri;

$$\lambda_{\text{başlık}} \sqrt{\frac{191,497}{73,932}} = 1,609 > 0,673 \Rightarrow \rho_{\text{başlık}} = \frac{1 - 0,22 / 1,609}{1,609} = 0,536$$

$$b_{e,\text{başlık}} = w_{\text{başlık}} \times \rho_{\text{başlık}} = 98 \times 0,536 = 52,568 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{gövde}} = \sqrt{\frac{191,497}{83,057}} = 1,518 > 0,673 \Rightarrow \rho_{\text{gövde}} = \frac{1 - 0,22 / 1,518}{1,518} = 0,563$$

$$b_{e,\text{gövde}} = w_{\text{gövde}} \times \rho_{\text{gövde}} = 282 \times 0,563 = 158,811 \text{ mm}$$

olarak hesaplanabilir. Böylece, profilin etkin alanı ile tasarım dayanımı aşağıdaki şekilde elde edilebilir;

$$A_e = 1504,686 - 3 \times [2 \times (98 - 52,568) + (282 - 158,811)] = 862,529 \text{ mm}^2$$

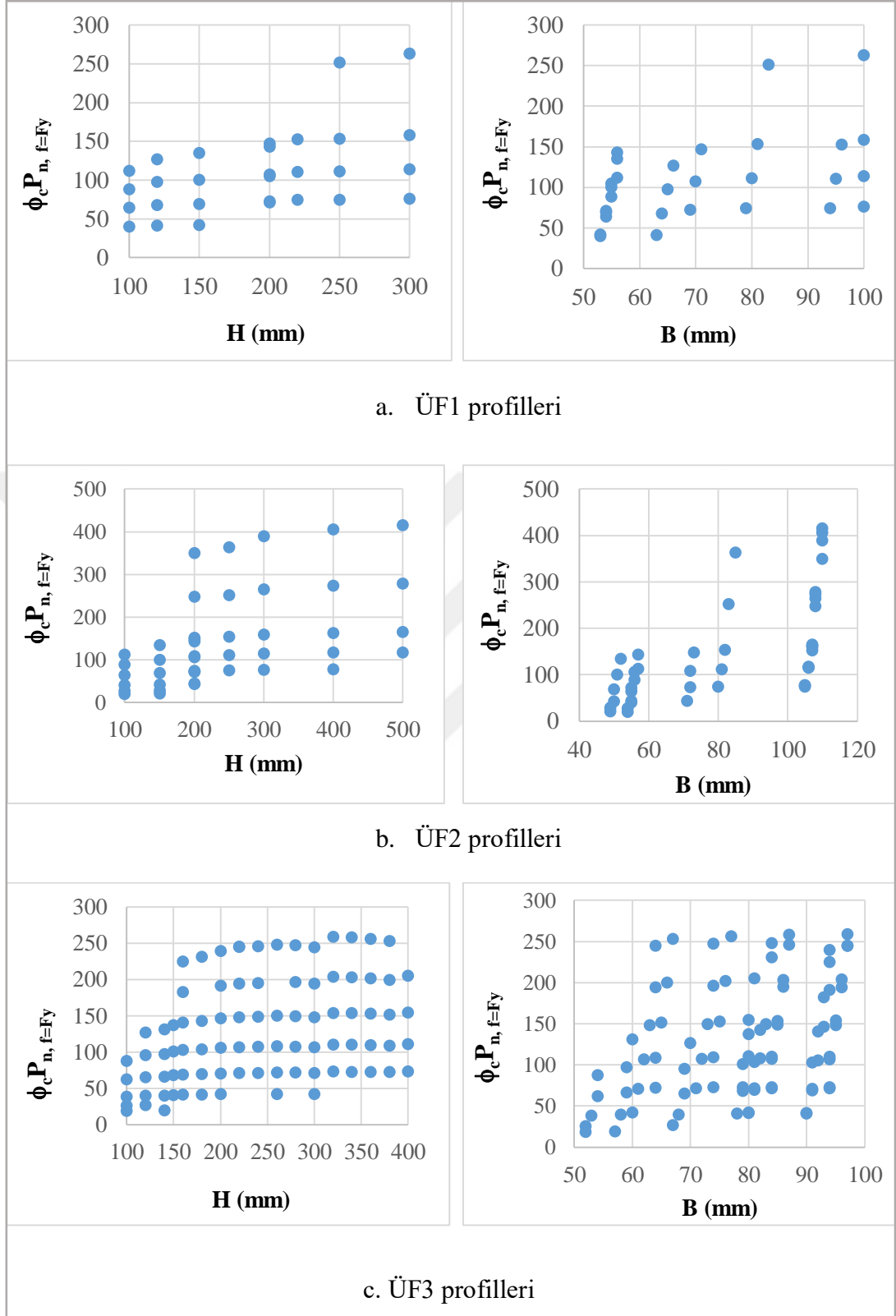
$$\phi_c P_n = 0,85 \times 862,529 \times 191,497 \times 10^{-3} \cong 140 \text{ kN}$$

Tablo 5.5'te ilgili profil için verilen dayanım değeri hesaplanan değere eşittir.

## 6. SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ U PROFİLLERİN BOYUTLARININ AKMA GERİLMESİNDEKİ TASARIM EKSENEL BASINÇ KUVVETİ DAYANIMLARINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde, soğuk şekillendirilmiş U profillerin dört temel boyutu olan kesit yüksekliği (H), başlık genişliği (B), kalınlık (t) ve iç büküm yarıçapı (R)'nin profillerin akma gerilmesindeki tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımlarına  $((\phi_c P_n)_{f=F_y})$  olan etkileri araştırılmıştır.

Bu amaçla ilk olarak, Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te  $f=F_y$  için verilen tasarım dayanımlarının kesit yüksekliği ve başlık genişliği ile değişimleri çizdirilerek sırasıyla Şekil 6.1(a), Şekil 6.1(b) ve Şekil 6.1(c)'de sunulmuştur. Grafiklerde, kesit yükseklikleri aynı kalınlıkları farklı olan profiller için verilen dayanım değerlerinden en düşük olanın kalınlığı en küçük olan, en yüksek olanın ise kalınlığı en büyük olan profile ait olduğu belirtilmelidir. Örnek olarak, Şekil 6.1(a)'da solda ÜF1 firmasının profilleri için sunulan grafikte H=100 mm için işaretlenen dört değer sırasıyla U100x53x1,5, U100x54x2,0, U100x55x2,5 ve U100x56x3 profillerine ait olup, dört değer en küçüğü 1,5 mm kalınlığa sahip U100x53x1,5, en büyüğü ise 3,0 mm kalınlığa sahip U100x56x3,0 profilinin dayanımına karşılık gelmektedir. Profillerin isimlerinden anlaşılacağı gibi, kesit yükseklikleri aynı olan bu dört profilin başlık genişlikleri de hemen hemen aynıdır; ancak, kalınlıkları oldukça farklıdır. Tablo 5.1'den, ilgili profiller için listelenen dayanım değerlerinin sırasıyla 40,3, 64,5, 88,7 ve 112 kN olduğu görülebilir. Buradan, kalınlığı 3 mm olan profilin dayanımının kalınlığı 1,5mm olan profilin dayanımının yaklaşık 2,75 katı olduğu gözlenebilir. Sonuç olarak, soğuk şekillendirilmiş U profillerin dayanımını belirleyen en etkin parametrelerden birinin kalınlık olduğu söylenebilir. Şekil 6.1(a)'da solda verilen grafikten ve Tablo 5.1'den, ÜF1 firmasının kesit yüksekliği 300mm olan profilleri arasındaki dayanım farkının daha büyük değerlere ulaştığı gözlenmektedir. Kesit yüksekliği 300 mm olan ÜF1 profillerinde, kalınlık 2 kat arttırıldığında, tasarım dayanımının yaklaşık 3,5 kat arttığı gözlenmiştir.



Şekil 6.1. Çalışmada incelenen profillerin akma gerilmesinde tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımlarının kesit yükseklikleri ve başlık genişlikleriyle değişimi



Şekil 6.1(b) ve Şekil 6.1 (c)'den, ÜF1 firmasına ait profiller için çıkarılan sonuçların genel olarak ÜF2 ve ÜF3 firmalarına ait profiller için de geçerli olduğu görülmektedir. Kesit yüksekliği 100mm'ye eşit olan ÜF2 profillerinde kalınlık 1,00mm'den 3,00mm'ye çıkarıldığında, tasarım dayanımı 5,57 kat artmaktadır. Bu artışın, kesit yüksekliği 150mm olan profillerde 6,44'e eşit olduğu belirlenmiştir. Kesit yüksekliği 500 olan profillerde ise kalınlık 2 kat artırıldığında dayanım 3,52 kat artmaktadır. ÜF2 firmasına ait profiller arasında, kesit yüksekliği 200 olan profillerin dışında aynı kesit yüksekliğine sahip profillerin başlık genişliklerinin de hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Buna karşın, kesit yüksekliği 200mm olan ÜF2 profilleri arasında, aynı kalınlığa fakat farklı başlık genişliğine sahip profiller bulunmaktadır. Belirtilen profillerin dayanımları karşılaştırıldığında, başlık genişliğinin dayanıma etkisinin çok yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.3'ten, ÜF3 firmasına ait kesit yüksekliği 100mm olan profillerde, kalınlık 2,0mm'den 4,0mm'ye çıkarıldığında dayanımın 4,70 kat arttığı, yüksekliği 300mm olan profillerde, kalınlık 1,5mm'den 4,00mm'ye çıkarıldığında dayanımın 5,85 kat arttığı, yüksekliği 500mm olan profillerde ise, kalınlık 2,00mm'den 3,5mm'ye çıkarıldığında dayanımın 2,81 kat arttığı tespit edilmiştir. Diğer firmaların profillerinde olduğu gibi, ÜF3 firmasına ait profillerde de, t'nin tasarım dayanımına etkisinin B ve H'ye oranla çok daha fazla olduğu gözlenmiştir.

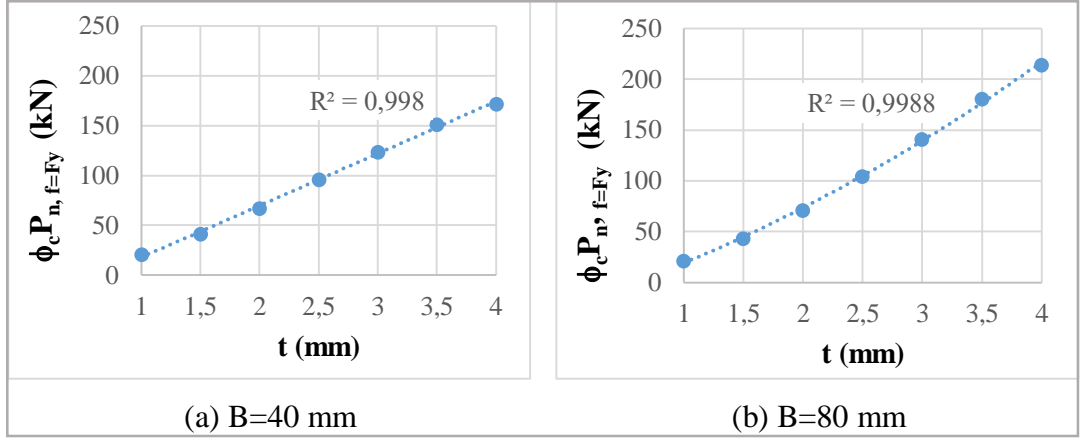
Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te verilen dayanım değerlerinden, tezin kapsamında incelenen bütün profillerin başlıklarının  $(\phi_c P_n)_{f=F_y}$  dayanımına ulaşmadan burkulduğu belirlenmiştir. Bu durum, incelenen üç üretici firmaya ait üçer profil haricinde bütün profillerin gövdeleri için de geçerlidir. ÜF1 profilleri arasında, U100x55x2,5, U100x56x3,0 ve U120x66x3,0 profilleri, ÜF2 profilleri arasında U100x56x2,5, U100x57x3,0 ve U200x110x3,0 profilleri, ÜF3 profilleri arasında ise U100x54x2,5, U120x70x3,0 ve U160x94x4,0 profillerinde tasarım basınç kuvveti dayanımına ulaşıldığında profil gövdeleri tamamen etkin çalışmaktadır. Fark edilebileceği gibi, belirtilen profillerde kalınlık oldukça yüksektir. Dayanımlarına ulaşmadan önce başlık ve gövde burkulması gözlenen profillerde, yerel burkulmanın önce başlıklarda mı yoksa gövdede mi oluşacağı profilden profile değişmektedir. Örnek olarak, ÜF1 firmasına ait U100x53x1,5 profilinde önce başlık burkulması  $((\phi_c P_n)_{f=f_{başlık}}=9,76$

$kN < (\phi_c P_n)_{f=fgövde} = 22,8 \text{ kN}$ ), U200x56x3 profilinde ise önce gövde burkulması  $((\phi_c P_n)_{f=fgövde} = 69,0 \text{ kN} < (\phi_c P_n)_{f=fbaşlık} = 102 \text{ kN})$  gözlenmektedir.

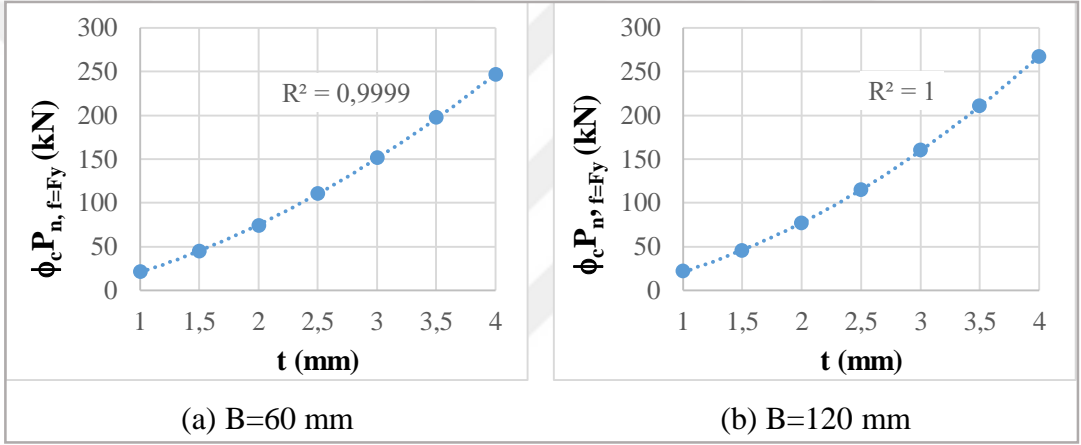
Başlık genişliğinin profillerin tasarım dayanımlarına etkisini incelemek amacıyla, her üç firmanın ürün kataloglarında bulunan kesit yüksekliği 300mm, kalınlığı 2mm olan üç profilin (ÜF1 firmasına ait U300x100x2,0, ÜF2 firmasına ait U300x105x2,0 ve ÜF3 firmasına ait U300x61x2,0 profilleri)  $(\phi_c P_n)_{f=F_y}$  dayanımları, Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'ten okunmuş (sırasıyla, 76,3 kN, 76,4 kN ve 70,9 kN) ve karşılaştırılmıştır. ÜF3 firmasının profilinin başlık genişliği diğer iki profilin başlık genişliklerinden yaklaşık %40 daha az olmasına rağmen dayanımdaki kaybın %10'dan az olduğu fark edilmiştir. ÜF3 firmasına ait profilin dayanımının diğer iki firmanın profilinden daha az olmasının bir diğer nedeni de bu profilde iç büküm yarıçapının diğer iki profilin iç büküm yarıçapından daha küçük olmasıdır. Bununla birlikte, dar başlıklı U300x61x2 profilinin başlıklarının burkulmadan taşıyabildiği yükün (25,5 kN), diğer profillerinkinden (14,0 kN ve 12,9 kN) çok daha büyük olduğu da belirtilmelidir.

İncelenen profillerde genel olarak kesit yüksekliği arttıkça başlık genişliği de arttığından, kesit yüksekliğinin dayanıma etkisi Tablo 5.1 - Tablo 5.3 kullanılarak sayısal olarak belirlenmemektedir. Bununla birlikte, belirtilen tablolar ve Şekil 6.1'de sunulan grafikler dikkate alındığında, incelenen profillerin akma gerilmesindeki tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımlarının  $(\phi_c P_n)_{f=F_y}$  kesit yüksekliği ve/veya başlık genişliği ve/veya et kalınlığı arttıkça arttığı sonucuna varılabilir.

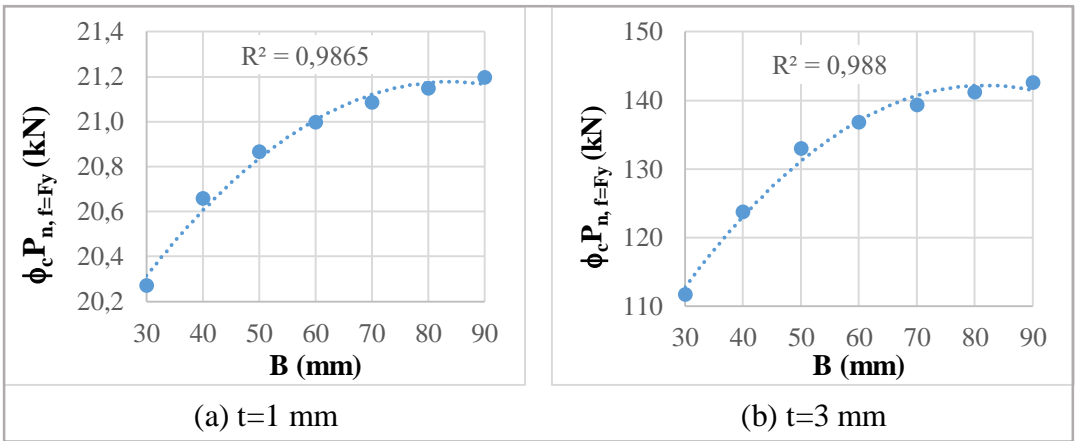
Her bir boyutun profillerin dayanımına etkisini daha detaylı bir şekilde incelemek amacıyla, tezde incelenen profillerin dışında, H, B ve t boyutlarından ikisi sabit tutularak farazi profiller geliştirilmiş, bu profiller için elde edilen dayanım değerleri karşılaştırılarak sabit olmayan boyutun dayanıma etkisi araştırılmıştır. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te H ve B değerleri sabit tutularak t'nin etkisi incelenmiştir. Benzer şekilde, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te B'nin etkisi, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de ise H'nin etkisi araştırılmaya çalışılmıştır.



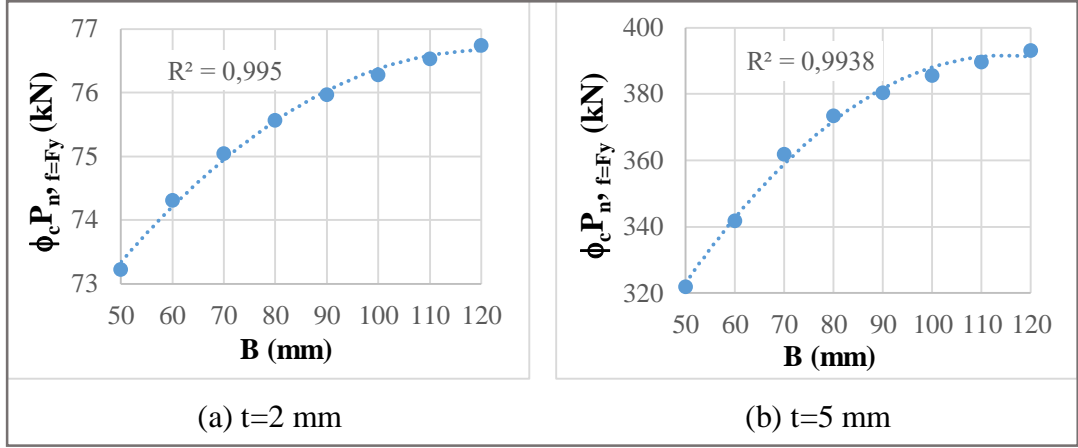
Şekil 6.2. H=150 mm ve (a) B=40 mm (b) B=80 mm için tasarım dayanımlarının kalınlıkla değişimi



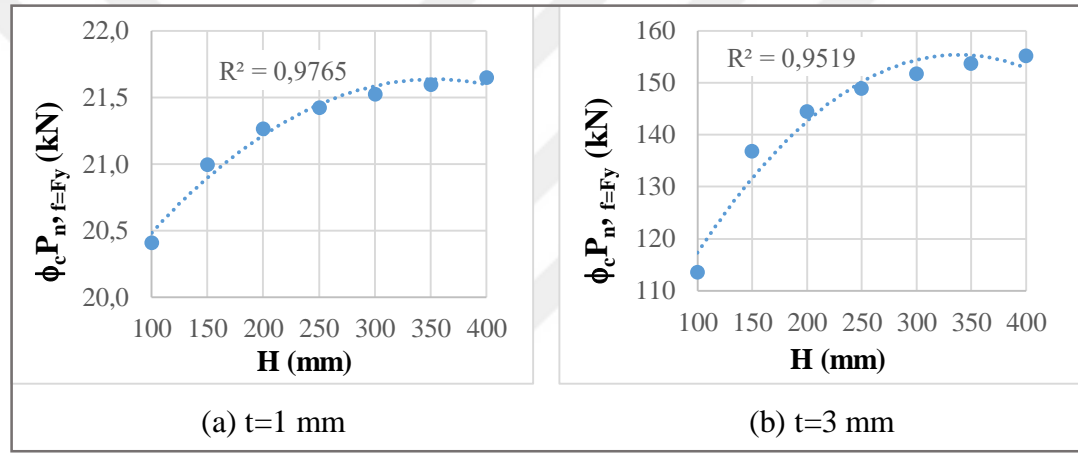
Şekil 6.3. H=300 mm ve (a) B=60 mm (b) B=120 mm için tasarım dayanımlarının kalınlıkla değişimi



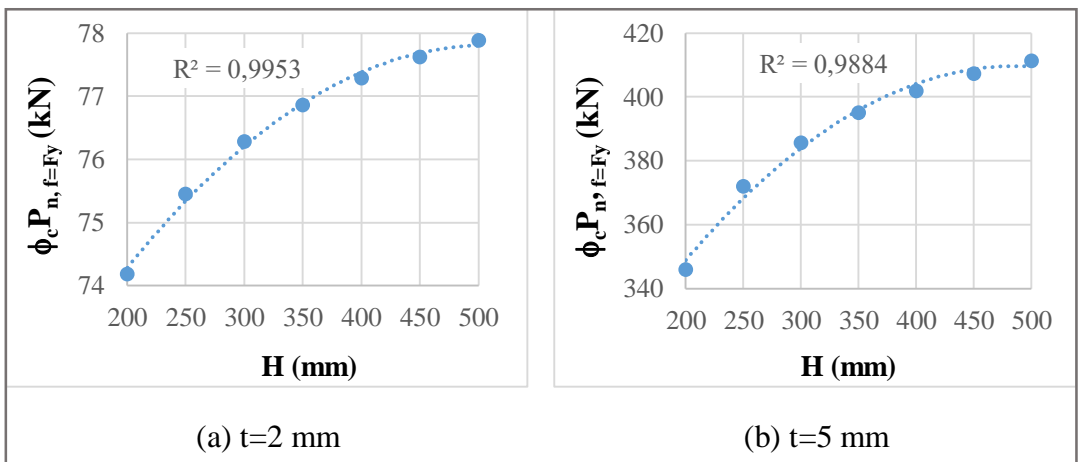
Şekil 6.4. H=150 mm ve (a) t=1 mm (b) t=3 mm için tasarım dayanımlarının başlık genişliğiyle değişimi



Şekil 6.5.  $H=300$  mm ve (a)  $t=2$  mm (b)  $t=5$  mm için tasarım dayanımlarının başlık genişliğiyle değişimi



Şekil 6.6.  $B=60$  mm ve (a)  $t=1$  mm (b)  $t=3$  mm için tasarım dayanımlarının kesit yüksekliğiyle değişimi



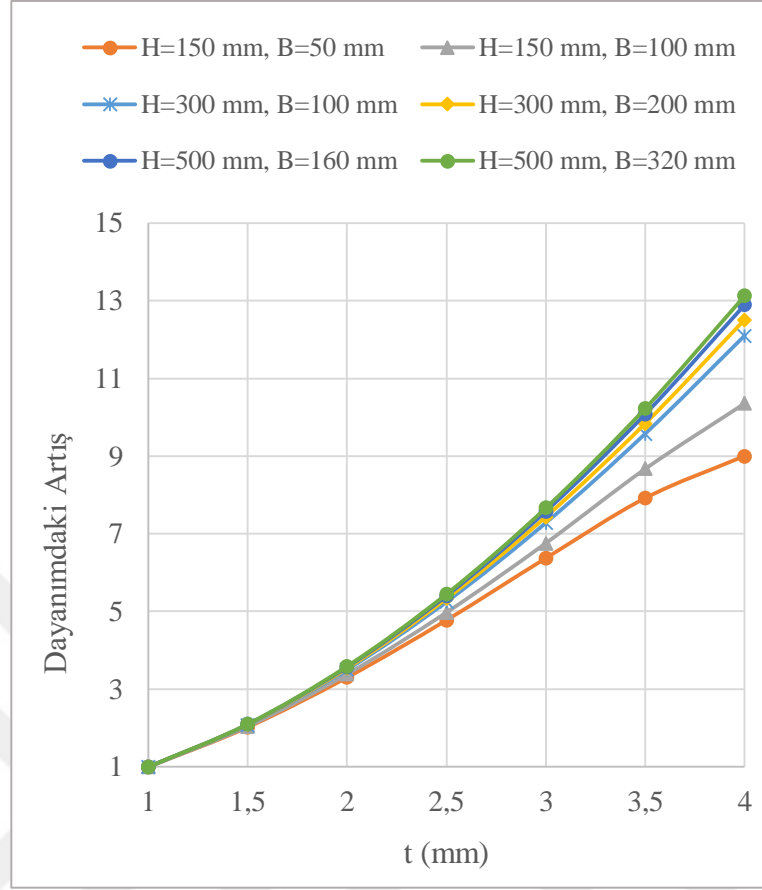
Şekil 6.7.  $B=100$  mm ve (a)  $t=2$  mm (b)  $t=5$  mm için tasarım dayanımlarının kesit yüksekliğiyle değişimi

Farazi profillerde iç büküm yarıçapı  $R=6$  mm olarak alınmıştır. Grafiklerde sunulan dayanım değerleri için, parabolik eğilim çizgileri de çizdirilmiştir. Eğilim çizgilerinin grafiklerdeki değişimleri tahmin etmekte ne kadar başarılı olduklarını göstermeleri amacıyla ilgili  $R^2$  değerleri (belirleme katsayıları) de grafiklerde gösterilmiştir. Dayanım değerleri birden çok parametreye bağlı olduğu için, eğilim çizgilerinin fonksiyonları grafiklere eklenmemiştir. Burada asıl amaç, dayanımdaki değişimlerin fonksiyonlarını kabaca belirlemektir. Grafiklerdeki  $R^2$  değerlerinin 1,00'e yakın oluşu, boyut değişiminin profillerin dayanımlarına olan etkilerinin parabolik fonksiyonlar kullanılarak oldukça doğru bir şekilde tahmin edilebileceği tespit edilmiştir.

Şekil 6.2'de,  $H=150$ mm olan farazi profillerde kalınlığın etkisi araştırılmıştır. Başlık genişliğinin Şekil 6.2(a)'da 40 mm, Şekil 6.2(b)'de ise 80mm olduğu kabul edilmiştir. İki grafikten de profillerin dayanımlarının kalınlık arttıkça hemen hemen doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Ancak, Şekil 6.3 ile uyumlu olması açısından, bu şekillerde çizdirilen eğilim çizgilerinin de parabolik olduğu belirtilmelidir. Aslında, Şekil 6.2(b)'den, başlık genişliği 80mm olduğunda, dayanımdaki artışın büyük kalınlıklarda doğrusallıktan uzaklaşmaya başladığı da fark edilebilir. Bu durum, Şekil 6.3'te daha belirgindir.

Şekil 6.3(a) ve Şekil 6.3(b)'de 300mm kesit yükseliğine sahip, başlık genişliği sırasıyla 60 ve 120mm olan profillerin tasarım dayanımlarının kalınlıkla değişimleri gösterilmektedir. Grafiklerden de fark edilebileceği gibi, dayanım artışıyla kalınlık arasındaki ilişki yaklaşık parabolik olup, kalınlık 1mm'den 4mm'ye çıkarıldığında, dayanımlar 12 kata kadar artabilmektedir.

Dayanımdaki artışın kalınlıkla değişimini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla farklı kalınlıklar için hesaplanan dayanımlar aynı  $H$  ve  $B$  değerine sahip kalınlığı 1mm olan profiller için hesaplanan dayanımlara oranlanarak dayanım artışları belirlenmiş ve incelenen altı farklı  $H$  ve  $B$  çifti için Şekil 6.8'de sunulmuştur. Şekilden fark edilebileceği gibi, kalınlık arttıkça dayanım artışları da genel olarak artmaktadır. İncelenen  $H$ ,  $B$  ve  $t$  değerleri için elde edilen en büyük dayanım artışı değeri 13,1'dir ve bu değer  $H$ ,  $B$  ve  $t$  değerleri en büyük olan profilde (yani,  $H=500$ mm,  $B=320$ mm ve  $t=4$ mm) elde edilmiştir.



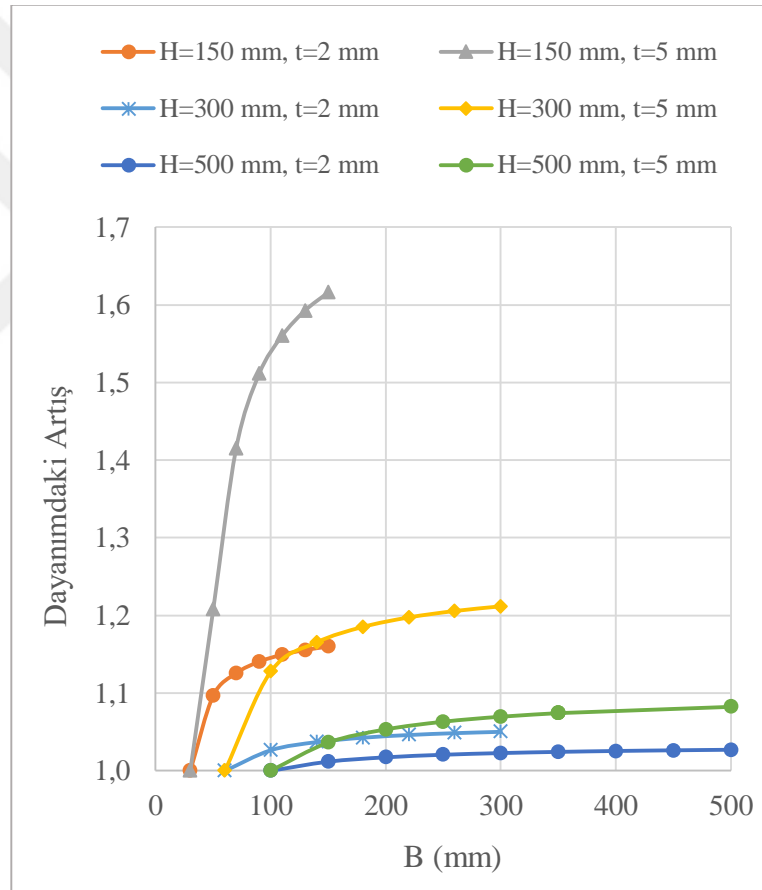
Şekil 6.8. Farklı H ve B değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanımlarındaki artışın kalınlıkla değişimi

Şekil 6.8'den, H ve B'nin dayanımdaki artışa etkisinin kalınlık arttıkça arttığı da gözlenebilir. Örnek olarak, farklı H ve B değerleri için kalınlık 1,0mm'den 2,0mm'ye çıkarıldığında dayanım artışları 3,25 ile 3,59 arasında değişirken, kalınlık 1,0mm'den 4,0mm'ye çıkarıldığında dayanım artışları 9,00 ile 13,1 arasında değişmektedir.

Şekil 6.4'te, kesit yüksekliği 150mm olan profillerde başlık genişliğinin tasarım dayanımına etkisi araştırılmıştır. Kalınlık Şekil 6.4(a)'da 1mm, Şekil 6.4(b)'de ise 3mm olarak alınmıştır. Şekillerden fark edilebileceği gibi, aynı H ve t değerine sahip profillerde B arttıkça dayanım artmaktadır. Ancak dayanımdaki artış genel olarak doğrusal değildir; B değerleri arttıkça artış miktarı azalmaktadır. Şekil 6.4(a) ile Şekil 6.4(b) karşılaştırıldığında, kalınlığı daha küçük olan profilin dayanımının B'den daha az etkilendiği görülmektedir. Benzer bir durum, Şekil 6.5'te verilen grafiklerde gözlenmektedir. 2mm kalınlığa sahip profillerde B'nin artmasıyla dayanımda gözlenen artış, 5mm kalınlığa sahip profillerde gözlenen artıştan daha küçüktür.

Karşılaştırmalarda, Şekil 6.5'te dayanımları sunulan profillerin kesit yüksekliklerinin Şekil 6.4'teki profillerin kesit yüksekliklerinin iki katına eşit olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Dayanımdaki artışın başlık genişliğiyle değişimini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla farklı başlık genişlikleri için hesaplanan dayanımlar aynı H ve t değerine sahip başlık genişliği H/5'e eşit olan profiller için hesaplanan dayanımlara oranlanarak dayanım artışları belirlenmiş, incelenen altı farklı H ve t çifti için Şekil 6.9'da sunulmuştur. Örnek olarak, H=150mm olan profillerde, farklı B değerleri için hesaplanan dayanımlar B=30 mm için hesaplanan dayanımlara oranlanmıştır.



Şekil 6.9. Farklı H ve t değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanımlarındaki artışın başlık genişliğiyle değişimi

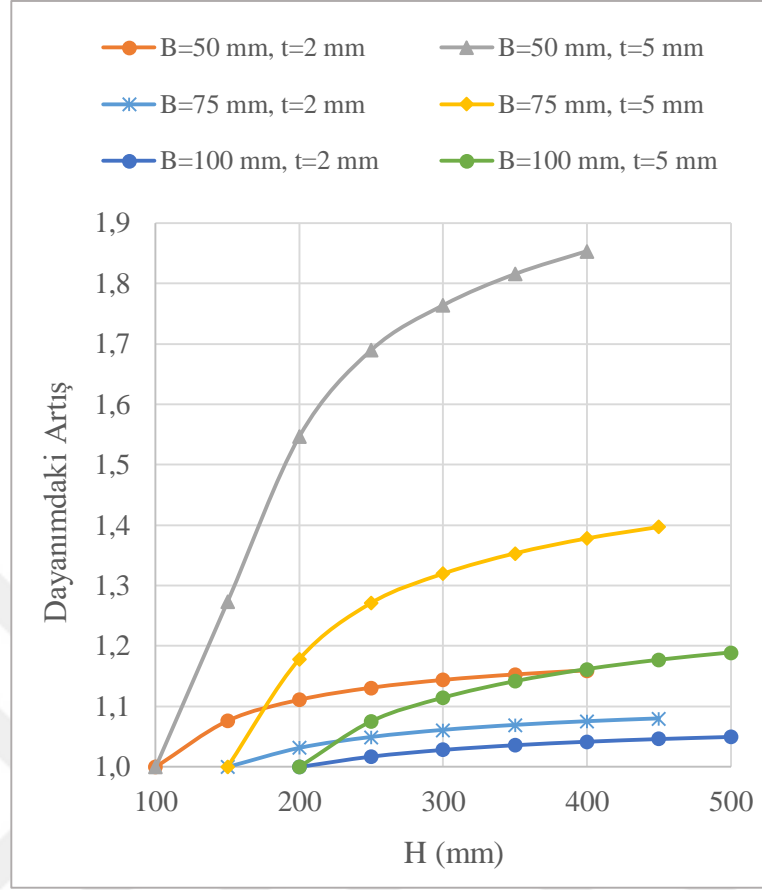
Şekil 6.9'dan da gözlenebileceği gibi, B'nin etkisi H arttıkça ve t azaldıkça azalmaktadır. Bu nedenle, dayanımdaki en büyük artışlar, H=150mm ve t=5mm olan profillerde gözlenmiştir. Bu tür profillerde, başlık genişliği 5 kat artırıldığında,

dayanım 1,62 kat artmıştır. Aynı kalınlığa sahip ancak kesit yüksekliği 300mm olan profillerde artış 1,21 kat; kesit yüksekliği 500 mm olan profillerde ise 1,08 kattır. Daha ince profillerde, dayanım artışlarının çok daha küçük olduğu görülmektedir. Kesit yüksekliği 500 mm, kalınlığı 2 mm olan profillerde, başlık genişliğinin 5 kat büyütülmesi dayanımı ancak %3 artırmaktadır. Genel olarak, aynı kesit yükseliğine ve kalınlığa sahip profillerde, dayanımdaki artışın artan B ile asimptotik olarak azaldığı görülmektedir.

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de, sırasıyla başlık genişlikleri 60mm ve 100mm olan profillerde kesit yüksekliğindeki değişimin tasarım dayanımına etkisi araştırılmıştır. Kalınlık Şekil 6.4(a)’da 1mm, Şekil 6.4(b)’de 3mm, Şekil 6.5(a)’da 2mm, Şekil 6.5(b)’de 5mm olarak alınmıştır. Şekillerden fark edilebileceği gibi, aynı H ve t değerine sahip profillerde H arttıkça dayanım artmaktadır. Ancak tıpkı dayanımın B ile değişiminde olduğu gibi, dayanım artışı artan H ile azalmaktadır. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de verilen grafiklerden, dayanım artışının kalınlığa da bağlı olduğu, ince profillerin dayanımlarının H’den daha az etkilendiği görülmektedir.

Dayanımdaki artışın kesit yüksekliğiyle değişimini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla farklı kesit yükseklikleri için hesaplanan dayanımlar aynı B ve t değerine sahip kesit yüksekliği B’nin iki katına eşit olan profiller için hesaplanan dayanımlara oranlanarak dayanım artışları hesaplanmış ve incelenen altı farklı B ve t çifti için Şekil 6.10’da sunulmuştur. Örnek olarak, B=50mm olan profillerde, farklı H değerleri için hesaplanan dayanımlar H=100 mm için hesaplanan dayanımlara oranlanmıştır. Şekil 6.10, Şekil 6.9 ile karşılaştırıldığında, H’nin profillerin dayanımına olan etkisinin B’nin etkisine çok benzer olduğu görülmüştür. H’nin etkisi B arttıkça ve t azaldıkça azalmaktadır. Bu nedenle, dayanımdaki en büyük artışlar, B=50mm ve t=5mm olan profillerde gözlenmiştir. Bu tür profillerde, kesit yüksekliği 4 kat artırıldığında, dayanım 1,85 kat artmıştır. Aynı kalınlığa sahip ancak başlık genişliği 75mm olan profillerde bu değer 1,40; başlık genişliği 100 mm olan profillerde ise 1,05’tir. Daha ince profillerde, dayanım artışlarının çok daha küçük olduğu görülmektedir. Başlık genişliği 100mm, kalınlığı 2 mm olan profillerde, başlık genişliğinin 3 kat artırılması dayanımı ancak %5 büyütülmektedir. Genel olarak, aynı kesit yükseliğine ve kalınlığa sahip profillerde, H arttıkça dayanımdaki artış asimptotik olarak azalmaktadır.

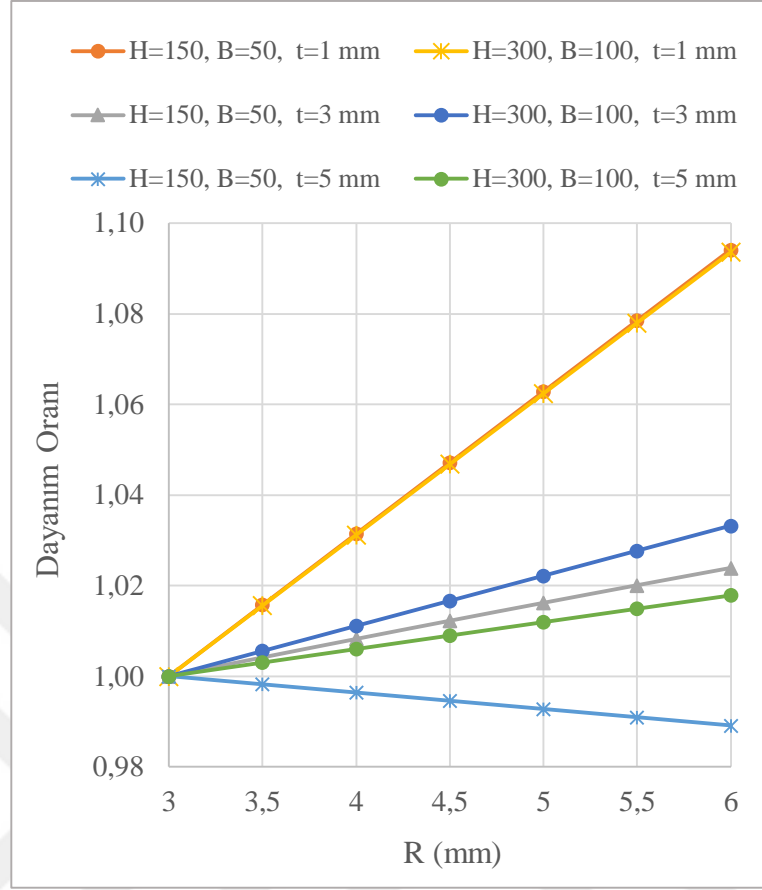




Şekil 6.10. Farklı B ve t değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin tasarım dayanımlarındaki artışın başlık genişliğiyle değişimi

Şekil 6.2'den Şekil 6.10'a kadar çizdirilen grafiklerde, profillerin iç büküm yarıçapının (R'nin) 6 mm olduğu kabul edilmiştir. Tezin kapsamında incelenen profiller arasında yalnız ÜF3 firmasına ait profillerin iç büküm yarıçapları bu değer yarısına eşittir.

İç büküm yarıçapının profillerin dayanımına etkisini araştırmak amacıyla H, B ve t değerleri sabit tutulup R değerleri 3,0mm ile 6,0mm arasında değiştirilerek tasarım dayanımları hesaplanmış, elde edilen dayanımlar aynı H, B ve t değerine sahip iç büküm yarıçapı 3mm olan profillerin dayanımlarına oranlanarak dayanım oranları hesaplanmış ve Şekil 6.11'de sunulmuştur. Grafikte, H/B=3 olduğu kabul edilerek, dayanım değerleri iki farklı H-B değeri ile üç farklı t değeri için çizdirilmiştir. Grafikten fark edilebileceği gibi, incelenen profiller arasında R'nin dayanımlarını en çok etkilediği profiller, kalınlıkları 1mm olan profillerdir. Bu profillerde dayanım oranının B ve H'den etkilenmediği gözlenmiştir.



Şekil 6.11. Farklı H, B ve t değerlerine sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin dayanım oranlarının başlık iç yarıçapı ile değişimi

İç büküm yarıçapının 3mm'den 6mm'ye çıkarılması kalınlığı 1mm olan profillerin dayanımında %9'luk bir artışa neden olmuştur. 3mm kalınlıklı profillerde artış miktarı nispeten daha küçük olup, H ve B değerlerine kısmen bağlıdır. H ve B değerleri daha yüksek olan profillerde artış biraz daha büyüktür ancak incelenen 3mm kalınlıklı profillerin hiç birinde dayanım artışı %5'e ulaşmamıştır. Şekil 6.11'de verilen grafikte gözlenen belki de en beklenmedik durum, H=150mm, B=50mm ve t=5mm olan profillerin dayanımlarının iç büyük yarıçapı arttıkça dayanımların artmamasıdır. İç büküm yarıçapı 3mm'den 6mm'ye çıkarıldığında, profilin dayanımını %1 seviyelerinde azalmaktadır. Şekil 6.11'de incelenen bütün profiller dikkate alındığında, R'nin profillerin dayanımları üzerindeki etkisinin H, B ve t'ye göre daha düşük olduğu söylenebilir. Şekil 6.11'de dikkat çeken bir diğer durum da, R'nin dayanıma olan etkisinin diğer boyutların aksine doğrusal olmasıdır.

Sonuç olarak, bu bölümde incelenen boyutlar için geçerli olmak üzere, profillerin akma gerilmesindeki tasarım dayanımlarını belirleyen en etkin boyutun  $t$  olduğu,  $H$ ,  $B$  ve  $R$ 'nin etkilerinin nispeten daha az olduğu belirlenmiştir.  $t$ 'nin dayanıma etkisi kalın profillerde daha büyükken,  $H$ ,  $B$  ve  $R$ 'nin etkileri ince profillerde daha belirgindir.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizde farklı firmalar tarafından üretilen 164 adet soğuk şekillendirilmiş U profilinin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları, güncel deprem yönetmeliğimiz tarafından da atıfta bulunan, AISI S100-16 [7] yönetmeliğinde tanımlanan tasarım esasları kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı burkulma boyları için elde edilen dayanım değerleri incelenen bütün profiller için tablolaştırılmış; böylece, tasarımlarında soğuk şekillendirilmiş U profil kullanan mühendis ve mimarların kolayca yararlanabilecekleri pratik tasarım tabloları oluşturulmuştur. Tasarımcılar bu tablolardan yönetmeliklerdeki karışık tasarım formüllerini kullanmadan profillerin dayanımlarını okuyabilir ya da tasarımları için gerekli en ekonomik profilleri seçebilirler. Her ne kadar tablolarda yalnız tasarım dayanımları verilmiş olsa da, tasarımda Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yönteminin kullanılması durumunda, tasarım dayanımları 1,50'ye bölünerek güvenli dayanımlar elde edilebilmektedir. Diğer bir ifadeyle, tasarım tablolarından tasarımda yalnız YDKT yönteminin kullanıldığı durumlarda değil, GKT yönteminin kullanıldığı durumlarda da yararlanılabilmektedir.

Farklı enkesit ve burkulma boyları için hesaplanan dayanımlar karşılaştırıldığında, yeterince uzun (yani narin) elemanlarda, zayıf eksendeki burkulma boyu azaltılarak elemanın dayanımının ciddi oranlarda artırılacağı belirlenmiştir. Enkesit yükseklikleri ve genişlikleri hemen hemen aynı fakat et kalınlıkları farklı olan profillerin dayanımları karşılaştırıldığında, profillerin üretildikleri levhanın kalınlığının profillerin basınç dayanımını belirleyen parametrelerden biri olduğu farkedilmiştir.

Tezde ayrıca, soğuk şekillendirilmiş U profillerin dört temel geometrik özelliği olan kesit yüksekliği (H), başlık genişliği (B), kalınlık (t) ve iç büküm yarıçapı (R)'nın profillerin akma gerilmesindeki tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımlarına  $((\phi_c P_n)_{f=F_y})$  olan etkileri de araştırılmıştır. Bu kısımda, yalnız tasarım tabloları çıkarılan 164 profil değil, farklı kesit özelliklerine sahip pek çok farazi kesit de kullanılmıştır.

İncelenen profillerle sınırlı olmak koşuluyla, profillerin akma gerilmesindeki tasarım dayanımlarını belirleyen en etkin boyutun  $t$  olduğu,  $H$ ,  $B$  ve  $R$ 'nin dayanıma olan etkilerinin nispeten daha az olduğu belirlenmiştir. Tasarım dayanımlarında,  $t$ 'nin etkisi kalınlıkları daha büyük olan profillerde,  $H$ ,  $B$  ve  $R$ 'nin etkileri ise kalınlıkları daha küçük olan profillerde daha yüksek çıkmıştır.

Her ne kadar tezin ana amacı, incelenen profillerin basınç dayanımlarını hesaplamak olsa da, tezin başlangıcında profillerin dayanım hesaplarında kullanılan temel enkesit özelliklerinin tamamının üretici firmalar tarafından verilmediği fark edilmiştir. Bu nedenle, dayanım hesaplarından önce profillerin burulma özellikleri de dahil olmak üzere temel enkesit özellikleri hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Enkesit özelliklerinin verildiği bu tablolar, profillerin eğilme momenti, kesme kuvveti veya burulma momenti gibi bu tezde incelenmeyen kesit zorları altındaki dayanımları hesaplanırken kullanılabilir. Tezde incelenen profillerden farklı boyutlara sahip bir profilin kesit özelliklerine ihtiyaç duyulması durumunda ise, tasarımcı profillerin enkesit özelliklerini tezde sunulan farklı yöntemlerden birini kullanarak hesaplayabilir.

Tezde ayrıca soğuk şekillendirilmiş profillerin enkesit özellikleri belirlenirken yaygın şekilde kullanılan çizgisel yöntemin ülkemizde kullanılan U profillerin enkesit özelliklerini tahmin etmede ne kadar başarılı olduğu da araştırılmıştır. Çizgisel yöntem kullanılarak hesaplanan enkesit özellikleri, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından yayınlanan Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarım Kılavuzu'nda verilen formüllerden hesaplanan enkesit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çizgisel yöntemin yuvarlak-köşe kabulüyle uygulanması durumunda, hata oranlarının yaklaşık %0,50'yi, kare-köşe kabulüyle uygulanması durumunda ise yaklaşık %5'i geçmediği belirlenmiştir. Tablolanan enkesit özellikleri, ayrıca, yapı analiz ve tasarımında ülkemizde yaygın şekilde kullanılan SAP 2000 [11] programından elde edilen değerlerle de karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların Kılavuz'daki formüllerden hesaplanan değerlere neredeyse eşit olduğu belirlenmiştir. Tezde incelenen profillerden elde edilen verilerin ışığında, incelenen profillere benzer boyutlara sahip soğuk şekillendirilmiş U profillerin enkesit özelliklerinin yuvarlak-köşe kabullü çizgisel yöntemle hesaplandığı durumlarda, köşelerin atalet momentlerinin ihmal

edilmesi, karışık hesaplamalar gerektiren dayanım formüllerinde ise “yaklaşık” (kare-köşe kabullü) çizgisel yöntemin tercih edilmesi önerilmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar yalnız çalışmada incelenen profiller için geçerli olup, sonuçların genelleştirilebilmesi için ülkemizde kullanılan ve çalışmanın kapsamı dışında kalan profiller için de benzer çalışmalar yürütülmelidir. Çalışmada profillerin yalnız aksenal basınç kuvveti etkisindeki dayanımları belirlenmiştir. Benzer bir çalışma, diğer kesit zorları (eğilme momenti, burulma momenti ve/veya kesme kuvveti) için de gerçekleştirilebilir. Ülkemizde tezde incelenen profillerin dışında, C,  $\Sigma$ ,  $\Omega$  gibi kesitlere sahip soğuk şekillendirilmiş profiller de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Benzer çalışmaların bu tür farklı profiller için de yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Hekim Profil, Hafif Çelik Yapı ve GES Taşıyıcı Profilleri, <http://www.hekimprofil.com> (Ziyaret tarihi: 25 Mart 2019).
- [2] [http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18066\\_08\\_08.pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18066_08_08.pdf) (Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2019).
- [3] Haskar Boru Profil, Hafif Çelik Yapı Profilleri, <http://www.haskarprofil.com/urunler/hafif-celik-yapi-profil/> (Ziyaret tarihi: 25.03.2019).
- [4] Yu W.-W., LaBoube R. A., *Cold Formed Steel Design*, Forth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2010.
- [5] Specification for Design of Light Gage Steel Structural Member, *American Iron and Steel Institute*, New York, 1946.
- [6] TS 11372: Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1994.
- [7] AISI S100-16/S1-18: North American Specification (NAS) for the Design of Cold-formed Steel Structural Members, *American Iron and Steel Institute*, 2016 Edition, 3rd Printing, USA, 2018.
- [8] EN 1993-1-3: Eurocode 3 – Design of Steel Structures – Part 1.2: General Rules for Cold-Formed Members and Sheeting, *European Committee for Standardization*, Brussels, 2006.
- [9] TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, 2018.
- [10] American Iron and Steel Institute (AISI), (2014). AISI Manual - Cold Formed Steel Design – Vol. 1, 2013 Edition.
- [11] Computers and Structures Inc. (CSI), SAP 2000 Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures (Advanced 12.0.0), Berkeley, California, 2008.
- [12] <https://www.indiamart.com/proddetail/cold-roll-forming-machine-19010751230.html> (Ziyaret tarihi: 10.07.2019).
- [13] <https://www.rollerdie.com/roll-forming/> (Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2019)
- [14] <https://www.youtube.com/watch?v=OKUT9rwhlnw> (Ziyaret tarihi: 11 Temmuz 2019).

- [15] <https://emlakkulisi.com/resim/orjinal/MTM1MDA2MT-steelife-hafif-celik-yapi-sistemleriyle-igili-kitap-yazdi.jpg> (Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2019).
- [16] <http://www.almetsan.com/en/tr/images/highreferans/simfer-fabrikasi-1b.jpg> (Ziyaret tarihi: 25 Mart 2019).
- [17] <https://4.imimg.com/data4/DA/KS/MY-4906145/solar-cold-form-section-250x250.png> (Ziyaret tarihi: 28 Ekim 2019).
- [18] Haydarođlu C., İnce Cidarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Perde Duvarlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 501031006.
- [19] Genç F., Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı C Kesit Eğilme Elemanlarının Davranış ve Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 0609021044.
- [20] Büyüksişli A. B., Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Çerçeve Duvarı İçin Deneysel ve Teorik Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 154617.
- [21] <http://civil.emu.edu.tr/courses/insa473/20152016f/1.B%C3%B6l%C3%BCmb.pdf> (Ziyaret tarihi: 11 Haziran 2019).
- [22] <https://brainly.in/question/1916670> (Ziyaret tarihi: 21 Kasım 2019).
- [23] <https://www.permanentsteel.com/newsshow/AdvantagesandDisadvantagesofHotRolledSteelandColdRolledSteel.html> (Ziyaret tarihi: 21 Kasım 2019).
- [24] ÇYTHYEY, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016.
- [25] Piyawat K., Ramseyer C., Kang T. H.-K., Development of an Axial Load Capacity Equation for Doubly Symmetric Built-up Cold-Formed Sections, *Journal of Structural Engineering*, 2013, **139** (12): 04013008, 1-13.
- [26] <https://www.semanticscholar.org/paper/1-Local-and-Distortional-Buckling-of-Cold-Formed-Pinto/bbb3a70746e70a42ba275f82ae6d043e9c862ef1/figure/1> (Ziyaret tarihi: 28 Ekim 2019).
- [27] TS EN 1993-1-3: Çelik Yapıların Projelendirilmesi – Bölüm 1-3: Genel Kurallar – Soğukta Biçimlendirilmiş İnce Ölçülü Elemanlar ve Saçla Kaplama İçin”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2007.
- [28] EN 1993-1-3, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting, *European Committee for Standardization*, Belgium, Brussels, 2009.
- [29] ANSI/AISC 360-16, Specification for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, Illinois, USA, 2016.



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Çelik H.**, Pınarbaşı Çuhadaroğlu S., Soğuk Şekillendirilmiş Çelik U Profillerin Enkesit Hesaplarında Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması, *4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, 23-24 Nisan 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

Hilal Çelik, 1991 yılında Osmaneli’de doğdu. Lise öğrenimini İznik Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

