

**T. C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**DEPO RAFLARININ FARKLI DEPREM İVMELERİ  
ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Ali ÇELİK**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

**İstanbul – 2023**



## TEZ TANITIM FORMU

**Yazar Adı Soyadı** : Ali ÇELİK

**Tezin Dili** : Türkçe

**Tezin Adı** : Depo Raflarının Farklı Deprem İvmeleri Altında Davranışının İncelenmesi

**Enstitü** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

**Anabilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği

**Tezin Türü** : Yüksek Lisans

**Tezin Tarihi** : 26.07.2023

**Sayfa Sayısı** : 90

**Tez Danışmanı** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

**Dizin Terimleri** : Raf ayak profilleri, ince cidarlı kesitler, basınç çubukları,

**Türkçe Özet** : Depo raf sistemleri lojistik ihtiyaçlar için yapılan konstrüktif sistemlerdir. Bu sistemlerde kullanılan ayak profilleri, taşıyıcı sistemin geometrisine ve depremsellik durumuna göre farklı formlarda tasarlanırlar. Bu çalışmada önce raf sistemlerinin çeşitli yük kombinasyonlarındaki davranışları incelenmiş, sonrasında da ayak profillerinin kapasiteleri araştırılmıştır.

**Dağıtım Listesi** : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne  
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

*İmzası*

*Ali ÇELİK*

**T. C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**DEPO RAFLARININ FARKLI DEPREM İVMELERİ  
ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Ali ÇELİK**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI**

**İstanbul – 2023**

## BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ali ÇELİK

.../.../2023



**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Ali ÇELİK'in Depo Raflarının Farklı Deprem İvmeleri Altında Davranışının İncelenmesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından. İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat Mühendisliği anabilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

*İmza*

Başkan

*Doç. Dr. Anıl NİŞ*

Üye

*İmza*

*Dr. Öğr. Üyesi Burak TOYDEMİR*

Üye

*İmza*

*Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI*

(Danışman)

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2023

*İmzası*

*Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ*

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Ağır yük ve palet rafı olarak bilinen depo raf sistemleri; soğukta şekillendirilen ince cidarlı kesitlerden oluşmaktadır. Yaşadığımız yüzyıldaki küresel ekonomik koşullar, bu sistemlere olan talebi hızla artırmaktadır. Bir başka küresel faktör olan deprem, performans analizlerini önemli bir konu haline getirmiştir. Hızlı üretilebilmeleri, yüksek katlı yapılmaları ve taşıdığı yüklerin ağırlığı bakımından çelik konstrüktif yapı haline gelen bu sistemlerin depremselliği önem arz etmektedir. Özellikle deprem etkilerine karşı dayanımlarını etkileyen en önemli konu; ayaklarda kullanılan profil tipleridir. Süneklik düzeyi sınırlı olarak tasarlanan bu sistemlerde stabilite, merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile sağlanmaktadır. Deprem yer hareketleri; depolama raflarının doğru tasarlanmadığı durumlarda çökmesine veya devrilmesine neden olabilmektedir. Genel yaklaşım, bu tarz sistemlerin deprem esnasında sünek davranış göstebilmesi ve sistemin sınırlar içerisinde deplasman yaparak yıkılmadan ayak kalabilecek rijitliğe sahip olmasını şeklindedir. Bu çalışmada; statik yükler ile deprem etkilerinin, profil kapasitelerine nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu bağlamda örnek bir modül uygulaması tasarlanarak, farklı depremselliğe sahip bölgelerde kurulduğu varsayılacaktır. Elde edilen iç kuvvetler ve tasarım yaklaşımlarıyla farklı profil kesitlerinin dayanım kapasiteleri araştırılarak, yerli ve özellikle bu konuda ileri çalışmalara sahip yabancı ülke yönetmeleklerine göre irdelenecektir. Lojistik bir depoda yapılan raf grubundan örnek bir modül alınarak, ön tasarımı autocad ortamında yapılmıştır. Daha sonra model sap2000 ortamına import edilerek; sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmıştır. Gerek analiz, gerekse sonuçların irdelenmesinde aşamasında CFS, TBDY 2018, ÇYHY 2016, FEMA 440, FEMA 365, AISI S100 yönetmelik ve şartnamelerinden faydalanılmıştır. Yatay deplasmanın merkezi çaprazlı gerdirmeler ile karşılanmasına rağmen, ayak profil tasarımlarında kesitlerin ve form şekillerinin arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğukta Şekillendirilmiş İnce Cidarlı Kesitler, Depo Rafları, Raf Ayak Profilleri, Basınç Çubukları

## SUMMARY

Warehouse rack systems, also known as heavy load and pallet racking; consists of thin-walled sections formed in the cold. The global economic conditions in the century we live in are rapidly increasing the demand for these systems. Earthquake, another global factor, has made performance analysis an important issue. The seismicity of these systems, which have become steel constructive structures in terms of their rapid production, high-rise construction and the weight of the loads they carry, is important. are the profile types used on the feet. In these systems, which are designed with limited ductility, stability is provided by steel frames with central braces. Earthquake ground movements; In cases where the storage shelves are not designed properly, it can cause them to collapse or topple. The general approach is that such systems can show ductile behavior during earthquakes and that the system has the rigidity to remain standing without collapsing by displacement within the boundaries. In this study; The effects of static loads and earthquake effects on profile capacities have been investigated. In this context, an example module application will be designed and it will be assumed to be installed in regions with different seismicity. With the internal forces and design approaches obtained, the strength capacities of different profile sections will be investigated and examined according to the regulations of domestic and foreign countries that have advanced studies on this subject. Then the model was imported into the sap2000 environment; Analysis was carried out using the finite element method. TBDY 2018, ÇYHY 2016, FEMA 440, FEMA 365, AISI 100 regulations and specifications were used in both the analysis and the analysis of the results. Although the horizontal displacement is met by the central braced tensions, it has been observed that the cross-sections and form shapes increase in the foot profile designs.

**Keywords:** Cold Formed Thin-Walled Sections, Storage Shelves, Rack Leg Profiles, Pressure Bars



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
KISITLAMALAR VE SİMGELER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
GRAFİKLER LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xiii
GİRİŞ .....	1

## BİRİNCİ BÖLÜM LİTERATÜR VE KAVRAMLAR

1.1. İnce Cidarlı Kesitler.....	3
1.1.1. İnce Cidarlı Kesitlerin Tarihçesi.....	4
1.1.2. İnce Cidarlı Kesitlerin Kullanım Alanları .....	5
1.1.3. İnce Cidarlı Kesitlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	7
1.1.4. İnce Cidarlı Kesitlerin Tasarım Esasları.....	8
1.1.5. İnce Cidarlı Kesitlerin Üretim Prosesleri .....	10
1.2. Depo Raf Sistemleri.....	15
1.2.1. Depo Raflarının Tanımı.....	15
1.2.2. Depo Raf Çeşitleri .....	15
1.2.3. Depo Raflarında Kullanılan Kesitler .....	17
1.2.3.1. Ayak Profili .....	18
1.2.3.2. Ayak Örgü Diyagoneli .....	19
1.2.3.3. Ayak Pabucu.....	21
1.2.3.4. Travers .....	21
1.2.3.5. Ayak Bağlantı.....	23
1.2.3.6. Yatay Deprem Gerdirmesi.....	24
1.2.3.7. Düşey Deprem Gerdirmesi.....	25

## İKİNCİ BÖLÜM YÖNETMELİKLER VE ANALİZ

2.1. Tasarım Esasları.....	27
2.1.1. Kullanılan Programlar .....	28
2.1.2. Yükler ve Özellikleri .....	28
2.1.3. Sistem Ön Tasarımı .....	29
2.1.4. Malzeme Özellikleri .....	30

2.1.5. Kullanılan Kesitler.....	31
2.1.6. Deprem Parametreleri.....	34
2.1.7. Yük Kombinasyonları .....	35
2.1.7.1. 1.Bölge İçin Yük Kombinasyonları tanımlaması .....	36
2.1.7.2. 2.Bölge İçin Yük Kombinasyonları tanımlaması .....	37
2.1.7.3. 3.Bölge İçin Yük Kombinasyonları tanımlaması .....	37
2.1.8. Tasarımda Kullanılan Yönetmelikler .....	38
2.1.8.1. Amerikan Menşeyli Olanlar .....	38
2.1.8.2. Avrupa Menşeyli Olanlar .....	39
2.1.9. Kesit ve Yük Atamaları .....	40
2.2. Analiz.....	42
2.2.1. Kapasite Oranları.....	45
2.2.2. Ayaklara Gelen İç Kuvvetler.....	46

## **ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

### **SONUÇLARIN İRDELENMESİ**

3.1. Elde Edilen Yüklerin Profillere Atanması.....	50
3.2. Atamada Seçilen Yönetmelikler .....	51
3.3. Lokal Yüklemedeki Yük Kombinasyonları.....	52
3.4. Mukavemet Hesapları .....	52
3.4.1. Sistemde Kullanılan Ayak Profilinin Spesifik Özellikleri .....	53
3.4.1.1. Kesit Bilgileri .....	53
3.4.1.2. Boşluklu Kesite Ait Bilgiler .....	54
3.4.1.3. Kesitin Hesaplanan Kapasitesi .....	54
3.4.2. 1.Bölge (İstanbul) İçin Statik Kesit Analizi .....	54
3.4.3. 2.Bölge (Konya) İçin Depremlı Kesit Analizi.....	57
3.4.4. 3.Bölge (Bingöl) İçin Depremlı Kesit Analizi .....	59
3.5. Kapasitelerin İrdelenmesi .....	61
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>

## KISALTMALAR VE SİMGELER

### Kısaltmalar

<b>AISI S100</b>	:	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Tasarımı İçin Kuzey Spesifikasyonu (American Iron and Steel Institute- North Specification For The Design of Cold-Formed Steel Structural Members))
<b>ASCE</b>	:	Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (The American Society of Civil Engineers)
<b>AISC</b>	:	Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction)
<b>ANSI</b>	:	Amerikan Ulusal Standardı (American National Standard)
<b>CFS</b>	:	Soğuk Şekillendirilmiş Çelik (Cold Formed Steel)
<b>ÇYTHYE</b>	:	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
<b>FEMA</b>	:	Amerikan Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (Federal Emergency Management Agency)
<b>FEM</b>	:	Avrupa Malzeme Taşıma Federasyonu (European Material Handling Federation)
<b>GKT</b>	:	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
<b>LFRD</b>	:	Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı (Load and Resistance Factor Design)
<b>SEMA</b>	:	Depolama Ekipmanları İmalatçıları Derneği (Storage Equipment Manufacturers Association)
<b>TBDY</b>	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<b>YDKT</b>	:	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

## Simgeler

<b>A</b>	:	Enkesit alanı
<b>A<sub>e</sub></b>	:	Etkin net enkesit alanı
<b>A<sub>t</sub></b>	:	Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan eşdeğer alan [m <sup>2</sup> ]
<b>BKS</b>	:	Bina Kullanım Sınıfı
<b>BYS</b>	:	Bina Yükseklik Sınıfı
<b>C<sub>t</sub></b>	:	Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
<b>e</b>	:	% 5'lik ek dışmerkezlik [m]
<b>E</b>	:	Yapısal çelik elastisite modülü (E = 200000 Mpa)
<b>F<sub>cre</sub></b>	:	Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi
<b>F<sub>e</sub></b>	:	Eğilmeli burkulma sınır durumu için karakteristik basınç dayanımı
<b>F<sub>n</sub></b>	:	Karakteristik basınç dayanımı
<b>F<sub>s</sub></b>	:	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
<b>F<sub>1</sub></b>	:	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
<b>F<sub>u</sub></b>	:	Yapı çeliğinin karakteristik çekme dayanımı
<b>F<sub>y</sub></b>	:	Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi
<b>g</b>	:	Yerçekimi ivmesi [g = 9,81 m/s <sup>2</sup> ]
<b>G</b>	:	Sabit yük etkisi
<b>GÖ</b>	:	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
<b>h<sub>i</sub></b>	:	Binanın i'inci katının kat yüksekliği [m]
<b>H<sub>N</sub></b>	:	Bina Toplam Yüksekliği [m]
<b>I</b>	:	Bina Önem Katsayısı
<b>i</b>	:	Atalet yarıçapı
<b>K</b>	:	Burkulma katsayısı
<b>KH</b>	:	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
<b>KK</b>	:	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi

$L$	:	Çubuk boyu
$m_i$	:	$i$ 'inci katın toplam kütlesi [t]
$M_0$	:	Binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti [kNm]
$M_{DEV}$	:	Betonarme perdenin veya çaprazlı çerçevenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti [kNm]
$n$	:	Hareketli yük katılım katsayısı
$P_c$	:	Çelik elemanın beklenen aksenal basınç dayanımı [kN]
$P_r$	:	Gerekli aksenal kuvvet dayanımı
$P_u$	:	(YDKT) yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli aksenal kuvvet dayanımı
$Q$	:	Hareketli yük etkisi
$R$	:	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	:	Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
$S_{aR}(T)$	:	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{DS}$	:	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{D1}$	:	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_s$	:	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_1$	:	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{ae}(T)$	:	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aed}(T)$	:	Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{de}(T)$	:	Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
$SH$	:	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
$t$	:	Kalınlık

$T$	:	Doğal titreşim periyodu [s]
$T_A$	:	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$T_{AD}$	:	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$T_B$	:	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$T_{BD}$	:	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$T_L$	:	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
$T_p$	:	Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]
$V_{ye}$	:	Beklenen kesme kuvveti kapasitesi [kN]
$V_{tx}^{(X)}$	:	Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusu'nda elde edilen en büyük toplam deprem yükü [kN]
$V_{x,tüm}^{(X)}$	:	Binanın tümü (üst bölüm + alt bölüm) için (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında hesaplanan taban kesme kuvveti [kN]
$w_k$	:	k'inci kata etkiyen toplam ağırlık [kN]
$\beta_{tE}^{(X)}$	:	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	:	(X) deprem doğrultusunda binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü [kN]
$\Delta_i^{(X)}$	:	(X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
$\Phi$	:	Dayanım katsayısı
$\Omega$	:	Güvenlik katsayısı

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Geleneksel roll form tezgâhlarının çalışma aralığı .....	14
<b>Tablo 2.</b> Analize esas alınacak yükler .....	27
<b>Tablo 3.</b> Sıcak haddelenmiş çeliklerde akma $F_y$ ve çekme dayanımı $F_u$ .....	30
<b>Tablo 4.</b> Tasarımda kullanılan kesitler .....	31
<b>Tablo 5.</b> Depremselliği ve analizleri farklı bölgeler için parametreler.....	34
<b>Tablo 6.</b> 1.Bölge yük kombinasyonları .....	36
<b>Tablo 7.</b> 2.Bölge yük kombinasyonları .....	37
<b>Tablo 8.</b> 3.Bölge yük kombinasyonları .....	37
<b>Tablo 6.</b> Sistemin doğal titreşim periyodu .....	43
<b>Tablo 7.</b> Sistemin doğal titreşim periyodu (Tablo 6. nın devamı).....	44
<b>Tablo 8.</b> 1.Bölge için maksimum eksenel kuvvetler (İstanbul).....	46
<b>Tablo 9.</b> 2.Bölge için maksimum eksenel kuvvetler (Konya).....	47
<b>Tablo 10.</b> 3.Bölge için maksimum eksenel kuvvetler (Bingöl).....	47
<b>Tablo 11.</b> Profilin gelen iç kuvvetler ve burkulma boyları .....	52

## GRAFİKLER LİSTESİ

<b>Grafik 1.</b> Çeşitli burkulma modları için elastik gerilme örnekleri .....	19
<b>Grafik 2.</b> Travers statik taşıma kapasitesi tablosu .....	23
<b>Grafik 3.</b> Deprem bölgeleri için X yönü kat kesme kuvvetleri .....	48
<b>Grafik 4.</b> Deprem bölgeleri için Y yönü kat kesme kuvvetleri .....	48
<b>Grafik 5.</b> Her üç bölge için mesnet reaksiyonları.....	49
<b>Grafik 6.</b> Her üç bölge için çaprazlı yön devrilme momentleri .....	49
<b>Grafik 7.</b> 1.Bölge için statik yükler altında kapasite grafiği .....	55
<b>Grafik 8.</b> 2.Bölge için deprem etkileri altında kapasite grafiği .....	57
<b>Grafik 9.</b> 3.Bölge için deprem etkileri altında kapasite grafiği .....	59





## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. İnce cidarlı kesit örnekleri.....	3
Şekil 2. Tipik soğukta şekillendirilmiş kesit türleri.....	4
Şekil 3. 1850 li yıllara ait hafif çelik yapı örneği.....	4
Şekil 4. Hafif çelikten yapılan bir ev.....	6
Şekil 5. Lojistik taşımacılıkta kullanılan konteynerler.....	6
Şekil 6. İnce cidarlı kesitlerle oluşturulan depo rafları.....	7
Şekil 7. Rulo şekillendirme sırasında şerit kenarının teorik yolu.....	11
Şekil 8. Şerit kenarının gerçek hareketi .....	11
Şekil 9. Çiçek diyagramı.....	12
Şekil 10. Roll form işleminde şekil değişim dağılımı .....	12
Şekil 11. Soğuk şekillendirme uygulaması .....	13
Şekil 12. Rulo şekillendirme işleminin şematik gösterimi .....	13
Şekil 13. Standart rollform makinası .....	14
Şekil 14. Rollform makinesinde profil kesme işlemi .....	14
Şekil 15. Ağır yük ve palet rafı.....	15
Şekil 16. Depo Raf Çeşitleri .....	16
Şekil 17. Palet raflarında kullanılan modüler bileşenler .....	17
Şekil 18. Ayak profili .....	18
Şekil 19. Ayak profili çeşitleri.....	18
Şekil 20. Buruşma modlarına örnekler .....	18
Şekil 21. Distorsiyonel burkulma modlarına örnekler.....	19
Şekil 22. Ayak örgü diyagonalı.....	19
Şekil 23. Diyagonal örgü çubuğu.....	20
Şekil 24. Tipik raf ayağı örgü şekilleri.....	20
Şekil 25. Ayak pabucu .....	21
Şekil 26. Travers.....	21
Şekil 27. Travers çeşitleri.....	22
Şekil 28. Traverslerde sehim miktarı .....	22
Şekil 29. Travers bağlantı konnektörleri.....	22
Şekil 30. Ara bağlantı profili .....	23
Şekil 31. Yatay deprem gerdirmesi.....	24
Şekil 32. Yatay deprem gerdirmesinin şematik gösterimi.....	24
Şekil 33. Düşey deprem gerdirmesi.....	25
Şekil 34. Düşey deprem gerdirmesinin şematik gösterimi.....	25
Şekil 35. Raf kurulumunun yapılacağı kurgulanan depo görünüşü.....	26
Şekil 36. Raf kurulumunun yapılacağı varsayılan deprem bölgeleri.....	26
Şekil 37. Bir raf katının yükleme şekli.....	28
Şekil 38. Raflara ait plan ve kesit .....	29
Şekil 39. Rafların izometrik görüntüsü.....	29
Şekil 40. Sap2000 de malzeme tanımlaması.....	30

Şekil 41. Ayak profili.....	31
Şekil 42. Diyagoneller.....	32
Şekil 43. Travers.....	32
Şekil 44. Ayak ara bağlantı.....	32
Şekil 45. Yatay deprem gerdirmesi.....	33
Şekil 46. Düşey deprem gerdirmesi.....	33
Şekil 47. Modelin izometrik görünüşü .....	40
Şekil 48. Ön görünüşü .....	40
Şekil 49. Traverslere mafsalsal atanması .....	41
Şekil 50. Düşey Deprem Gerdirmelerinin Görünüşü .....	41
Şekil 51. Yük atamalarının grafiksel görünüşü .....	41
Şekil 52. Yatay çaprazların görünüşü .....	41
Şekil 53. Diyagonellerin görünüşü.....	42
Şekil 54. 2.Bölge için kesitlere ait kapasite oranları (Konya) .....	45
Şekil 55. 3.Bölge için kesitlere ait kapasite oranları (Bingöl) .....	45
Şekil 56. Ayaklara gelen iç kuvvetlerin grafiksel gösterimi .....	46
Şekil 57. Ayak profillerinin burkulma boyları .....	50
Şekil 58. Faydalı enkesit alanı .....	51
Şekil 59. 120x2,5 mm omega ayak profili kesiti .....	53
Şekil 60. 1.Bölge için max boydaki deformasyonun grafiksel gösterimi .....	56
Şekil 61. 1.Bölge için statik yükler altında max boyda burkulma modu şekli.....	56
Şekil 62. 2.Bölge için max boydaki deformasyonun grafiksel gösterimi .....	58
Şekil 63. 2.Bölge için statik yükler altında max boyda burkulma modu şekli.....	58
Şekil 64. 3.Bölgede ayak profilinin maksimum kapasitede burkulma modu .....	60
Şekil 65. 3.Bölge için statik yükler altında max boyda burkulma modu şekli.....	60
Şekil 65. Kapasitesi artırılmış ayak profili kesiti.....	64

## ÖNSÖZ

Bu tez hazırlanırken ulusal ve uluslararası kaynaklar, yönetmelikler ve değerli hocalarımlın çalışmaları ve sektörde öncü iş insanlarının tecrübe ve görüşlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca yetişmemde doğru yada dolaylı olarak katkısı bulunun ve bu çalışmaya motive eden bir takım insanlara özellikle teşekkür etmek isterim. Baştan sona doğru gittiğimde; sektörel gelişmemde büyük katkısı olan kıymetli büyüğüm Mak.Müh. Zeki Pektaş' a, derslerinde sıralar bir gün öncesinden tutulan, bana mukavemeti ve çelik yapıları sevdiren kıymetli hocam Dr. Öğr.Üyesi Murat Hiçyılmaz' a, tez ve eğitim çalışmasından oldukça faydalandığım Yük.İnş.Müh. Arda Karabulut'a, beni bu yola güdüleyen, kendisiyle bilimsel çalışmayı ayrıcalık olarak gördüğüm ve su ile ilgili çok şey öğrendiğim Dr Öğr. Üyesi Yasin Paşa hocama ve beni öğrenci olarak kabul ederen, her an motivasyonumu üst seviyede tuan ve bu tezin hazırlanmasında yol gösterici olan kıymetli hocam Dr.Öğr.Üyesi Ahmad Reshad Noouri' ye teşekkürü borç bilirim.

## GİRİŞ

Gavrilo Princip...1894 yılında Bosna-Hersek'te doğan bu sırp genci, henüz 20 yaşındayken dünyanın kaderini değiştirecekti. 28 Haziran 1914'te Saraybosna' yı ziyarete gelen Avusturya – Macaristan İmparatorluğu veliahtı Arşidük Franz Ferdinand'ı öldürecek, önce I. Dünya Savaşı, ardından 20 yıl sonrada II. Dünya Savaşı başlayacaktı. İronik bir şekilde savaşlar; insanoğlunun belkide yıllarca ulaşmayacağı bilimsel teknolojik gelişmelere büyük bir hız kazandırmaktadır. II. Dünya Savaşında Almanya; mühendislik alanında ön plana çıkarken, Amerika Birleşik Devletleri' üretim bandı kavramını geliştirerek süper bir güç haline gelmiş, bu iki gelişme; gelecek yüzyılın endüstri ve üretim altyapısının temellerini oluşturmuştur.

Ne üretiyorsunuz? ve ne kadar kısa zamanda üretebiliyorsunuz?... İşte lojistiğin temelleri bu şekilde atılmıştır. İnternetin ve kıtalar arası iletişimin güçlenmesiyle ticaret; evrensel bir hale gelmiştir. Ülkeler varlıklarını sürdürebilmeleri için üretmek ve ürettiklerini küresel piyasalara hızlı bir şekilde sunmak zorundadır. Gelişen teknoloji ve nüfus artışı; insanoğlunun yaşama alanlarını kısıtladığı gibi, tüketime olan ihtiyaçlarını artırmaktadır. Yaşanan savaşlar, doğa olayları, salgınlar; küresel bir hale gelmiş olup, talep arzın önüne geçmiştir. Öyleki yakın dönemde dünyayı etkisine alan pandemi; ulaşım, iletişim ve üretimin önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Aşırı nüfus artışı tüketimide beraberinde getirmiş, bu da arz hızını doğal olarak artırmıştır.

Sanayi ve endüstri üretimi; ürünlerini arz edebilmesi için stoklamak zorundadır. Bu noktada Depo Raf Sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu sektörün hızı ve cirosu, ülkenin ithalat ve ihracat girdileriyle doğrudan orantılıdır. İnsanlığın nüfusu hızla artarken, yaşam alanları sabit kalmakta, hatta küresel ısınma bu alanları gelecekte dahada kısıtlı bir hale getirmektedir. Bu yüzden lojistikte dikey istifleme esastır. Depo raflarında insan oğlunun en önemli ihtiyaçlarını karşılayan lojistik yapı türlerinden bir tanesidir. Gelişen teknoloji ve oluşan talepler; raf sistemlerini basit kurulan, eskilerin tabiriyle terek sistemler olmaktan çıkarmış; deprenselliği göz ardı edilmemesi gereken önemli bir konstruktif yapı haline getirmiştir. Az alana çok ürün sığdırma, raflamanın birinci prensibidir. Bunun yanında Pangea adı verilen yerküre,

yaradılışından beri yüzyıllardır hareket etmektedir. Bu hareket, belirli zaman dilimlerinde deprem dalgaları olarak ortaya çıkmaktadır.

Ne zaman geleceği belli olmayan bir tehlikeye karşı insanlar kendilerini, depreme dayanıklı yapılar yaparak korumaya çalışırlar. Yerin hareketi ile oluşan deprem, ancak insanoğlunun kendi yaptığı yapılarda tehlike oluşturan bir doğa olayıdır. Yükseklik arttıkça sistemlerin periyotları artmakta, depremsellikleri daha önemli bir hale gelmektedir. Bilindiği üzere, yapılarda hayati taşıyıcı organlar düşey taşıyıcılardır. Kalınlıkları genişlikler form yapıları, tamamıyla sisteme gelen dinamik ve statik yükler altında şekillenmektedir. Buda rafların kurulduğu bölgenin depremselliği ve zemin kalitesini ayrıca önemli kılmaktadır.

Depo Rafları; üretimi son derece hızlı olan soğukta şekillendirilmiş ince cidarlı malzemelerden ve hafif profil kesitlerden oluşmaktadır. Dünyada alışlagelmiş yapı elemanları ile inşa edilen yapılar, yüksek enerji ve kaynak kullanmaktadırlar. Tam da bu sebeple, soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik profillerin raf sistemlerinde kullanılması, yüksek dayanım kapasitesinin yanında az malzeme ve enerji tüketmektedir. Son yıllarda küresel gelişmeler, bu sektördeki pazar payını artırmış, bu da sistemlerin yapısal dayanımının irdelenmesini gerekli kılmıştır.

Özellikle yüksek raflar ve bina çevresini destekleyen raflar için, elastik burkulma yükünün hesaplanmasında, deprem tasarımının ve hizmete elverişlilik kontrollerinin gerçekleştirilmesinde, dik çerçevelerin enine kayma rijitliğinin doğru bir şekilde belirlenmesi esastır. Gerek boyutları, gerek taşıdığı yükler, ve gerek içerisinde çalışan insanların olmasından dolayı, bu sistemlerin dayanım ve performansları üst seviyede önem arz etmektedir.

Soğuk şekillendirilmiş çelik ile üretilen yapıların özellikle sismik etkiler altında olumsuz etkilendiği bilinmektedir. Bu tez çalışmasında; Depo Raf Sistemlerinin ana taşıyıcı unsuru basınç elemanlarını incelemek üzere örnek bir depo raf projesi modeli oluşturulmuş, farklı depremselliğe sahip bölgelerde kurulduğu var sayılarak sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmıştır. Model; köşegen merkezi çaprazlarla güçlendirilerek, deprem etkilerine karşı davranışı incelenmiştir. Analiz neticesinde elde edilen iç kuvvetler ve tasarım yaklaşımlarıyla farklı profil kesitlerinin dayanım kapasiteleri araştırılmıştır.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## LİTERATÜR VE KAVRAMLAR

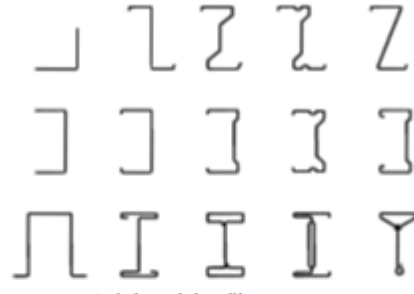
### 1.1. İnce Cidarlı Kesitler

İnce cidarlı kesitler, soğukta şekillendirilen hafif çelik elemanlardır. Literatürde; hafif çelik yapı elemanları, ince cidarlı kesitler, soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanları gibi pek çok farklı isimle de anılırlar. Soğukta şekillendirilmiş ince cidarlı elemanlar birçok farklı taşıyıcı sistemde tercih edilmektedir. İki veya daha az katlı yapılar, depo raf sistemleri, konteynırlar gibi birçok konstrüktif yapıda kullanılmaktadırlar. Bu kesitlerde kullanılan sac kalınlıkları 0,6 mm ile 6 mm kalınlıkta olabilmektedir (Tunca, Erdal, Sağöz, & Çarbaş, 2017).

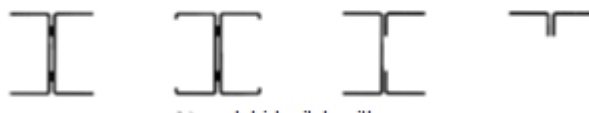


**Şekil 1.** İnce cidarlı kesit örnekleri (Shanghai Metal,2023)

Hafif Çelik yapı sistemleri genel olarak prefabrike sandviç paneller, karkas panel sistem ve yerinde monte edilen sistem olarak 3 gruba ayrılmaktadır. Bu konuda yeknesak bir terminoloji olmadığı için sistemler ülkemizdeki üreticiler arasında alışlagelmiş gruplandırmalara göre isimlendirilmektedir (Güneş & Çeribaşı, 2017). Yapı itibarıyla ince kalınlıklı olmalarından dolayı işlenebilmeleri kolaydır ve gerek yatay taşıyıcı gerekse basınca çalışan her çubuk elemanda kullanılabilir. Bunun yanı sıra belli bir genişliğe kadar, yüzeysel kapama veya taşıyıcılığa sahip plak elemanlarda da ince cidarlı kesitlerden yararlanılabilmektedir. Sandviç panellerde kullanılan saclar, raflarda kullanılan tablalar, yük konteynırlarının duvarları; farklı genişliğe sahip yüzeysel taşıyıcı elemanlara örnek olarak verilebilir.



a) tek açık kesitler



b) açık birleşik kesitler



c) kapalı birleşik kesitler

**Şekil 2.** Tipik soğukta şekillendirilmiş kesit türleri (TS EN 1993-1-3 (Eurocode 3), 2006)

### 1.1.1. İnce Cidarlı Kesitlerin Tarihçesi

Binaların inşaatı için soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların kullanımı 1850'lerde Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'de başladı. Kullanımı çoğunlukla deneyseldir ve birkaç temel yapılandırmayla sınırlıdır. Özellikle Kanada'da 100 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Kullanım büyük ölçüde deneyseldi ve birkaç temel yapıyla sınırlıydı (Demirel Y. , 2019).



**Şekil 3.** 1850 li yıllara ait hafif çelik yapı örneği (Structure Magazine)

1849 Californiada New Yorklu bir çatı ustası olan Peter Naylor, "Kaliforniya için portatif demir evler" in reklamını yaptı. Reklam; tüm parçaların birlikte çalışabilmesi için birleşimlerin vidalı olduğunu belirtiyordu. Yaklaşık 20 mt x 10 mt oturumundaki evler bir günden daha kısa sürede inşa edilebiliyordu. Ahşaptan daha ucuz ve daha rahattı. 1930'dan itibaren, sistem çok iyi açıklanamamasına rağmen nispeten kabul gören ev katalogları üretildi. 1939' da, AISI sponsorluğunda Cornell Üniversitesi'nden mühendis George Winter, soğuk şekillendirilmiş çelik yapıları araştırmaya başladı. İlk yayın 1940 yılındaydı. Ardından tüm Hafif Çelik Yapı Elemanlarının Tasarımı için AISI Şartnamesinde derlenen diğerleri geldi. (Allen, 2006).

Çalışmalar, kalınlığı 3/16'ya kadar olan, akma dayanımı 172MPa ile 227Mpa arasında olan ve kullanılan çelikler ASTM tarafından düzenlenen A245 ve A246 çelikleri baz alınarak yapılmıştır. Mevcut standartlar ve spesifikasyonlarla karşılaştırıldığında çok sınırlı bir düzenlemeydi. Bununla birlikte, büyümenin önündeki en büyük engel, soğuk şekillendirilmiş çelik yapılar üzerindeki çabalar için belirlenen güvenlik katsayısıydı (1,85), mevcut oranlarla (1,15) karşılaştırıldığında oldukça yüksekti. 1980'lerde artan kereste fiyatları, Amerika Birleşik Devletleri'nde alçak binalarda hafif çelik elemanların kullanımını popüler hale getirmiştir. Güneş enerjisine yapılan yatırımların hız kazanması ve bina yüksekliklerinin düşürülmesine yönelik trend ile ince çelik saclar her geçen gün daha fazla tercih ediliyor. (Allen, 2006). Ülkemizde kullanımı ise 1990'lı yıllarda başlamış ve 1999 Kocaeli ve Düzce Depremlerinin ardından alternatif yapı sistemi olarak kullanım miktarı oldukça artış göstermiştir. Bu sistem birçok gelişmiş ülkede uzun süredir kullanılmaktadır ancak ülkemizde tasarım ve üretim aşamalarındaki yönetmelikler açısından halen eksiklikler bulunmaktadır (Türker, 2020).

### **1.1.2. İnce Cidarlı Kesitlerin Kullanım Alanları**

Hafif Çelik Yapı Sistemlerinin uygulama alanları; doğal afet, salgın hastalık gibi sorunların hemen akibinde; haftalar içinde binlerce yataklı hastanelerin inşa edilebilmesi, bunun yanı sıra kamp, okul, afet konutları gibi acil ihtiyacın sözkonusu olduğu durumlarda özellikle tercih edilmesine rağmen, ülkemizde henüz kalıcı konutların yapımında beklenen oranlara gelinememiştir (Türker, 2020).





**Şekil 4.** Hafif çelikten yapılan bir ev (Constrofacilitator, Hindistan)

Deniz taşımacılığında kullanılan konteynerler de bir tür hafif çelik yapı örneğidir. Duvarları kalın saclardan bükülerek oluşturulan konteynerlar, başka bir taşıyıcı sisteme gerek duymaksızın üst üste istiflenebilmektedir. Yüksek taşıma kapasitesi, bükümlü tavan ve duvarlardan oluşan hafif çelik çerçeveden kaynaklanmaktadır. Konteynerler, taşıma kolaylığı ve anında kullanımları nedeniyle askeri amaçlara da hizmet edebilir ve kriz yönetimi üssü görevi görebilir. Öyleki, harici bir konstrüksyona ihtiyaç duymaksızın üst üste 6 kata kadar istiflenebilmektedirler. (Türker, 2020).



**Şekil 5.** Lojistik taşımacılıkta kullanılan konteynerler (Mak Prefabrik Yapı Sist.)

Konumuzla ilgili olan bir diğerk kullanım alanıda lojistikdir. Hızlı üretim, montaj demontaj kolaylığı, yüksek taşıma kapasitesi ve düşük maliyetinden dolayı raf sistemlerinde kullanılmaktadır. Kesitlerdeki çeşitlilik, özel tasarımlar yapılmasına olanak sağlamaktadır.



**Şekil 6.** İnce cidarlı kesitlerle oluşturulan depo rafları (Aşçelik, 2010)

### 1.1.3. İnce Cidarlı Kesitlerin Avantaj ve Dezavantajları

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapıların uygulanması, imalatı, tasarımı ve optimizasyonu, önemli iyileştirmeler görmeye devam etmektedir. Bu profiller kullanılarak geliştirilen yapılar tipik olarak 0,5 ila 2 mm kalınlığındadır ve özel yapım hızı ve mimari avantajlar ile karakterize edilir. Hafif çelik taşıyıcı sistemler, özellikle üst yapıların ağırlığını önemli ölçüde azaltabilmekte ve deprem riskinin yüksek olduğu ülkemizde depreme dayanıklı yapıların inşa edilmesinde önemli rol oynayabilmektedir. Ayrıca yapı çeliği başta olmak üzere diğerk tamamlayıcı yapı elemanlarının kontrollü ön üretimi çok hızlı ve aynı zamanda çok sağlıklı konut üretimine imkan vermektedir. (Demirel Y. , 2019)

Çelik homojen ve izotropik bir malzeme olduğu için ahşap ve beton gibi malzemelere göre hesaplama yöntemi büyük ölçüde geliştirilmiş ve yapılan varsayımların doğru olup olmadığı konusundaki belirsizlik büyük ölçüde azaltılmıştır. Çinko veya galvanizli çelikten yapılmışsa korozyon direnci genellikle daha iyidir. İnce cidarlı çelik yapı elemanlarının çok yüksek yük-ağırlık oranı, onları, özellikle uzun açıklıklı, alçak yapılarda, haddelenmiş çelik yapı elemanlarına kıyasla çok ekonomik hale getirir. Hafif çelik konstrüksiyonun eksiklikleri, sıcak

haddelenmiş çelik konstrüksiyondan çok farklı değildir. • Isı ve ses yalıtımı açısından özel çözümlenmiş detaylar gereklidir. Çelik yapılarda yaygın bir problem olan titreşim yüklemesi problemlere neden olabilir. Bu durum, özel ayrıntılar ayarlanarak çözülebilir, ancak bu sorunun ortaya çıkma nedenleri şunlardır: Yapının düşük birim ağırlığı. Çeliğin yangına dayanıklılık derecesi göz önüne alındığında, çelik 600°C'de taşıma kapasitesini kaybettiği için etkili düzenleme ve koruyucu duvar kaplaması gerekebilir. Tehlikeli yanıcı maddeleri depolayan binalarda kullanımı özel uzmanlık gerektirir (Türker, 2020).

#### **1.1.4. İnce Cidarlı Kesitlerin Tasarım Esasları**

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının çalışma prensibi çok basittir. İnce, düz plakalar, düşük bükülme sertlikleri nedeniyle kendi ağırlıkları altında deforme olabilir ve ek yüklerle dayanamayabilir. Bununla birlikte, katlanmış bir tabaka halinde kalıplandığında, önemli ölçüde sağlamlık ve sağlamlık sağlar. Gerekli yapısal özellikler, panelin kalınlığını arttırmakla değil, belirli bir şekle sokmak suretiyle elde edilir. Bu uygulama, malzeme tüketimini ve bina ağırlığını önemli ölçüde artırır.

İnce cidarlı çeliğin gerilim-uzama davranışı, temel olarak karbon çeliğinden farklıdır. Bu nedenle, ince çelikteki cıvatalı bağlantıların yapısal davranışını incelemek önemlidir. İnce çelik için birleştirme hesapları, ince çelik nedeniyle normal haddelenmiş kesitlerden farklıdır. Tasarım; AISI ve Eurocode 3'e göre kontrol edilmiş ve uygulamanıza göre tasarım adımları belirtilmiştir. 1996'dan önce, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI), ince duvarlı çelik bileşenler, bunların bağlantıları ve montaj tasarımı için iki ayrı standart yayınladı. Biri Güvenli Dayanım Tasarım Metodu (ASD), diğeri ise Yükler ve Dayanım Faktörleri Kullanarak Tasarım (LRFD). Bu iki standart 1996 yılında tek bir standartta birleştirilmiştir. 2001 ve 2007 yıllarında Kuzey Amerika standartları yayınlandığında, Kanada'da kullanılmak üzere standartlara LSD yöntemi de eklenmiştir. ASD ve LRFD yöntemleri yalnızca Amerika Birleşik Devletleri ve Meksika'da kullanılmaktadır. ASD metodolojisi 'güvenlik gücüne göre tasarım' ile yeniden tanımlandı, çünkü tasarım kuralları gerilimden çok güce dayalıdır. Son yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer ülkelerde çelik yapıların yapımında yük ve dayanım faktörü

tasarımı (LRFD) kullanılmaktadır. Yük faktörü ve sürüklenme faktörü tasarımının avantajları:

- Çeşitli yükler ve dayanımlardaki belirsizlikler ve değişimler, bir dizi faktör kullanılarak hesaplanabilir.
- Olasılık teorisi, tüm tasarımlarda tutarlı güvenilirlik sağlar.

Bu nedenle, yük ve dayanım faktörlerini kullanan tasarım yöntemi, güvenli gerilme yönteminden daha güvenilir ve sofistike bir tasarım temeli sağlar. Eurocode'a göre derzlerin tasarımına ilişkin kurallar ve koşullar EN 1993-1-3'te verilmiştir. 3 mm'den büyük kalınlıklar için standart formül geçerli değildir. Bu standart, seçilen test elemanlarının kalınlığı 3 mm'den az olduğu için kullanıldı. Bu çalışmada ince çelik malzemelerin cıvatalanması ile ilgili ilk çalışmada test ayarlarında yer almayan eksantrikliğin etkisi test maddelerine, Avrupa ve Amerika standartlarının öngörülerine ve test sonuçlarına yansıtılmıştır (Demirel Y. , 2019).

Ülkemizdeki hafif çelik yapıların tasarımında TS 11372- Çelik yapılar- Soğuk şekillendirilmiş profillerle şekillendirme hesap kuralları 2014 yılına kadar standart olarak alınırken daha sonra Avrupa Birliği TS EN 1993-1-3 tarafından kabul edilmiştir. Eurocode 3: Çelik yapılar için proje planları- Bölüm 1-3: Genel kurallar- Soğuk şekillendirilmiş ince duvar elemanları ve sac kaplama için standartlar benimsenmiştir. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye'nin Bina Deprem Yönetmeliği'nde ayrıca çelik yapılar ve hafif çelik yapıların tasarımına ayrılmış bir bölüm bulunmaktadır. Deprem etkisinde soğuk şekillendirilmiş kesitlerden yapılan tüm hafif çelik yapıların yapı elemanlarının tasarımı ve birleşimlerinin düzenlenmesi esas olarak bu Yönetmelikte belirtilen kurallar ile ilgili standart ve yönetmeliklere uygun olarak yapılır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği, hafif çelik binalar için yatay destek sistemlerinin boyalı panel sistemleri ve güçlendirilmiş panel sistemleri.iki şekilde tasarlanmasını istemektedir.

Ayrıca Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından yayınlanan AISI Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Çerçeve Tasarım Kodu, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve dünyanın birçok ülkesinde yürürlükte olan önemli bir tasarım kodudur. Tasarımcılar, soğuk şekillendirilmiş çelikten bina yapıları tasarlarken, ince duvarlı bölümlerin

davranışını ve performansını karakterize eden dört özel yönü göz önünde bulundurulmalıdır. Bu işlevler başlıca:

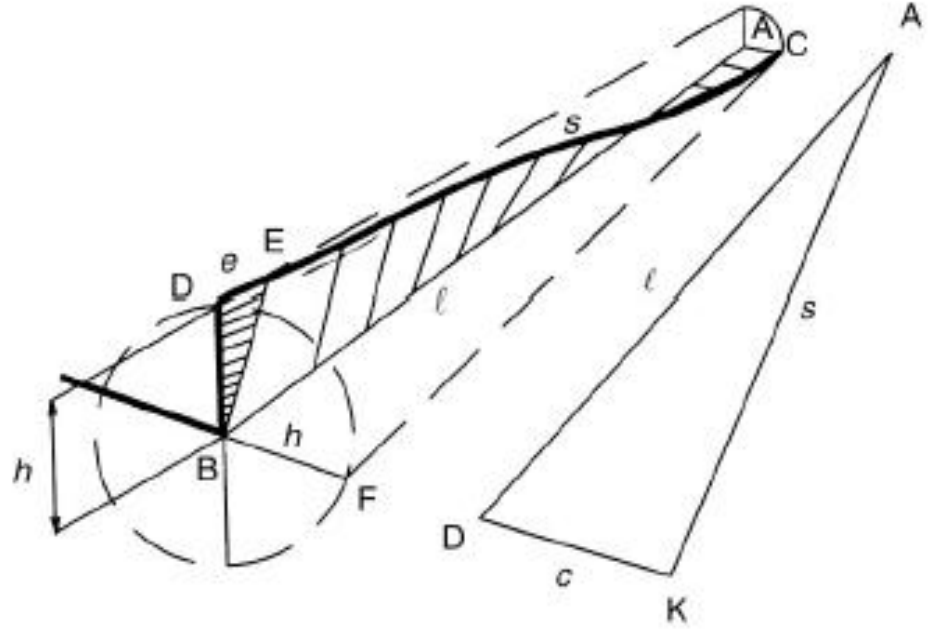
- Kesitlerin stabilitesi ve yerel dayanımı;
- Bağlantı teknolojisi ve ilgili tasarım prosedürleri;
- Referans süneklik, plastik tasarım ve sismik dayanıma göre azaltılmış süneklik;
- Yangına dayanıklılık (Türker, 2020).

Bu gelişmelerin ardından ülkeler kendi standartlarını oluştururken Türkiye’de ince cidarlı çelik elemanların bulon bağlantıları için bir teknik standart mevcut değildir (Demirel & Tüylüoğlu, 2019). Ülkemizde bu alanda 1993 yılında TS 11372 Çelik Yapılar – Hafif- Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları adı altında bir yönetmelik çıkmış olup, daha sonra yürürlükten kaldırılmıştır.

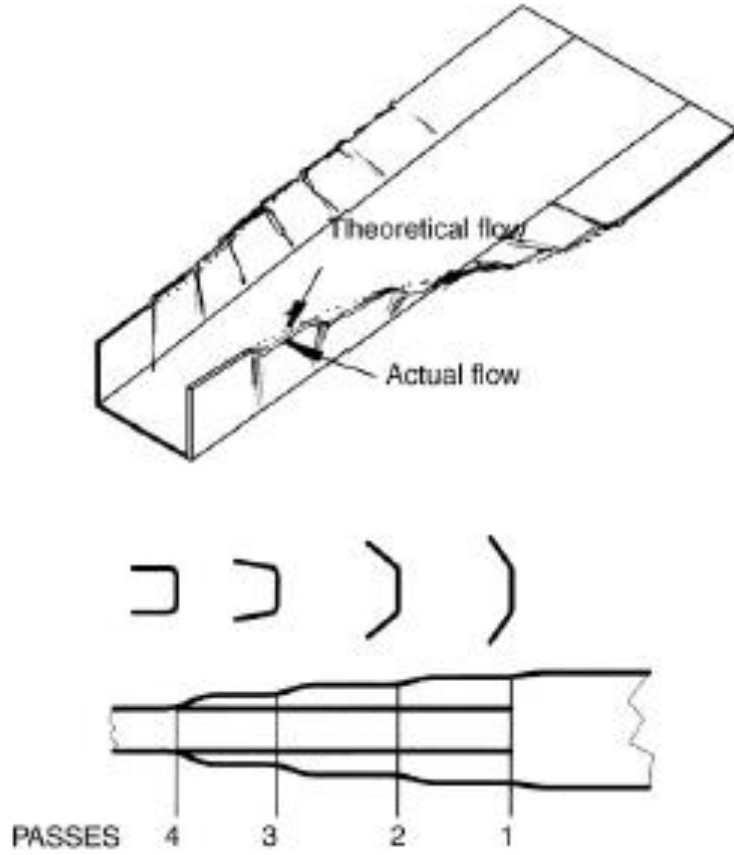
### **1.1.5. İnce Cidarlı Kesitlerin Üretim Prosesleri**

Soğuk şekillendirilmiş kütük üretimi iki temel işleme ayrılabilir. Silindir makinesinde şekillendirme ve pres bükme. Endüstri standardı kalınlıklar, her iki üretim yöntemi için de tipik olarak 0,5 ila 7 mm'dir. Bu profillerin üretiminde kullanılan çeliğin akma dayanımı 250 MPa ile 550 MPa arasındadır. (Hancock, 1997). Sac malzeme; sarılmış halde rulo olarak işleme merkezine gelmekte, burada önce istenen bant ölçülerine göre dilimlenmektedir. Dilimlenen rulo tekrar sarılarak, ana üretim hattının başındaki rulo açığına bağlanır. Buradan çıkan sac, önce doğrultucu, sonra pres, sonrada özel istasyonları olan roolforming makinasına girer. Bu işlem esnasında ilerleme, roolform makinasındaki tahrik vasıtasıyla olur.

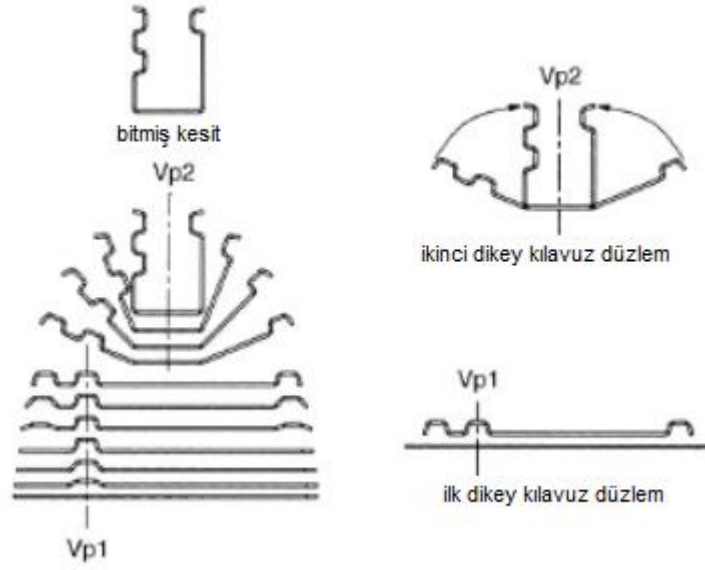
Rulo şekillendirme genellikle haddelenmiş bir metal levhayı bir dizi merdane arasından geçirerek bükme işlemidir. Bu işlem sırasında her rulo bükme işlemine çok az katkı sağlar ancak istenilen kesitte profil üretmek oldukça zaman alıcıdır. Rulo şekillendirme, son 50 yıla damgasını vuran en verimli metal şekillendirme teknolojisidir. Bunun yanında basit büküm prosesinde ince cidarlı plak ve yüzey elemanların işlenmesinde başvurulan yöntemlerden birisidir.



Şekil 7. Rulo şekillendirme sırasında şerit kenarının teorik yolu (Halmos 2006)

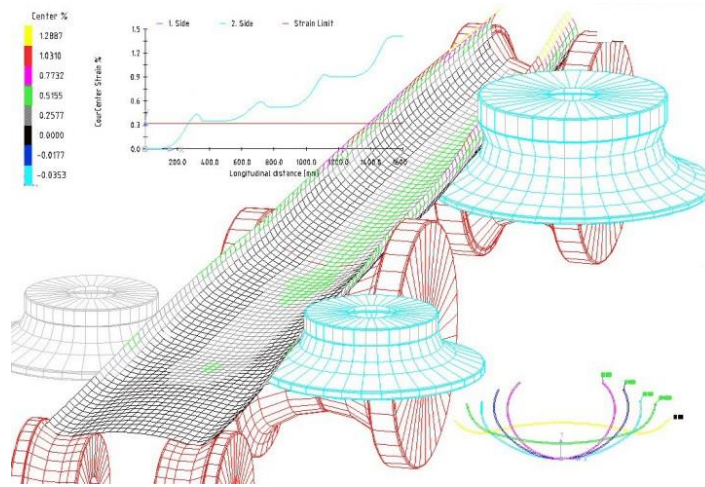


Şekil 8. Şerit kenarının gerçek hareketi (Halmos 2006)



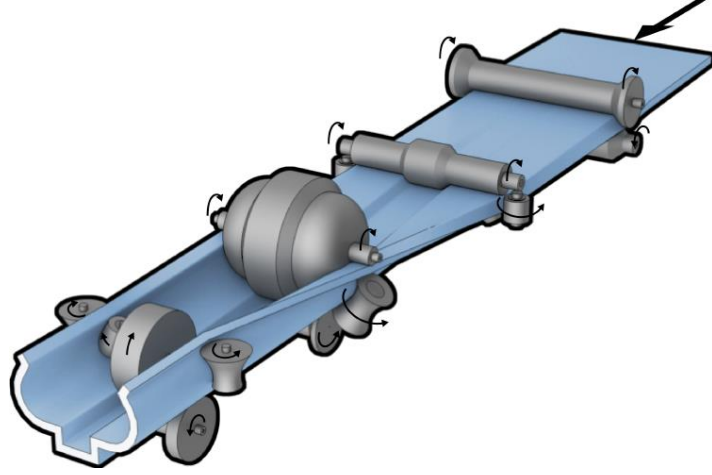
**Şekil 9.** Çiçek diyagramı (Halmos 2006).

Çeşitli kesitlerde profiller üretilebilir, ancak her profil için özenle üretilmiş bir makara seti gerekir. Makara tasarımı, her makara sehpası için bir profil olmak üzere bir dizi profil bölümünden oluşan bir çiçek deseniyle başlar. Bobin devresi daha sonra çiçek deseni profilinden türetilir. Rulo setlerinin yüksek maliyeti nedeniyle, rulo tasarımlarını geliştirmek veya doğrulamak ve nihai ürünlerdeki stant sayısını ve malzeme baskılarını en aza indirmek için şekillendirme sürecini optimize etmek için bilgisayar simülasyonu sıklıkla kullanılır.



**Şekil 10.** Roll form işlemi sırasında şekil değişim dağılımı (Livatyalı, 2006).





**Şekil 11.** Soğuk şekillendirme uygulaması

Soğuk haddeleme (roll-form) makinasıyla şekillendirme; çatı, zemin ve duvar panellerinin üretiminde en yaygın kullanılan yöntemdir. (Şekil 9) Ayrıca C, Z kesitler gibi yapısal elemanların üretiminde de kullanılır.



**Şekil 12.** Rulo şekillendirme işleminin şematik gösterimi (Abvabi 2014)

Üretim hızı büyük ölçüde malzeme kalınlığına ve bükülme yarıçapına bağlıdır; bununla birlikte, gerekli istasyon veya adım sayısından da etkilenir. Düşük karbonlu bir çeliğin 07 inç (180 mm) malzeme kalınlığının 50 katı bükülme yarıçapı için, 85 fit/dakika (26 m/min) hızında sekiz istasyonla 55 fit/dakika (17 m/min) 07 inç (180 mm) olabilir. 12 istasyona veya 22 istasyona 50 fit/dakika (15 m/min) dönüştürün (Halmos, 2006).





**Şekil 13.** Standart rollform makinası ([www.rollform.org](http://www.rollform.org))

**Tablo 1.** Geleneksel roll form tezgâhlarının çalışma aralığı (Livatyalı, 2006)

Şerit Genişliği (mm)	5-2.000
Şerit Kalınlığı (mm)	0,15-10
Kesit toleransı (mm)	$\pm 0.38$
Açı toleransı	$\pm 1-2^\circ$
Hat hızı (m/dk)	30-100
Üretim hacmi (m/8 saat)	7600-12200

Rulo şekillendirme maliyeti, hadde ürünlerinkine oranla nispeten düşüktür. Kurulum süresi, ekipman ve alet maliyetleri, yükleme/boşaltma süresi, doğrudan işçilik maliyetleri, genel giderler, ekipman ve alet amortismanı gibi hususlar, proses maliyetleri hesaplanırken dikkate alınmalıdır (Todd, Allen, & Alting, 1994).



**Şekil 14.** Rollform makinesinde profil kesme işlemi ([www.rollform.org](http://www.rollform.org))

## 1.2. Depo Raf Sistemleri

### 1.2.1. Depo Raflarının Tanımı

Türkiye; konum itibariyle lojistik ağının kesişim noktasında bulunmaktadır. Orta ve Uzak Doğu, Rusya, Avrupa ve Afrika'nın ticaret güzargahları gerek hava, gerek kara, gerekte deniz yoluyla olsun Türkiyeden geçmektedir. Bu da Türkiye'yi lojistik bir üst haline getirmiştir. Lojistikte en önemli unsur istiflemedir. Ürünler, küçük alanlarda mümkün olan en yüksek kapasitede istiflenmek zorundadır. Depo rafları; her türlü üretim çıktısı ürünün istiflenmesi ya da stoklanması amacıyla, yerden kazanmak için üretilen konstrüktif sistemlerdir.



Şekil 15. Ağır yük ve palet rafı (Aşçelik, 2018)

### 1.2.2. Depo Raf Çeşitleri

Depolarda kullanılan rafların tipleri, istiflenecek ürünün fiziksel özelliklerine göre belirlenir. Her tip ürün için özel bir konstrüktif sistem kullanılmaktadır. Sistemlerde kullanılan malzeme ve kesitler, yine istiflenecek ürünün ağırlığına, yükleme şekline ve kullanım amacına göre belirlenmektedir.

Küresel gelişmeler, lojistiğe evrensel bir anlam kazandırmış olup, günümüzde özellikle internetten satışı önemli bir hale getirmiştir. Bunun yanı sıra üretimi olan her firma için; ürünlerini stoklamak ve hızlı arz edebilmek bir gereklilik haline

gelmiştir. Bu zincirdeki yavaşlamanın etkileri tüm dünyada hissedilmektedir. Yakın zamanda dünyamızı etkisi altına alan pandemi, lojistiği ve depolamanın önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Her ne kadar konstrüktif tasarım anlamında çeşitlilik artsada genel hatlarıyla depolarda, istiflenecek ürünün özelliklerine bağlı olarak kullanılan raf sistemlerini genel hatlarıyla aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- a) Back to back raflar,
- b) Drive-in raflar,
- c) Katlı raflar,
- d) Konsol raflar,
- e) Giydirme depo rafları,
- f) Mezanin sistemler (Asçelik DRS, 2023)



(a)



(b)



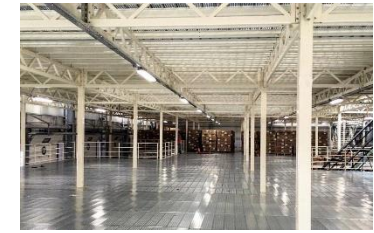
(c)



(d)



(e)



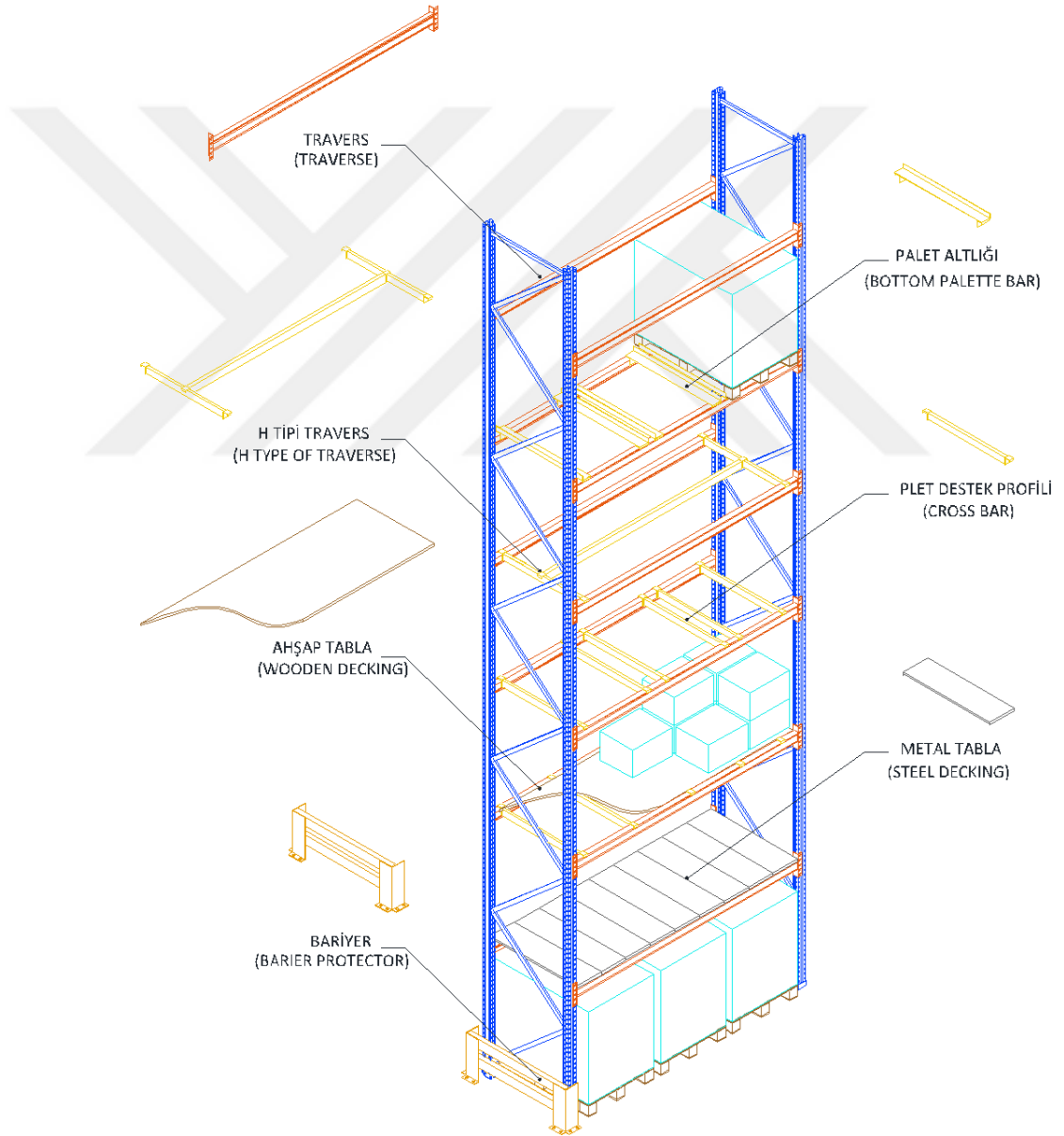
(f)



**Şekil 16.** Depo Raf Çeşitleri

### 1.2.3. Depo Raflarında Kullanılan Kesitler

Standar bir depo rafı, modüler ve sökülebilir bileşenlerden oluşmaktadır. Bu parçalar, istiflenecek ürünün spesifik özelliklerine ve sistemin kullanım şekline göre eklenebilir ya da çıkartılabilir. Burada kullanılan taşıyıcı sistem kesitleri, yapılacak mühendislik hesaplarıyla belirlenir. Depremsellik, sistemin niteliksel şekli, zeminin durumu; kullanılacak kesitlerin tayininde en önemli faktörlerdir. Bir diğer önemli hususta kullanılacak yönetmeliklerdir.



Şekil 17. Palet raflarında kullanılan modüler bileşenler (Asçelik, 2014)

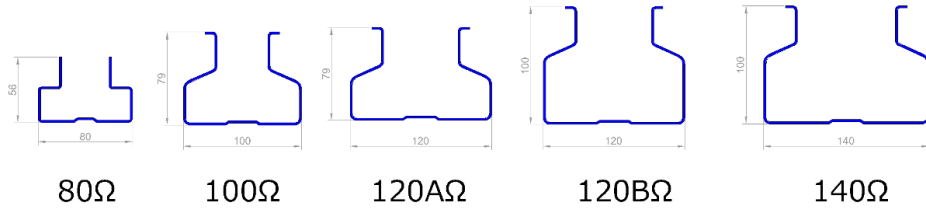


### 1.2.3.1. Ayak Profili

Sistemdeki düşey yükleri taşıyan profillerdir. Standardize edilmiş birkaç kesitle, mümkün olan hemen hemen her yük taşınabilmektedir. Ayak profilleri farklı sac açılımlarına ve geometrilere sahiptir. Tasarımda; sistem esas zorlanacağı yöndeki ataletin daha yüksek olmasına dikkat edilir. Öndeki boşluklara yük aktarıcı kirişlerin konnektörleri takılmaktadır. Arka tarafta iste bir sonraki profile bağlantıyı sağlayan diyagonal çubukları bulunur.



Şekil 18. Ayak profili (Asçelik, 2016)

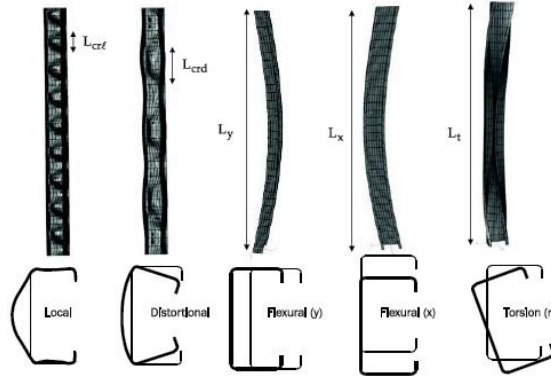


Şekil 19. Ayak profili çeşitleri (Asçelik, 2018)

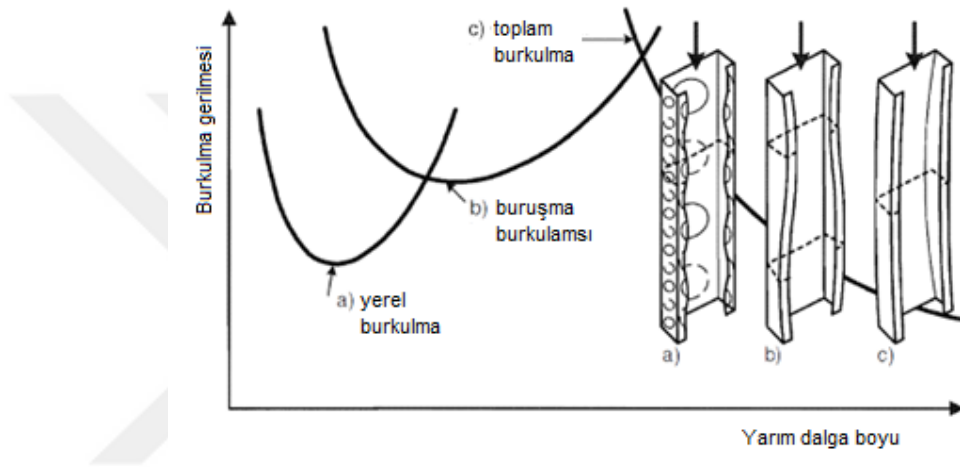
Ayak profillerinin zemine bağlantıları hesap ortamında tasarlanırken mafsallı olarak modellenir. Moment aktarmadı, sabit mesnet gibi çalıştığı varsayılır.



Şekil 20. Buruşma modlarına örnekler (BS EN 1993-1)



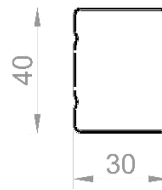
Şekil 21. Distorsiyonel burkulma modlarına örnekler (AISI S100-16)



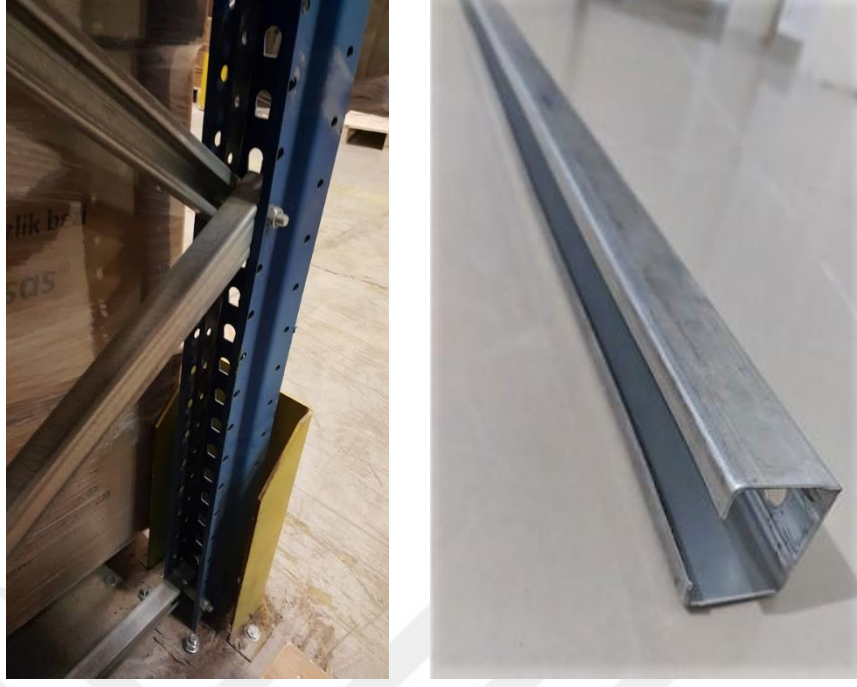
Grafik 1. Çeşitli burkulma modları için elastik gerilme örnekleri (BS EN 1993-1)

### 1.2.3.2. Ayak Örgü Diyagoneli

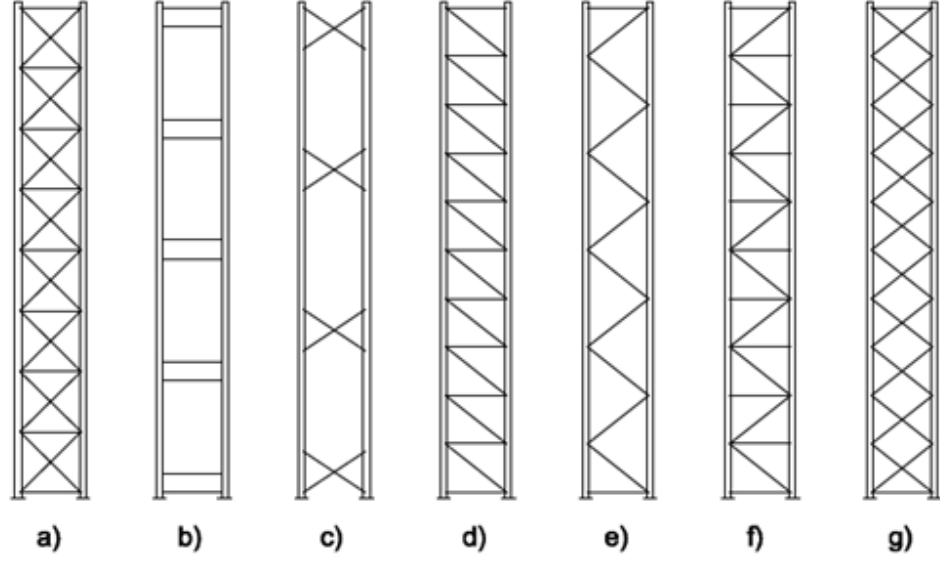
İki ayak profilini birbirine bağlayan elemanlardır. Statik durumlarda az miktarda yük almış olup, esas itibariyle deprem etkisindeki çekme veya basınç yüklerine karşı çalışan elemanlardır. Moment aktarmadıkları kabul edilir. Hesap sonuçlarına göre farklı kalınlıklarda ve örgü şekillerinde uygulanabilirler. Bu profillerde soğukda şekillendirme yöntemiyle roolforming makinelerinde üretilir.



Şekil 22. Ayak örgü diyagoneli (Asçelik, 2023)



Şekil 23. Diyagonal örgü çubuğu (Asçelik, 2023)



- (a) yatay elemanlı x çaprazlı çerçeve
- (b) çatalı çerçeve
- (c) kısmen destekli çerçeve
- (d) Z-destekli çerçeve
- (e) D-destekli çerçeve
- (f) K-destekli çerçeve
- (g) X-destekli çerçeve

Şekil 24. Tipik raf ayağı örgü şekilleri (EN 15635, 2008)

### 1.2.3.3. Ayak Pabucu

Sistemin üzerindeki yükleri zemine iletmek için kullanılan elemanlardır. Taban plakası ve gömlek olmak üzere iki parçadan oluşan bu elemanlar, kalınlıklarından dolayı lazer makinalarında kesilerek şekillendirilirler. Gömlek kısmı ayak profiline bağlantısını sağlamakla beraber, tasarımda moment aktarmadıkları kabul edilir.



**Şekil 25.** Ayak pabucu (Standard Raf, Aşçelik, 2019)

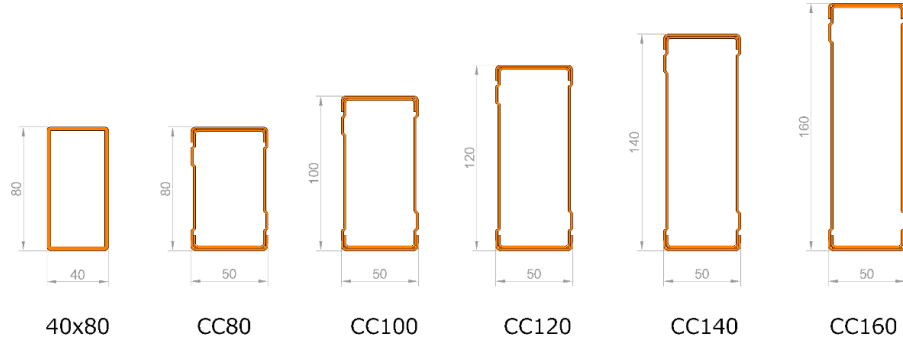
### 1.2.3.4. Travers

Traversler yatay taşıyıcı elemanlar olup, yükü ilk temas ederek taşıyıcı ayaklara aktaran elemanlardır. Soğukta şekillendirme yöntemiyle roofforming makinelerinde üretilirler. Yükün miktarına bağlı olarak enleri sabit kalmakla birlikte yükseklikleri farklı ölçülerde olabilir. Üzerine gelen yükleri dikey taşıyıcı ayaklara konnektör adı verilen tırnaklarla aktarırlar. Modüler elemanlar olup, kullanım esnasında çıkmaları önlemek için emniyet pimi adı verilen elemanlarla sabitlenirler.



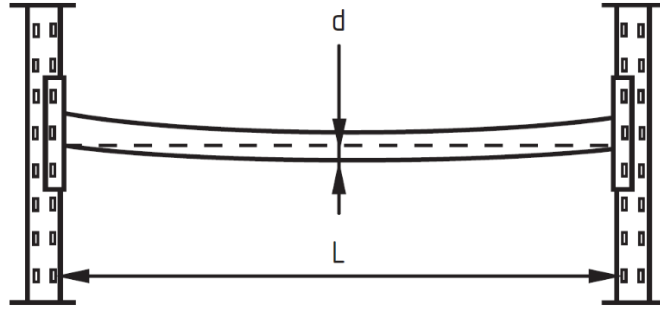
**Şekil 26.** Travers (Aşçelik, 2018)





**Şekil 27.** Travers çeşitleri (Asçelik, 2018)

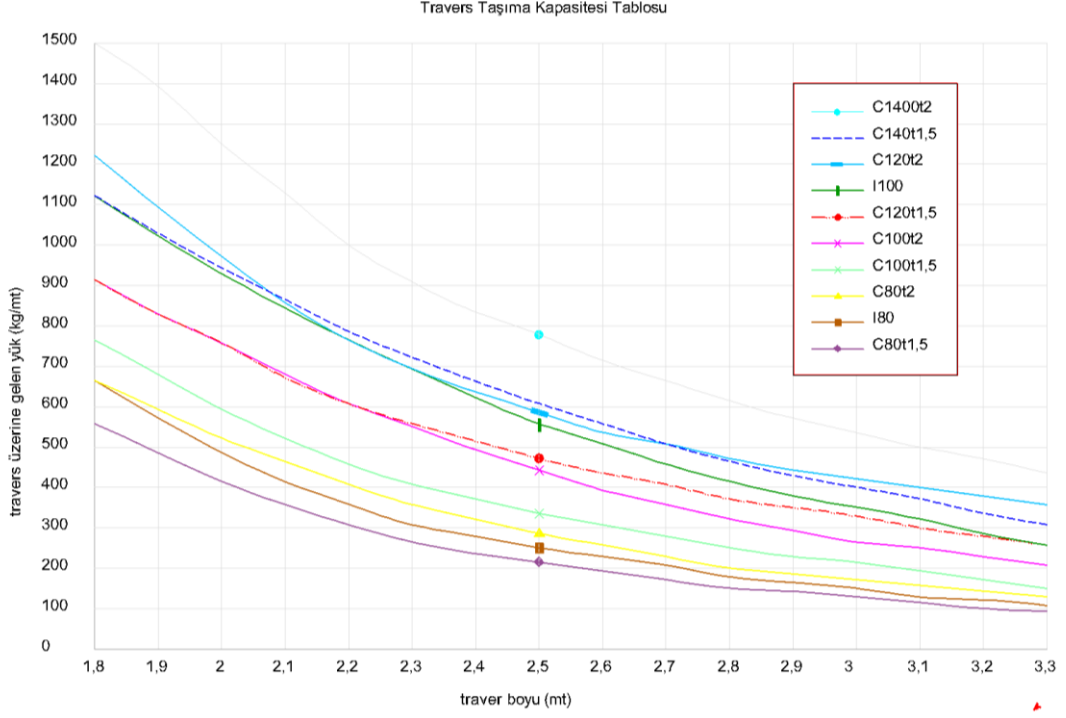
Traversler; uzun eksenlerine dik doğrultuda yük taşıyan yatay taşıyıcı kiriş elemanlardır. İki adet c formu verilmiş ince sacın birbirine puntalanmasıyla oluşturulur. Traverslerde izin verilen sehim miktarı açıklığın 1/200 ü kadardır (EN 15620, 2008).



**Şekil 28.** Traverslerde sehim miktarı (EN 15635, 2008)



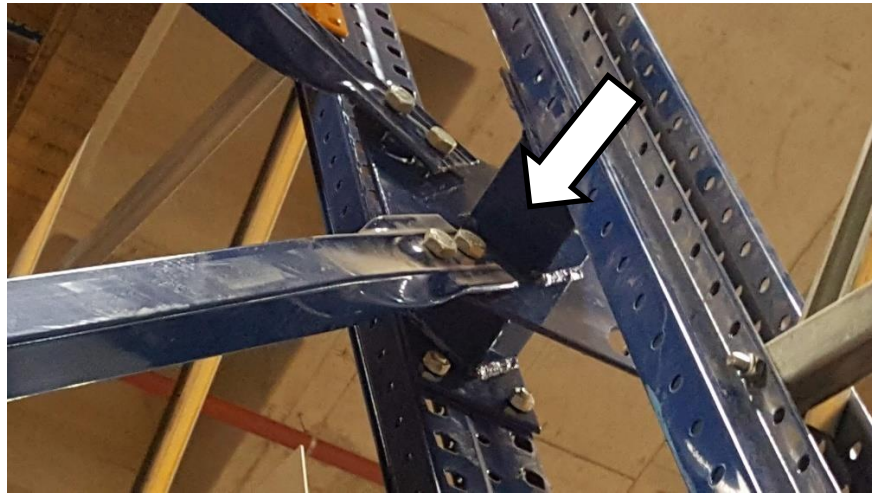
**Şekil 29.** Travers bağlantı konnektörleri (Standard Raf, 2013)



**Grafik 2.** Travers statik taşıma kapasitesi tablosu (Asçelik teknik kataloğu, 2014)

#### 1.2.3.5. Ayak Bağlantı

Birbirinden bağımsız iki adet tek sıra raf modülünü birbirine bağlayarak sabitlemek için kullanılan profillerdir. Genelde kutu profil olarak tercih edilirler. Ayak profillerinde ilave kuvvet oluşturmamaları için yükleme yapılan kat seviyelerinden bağlantı yapılmaları tercih edilir.



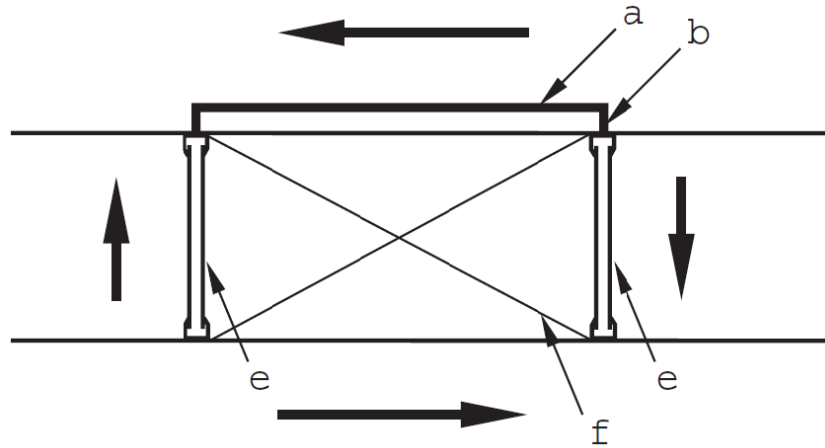
**Şekil 30.** Ara bağlantı profili (Asçelik, 2016)

### 1.2.3.6. Yatay Deprem Gerdirmesi

Kat seviyelerindeki düğüm noktalarının mümkün mertebe birlikte hareket edebilmesini sağlamak amacıyla kullanılan kutu ya da sigma kesitli profillerdir. Deprem kuvvetleri söz konusu olduğunda çekme veya basınç kuvveti alırlar. İki ucu moment aktarmayan çubuklar olarak dizayn edilirler.



Şekil 31. Yatay deprem gerdirmesi (Asçelik, 2019)



- (a) Düşey deprem gerdirmesi, (b) gerdirme-ayak bağlantısı, (e) ayak takımı,  
(f) yatay deprem gerdirmesi

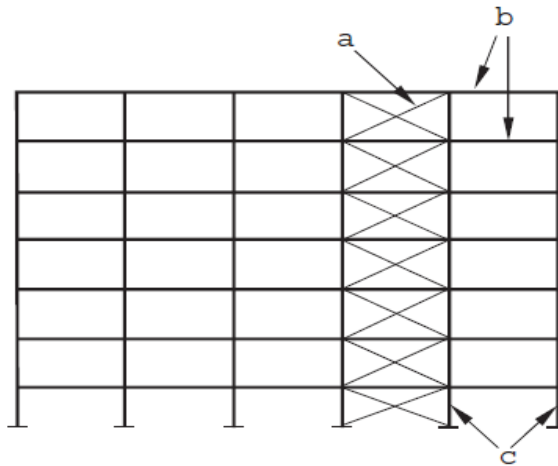
Şekil 32. Yatay deprem gerdirmesinin şematik gösterimi (BS EN 15512, 2009)

### 1.2.3.7. Düşey Deprem Gerdirmesi

Yatay deprem gerdirmeleri, statik durumlarda sistemin titreşimini ve aşırı elstatik davranışını engelleyen stabilite bağlantılarıdır. Deprem yükleri altında da sistemin rijitliğini sağlarlar. Yatay yükler bu elemanlarla karşılanır. İki ucu mafsallı olarak tasarlanır. Basınç ya da çekme etkisi altında çalışırlar. Genel olarak kutu ya da dikdörtgen kesitli profillerden kullanılırlar.



Şekil 33. Düşey deprem gerdirmesi (Asçelik, 2023)



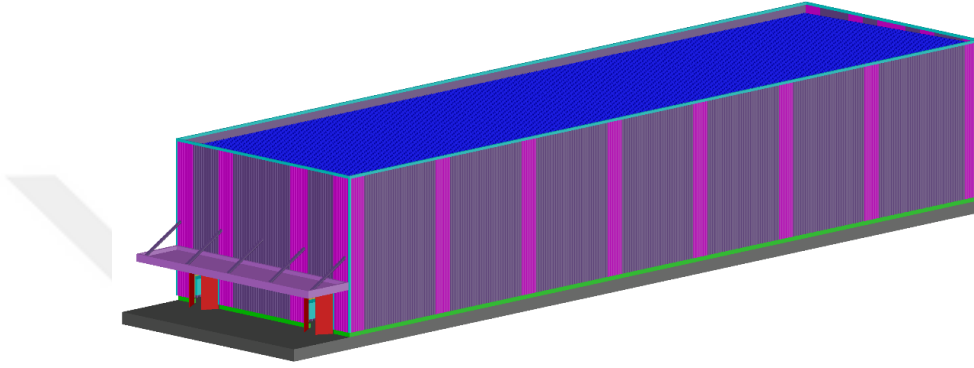
(a) Düşey deprem gerdirmesi, (b) travers, (c) ayak profilleri

Şekil 34. Düşey deprem gerdirmesinin şematik gösterimi (BS EN 15512, 2009)

## İKİNCİ BÖLÜM

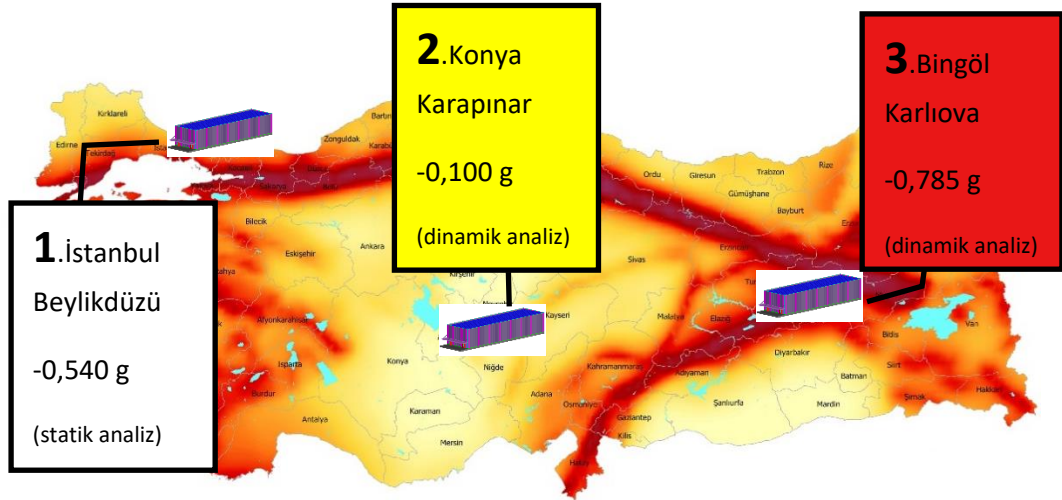
### YÖNETMELİKLER VE ANALİZ

Bu ölümden hemen hemen olası marjinal durumlara göre ayak profillerine gelen etkiler ve ayak profillerinin bu etkiler karşısındaki kapasiteleri incelenecektir. Hali hazırda depo rafları projelendirilirken statik ve dinamik etkiler doğrultusunda mühendislik hizmeti verilmektedir.



Şekil 35. Raf kurulumunun yapılacağı kurgulanan depo görünüşü

Bu durumu incelemek için aynı özdeş deponun; sadece statik yükler altında İstanbul/Beylikdüzü ilçesine, deprem etkilerinin göz önünde bulundurulduğu ama zemin ivmesinin çok düşük olduğu Konya / Karapınar ilçesine ve de depremselliğin oldukça yüksek olduğu Bingöl / Karlıova ilçesine kurulduğu varsayılacaktır. Zemin değerleri her 3 konum içinde özdeş alınacaktır. Ön tasarımlar üç senaryo içinde aynı kabul edilecek, bu doğrultuda çubuk elemanlara gelen iç kuvvetler gözlemlenecektir.



Şekil 36. Raf kurulumunun yapılacağı varsayılan deprem bölgeleri (AFAD, 2023)



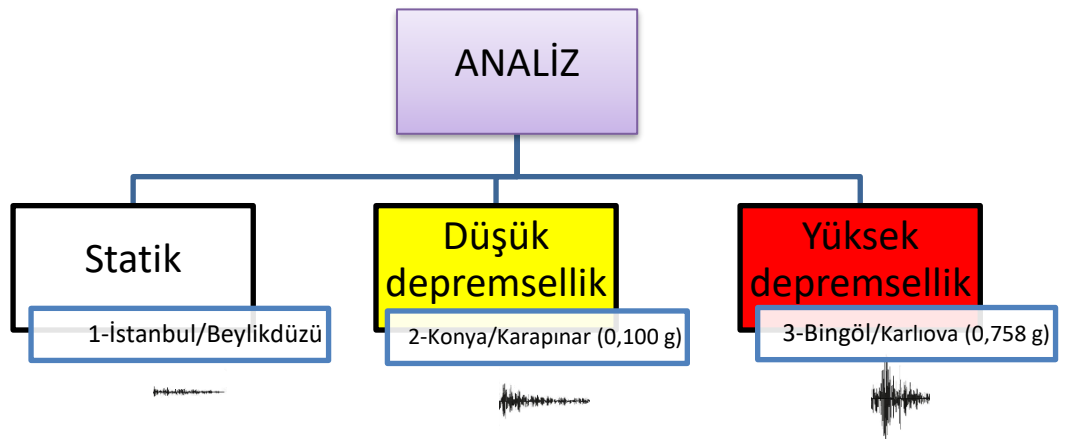
## 2.1. Tasarım Esasları

Depo raf sistemlerinde kullanılan ince cidarlı konstrüktif özellikle elemanların hemen hemen tamamı frame (çubuk) eleman olarak kabul edilmektedir. Analizde ince cidarlı bir eleman hem uzunlamasına hem de enine yönde ayrıklaştırma uygulayan sonlu elemanlar yöntemi (Finite Strip Method) kullanılır. Doğrudan Analiz Yöntemi gibi yeni tasarım yöntemleri, FSM kararlılık çözümleri kullanıldığında daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Bilgisayar programları Doğrudan Analiz Yöntemini kullanmak için çok uygundur ve doğrusal olmayan bir P-Delta analizinin gerçekleştirileceğini belirtmesi koşuluyla, ikinci dereceden P-Delta ve P- $\delta$  etkilerini yakalayabilir. Esnek olmayan sismik analiz prosedürlerinin pratik amacı, yapının gelecekteki deprem sarsıntısında beklenen davranışını tahmin etmektir. Bu, sismik değerlendirme ve tasarım için performansa dayalı mühendisliğin ortaya çıkmasıyla giderek daha önemli hale gelmiştir. Yapısal hasar elastik olmayan davranış anlamına geldiğinden, geleneksel tasarım ve lineer elastik kullanan analiz prosedürleri teknikler performansı yalnızca dolaylı olarak tahmin edebilir.

Raf yapıları üzerindeki sismik etkilerin değerlendirilmesi için referans yöntem, modal davranış spektrum analizidir. Bu, yapının lineer elastik modeli ve değiştirilmiş tasarım spektrumu  $S_d$ ,  $\text{mod}(T)$  ve uygulanabilir olduğunda, tanımlanan dikey bileşen için tasarım spektrumu kullanılarak gerçekleştirilecektir. (BS EN 16681, 2016)

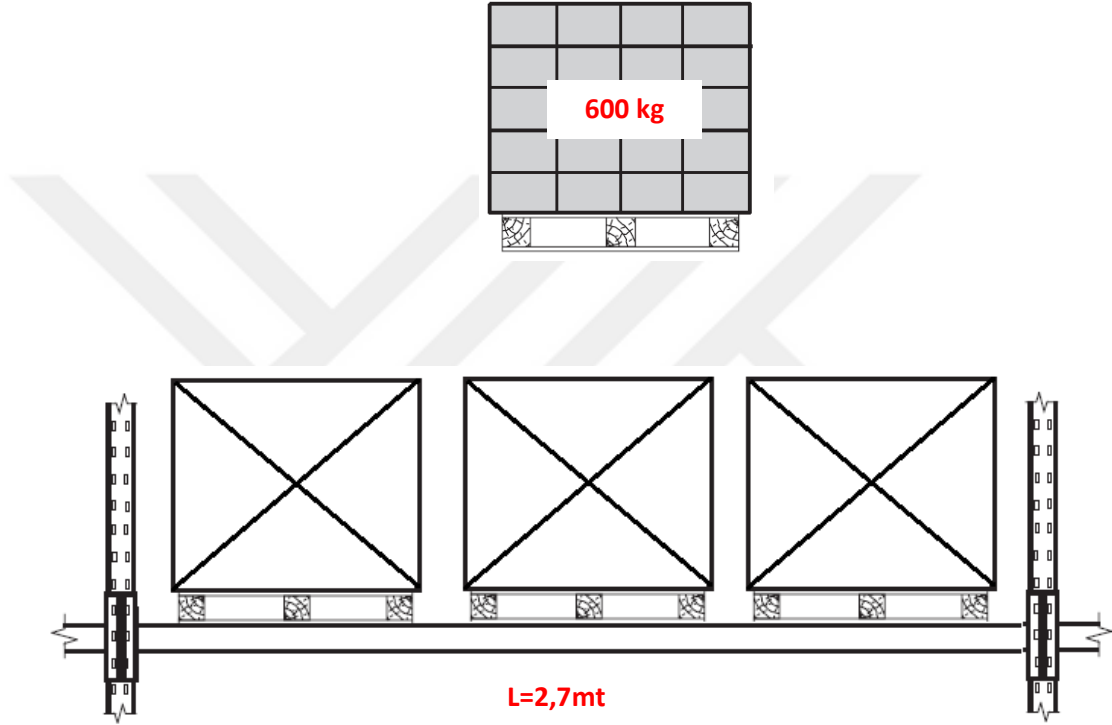
**Tablo 2.** Analize esas alınacak yükler



### 2.1.1. Kullanılan Programlar

Rafların modellenmesi ve analizi için Autocad, Sap2000 ve microsoft excel programları kullanılmış olup, ayak profillerinin mukavemet hesabında da CFS programından faydalanılmıştır.

### 2.1.2. Yükleme ve Özellikleri



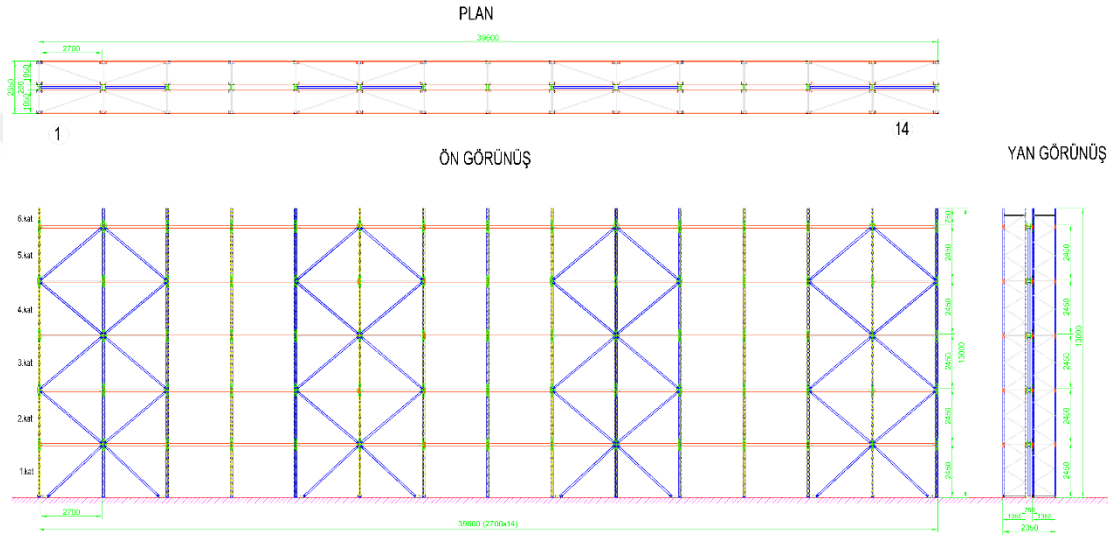
Şekil 37. Bir raf katının yükleme şekli

Raflarda kullanılan palet ölçüleri 800x1200x2100 mm ebatındadır. Bir palet ağırlığı 600 kg olup, bu kütle; bir katta bulunan travers çiftine kN cinsinden düzgün yayılı yük olarak aktarıldığı kabul edilecektir.

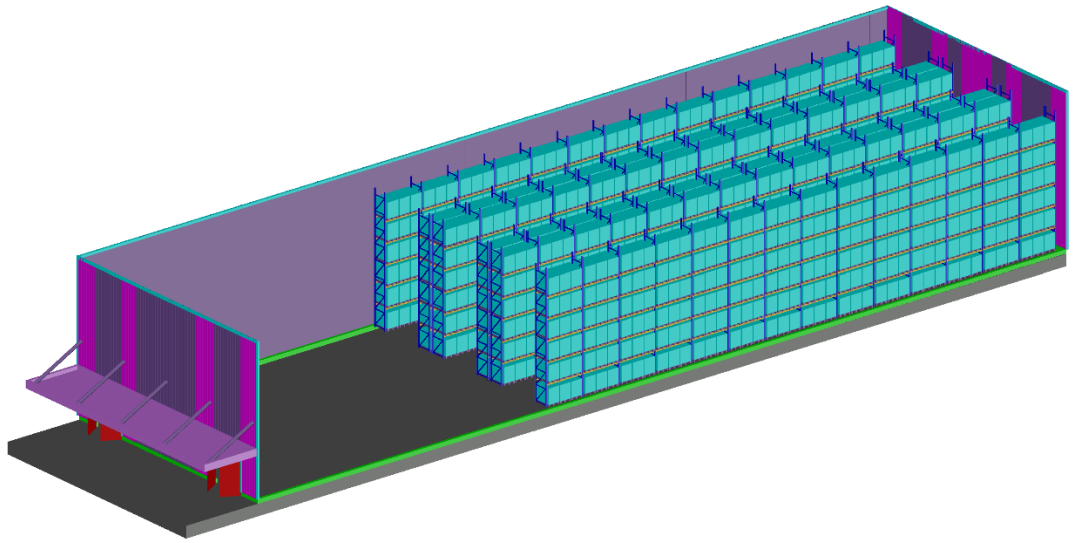
$$q = \frac{\left( \frac{3 \times 600}{2} \times 9,81 \right)}{1000} = 3,27 \text{ kN / mt} \quad (1)$$

### 2.1.3. Sistem Ön Tasarımı

Raflar; her katta 3 palet olacak şekilde 14 açıklık ve 5 kattan oluşmaktadır. Sistem planda X ekseninde 39,6 mt, Y ekseninde 2,35 mt uzunluğunda olup Z ekseninde 13 mt yüksekliğindedir. Üniteler sırt sırta birbirine bağlanmış çiftli modülden oluşmaktadır İlk kat travers kotu 2,45 mt den başlamakta olup, diğer katlarda aynı yüksekliktedir. Diğer gruplar da aynı olduğu için, sistemin içerisinden sadece bir tek sıra alınarak analiz yapılacaktır. Tekli sıra analize dahil edilmemiştir.



Şekil 38. Raflara ait plan ve kesit



Şekil 39. Rafların izometrik görüntüsü



## 2.1.4. Malzeme Özellikleri

Ayak profilleri haricinde tüm elemanlarda S235, ayak profillerinde S355 çeliği kullanılacaktır. Elastisite modülü  $E=210000 \text{ N/mm}^2$  alınmıştır (ÇYTHYE, 2018).

**Tablo 3.** Sıcak haddelenmiş çeliklerde akma  $F_y$  ve çekme dayanımı  $F_u$

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, $t$ (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>EN 10025-2</b>				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

The image displays two screenshots of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The left screenshot is for material S235, and the right screenshot is for material S355. Both dialog boxes show the same general data, weight and mass, and isotropic property data. The 'Other Properties For Steel Materials' section is filled with values for yield and tensile stresses.

Property	S235	S355
Material Name and Display Color	S235	S355
Material Type	Steel	Steel
Material Grade	S235	S355
Weight per Unit Volume	7,697E-05	7,697E-05
Mass per Unit Volume	7,849E-09	7,849E-09
Modulus Of Elasticity, E	210000	210000
Poisson, U	0,3	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05	1,170E-05
Shear Modulus, G	80769,23	80769,23
Minimum Yield Stress, Fy	235	355
Minimum Tensile Stress, Fu	360	510
Expected Yield Stress, Fye	258,5	390,5
Expected Tensile Stress, Fue	396	561

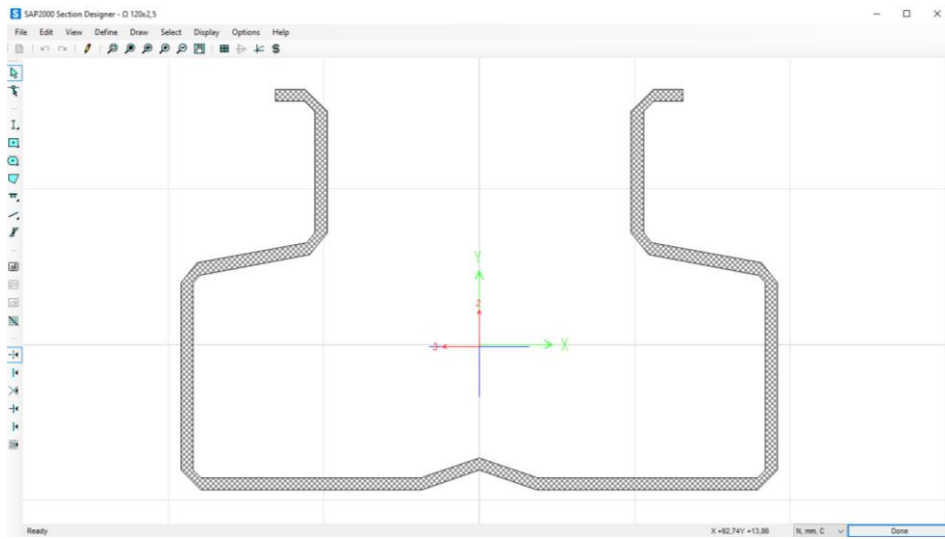
**Şekil 40.** Sap2000 de malzeme tanımlaması

### 2.1.5. Kullanılan Kesitler

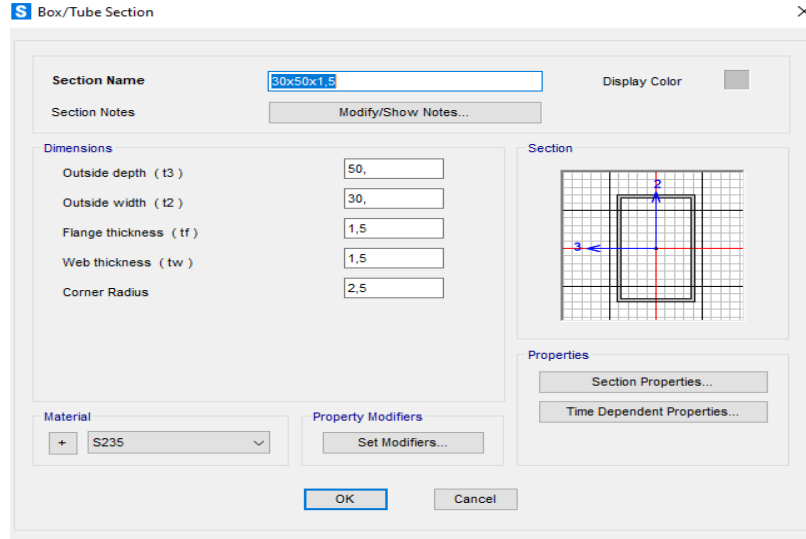
Tasarıma ilişkin ön kesitlere spesifik özellikleri aşağıda verilmiştir. Soğukta şekillendirilmiş özel kesitlerin hali hazırda Sap2000 programında karşılığı yoktur. Bu kesitleri sap2000 programına tanımlatmak için section designer modülünden faydalanılmıştır. Yükleme öncesi elde edilen spesifik özellikler, CFS programı ile karşılaştırılmıştır. Kesitlere gelen iç kuvvetler belirlendikten sonra CFS programında mukavemet hesapları yapılarak kapasiteleri irdelenecektir.

**Tablo 4.** Tasarımda kullanılan kesitler

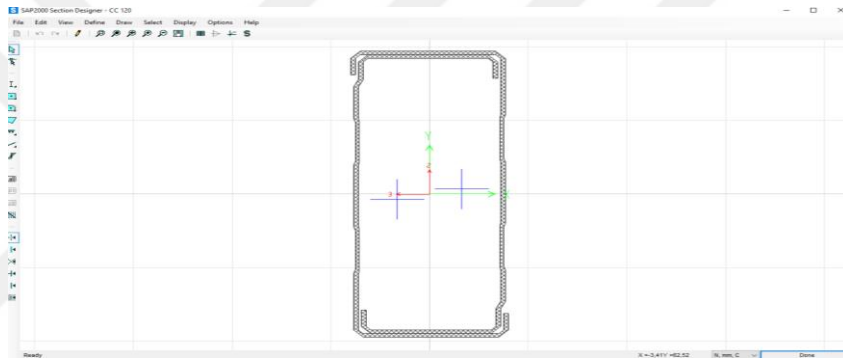
Kesit	Boy (mm)	Kesiti (mm)	Malzeme
Ayak Profili	13000	120Ω-T=2,5mm	S355
Diyagoneller	960-1140	30x50x1,5 KP	S235
Travers	2700	CC120x1,5	S235
Ayak Ara Bağlantı	250	80x80x5 KP	S235
Yatay Deprem Gerdirmesi	2720	C30x40x1,5	S235
Düşey Deprem Gerdirmesi	3560	80x80x5 KP	S235



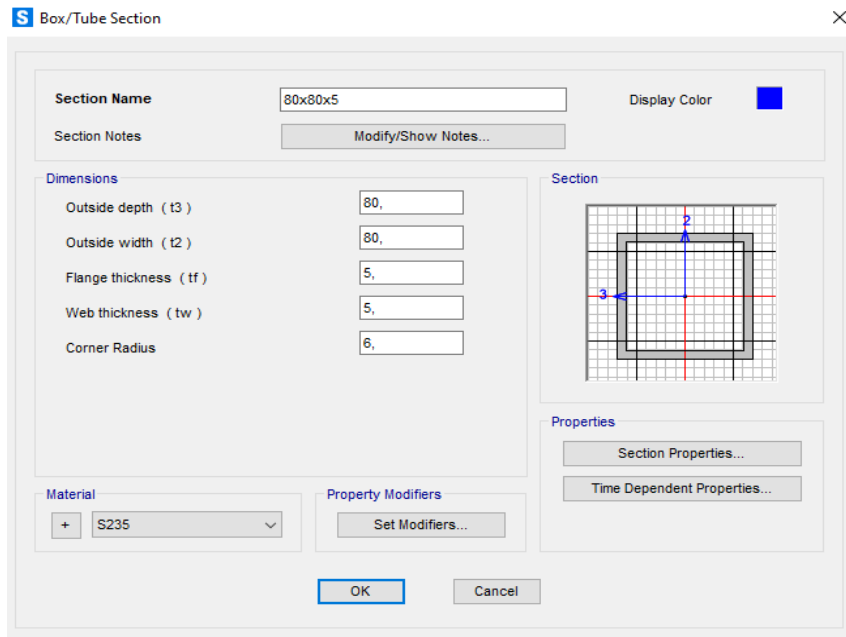
**Şekil 41.** Ayak profili



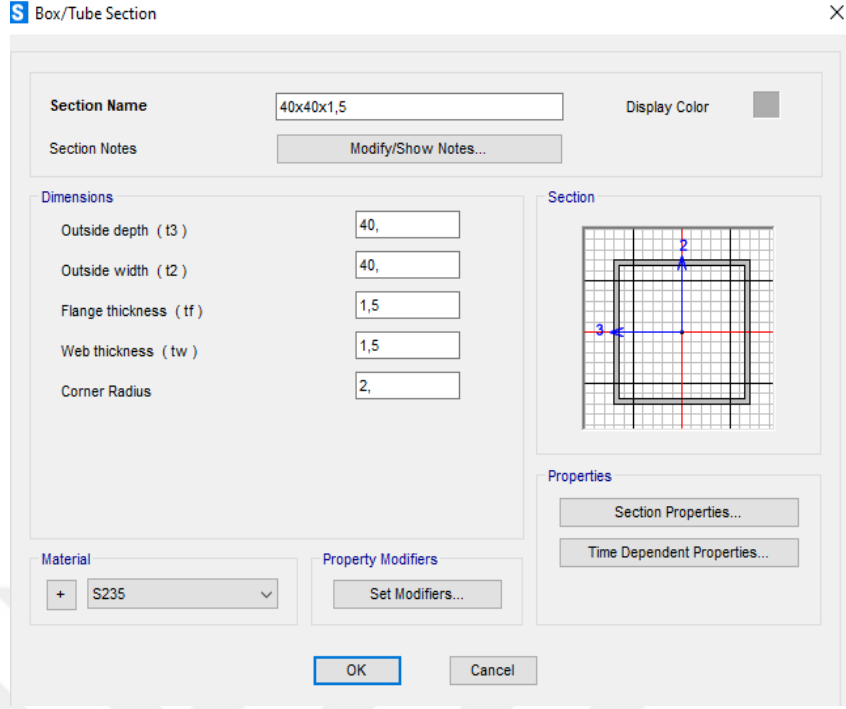
Şekil 42. Diyagoneller



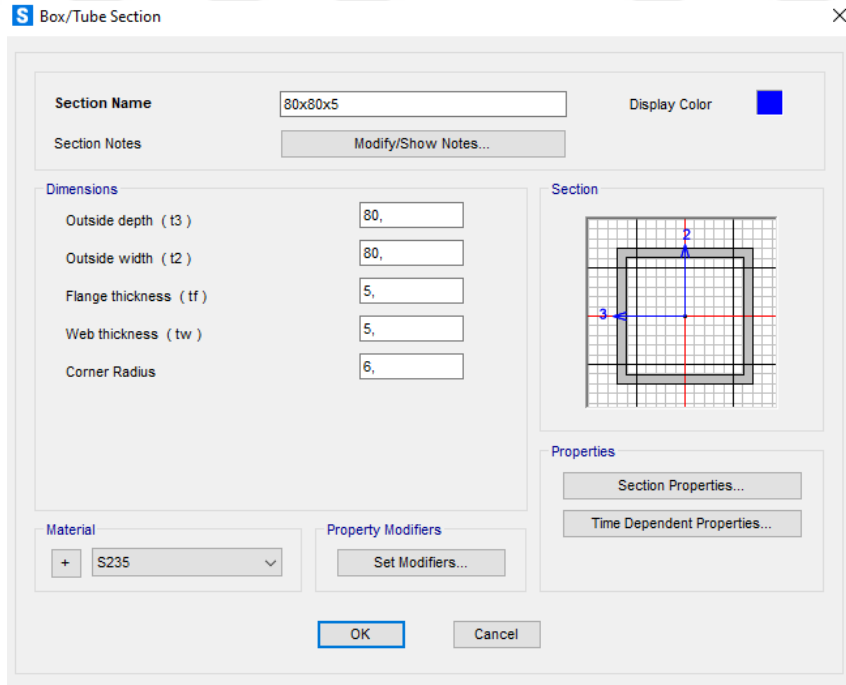
Şekil 43. Travers



Şekil 44. Ayak ara bağlantı



Şekil 45. Yatay deprem gerdirmesi



Şekil 46. Düşey deprem gerdirmesi

## 2.1.6. Deprem Parametreleri

**Tablo 5.** Depremselliği ve analizleri farklı bölgeler için parametreler

Parametre	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge
Deprem Yer Hareketleri Düzeyi ( <b>DD<sub>1</sub></b> )	-	DD-2	DD-2
Zemin Sınıfı ( <b>Z<sub>1</sub></b> )	ZD	ZD	ZD
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz] ( <b>S<sub>s</sub></b> )	-	0,231	1,932
1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz] ( <b>S<sub>1</sub></b> )	-	0,056	0,509
En büyük yer ivmesi [g] ( <b>PGA</b> )	-	0,100	0,785
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz] ( <b>S<sub>bs</sub></b> )	-	0,370	1,932
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz] ( <b>S<sub>D1</sub></b> )	-	0,134	0,912
Bina Kullanım Sınıfı ( <b>BKS</b> )	-	3	3
Deprem Tasarım Sınıfı ( <b>DTS</b> )	-	3	1
Bina Yükseklik Sınıfı ( <b>BYS</b> )	-	7	6
Tasarım Yaklaşımı	YDKT	YDKT	YDKT
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( <b>R</b> )	-	4	4
Dayanım Fazlalığı Katsayısı ( <b>D</b> )	-	2	2
Bina Önem Katsayısı ( <b>I</b> )	1	1	1
Kütle Katılım Katsayısı	0,67	0,67	0,67
Süneklik Düzeyi ve Çerçeve Şekli	-	D1	D1
Fazlalık faktörü (Redundancy Factor) (ANSIMH16 – 2.6.2.1)	-	1,3	1,3
Diyafram Türü	yok	yok	yok
Bölge Koordinatları	-	37,70-33,50	39,30-41,00

### 2.1.7. Yük Kombinasyonları

Yüklemede Amerikan Raf Üreticileri Enstitüsünün (RMI) yayınladığı yönetmelikteki yükleme kombinasyonlarından faydalanılmıştır. Bu kombinasyonlar ve katsayıları 8 grupta aşağıda verilmiştir (ANSI MH16.1, 2012). 1.Bölgede kurulacak olan statik raflarda depremlili kombinasyonlar hesaplamalara dahil edilmemiştir.

1.  $1.4D + 1.2P$  Sabit yük (Dead Load)
2.  $1.2D + 1.4P + 1.6L + 0.5(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$  Yerçekimi yükleri (Gravity Load)
3.  $1.2D + 0.85P + (0.5L \text{ or } 0.5W) + 1.6(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$  Kar/Yağmur (Snow/Rain)
4.  $1.2D + 0.85P + 0.5L + 1.0W + 0.5(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$  Rüzgar yükü (Wind load)
5.  $(1.2 + 0.2S_{DS})D + (1.2 + 0.2S_{DS})\beta P + 0.5L + \rho E + 0.2S$  Sismik Yükler (Seismic Load)
6.  $0.9D + 0.9P_{app} + 1.0W$  Rüzgar kaldırma yükü (Wind Uplift)
7.  $(0.9 - 0.2S_{DS})D + (0.9 - 0.2S_{DS})\beta P_{app} + \rho E$  Sismik kaldırma (Seismic Uplift)

Sadece yük destek kirişleri ve bunların bağlantıları için:

8.  $1.2D + 1.6L + 0.5(S \text{ or } R) + 1.4P + 1.4I$  Ürün yükü / Hareketli yük / Darbe yükü (Product/Live/Impact)

**D** = Sabit Yük (Dead Load),

**L** = Raflarda depolanan paletler veya ürünler dışındaki hareketli yükler (Örnek: raf destekli platformlardan yere yükleme (Live load other than the pallets or products stored on the racks. (Example: floor loading from rack supported platforms)),

**L<sub>r</sub>** = ASCE 7'ye göre belirlenen çatı hareketli yükü (Roof live load as determined in accordance with ASCE 7),

**S** = ASCE 7'ye göre belirlenen kar yükü (Snow load as determined in accordance with ASCE 7),

**R** = ASCE 7'ye göre belirlenen yağmur yükü (Rain load as determined in accordance with ASCE 7),

**W** = Rüzgar yükü (Wind load),

**E** = Deprem yükü (Earthquake load),

**I** = Bir raf için darbe yükleme (Impact loading on a shelf),

**P** = Paletlerden veya raflarda depolanan ürünlerden gelen maksimum yük (Maximum load from pallets or products stored on the racks),

**P<sub>app</sub>** = Sismik taban kaymasını hesaplamak için kullanılan palet veya ürün yükü. Rüzgar nedeniyle yükselme için, P<sub>app</sub>'ta yalnızca yanal rüzgar kuvvetlerini geliştirmek için mevcut olması gereken palet yükleri dikkate alınacaktır. Dış kaplamayı destekleyen yüksüz bir raf için P<sub>app</sub> sıfır olacaktır (For seismic uplift, the portion of pallet or product load that is used to compute the seismic base shear. For uplift due to wind, only pallet loads that must be present to develop the lateral wind forces shall be considered in P<sub>app</sub>. P<sub>app</sub> will be zero for an unloaded rack that supports exterior cladding),

**ρ** = Deprem yükü için fazlalık faktörü (Redundancy factor for earthquake loading as specified in Section 2.6.2.1),

**β** = Sismik Ürün Yükü Katsayısı: β = 1.0 olan yükseltme kombinasyonları hariç 0.7 (Seismic Product Load Coefficient: 0.7 except for uplift combinations where β = 1.0).

#### 2.1.7.1. 1.Bölge İçin Yük Kombinasyonları tanımlaması

**Tablo 6.** 1.Bölge yük kombinasyonları

<b>YÜK ADI</b>	<b>KOMBİNASYON</b>
STATIC	1D+1P
RMI-1	1,4D+1,2P
RMI-2	1,2D+1,4P
RMI-3	1,2D+0,85P
RMI-5	1,2D
RMI-6	0,9D
RMI-8	1,2D+1,4P+1,4I

2.1.7.2. 2.Bölge İçin Yük Kombinasyonları tanımlaması

**Tablo 7.** 2.Bölge yük kombinasyonları

<u>YÜK ADI</u>	<u>KOMBİNASYON</u>
STATIC	1D+1P
RMI-1	1,4D+1,2P
RMI-2	1,2D+1,4P
RMI-3	1,2D+0,85P
RMI-5A	1,28D+0,9P+1,3Ex+0,3Ey
RMI-5B	1,28D+0,9P+1,3Ex-0,3Ey
RMI-5C	1,28D+0,9P-1,3Ex-0,3Ey
RMI-5D	1,28D+0,9P-1,3Ex+0,3Ey
RMI-5E	1,28D+0,9P+1,3Ey+0,3Ex
RMI-5F	1,28D+0,9P+1,3Ey-0,3Ex
RMI-5G	1,28D+0,9P-1,3Ey-0,3Ex
RMI-5H	1,28D+0,9P-1,3Ey+0,3Ex
RMI-6	0,9D+0,9Papp
RMI-7A	0,83D+0,58Papp+1,3Ex+0,3Ey
RMI-7B	0,83D+0,58Papp+1,3Ex-0,3Ey
RMI-7C	0,83D+0,58Papp-1,3Ex-0,3Ey
RMI-7D	0,83D+0,58Papp-1,3Ex+0,3Ey
RMI-7E	0,83D+0,58Papp+1,3Ey+0,3Ex
RMI-7F	0,83D+0,58Papp+1,3Ey-0,3Ex
RMI-7G	0,83D+0,58Papp-1,3Ey-0,3Ex
RMI-7H	0,83D+0,58Papp-1,3Ey+0,3Ex
RMI-8	1,2D+1,4P+1,4I

2.1.7.3. 3.Bölge İçin Yük Kombinasyonları tanımlaması

**Tablo 8.** 3.Bölge yük kombinasyonları

<u>YÜK ADI</u>	<u>KOMBİNASYON</u>
STATIC	1D+1P
RMI-1	1,4D+1,2P
RMI-2	1,2D+1,4P
RMI-3	1,2D+0,85P
RMI-5A	1,59D+1,12P+1,3Ex+0,3Ey
RMI-5B	1,59D+1,12P+1,3Ex-0,3Ey
RMI-5C	1,59D+1,12P-1,3Ex-0,3Ey
RMI-5D	1,59D+1,12P-1,3Ex+0,3Ey
RMI-5E	1,59D+1,12P+1,3Ey+0,3Ex
RMI-5F	1,59D+1,12P+1,3Ey-0,3Ex



<b><u>YÜK ADI</u></b>	<b><u>KOMBİNASYON</u></b>
RMI-5G	1,59D+1,12P-1,3Ey-0,3Ex
RMI-5H	1,59D+1,12P-1,3Ey+0,3Ex
RMI-6	0,9D+0,9Papp
RMI-7A	0,52D+0,36Papp+1,3Ex+0,3Ey
RMI-7B	0,52D+0,36Papp+1,3Ex-0,3Ey
RMI-7C	0,52D+0,36Papp-1,3Ex-0,3Ey
RMI-7D	0,52D+0,36Papp-1,3Ex+0,3Ey
RMI-7E	0,52D+0,36Papp+1,3Ey+0,3Ex
RMI-7F	0,52D+0,36Papp+1,3Ey-0,3Ex
RMI-7G	0,52D+0,36Papp-1,3Ey-0,3Ex
RMI-7H	0,52D+0,36Papp-1,3Ey+0,3Ex
RMI-8	1,2D+1,4P+1,4I

### **2.1.8. Tasarımda Kullanılan Yönetmelikler**

Tasarımda uyulması önerilen yönetmelikler için Türkiye’de geçerli olan yerel bir yönetmelik bulunmamaktadır. Ancak dolaylı yoldan yeni deprem yönetmeliği ve yeni çelik yapıları yönetmeliği referans olacaktır. Ayrıca raflarla ilgili uluslararası kabul görmüş yönetmelik ve standartlarda başvurulmuştur (TBDY, 2019)

Bu yönetmelikler Amerika ve Avrupa menşeyli olmak üzere 2 farklı esastadır. Türkiye’de yeni yürürlüğe giren deprem ve çelik yapılan şartnamelerinin Amerikan muadillerine daha yakın olduğu düşünülürse Amerika menşeyli raf tasarım kodlarına uygun tasarım yapılması tercih edilmektedir.

#### *2.1.8.1. Amerikan Menşeyli Olanlar*

1. ANSI MH16.1:2012, Endüstriyel Çelik Depolama Raflarının Tasarımı, Test Edilmesi ve Kullanılması için Şartname (Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks). Hazırlayan: Raf Üreticileri Enstitüsü (Rack Manufacturers Institute). Bu onaylı bir yerel standarttır.

2. FEMA 460, Halkın Erişimine Açık Alanlarda Bulunan Çelik Depolama Rafları İçin Sismik Hususlar (Seismic Considerations for Steel Storage Racks Located in the Areas Accessible to the Public). Hazırlayan: Bina Sismik Güvenlik Konseyi, Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency).

3. ASCE 41-06, Mevcut Binaların Sismik İyileştirilmesi (Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, 2006)

4. AISC 360-16, Yapısal Çelik Binalar için Şartname (Specification for Structural Steel Buildings, 2016)

5. AISC 341-10, Yapısal Çelik Binalar İçin Sismik Hükümler (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2010)

#### 2.1.8.2. Avrupa Menşeyli Olanlar

Aşağıdaki yönetmelikler

Raf ve Raf Ürün Grubu, Avrupa Raf Federasyonu (FEM Racking and Shelving Product Group, European Racking Federation) yayınlarıdır.

1. FEM 10.2.02, Statik Çelik Palet Rafının Tasarımı (The Design of Static Steel Pallet Racking),

2. FEM 10.2.06, Elle Yüklenen Statik Çelik Raf Sistemlerinin Tasarımı (The Design of Hand Loaded Static Steel Shelving Systems),

3. FEM 10.2.07, Drive-In ve Drive-Through Palet Raf Tasarımı (The Design of Drive-In and Drive-Through Pallet Racking),

4. FEM 10.2.08, Statik Çelik Palet Rafının Sismik Tasarımı (The Seismic Design of Static Steel Pallet Racking).

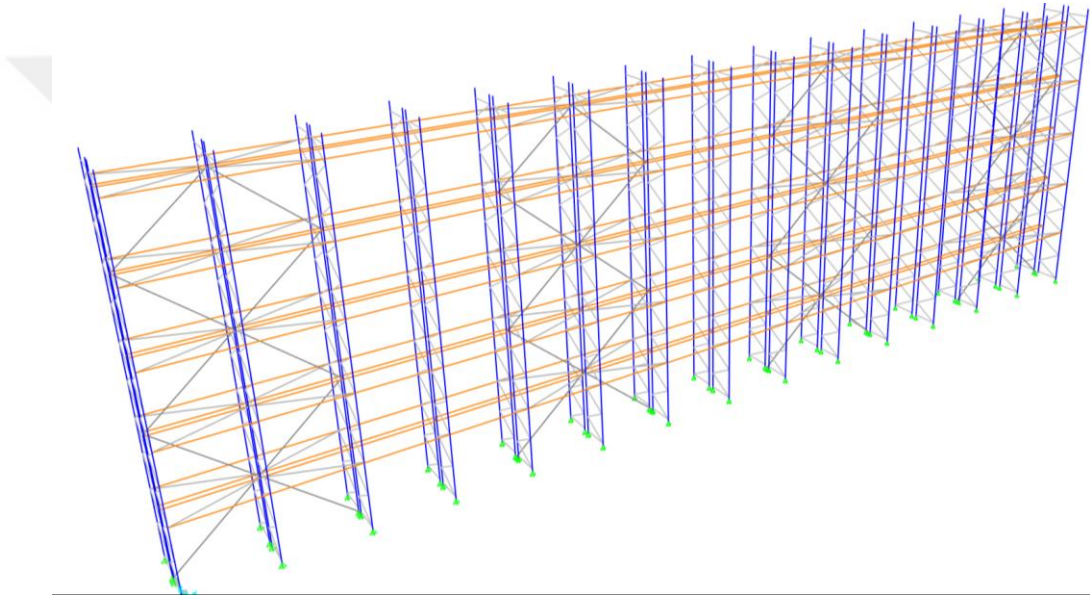
Aşağıdaki yönetmelikler European Committee for Standardisation (Eurocode) yayınlarıdır;

1. BS EN 15512:2009, Çelik statik depolama sistemleri. Ayarlanabilir palet raf sistemleri. Yapısal tasarım ilkeleri (Steel static storage systems. Adjustable pallet racking systems. Principles for structural design)

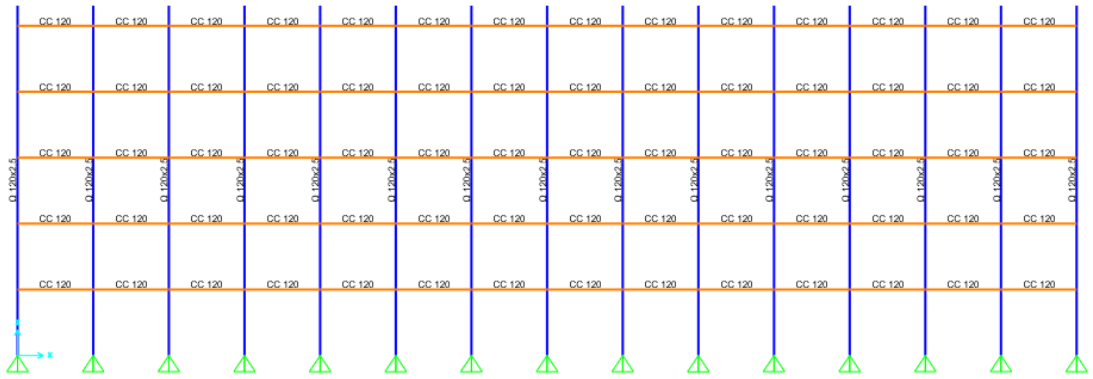
2. BS EN 16681:2016, Çelik statik depolama sistemleri. Ayarlanabilir palet raf sistemleri. Sismik tasarım ilkeleri (Steel static storage systems. Adjustable pallet racking systems. Principles for seismic design),

1. Eurocode 1: Yapılar Üzerindeki Eylemler (Actions on Structures (EN 1991)),
2. Eurocode 3: Çelik Yapıların Tasarımı (Design of Steel Structures (EN 1993)),
3. Eurocode 8: Yapıların Depreme Dayanımlı Tasarımı (Design of Structures for Earthquake Resistance (EN 1998)).

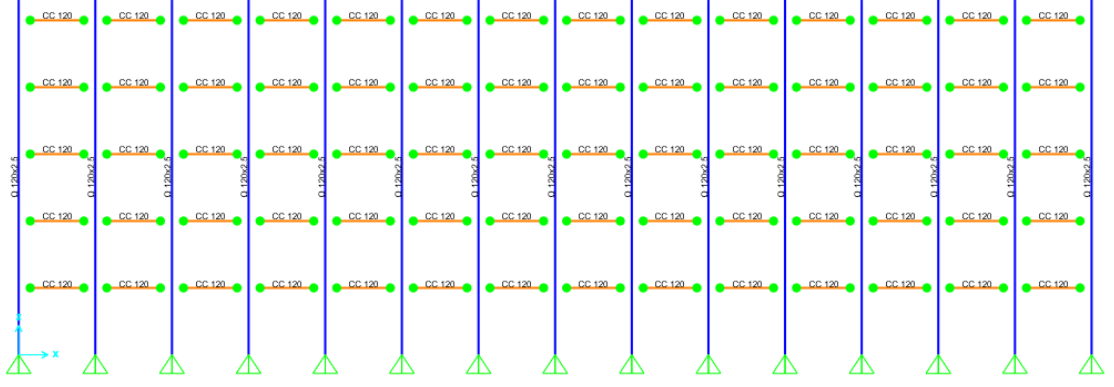
### 2.1.9. Kesit ve Yük Atamaları



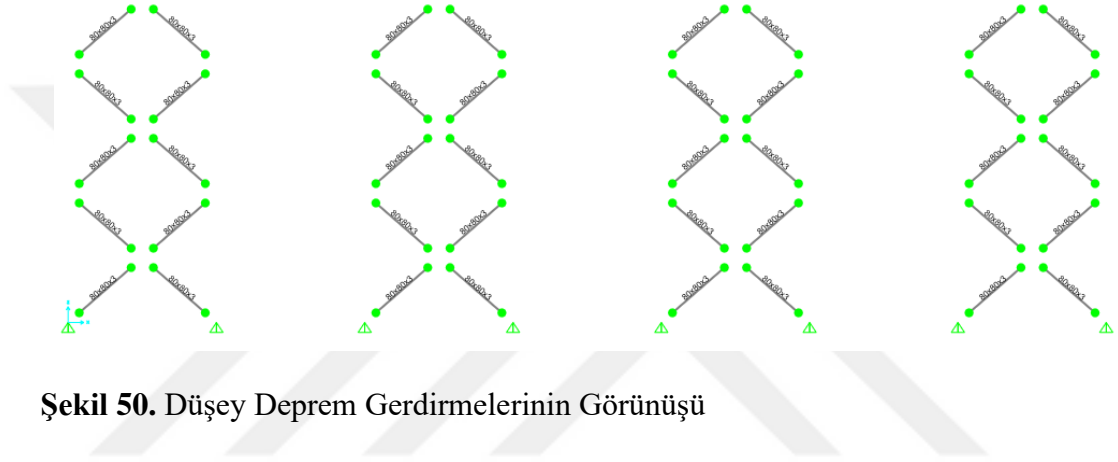
Şekil 47. Modelin izometrik görünüşü



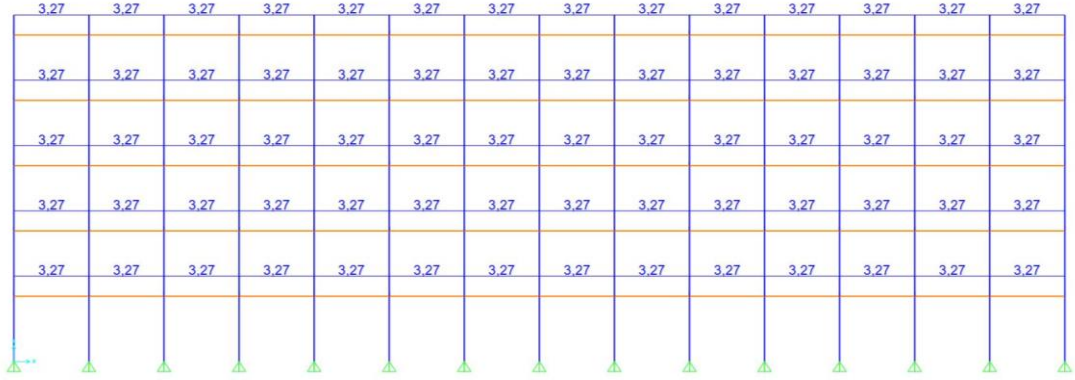
Şekil 48. Ön görünüşü



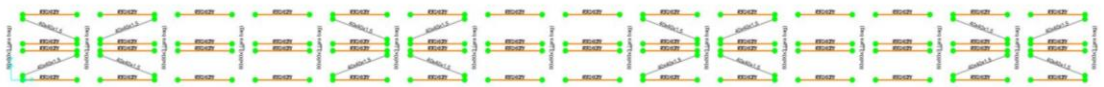
Şekil 49. Traverslere mafsal atanması



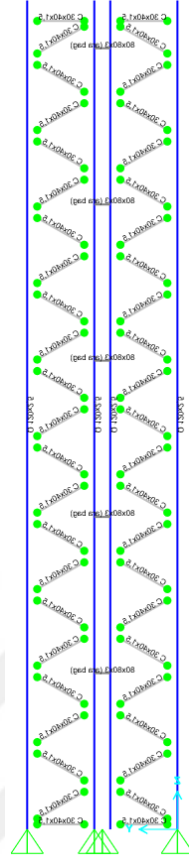
Şekil 50. Düşey Deprem Gerdirmelerinin Görünüşü



Şekil 51. Yük atamalarının grafiksel görünüşü



Şekil 52. Yatay çaprazların görünüşü



**Şekil 53.** Diyagonellerin görünüşü

## 2.2. Analiz

Analizler 3 depo için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sistemin statik yükleme durumunda yeterli kapasiteye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aynı malzemeler ile düşük depremselliğe sahip bölgede kurulum yapıldığında da ayak kesitinin kapasitesi yetmektedir. Ancak depremselliği yüksek bölgede kapasite bir ana düşmüştür. Ayak profillerine ait taban kesme kuvvetleri ile eksenel yükleri gösteren tablolar her üç depo içinde ayrı ayrı verilmiştir. Deprem kuvvetlerinin etkemediği 1.bölgede ayaklar sadece eksenel basınç almaktadır. Mukavemet hesapları bu doğrultuda yapılacaktır. Bingöl/ Karlıovada yapılan depoda yatay kuvvetler daha fazla çıkmıştır. Sistemin en büyük taban kesme kuvveti, ayağın en alt kısmında dır. Burada çubuk, x yönünde 2,45 mt, y yönünde ise 1,2 mt de tutlmaktadır. Çubuğa ait ölçüler CFS programına girilerek kapasite oranları hesap edilecektir.

TBDY'nin 4.8.1.2 nolu maddesine göre modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı; her iki deprem doğrultusunda her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının, yapı toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması gerekmektedir. Aşağıda sisteme ait periyot ve kütle katılım oranlarını gösteren tablo verilmiştir. Bu tabloya göre; kütle katılımının 50 modda, her iki deprem doğrultusunda da %95'i geçtiği görülmüştür.

Grafiksel olarak Sap2000 programı üzerinden sistemin modları incelendiğinde 1.modun y yönünde ve periyodunun  $T_{1y} = 0,654sn$ , 9.modunda x yönünde ve periyodunda  $T_{1x} = 0,348sn$  olduğu görülmüştür.

Her ne kadar x yönünde 1.kat burkulma boyu 2,45 mt olsada, sistem bu yönde dikey çapraz profilleriyle güçlendirilerek rijitliği artırılmıştır. Bu yüzden hakim titreşim periyodu, taban genişliği dar olan y doğrultusunda çıkmıştır.

TBDY 4.7.3 maddesine göre heriki doğrultuda periyotlar, ampirik hakim doğal titreşim periyodunun 1.4 katından daha fazla alınmaz. Modelde bu kuralın tahkiki aşağıda yapılmıştır;

$$T_p^{(X)}, T_p^{(Y)} \leq 1,4T_{pA} \quad (2)$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{\frac{3}{4}} \text{ (Ampirik hakim doğal titreşim periyodu)} \quad (3)$$

$$T_p^{(X)} = 0,654, T_p^{(Y)} = 0,347 \leq 1,4.(0,08).(13^{\frac{3}{4}}) \quad (4)$$

$$T_p^{(X)} = 0,654, T_p^{(Y)} = 0,347 \leq 0,767 \text{ (Koşul sağlanmaktadır)} \quad (5)$$

**Tablo 9.** Sistemin doğal titreşim periyodu

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios (Sap2000 Çıktıları)</b>							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY	Frequency	CircFreq
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	1	0,654	0,000	0,561	1,529	9,604
MODAL	Mode	2	0,637	0,000	0,561	1,569	9,859
MODAL	Mode	3	0,603	0,000	0,561	1,658	10,418
MODAL	Mode	4	0,602	0,000	0,731	1,660	10,431
MODAL	Mode	5	0,547	0,000	0,731	1,830	11,496

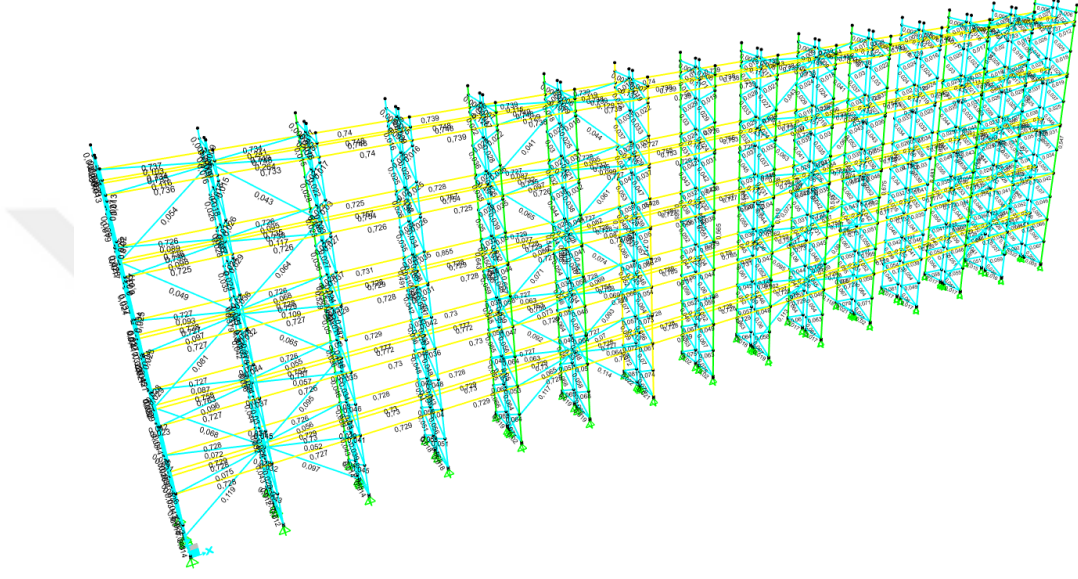
**Tablo 10.** Sistemin doğal titreşim periyodu (**Tablo 6.** nın devamı)

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios (Sap2000 Çıktıları)</b>							
<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>StepNum</b>	<b>Period</b>	<b>SumUX</b>	<b>SumUY</b>	<b>Frequency</b>	<b>CircFreq</b>
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	6	0,509	0,000	0,733	1,966	12,350
MODAL	Mode	7	0,491	0,000	0,733	2,038	12,802
MODAL	Mode	8	0,483	0,000	0,734	2,071	13,015
MODAL	Mode	9	<b>0,348</b>	0,747	0,734	2,874	18,061
MODAL	Mode	10	0,287	0,747	0,735	3,479	21,860
MODAL	Mode	11	0,223	0,747	0,735	4,481	28,156
MODAL	Mode	12	0,215	0,747	0,736	4,652	29,227
MODAL	Mode	13	0,186	0,747	0,736	5,372	33,755
MODAL	Mode	14	0,180	0,747	0,877	5,564	34,958
MODAL	Mode	15	0,179	0,747	0,877	5,582	35,073
MODAL	Mode	16	0,176	0,747	0,905	5,674	35,651
MODAL	Mode	17	0,175	0,747	0,905	5,707	35,855
MODAL	Mode	18	0,175	0,747	0,910	5,727	35,986
MODAL	Mode	19	0,173	0,747	0,925	5,795	36,414
MODAL	Mode	20	0,166	0,747	0,925	6,016	37,799
MODAL	Mode	21	0,152	0,747	0,931	6,577	41,322
MODAL	Mode	22	0,136	0,747	0,931	7,341	46,123
MODAL	Mode	23	0,135	0,905	0,931	7,413	46,580
MODAL	Mode	24	0,134	0,905	0,931	7,457	46,854
MODAL	Mode	25	0,133	0,905	0,931	7,502	47,134
MODAL	Mode	26	0,133	0,905	0,942	7,536	47,349
MODAL	Mode	27	0,128	0,905	0,942	7,785	48,912
MODAL	Mode	28	0,128	0,905	0,942	7,788	48,932
MODAL	Mode	29	0,109	0,905	0,942	9,201	57,812
MODAL	Mode	30	0,108	0,905	0,942	9,227	57,975
MODAL	Mode	31	0,107	0,905	0,943	9,322	58,572
MODAL	Mode	32	0,105	0,905	0,943	9,500	59,690
MODAL	Mode	33	0,102	0,905	<b>0,972</b>	9,828	61,754
MODAL	Mode	34	0,101	0,905	0,972	9,854	61,917
MODAL	Mode	35	0,101	0,905	0,972	9,860	61,954
MODAL	Mode	36	0,101	0,905	0,972	9,897	62,186
MODAL	Mode	37	0,101	0,905	0,973	9,916	62,302
MODAL	Mode	38	0,101	0,905	0,973	9,919	62,324
MODAL	Mode	39	0,100	0,905	0,973	9,953	62,538
MODAL	Mode	40	0,100	0,905	0,973	9,970	62,645
MODAL	Mode	41	0,099	0,905	0,973	10,059	63,200
MODAL	Mode	42	0,099	0,949	0,973	10,133	63,671
MODAL	Mode	43	0,098	0,949	0,974	10,214	64,177
MODAL	Mode	44	0,093	0,949	0,974	10,772	67,685
MODAL	Mode	45	0,089	<b>0,952</b>	0,974	11,278	70,862

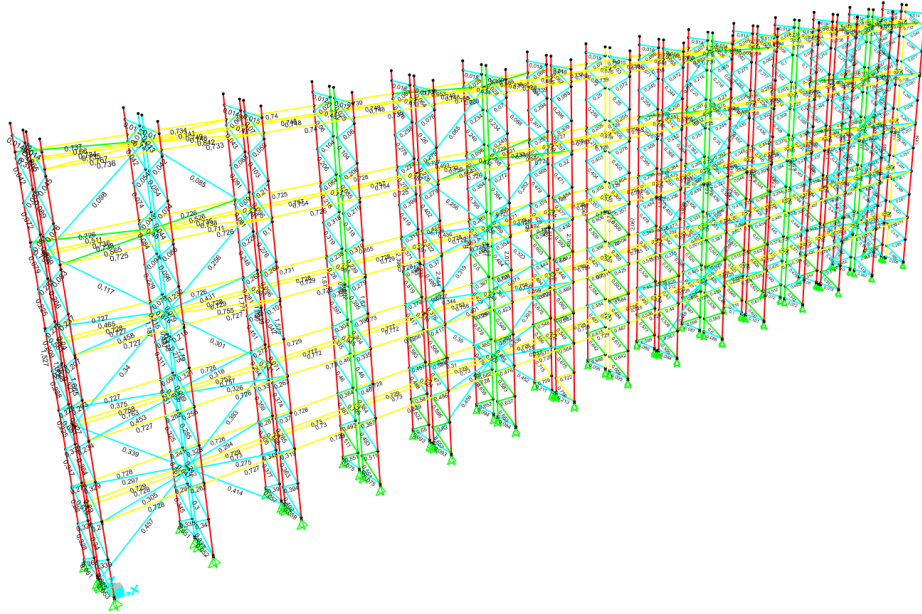


### 2.2.1. Kapasite Oranları

Sistem kesit kontrolü yapıldığında aynı özelliklerdeki kesitlerin, statik yükler altında İstanbul bölgesinde ve 0,1PGA ivmenin oluşturduğu deprem kuvvetlerine sahip Konya bölgesinde yeterli çıktığı görülmüştür. Ancak deprem yer ivmesinin; Türkiye de hemen hemen en yüksek değerlerden birine sahip olan Bingöl bölgesinde özellikle ayak profillerinin kapasitelerini aştığı gözlemlenmiştir.



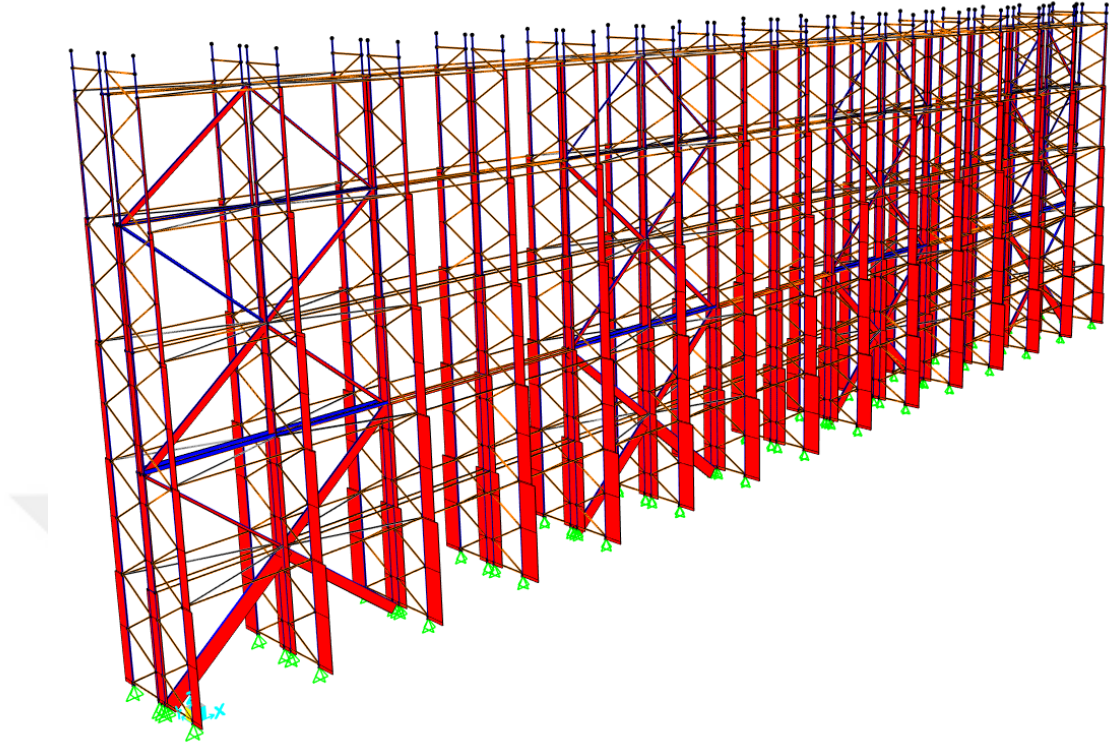
Şekil 54. 2.Bölge için kesitlere ait kapasite oranları (Konya)



Şekil 55. 3.Bölge için kesitlere ait kapasite oranları (Bingöl)



## 2.2.2. Ayaklara Gelen İç Kuvvetler



Şekil 56. Ayaklara gelen iç kuvvetlerin grrafiksel gösterimi

Tablo 11. 1.Bölge için maksimum eksenel kuvvetler (İstanbul)

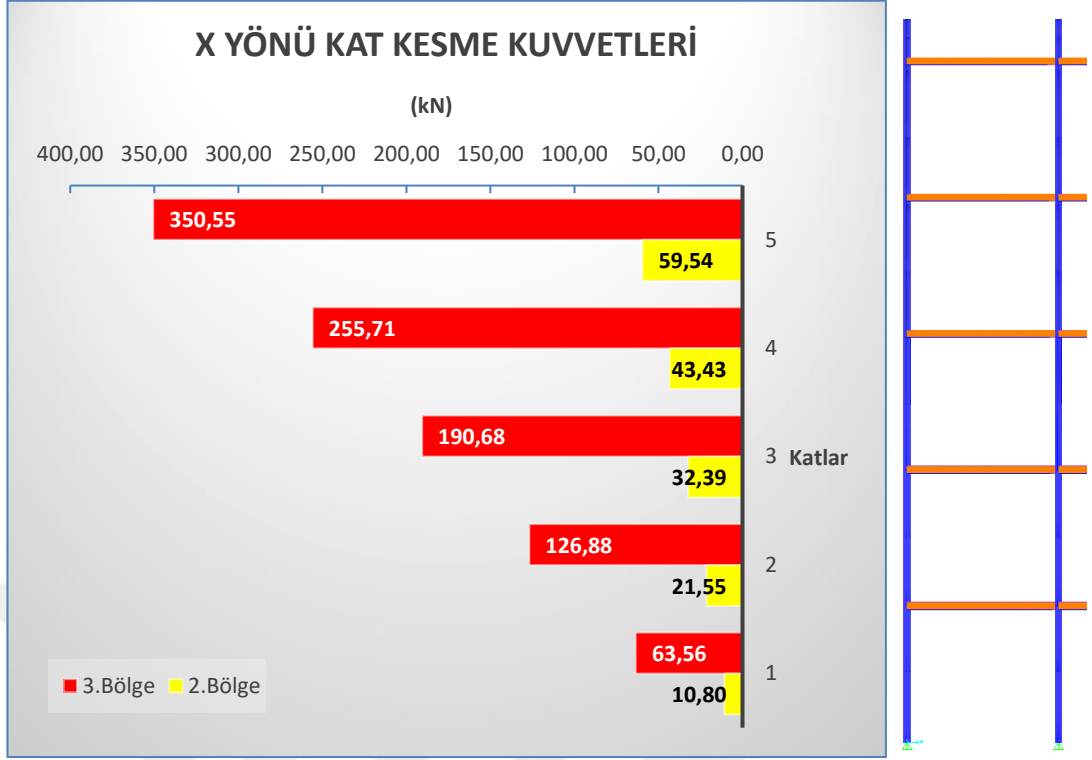
Element Forces - Frames (1.Bölge Max.Ayak İç Kuvvetleri) (Sap2000 Çıktıları)								
Frame	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
F316	RMI-2	Combination	-64,55	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F316	RMI-8	Combination	-64,55	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31E	RMI-2	Combination	-64,55	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31E	RMI-8	Combination	-64,55	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F316	RMI-2	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F316	RMI-8	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31A	RMI-2	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31A	RMI-8	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31E	RMI-2	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31E	RMI-8	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F348	RMI-2	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F348	RMI-8	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31A	RMI-2	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
F31A	RMI-8	Combination	-64,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tablo 12.** 2.Bölge için maksimum eksenel kuvvetler (Konya)

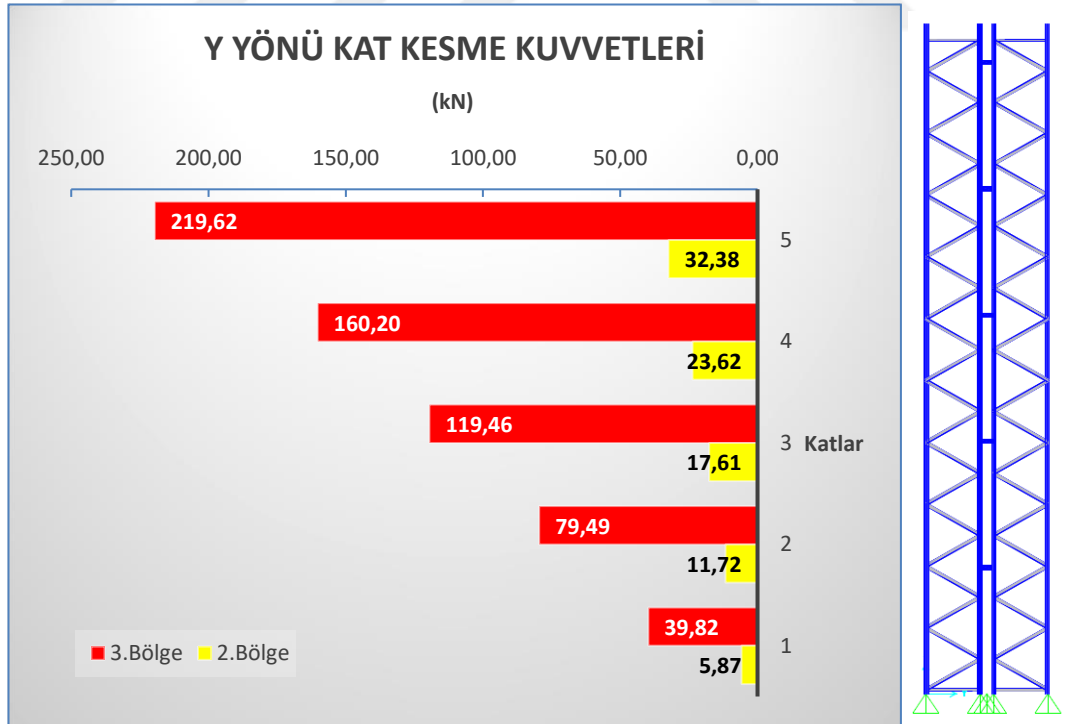
<b>Element Forces - Frames (2.Bölge Max.Ayak İç Kuvvetleri) (Sap2000 Çıktıları)</b>								
<b>Frame</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
<b>F319</b>	<b>RMI-5E</b>	<b>Combination</b>	<b>-71,76</b>	<b>-2,48</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
F319	RMI-5F	Combination	-71,76	-2,48	-0,01	0,00	0,00	0,00
F319	RMI-5G	Combination	-71,76	-2,48	-0,01	0,00	0,00	0,00
F319	RMI-5H	Combination	-71,76	-2,48	-0,01	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5E	Combination	-71,76	-2,48	0,00	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5F	Combination	-71,76	-2,48	0,00	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5G	Combination	-71,76	-2,48	0,00	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5H	Combination	-71,76	-2,48	0,00	0,00	0,00	0,00
F319	RMI-5E	Combination	-71,75	-2,48	-0,01	0,00	0,00	-0,21
F319	RMI-5F	Combination	-71,75	-2,48	-0,01	0,00	0,00	-0,21
F319	RMI-5G	Combination	-71,75	-2,48	-0,01	0,00	0,00	-0,21
F319	RMI-5H	Combination	-71,75	-2,48	-0,01	0,00	0,00	-0,21
F31B	RMI-5E	Combination	-71,75	-2,48	0,00	0,00	0,00	-0,21

**Tablo 13.** 3.Bölge için maksimum eksenel kuvvetler (Bingöl)

<b>Element Forces - Frames (3.Bölge Max.Ayak İç Kuvvetleri) (Sap2000 Çıktıları)</b>								
<b>Frame</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
<b>F319</b>	<b>RMI-5E</b>	<b>Combination</b>	<b>-268,61</b>	<b>-17,31</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
F319	RMI-5F	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F319	RMI-5G	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F319	RMI-5H	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5E	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5F	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5G	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F31B	RMI-5H	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F319	RMI-5E	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F319	RMI-5F	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F319	RMI-5G	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F319	RMI-5H	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F31B	RMI-5E	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F31B	RMI-5F	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F31B	RMI-5G	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F31B	RMI-5H	Combination	-268,61	-17,31	-0,03	0,00	0,00	-1,38
F347	RMI-5E	Combination	-268,60	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F347	RMI-5F	Combination	-268,60	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00
F347	RMI-5G	Combination	-268,60	-17,31	-0,03	0,00	0,00	0,00

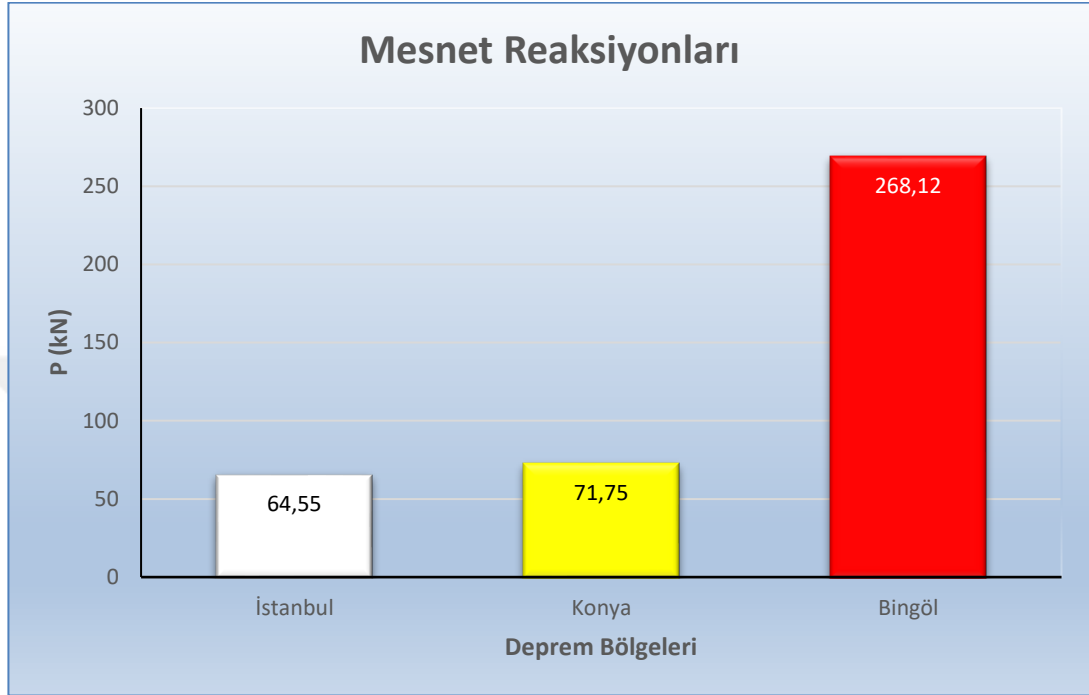


**Grafik 3.** Deprem bölgeleri için X yönü kat kesme kuvvetleri

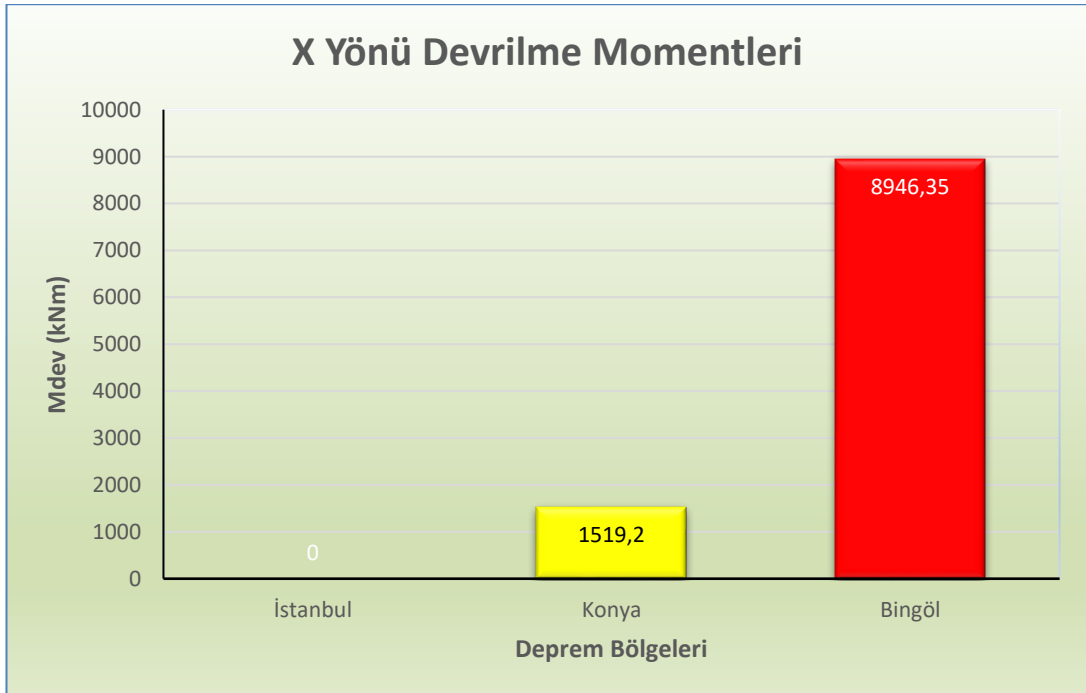


**Grafik 4.** Deprem bölgeleri için Y yönü kat kesme kuvvetleri

Katlara gelen kesme yükleri incelendiğinde, hakim periyot y yönünde olmasına rağmen çaprazlı yönün deprem kuvvetini daha fazla aldığı gözlemlenmiştir. Bir önceki grafikte, kat kesme kuvvetlerinin X yönünde, Y yönüne göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



**Grafik 5.** Her üç bölge için mesnet reaksiyonları



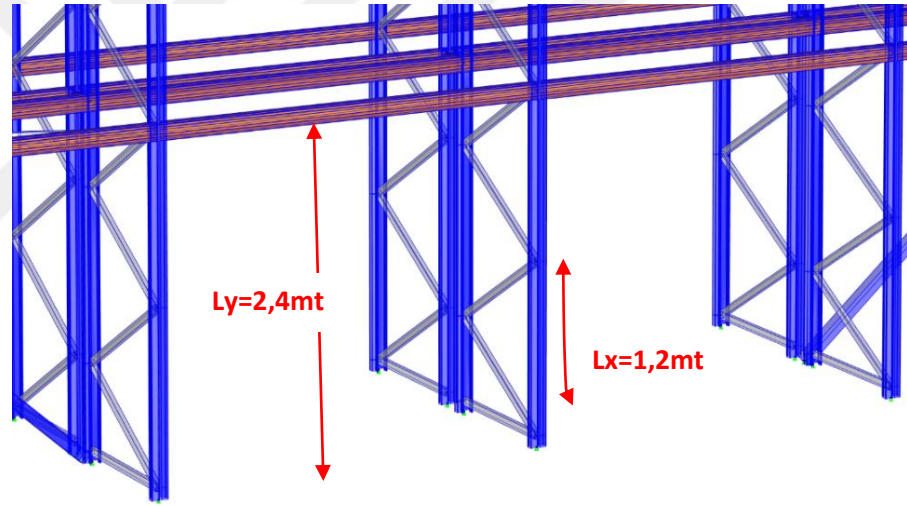
**Grafik 6.** Her üç bölge için çaprazlı yön devrilme momentleri

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### SONUÇLARIN İRDELENMESİ

#### 3.1. Elde Edilen Yüklerin Profillere Atanması

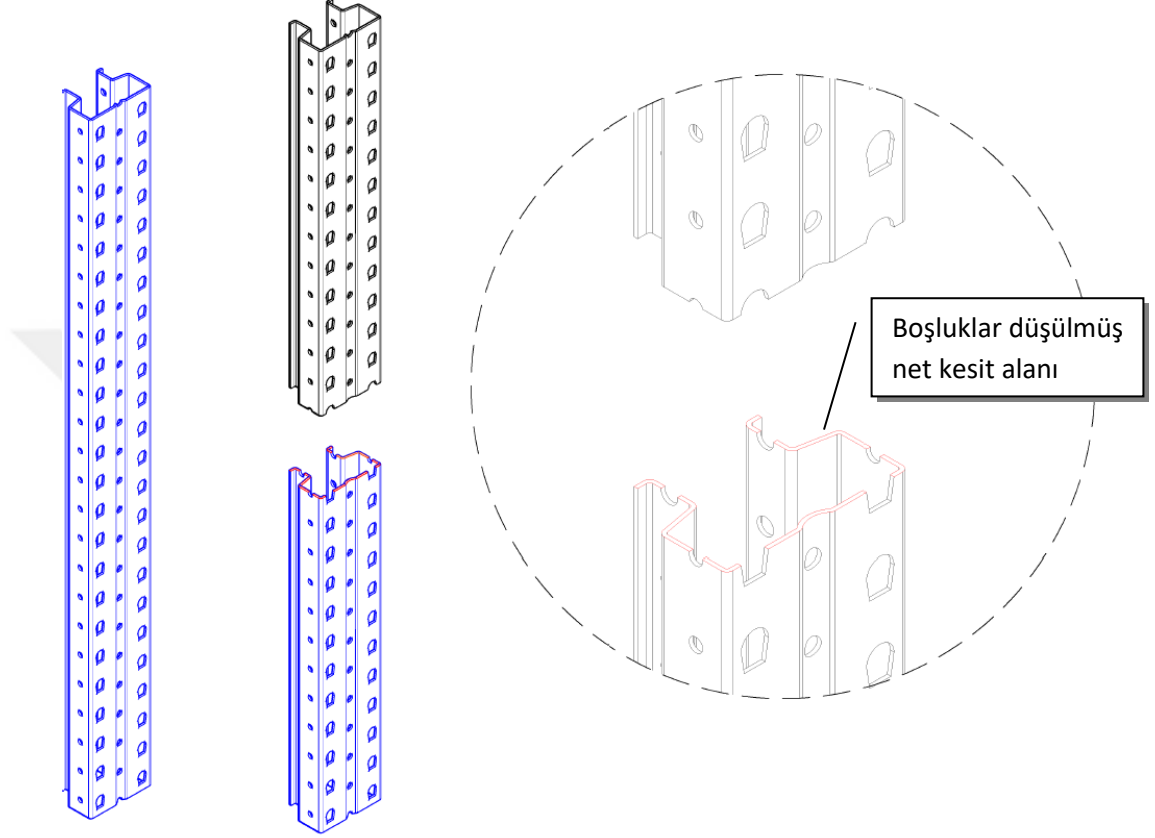
Deprem etkilerinin aynı homojenliğe sahip bir raf kolonunda nasıl tepkiler oluşturacağını görmek için CFS programında yararlanılacaktır. Çubukların burkulma boyları  $L_x=2,4$  mt,  $L_y=1,2$  mt alınacaktır. Her zaman için sisteme gelen en büyük aksenal kuvvet olacağından, normal kuvvetin maksimum olduğu kombinasyondaki x, y doğrultusu deprem kuvvetleri hesaplamada göz önünde bulundurulacaktır. Ayak profillerinde S355 kalitesinde sert çelik kullanılmıştır. Mazleme atması bu doğrultuda yapılmıştır.



Şekil 57. Ayak profillerinin burkulma boyları

Burada bir başka önemli husus, ayağın maksimum aksenal yük alan tabana en yakın alt kısmıdır. Bilindiği üzere basınç-gerilme ilişkisi, yük ve alanla ilgili bir konudur. Ancak bu kesitin güvenle taşıyabileceği yük, düğüm noktalarından tutulan kısımların burkulma boyları ile alakalıdır. Kritik taşıma kapasitesi, Euler burkulma boyu prensibine göre hesaplanacaktır. Bu durumda en alttan 5 cm lik düğüm noktasındaki kısmın; her ne kadar gerilme kapasitesi yüksek olsada, hesaplarda üst taraftaki ikinci büyük gerilmeyi alan, ancak daha uzun burkulma boyuna sahip kesit parçası dikkate alınacaktır.

Bir diğerk önemli hususta faydalı kesit alanıdır. Profilin gerilme kapasitesi, üzerinde maksimum bolşuğa sahip kesit alındıktan sonra kalan net alan üzerinden hesaplara dahil edilecektir. Analizlerde kapasite araştırılması yapılan ayak profili ve faydalı en kesit alanına ait görsel aşğıdaki gibidir.



**Şekil 58.** Faydalı enkesit alanı

### 3.2. Atamada Seçilen Yönetmelikler

Hesaplamalarda YDKT yöntemi kullanılacak olup, programın Amerikan menşeyli hesap prosedüründe ki karşılığı LRFD (Load and Resistance Factor Design) dir. Bu tasarım yaklaşımını bünyesinde barındıran AISI S100-16/S1-18 LRFD yönetmeliğı seçilmiştir. Deprem analizinde FEMA460 şartnamesinden faydalanılmıştır. Sistem tasarım aşamasında BS EN 15515 yönetmeliğinden, bulunan içi kuvvetler ile mukavemet hesapları için CFS (Cold Formed Steel) programından yararlanılarak, burkulma modları incelenmiştir.

### 3.3. Lokal Yüklemedeki Yük Kombinasyonları

Mukavemet hesabı yapılacak kuvvetlere ve boylara ait malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda özet halinde verilmiştir.

**Tablo 14.** Profiller gelen iç kuvvetler ve burkulma boyları

Bölge	Profil	P (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	V <sub>3</sub> (kN)	M <sub>2</sub> (kNm)	M <sub>3</sub> (kNm)	L <sub>x</sub> (m)	L <sub>y</sub> (m)
İstanbul	120 Ω	64,55	0,00	0,00	0,00	0,00	1,2	2,45
Konya	120 Ω	71,76	-2,48	0,02	0,00	0,00	1,2	2,45
Bingöl	120 Ω	268,61	17,53	0,03	0,00	1,36	1,2	2,45

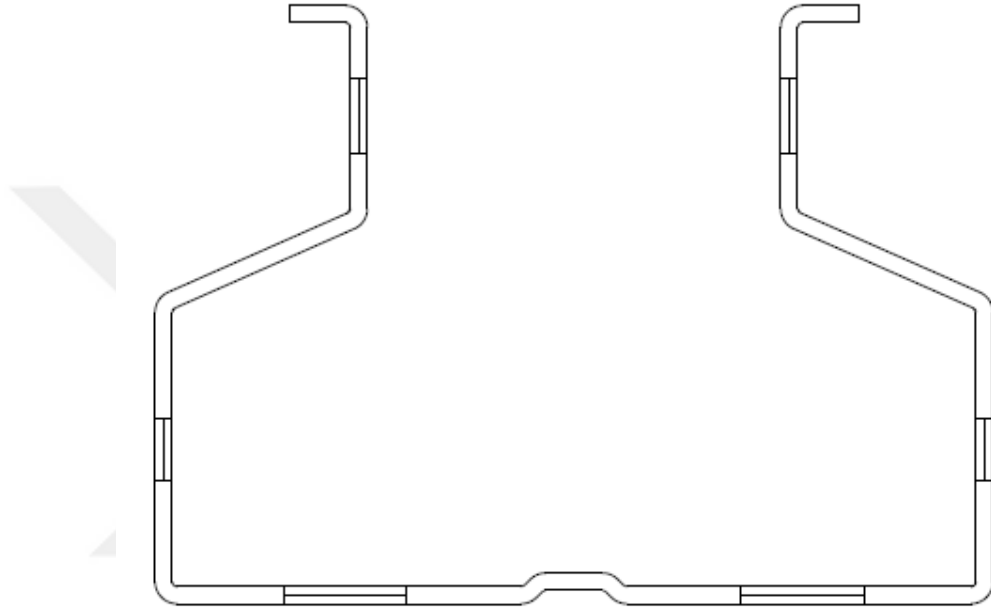
Sap2000 programında yapılan analiz sonucu çubuk elemanlarda oluşan maksimum iç kuvvetler yukarıdaki gösterilmiştir. Deprem ivmeleri deprenselliği yüksek olan bölgedeki yapının taban kesme kuvvetleri, deprenselliği çok düşük olan bölgeye göre 7 kat daha yüksek çıkmıştır. Buradaki yük dağılımının ivmelerle orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde düşey mesnet reaksiyonları da sonraki grafiklerde gösterilmiştir. Burada gözlemlenen sonuçlardan biriside, aynı özelliklerde bir sistemi farklı deprem bölgelerine kurduğunuzda tabana olan aksenal yük ve devrilme momenti etkileride bölgenin deprenselliği oranında artmıştır. Burada, deprem etkilerinden arındırılmış 1.bölge belirleyici bir kıstas olmuştur.

### 3.4. Mukavemet Hesapları

Sisteme ait çubuk elemanların geometrik pozisyonlarına göre iç kuvvetleri ve hesaba esas ölçüleri belirlendikten sonra, bu kuvvetler mevcut kesitler ile AISI S100-16 yönetmeliği ve YDKT yöntemi kullanılarak aşağıdaki gibi analiz edilmiştir. Bu analizde her 3 bölgede ayak parafillerinin maksimum kuvvetleri alan parçalarına ait yükleme modaları bulunarak, bu modlardaki davranışları ve kapasiteleri hesap edilerek kapasiteleri gözlemlenmiştir. Sonuçlar grafiksel olarak tablo halinde gösterilmiştir. Ayrıca kapasitesi yetersiz gelen profil formu için kuvvetler doğrultusunda alternatif form seçenekleri de sunulmuştur. Profillerde bazı hatveler konstruktif gerekçelerle sabit kalmaktadır. Bunn haricindeki kollara ait ölçüler değiştirilebilmektedir. Bu şekilde kapasite artışları incelenmiştir.

### 3.4.1. Sistemde Kullanılan Ayak Profilinin Spesifik Özellikleri

Kullanılan kesite ait özellikler CFS (Cold Formed Steel) programıyla tasarlanarak hesaplanmıştır. Kullanılan kesitin açılımı, alanı, x ve y yönlerindeki atalet momentleri ve yarıçapları gibi özellikler program tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır. Sonraki aşamada kesitle ilgili her üç bölgedeki iç kuvvet yüklemeleri yapılarak sonuçlar incelenecektir.



Şekil 59. 120x2,5 mm omega ayak profili kesiti

#### 3.4.1.1. Kesit Bilgileri

Alan	859,86 mm <sup>2</sup>	Wt.	0,066132 kN/m	Yüzey	343,94 mm
I <sub>x</sub>	759010 mm <sup>4</sup>	r <sub>x</sub>	29,711 mm	I <sub>xy</sub>	0 mm <sup>4</sup>
S <sub>x(t)</sub>	13690 mm <sup>3</sup>	y(t)	55,443 mm	α	-90,000 deg
S <sub>x(b)</sub>	23741 mm <sup>3</sup>	y(b)	31,971 mm		
Z <sub>x</sub>	22865 mm <sup>3</sup>	Height	87,413 mm		
I <sub>y</sub>	1652303 mm <sup>4</sup>	r <sub>y</sub>	43,836 mm	x <sub>o</sub>	0,000 mm
S <sub>y(l)</sub>	26976 mm <sup>3</sup>	x(l)	61,250 mm	y <sub>o</sub>	-73,949 mm
S <sub>y(r)</sub>	26976 mm <sup>3</sup>	x(r)	61,250 mm	j <sub>x</sub>	0,000 mm
Z <sub>y</sub>	34923 mm <sup>3</sup>	Width	122,500 mm	j <sub>y</sub>	77,983 mm
I <sub>1</sub>	1652303 mm <sup>4</sup>	r <sub>1</sub>	43,836 mm	C <sub>w</sub>	4,1233e09 mm <sup>6</sup>
I <sub>2</sub>	759010 mm <sup>4</sup>	r <sub>2</sub>	29,711 mm	J	1791,4 mm <sup>4</sup>
I <sub>c</sub>	2411313 mm <sup>4</sup>	r <sub>c</sub>	52,956 mm		
I <sub>o</sub>	7113356 mm <sup>4</sup>	r <sub>o</sub>	90,955 mm		



### 3.4.1.2. Boşluklu Kesite Ait Bilgiler

Ix	582518 mm <sup>4</sup>	rx	29,489 mm	Area	669,86 mm <sup>2</sup>
Sx(t)	10805 mm <sup>3</sup>	y(t)	53,912 mm	Ixy	0 mm <sup>4</sup>
Sx(b)	17388 mm <sup>3</sup>	y(b)	33,502 mm	α	-90,000 deg
Zx	17556 mm <sup>3</sup>				
Iy	1332567 mm <sup>4</sup>	ry	44,602 mm	x <sub>o</sub>	0,000 mm
Sy(l)	21756 mm <sup>3</sup>	x(l)	61,250 mm	y <sub>o</sub>	-76,916 mm
Sy(r)	21756 mm <sup>3</sup>	x(r)	61,250 mm	jx	0,000 mm
Zy	27480 mm <sup>3</sup>			jy	79,672 mm
Ic	1915084 mm <sup>4</sup>	rc	53,469 mm	Cw	3,1223e09 mm <sup>6</sup>
I <sub>o</sub>	5877971 mm <sup>4</sup>	r <sub>o</sub>	93,675 mm	J	1395,5 mm <sup>4</sup>

### 3.4.1.3. Kesitin Hesaplanan Kapasitesi

Malzeme Türü: [S355], Fy=355 MPa

Eksenel	Pozitif Eğilme		Pozitif Eğilme		
φPno	202,13 kN	φMnxo	4,2441 kN-m	φMnyo	6,7967 kN-m
Ae	669,86 mm <sup>2</sup>	Ixe	582518 mm <sup>4</sup>	Iye	1332567 mm <sup>4</sup>
φTn	256,22 kN	Sxe(t)	10805 mm <sup>3</sup>	Sye(l)	21756 mm <sup>3</sup>
		Sxe(b)	17388 mm <sup>3</sup>	Sye(r)	21756 mm <sup>3</sup>
Kesme	Negative Bending		Negative Bending		
φVny	79,03 kN	φMnxo	4,0832 kN-m	φMnyo	6,7967 kN-m
φVnx	37,53 kN	Ixe	582518 mm <sup>4</sup>	Iye	1332567 mm <sup>4</sup>
Burulma		Sxe(t)	10805 mm <sup>3</sup>	Sye(l)	21756 mm <sup>3</sup>
φBn	251370 kN-mm <sup>2</sup>	Sxe(b)	17388 mm <sup>3</sup>	Sye(r)	21756 mm <sup>3</sup>

## 3.4.2. 1.Bölge (İstanbul) İçin Statik Kesit Analizi

### Elastik Burkulma Sonuçları

Burkulma Mode	Büyüküğü (kN, kN-m)	Gerilim (MPa)	Gerilim Yield	Uzunluğu (m)	Çalışması Ratio
Pcrl	746,18	867,8	2,4445	0,03810	7,21
Pcrd	315,87	367,4	1,0348	0,69505	0,97
Mcrlx+	48,099	3513,5	9,8971	0,03810	1,51
Mcrdx+	8,863	647,4	1,8236	0,69505	0,98
Mcrlx-	20,308	1483,4	4,1786	0,03810	7,24
Mcrdx-	10,431	762,0	2,1464	0,10823	1,98
Mcrly+	57,469	2130,3	6,0010	0,03810	21,55
Mcrdy+	21,380	792,5	2,2325	0,65533	0,93
Mcrly-	57,469	2130,3	6,0010	0,03810	21,55
Mcrdy-	21,380	792,5	2,2325	0,65533	0,93

## Kesit Kontrolü - AISI S100-16/S1-18, US, LRFD

Malzeme Türü: [S355],  $F_y=355$  MPa

Tasarım Parametreleri:

Lx	1,200 m	Ly	2,450 m	Lt	1,200 m
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 mm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 mm
Braced Flange:	None	$k\phi$	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	13,000 m		

Loads:	P (kN)	Mx (kN-m)	Vy (kN)	My (kN-m)	Vx (kN)
Entered	64,55	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Applied	64,55	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Strength	131,00	3,7773	79,03	6,1726	37,53

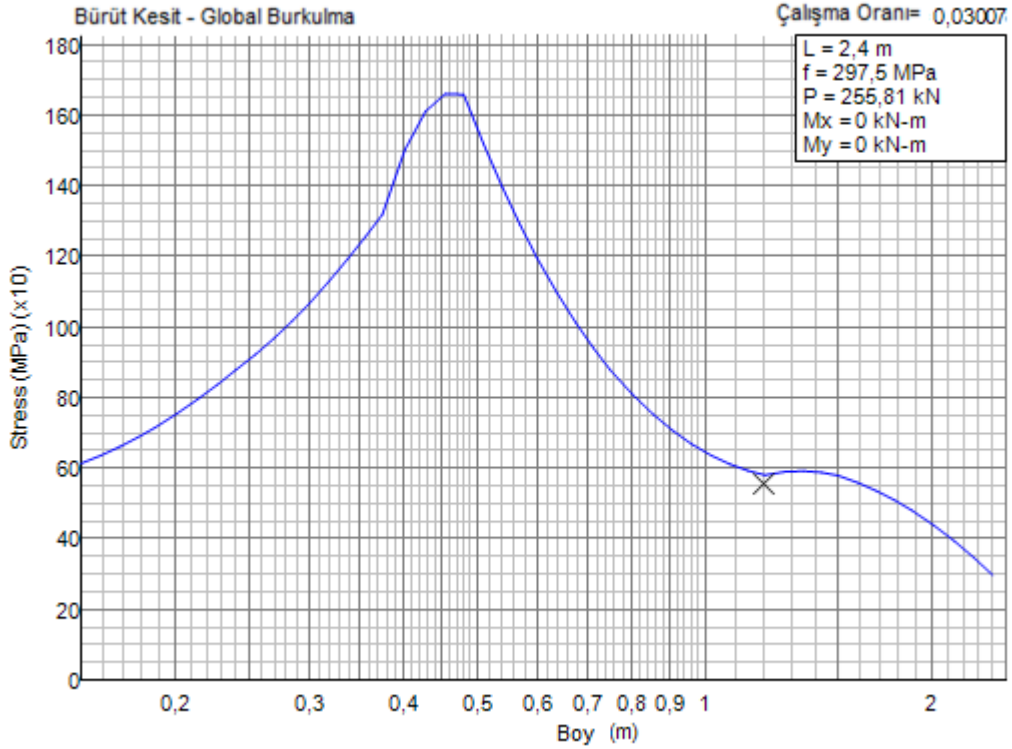
Etkileşim Denklemleri

Eq. H1.2-1 (P, Mx, My)  $0,493 + 0,000 + 0,000 = 0,493 \leq 1.0$

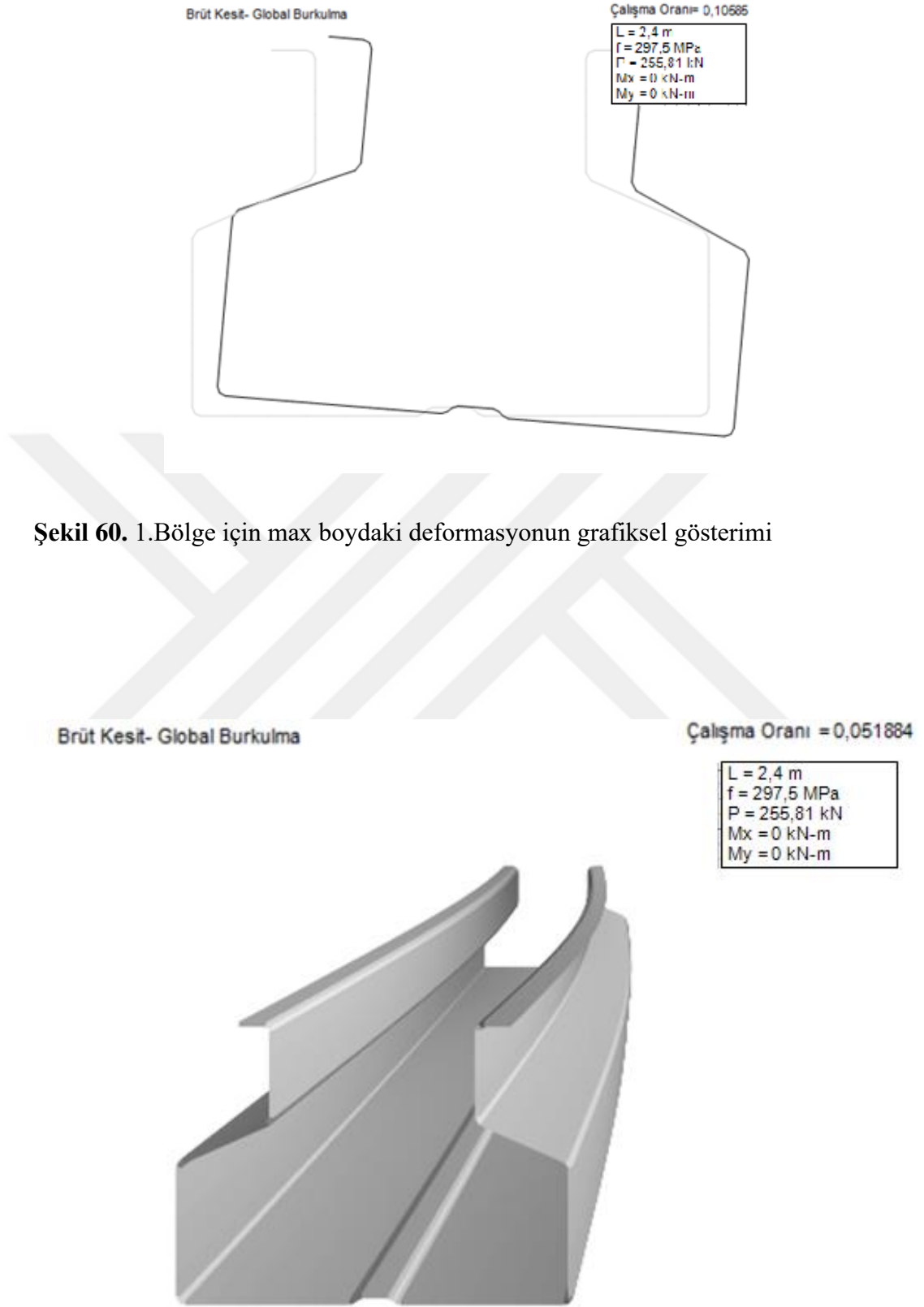
Eq. H2-1 (Mx, Vy)  $\text{Sqrt}(0,000 + 0,000) = 0,000 \leq 1.0$

Eq. H2-1 (My, Vx)  $\text{Sqrt}(0,000 + 0,000) = 0,000 \leq 1.0$

Birinci bölgede sisteme sadece 64,55 kN eksenel yükle yüklenmiş, ve kapasitesinin %49,3 ü oranında çalıştığı görülmüştür. Kesitin güvenle taşıyabileceği yükün, profil boyuna (logaritmik) oranını gösteren grafik aşağıda verilmiştir.



**Grafik 7.** 1.Bölge için statik yükler altında kapasite grafiği



Şekil 60. 1.Bölge için max boydaki deformasyonun grafiksel gösterimi

Şekil 61. 1.Bölge için statik yükler altında max boyda burkulma modu şekli

### 3.4.3. 2.Bölge (Konya) İçin Depremlı Kesit Analizi

Kesit Kontrolü - AISI S100-16/S1-18, US, LRFD

Malzeme Türü: [S355],  $F_y=355$  MPa

Tasarım Parametreleri:

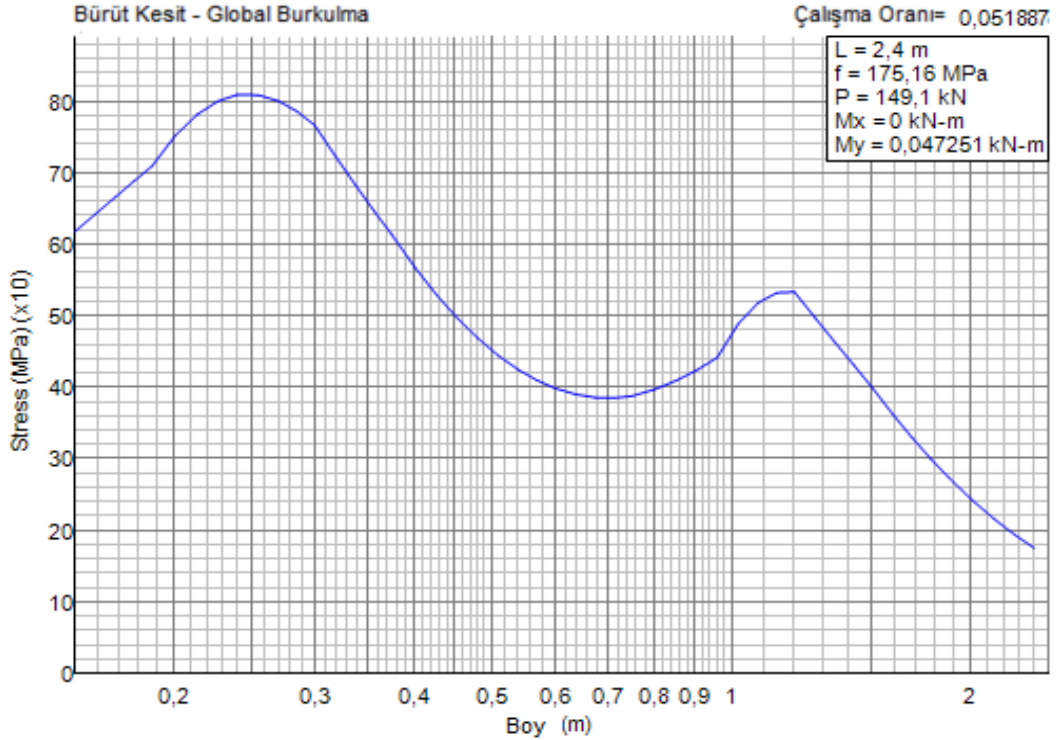
Lx	1,2000 m	Ly	2,4500 m	Lt	1,2000 m
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 mm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 mm
Braced Flange:	None	$k\phi$	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	6,0960 m		

Loads:	P (kN)	Mx (kN-m)	Vy (kN)	My (kN-m)	Vx (kN)
Entered	71,75	0,0300	-2,48	0,0000	0,02
Applied	71,75	0,0323	-2,48	0,0000	0,02
Strength	131,00	3,7773	79,03	6,1726	37,53

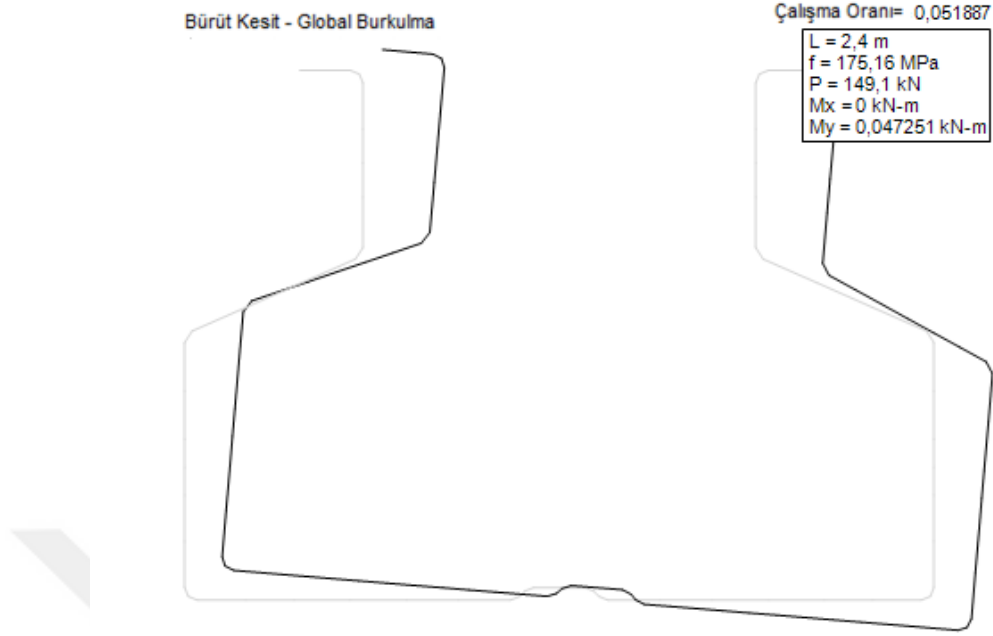
Etkileşim Denklemleri

Eq. H1.2-1 (P, Mx, My)  $0,548 + 0,009 + 0,000 = 0,556 \leq 1.0$   
Eq. H2-1 (Mx, Vy)  $\text{Sqrt}(0,000 + 0,001) = 0,032 \leq 1.0$   
Eq. H2-1 (My, Vx)  $\text{Sqrt}(0,000 + 0,000) = 0,001 \leq 1.0$

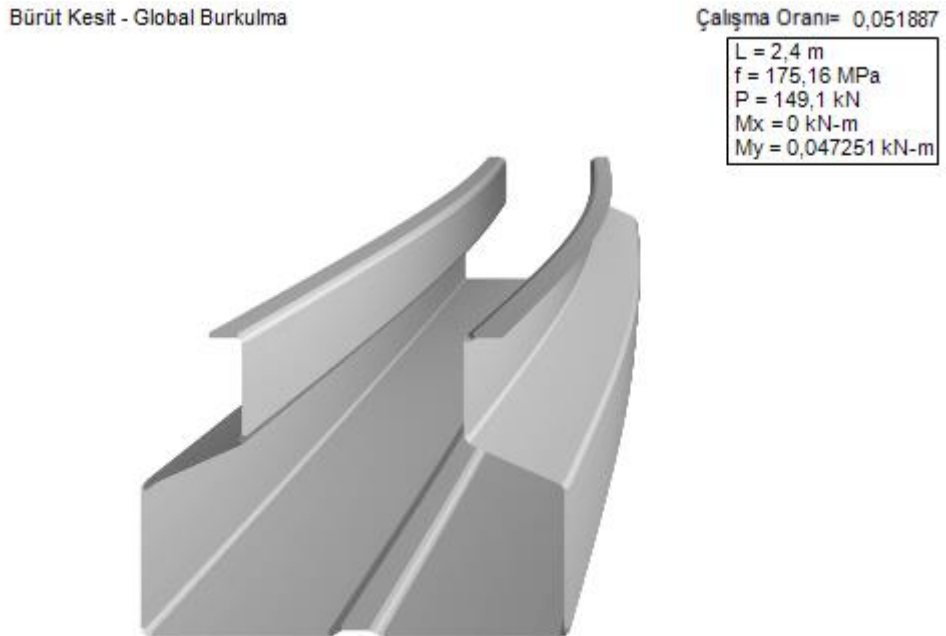
Depremselliği düşük olan 2.bölgede kesite bir miktar moment ve kesme kuvveti gelmiştir. Ancak hesaba esas kritik burkulma yükünün yanında çok düşük bir miktardır. Bu oran aşağıdaki tablodan incelenebilmektedir.



**Grafik 8.** 2.Bölge için deprem etkileri altında kapasite grafiği



Şekil 62. 2.Bölge için max boydaki deformasyonun grafiksel gösterimi



Şekil 63. 2.Bölge için statik yükler altında max boyda burkulma modu şekli

### 3.4.4. 3.Bölge (Bingöl) İçin Depremli Kesit Analizi

Kesit Kontrolü - AISI S100-16/S1-18, US, LRFD

Malzeme Türü: [S355],  $F_y=355$  MPa

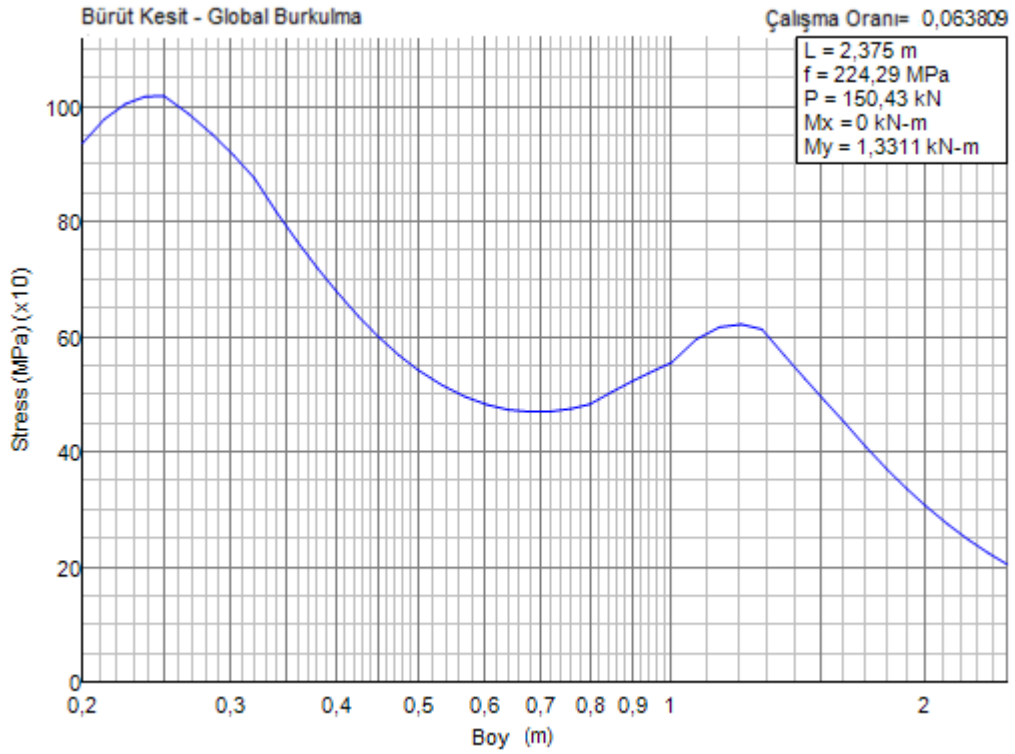
Tasarım Parametreleri:

Lx	1,200 m	Ly	2,450 m	Lt	1,200 m
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 mm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 mm
Braced Flange:	None	$k\phi$	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	13,000 m		

Loads:	P (kN)	Mx (kN-m)	Vy (kN)	My (kN-m)	Vx (kN)
Entered	268,60	0,0000	17,55	1,3600	0,03
Applied	268,60	0,0000	17,55	2,7221	0,03
Strength	131,00	3,7773	79,03	6,1726	37,53

Etkileşim Denklemleri

Eq. H1.2-1 (P, Mx, My)  $2,050 + 0,000 + 0,441 = 2,491 > 1.0$   
Eq. H2-1 (Mx, Vy)  $\text{Sqrt}(0,000 + 0,049) = 0,222 \leq 1.0$   
Eq. H2-1 (My, Vx)  $\text{Sqrt}(0,160 + 0,000) = 0,401 \leq 1.0$

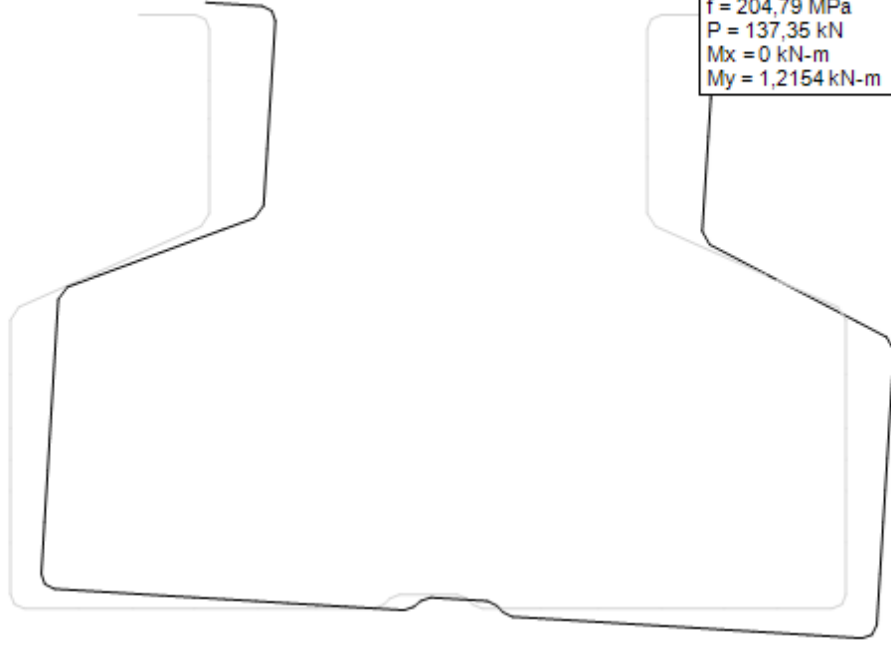


**Grafik 9.** 3.Bölge için deprem etkileri altında kapasite grafiği

Bürüt Kesit - Global Burkulma

Çalışma Oranı= 0,047765

L = 2,5 m  
f = 204,79 MPa  
P = 137,35 kN  
Mx = 0 kN-m  
My = 1,2154 kN-m



Şekil 64. 3.Bögede ayak profilinin maksimum kapasitede burkulma modu

Bürüt Kesit - Global Burkulma

Çalışma Oranı= 0,048266

L = 2,5 m  
f = 204,8 MPa  
P = 137,35 kN  
Mx = 0 kN-m  
My = 1,2154 kN-m



Şekil 65. 3.Bölge için statik yükler altında max boyda burkulma modu şekli

### 3.5. Kapasitelerin İrdelenmesi

Gerek statik, gerekse değişken şiddetli deprenselliğe sahip durumlar için 3 adet analiz yapılmıştır. Neticesinde, deprem etkilerinin olmadığı statik etkiler altında sistem nereye kurulursa kurulsun sadece basınç gerilmelerine mağruz kaldığı bilinmektedir. Tezde 1.Bölge olarak adlandırılan statik yüklemde kapasite oranı; aksel yükler altında %49 olmuştur. Yinde düşük deprem etkilerine sahip ikinci bölgede yapılan analiz sonucunda; çubuklara basın etkilerinin yanı sıra y akseni doğrultusunda bir miktar kesme kuvveti ile, x akseni etrafında düşük bir miktar moment etkidiği gözlemlenmiştir. Bu her iki kuvvet program tarafından optimize edilerek x akseni doğrultusunda momente dönüştürülmüştür. Ancak 2.deprem bölgesinde de oluşan momentin aksel basınç kuvveti yanında çok düşük bir seviyede kaldığı gözlemlenmiştir. Depremlili olan 2.bölgede kapasite oranı 0,56 olmuştur. Görüldüğü üzere deprem etkilerinin düşük olmasından dolayı statik yüklemde sadece %14 bir kapasite kullanım artışı olmuştur. Deprem etkilerinin yüksek, hatta hemen hemen ülkemiz sınırları içerisinde en riskli bölgede olan konumda aynı analiz yapıldığında, sistemin üzerine etkin bileşke moment etkisinin, sistemdeki aksel basınç kuvvetine oranının %22 lere çıktığı gözlemlenmiştir. Bu şu anlama gelmektedir, deprem etkileri sistemdeki tüm kuvvetlerin %22 sini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra deprem etkilerinden dolayı oluşan iç kuvvetler sistemin kapasitesinin 1,5 kat üzerine çıkmasına sepe olmuştur. Zemin ivmesinin 7 kat artışı, sistemde kullanılan geometri ve kesit özelliklerinin kapasitesini %50 den 2,5 katına çıkarmıştır ki bu, sadece profil kesitlerine yapılacak bir müdahaleyle giderilemeyecek kadar yüksektir. Bu durumda tasarıma da müdahale edilmesi gerekmektedir.

Sonuçlarla ilgili dikkat çeken bir diğer nokta; belirleyici mukavemet unsurunun burkulma olduğudur. Deprem etkisi en yük olan sistemde basınç kuvveti tüm kuvvet bileşkesinin % 78 i, moment etkileride %22 sini oluşturmuştur. Burada burkulma kapasitesinin güçlendirilmesi, sistemin taşıma gücüne momente oranla daha fazla bir kapasite artışı sağlayacaktır. Boşlukları düşülen net kesit alanında  $I_x / I_y$  oranı %43 tür. Bu özellikler, Mevcut profil özelliklerinin kapasiteleri ve bu özelliklerin, ihtiyaç olan kapasiteye göre nasıl yeniden dizayn edilmesi gerektiği ile ilgili hesaplamalar aşığıda yapılmıştır.



120x2,5Ω profil için kesit bilgileri aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} A_{\text{net}} &= 669,86 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 582.518 \text{ mm}^4 & L_x &= 1200 \text{ mm} & E &= 210.000 \text{ N/mm}^2 \\ I_y &= 1.332.567 \text{ mm}^4 & L_y &= 2400 \text{ mm} & F_y &= 355 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{582.518}{669,86}} = 29,49 \text{ mm} \quad (6)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1.332.567}{669,86}} = 44,60 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\lambda_x = \frac{k.L_x}{i_x} = \frac{(1,0).(1200)}{29,49} = 40,70 \quad (8)$$

$$\lambda_y = \frac{k.L_y}{i_y} = \frac{(1,0).(2400)}{44,60} = 54,93 \quad (9)$$

$$\lambda < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{210.000}{355}} = 114,56 \quad (10)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{(3,14)^2 \cdot (210.000)}{(54,93)^2} = 218,54 \text{ N/mm}^2 \quad (11)$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{E_e}}) \cdot F_y = (0,658^{\frac{355}{219}}) \cdot 355 = 180,12 \text{ N/mm}^2 \quad (12)$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = (180,12) \cdot (669,86) = 120.655,18 \text{ N} = 120,66 \text{ kN} \quad (13)$$

$$P_c = \phi \cdot P_n = (0,9) \cdot (120,66) = 108,60 \text{ kN} \quad (14)$$

Yukarıda görüldüğü üzere kesitin, bu geometride taşıyabileceği güvenli yük maksimum 108,60 kN dur. Bizim en kritik 3.Bölgede ayağa gelen maksimum aksenal yük 268,60 kN dur. Şimdi tersine mühendislik yaparak aynı geometrik koşullarda bize gerekli olan kesit ölçüleri bulunulacaktır. Bunun için kesit alanı 1,5 kat artırılacaktır

$$\text{Kesit Alanı} = A_g \cdot 1,5 = (669,86) \cdot (1,5) = 1.004,79 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

$$P_c = 268,60 \text{ kN} = \phi \cdot P_n = (0,9) \cdot P_n \Rightarrow P_n = 298,44 \text{ kN} \quad (16)$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = F_{cr} \cdot (1.004,79) = 298,44 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow F_{cr} = 297,02 \text{ N/mm}^2 \quad (17)$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \cdot F_y = (0,658^{\frac{355}{F_e}}) \cdot 355 = 297,02 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow F_e = 831,38 \text{ N/mm}^2 \quad (18)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{(3,14)^2 \cdot (210.000)}{\lambda^2} = 831,38 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \lambda = 49,90 \quad (19)$$

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{i_y} = \frac{(1,0) \cdot (2400)}{i_y} = 49,90 \Rightarrow i_y = 48,10 \text{ mm} \quad (20)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{I_y}{1004,79}} = 48,10 \text{ mm} \Rightarrow I_y = 2.324.692,19 \text{ mm}^4 \quad (21)$$

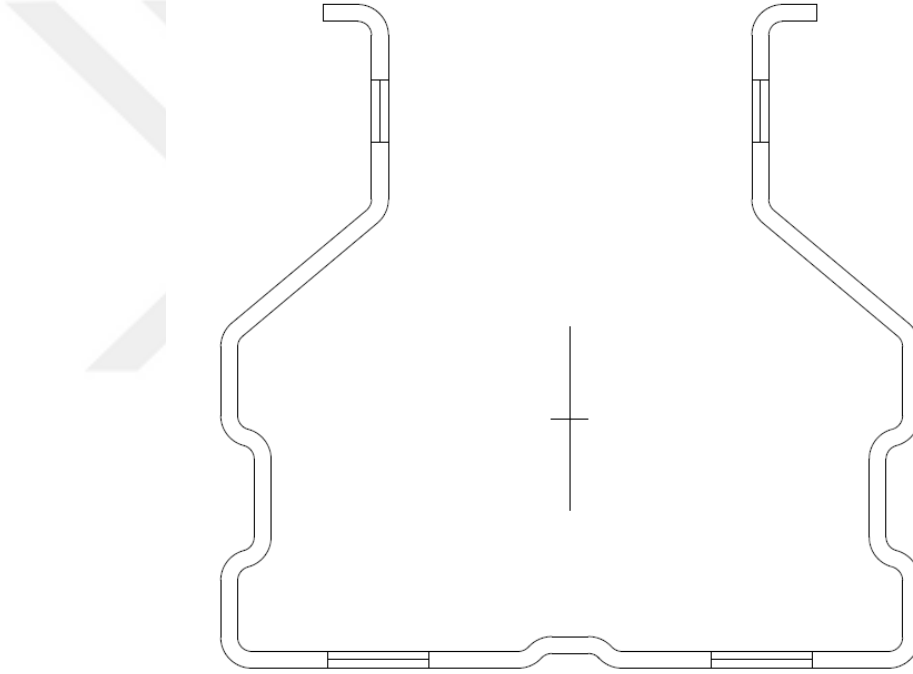
Görüldüğü üzere kritik burkulma boyuna sahip “y” yönünde gerekli atalet 2.324.692 mm<sup>4</sup> olarak hesaplanmıştır. Alanı 1,5 kat artırarak 1.004,79 mm<sup>2</sup> ye getirmiştik. Pratikte bunun en basit yolu kalınlığı artırmaktır. Ancak üretim makinelerinin kapasiteleri buna her zaman izin vermemektedir. Bu yüzden kalınlık ve şekil üzerinde müdahale edilerek gerekli ataletlere ulaşılabacaktır.

### Brüt Kesit Özellikleri

Alan	1203,2 mm <sup>2</sup>	Wt.	0,092538 kN/m	Flat	401,07 mm
Ix	1880002 mm <sup>4</sup>	rx	39,53 mm	Ixy	0 mm <sup>4</sup>
Sx(t)	25502 mm <sup>3</sup>	y(t)	73,72 mm	α	-90,000 deg
Sx(b)	42462 mm <sup>3</sup>	y(b)	44,28 mm		
Zx	42052 mm <sup>3</sup>	Height	118,00 mm		
Iy	2489878 mm <sup>4</sup>	ry	45,49 mm	x <sub>o</sub>	0,00 mm
Sy(l)	40088 mm <sup>3</sup>	x(l)	62,11 mm	y <sub>o</sub>	-99,23 mm
Sy(r)	40088 mm <sup>3</sup>	x(r)	62,11 mm	jx	0,00 mm
Zy	51346 mm <sup>3</sup>	Width	124,22 mm	jy	105,41 mm
I <sub>1</sub>	2489878 mm <sup>4</sup>	r <sub>1</sub>	45,49 mm	Cw	9,5651e09 mm <sup>6</sup>
I <sub>2</sub>	1880002 mm <sup>4</sup>	r <sub>2</sub>	39,53 mm	J	3609,6 mm <sup>4</sup>

## Net Kesit Özellikleri

Ix	1483033 mm <sup>4</sup>	rx	37,96 mm	Area	1029,2 mm <sup>2</sup>
Sx(t)	20388 mm <sup>3</sup>	y(t)	72,74 mm	Ixy	0 mm <sup>4</sup>
Sx(b)	32771 mm <sup>3</sup>	y(b)	45,25 mm	$\alpha$	-90,000 deg
Zx	33978 mm <sup>3</sup>				
Iy	2286074 mm <sup>4</sup>	ry	47,13 mm	x <sub>o</sub>	0,00 mm
Sy(l)	36806 mm <sup>3</sup>	x(l)	62,11 mm	y <sub>o</sub>	-98,77 mm
Sy(r)	36806 mm <sup>3</sup>	x(r)	62,11 mm	jx	0,00 mm
Zy	45435 mm <sup>3</sup>			jy	104,01 mm
Ic	3769107 mm <sup>4</sup>	rc	60,52 mm	Cw	7,6301e09 mm <sup>6</sup>
I <sub>o</sub>	13808430 mm <sup>4</sup>	r <sub>o</sub>	115,83 mm	J	3087,6 mm <sup>4</sup>



**Şekil 66.** Kapasitesi artırılmış ayak profili kesiti

Şekilde görüldüğü gibi sac açılımı 340 mm den 400 mm ye çıkarılıp, kesitin kalınlığını 2,5mm den 3mm ye çıkarıp, yukarıdaki form verildiğinde, gerekli olan atalet ve alan sağlanmış olunmaktadır. Bu gibi kesit yetersizliği söz konusu olduğunda öncelikle kesit kalınlığını artırmak, üretim kolaylığı açısından yerinde olacaktır. Sonraki aşamada kesitin ataletini artırıcı formlar tasarımsal olarak şekile eklenebilir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Standart bir depo rafı, statik yükler altında, depremselliği düşük ve yüksek bölgelerde kurulduğunda farklı iç kuvvetler almaktadır. Deprem; şiddeti logaritmik olarak artan bir yer hareketidir. Depremselliği yüksek bölgelerde özellikle ayak kapasitelerinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Aynı durum yatay taşıyıcı traverslerde gözlemlenmemiştir. Bunun yanı sıra, depremselliği düşük bir bölge ile statik yükler altında analizi yapılan bir raf sisteminde iç kuvvetlerin birbirine oldukça yakın çıktığı gözlemlenmiştir.

Lojistik merkezler, doğaları gereği ulaşım ağlarının ortasında kurulmaktadır. Ülkemizde nüfusun özellikle yoğun olduğu bölgelerde sanayi ve ticaret daha aktif bir yapıdadır. Dolayısıyla depo rafları mecburen, depremselliği yüksek merkezlere yakın depolara kurulmaktadır. Bu durum, depo raf sistemlerinin ayak profillerinde kapasite artırımı ihtiyacını doğurmuştur.

Diğer bir taraftan lojistik depolar, bilindik çelik kontrüksyon yapılarına göre çok daha hızlı kurulmaktadır ve hemen hemen tüm sanayici ve lojistik firmalarının ihtiyacı olan bir materyaldir. Bu kadar çok talep olması arzı ve rekabeti doğurmuştur. Raf sistemleri yatırımında maliyet ile güvenlik doğru orantılıdır. Deprem gerçeği ülkemiz coğrafyasının kaçınılmaz gerçeğidir. Sanayisi hızlı büyümekte olan, hava, kara, deniz ve demiryolu taşımacılığının merkezinde olan bir ülkede raf sistemleri büyüyen bir sektördür. Her ne kadar TDBY yönetmeliğinde sismik analiz yöntemlerinden faydalanılsada, yönetmelik içerisinde depo raf sistemleri için bir atıf bulunmamaktadır. Bu büyük bir eksiklik olmakla birlikte, depo rafları üzerine araştırmalar ABD de 1950 li yıllarda başlamış ve il yönetmelik yazılmıştır. Mühendislik hesaplamalarında ve yönetmeliklerde ABD ve Avrupada çıkan yaklaşımları kullanmaktayız.

Yapılan çalışmanın en dikkat çeken sonuçlarından biride, zemin yer ivmesinin aynı sistemde etkilerini nasıl logaritmik olarak artırdığının gözlemlenmesidir. 0,4 g lik bir deprem ivmesi yapılarda hasara yol açarken, 0,75g bir ivmenin deprem etkilerini yaklaşık 10 kat artırdığı gözlemlenmiştir. Bunun profil kesitlerindeki etkisinde muazzamdır. Kullanılan programlarla birlikte profil formunda modlara bağlı olarak buruşma etkileri gözlemlenmiştir.

Profil kapasitelerini etkileyen en önemli bir başka hususunda sistemin geometrisi olduğu gözlemlenmiştir. Her iki yönde burkulma boylarının yüksekliği, deprem etkisi altındaki rafın kapasitesini hızlıca düşürmüştür. Bununla ilgili olarak deprem kuvvetlerinin ve mesnet reaksiyonlarının en fazla olduğu zemin bölgesinde, profilin içeriden U sac ile ilk kat seviyesinin üst yarısına kadar güçlendirilmesinin önemli bir kapasite artışı sağlayacağı görülmüştür. Yine diğer yönde profiller çift sıra kullanılarak burkulma boyu kısaltılabilir ve bu yöndeki deprem etkileri ekonomik bir şekilde karşılanabilir. Ancak her halukarda deprenselliğin yüksek olduğu bölgelerde sistemin geometrisini değiştirmek, üzerindeki yükleri azaltmak, ayak profilinde kullanılan sacın açılımını artırmak, ayak profilinin formunu y yönüne doğru uzatmak suretiyle ataletini büyüterek yönetmeliklere uygun ve ekonomik bir şekilde dayanımını artırmanın mümkün olacağı söylenebilir.

## KAYNAKÇA

- AFAD. (2023, 2 13). Türkiye Deprem Tehlike Haritası Web Sitesi: <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden alındı
- Aghayeva, A., & Vigil, J. (2018). *Çelik Yapı Tasarımı*. Nobel Yayınevi , İstanbul.
- AISI S100-07. (2007). *Nort American Specification for the Design Cold Formed Steel Structures*. American Iron and Steel Institue, Washington DC, US.
- AISI S100-16. (2016). *Nort American Specification for the Design Cold Formed Steel Structures*. American Iron and Steel Isntitue, Cicago, US.
- Allen, D. (2006, 11). History of Cold Formed Steel. *Structure Magazine*, s. 28-32.
- ANSI MH16.1. (2012). *RMI Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks*. American National Standard, NC, US.
- ANSI/AISC 341-16. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institue of Steel Construction, Chicago, US.
- ANSI/AISC 360-16. (2016). *Specification for Structure Steel Buildings*. American Institue Of Steel Construction, Chicago, US.
- ASCE 7-10. (2010). *Minimum Desing Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, Virginia, US.
- Aşçelik DRS. (2023, 2 20). *ASC Depo Raf Sistemleri San. Tİc. Ltd. Şti*. [www.ascelikdrs.com](http://www.ascelikdrs.com): [www.ascelikdrs.com](http://www.ascelikdrs.com) adresinden alındı
- Barry J, D., & Anthony P, M. (2011). *Design Recommendations for the Improvement of the Seismic Performance of Steel Storage Racks*. Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society, Auckland, New Zealand.
- BS EN 15512. (2009). *Steel Static Storage Systems - Adjustable Pallet Racking Systems - Principles for Structural Design*. Britsh Standards Institution, London, UK.
- BS EN 16681. (2016). *Steel Storage Systems - Adjustable Pallet Racking Systems - Principles for Seismis Design*. Britsh Standards Institution, London, UK.
- Celep, Z., & Kumbasar, N. (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş*. Beta Yayınevi, İstanbul.
- ÇYTHYE. (2018). *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

- Darılmaz, K. (2019). *Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Demirel, Y. (2019). İnce Cidarlı U Çelik Profillerin Eksantrik Yük Altında Tek Bulonlu Bağlantılarının İncelenmesi .DOI: 10.29109/gujsc.545509. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* , s. 372-382.
- Demirel, Y., & Tüylüoğlu, O. (2019, 04 19). İnce Cidarlı U Çelik Profillerin Eksantrik Yük Altında Tek Bulonlu Bağlantılarının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, s. 372-382.
- Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F., & Çağlayan, Ö. (2008). *Çelik Yapılar*. Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- Doğangün, A. (2021). *Deprem-Zemin ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- EN 15620. (2008). *Steel Static Storage Systems - Adjustable Pallet Racking - Tolerances, Deformations and Clearans*. European Committee For Standardization, Brussels, BEL.
- EN 15629. (2008). *Steel Storage Systems - Specification of Storage Equipment*. European Committee For Standardization, Brussels, BEL.
- EN 15635. (2008). *Steel Storage Systems - Application and Maintenance of Storage Equipment*. European Committee For Standardization, Brussels, BEL.
- Eren, Ö. (2007). *Çelik Yapılar, Tasarım, Konstrüksiyon, Uygulama*. Artı Sanat Yayınları, İstanbul.
- FEM 10/1-02. (2010). *Latest Developments in Harmonisation for the Design and Use of Storage Equipment*. European Racking Federation, Birmingham, UK.
- FEMA 365. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency, National Institute of Building Sciences, Washington DC, US.
- FEMA 365. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, US.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, US.
- FEMA 460. (2005). *Seismic Considerations for Steel Storage Racks*. Federal Emergency Management Agency, National Institute of Building Sciences, Washington DC, US.

- Güneş, S., & Çeribaşı, S. (2017, 4 25). Hafif çelik yapı tasarımında yaklaşımlar, mevcut kontrol şartları ve olası bir. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s. 362-375.
- Halmos, G. (2006). *Roll Forming Handbook, Manufacturing Engineering and Materials Processing*.
- Karabulut, A. (2011). *TDY2007 yönetmeliği ve FEMA 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin mevcut betonarme binalar için karşılaştırılması (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khoshnoudian F., & Behmanesh I. (2010). *Evaluation of FEMA-440 for Including Soil-Structure Interaction*. Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, Tufts University, Medford, MA.
- Livatyalı, H. (2006, Ağustos). Bilgisayar Destekli Rollform Makara Tasarımı; Zanaatın Teknolojiyle Birleşmesi. *Makinetek Dergisi*.
- N.Asawasongkram, P.Chomchuen, & P.Premthamkorn. (2014). *Seismic Performance Evaluation of Steel Storage Racks Using Experimental Results of Beam to Column Connection*. Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul.
- Odabaşı, Y. (1997). *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*. Beta Yayınevi, İstanbul.
- Özbek, T. (1998). *Mukavemet*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özmen, G., Orakdöğen, E., & Darılmaz, K. (2018). *Örneklerle SAP2000*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Rafex. (2023, 02 20). *Rafex Depo ve Raf Sistemleri*. [www.rafex.com.tr](http://www.rafex.com.tr): [www.rafex.com.tr](http://www.rafex.com.tr) adresinden alındı
- SEMA. (2010). *Code of Practice for the Use of Static Pallet Racking*. The Storage Equipment Manufacturers Association, Birmingham, UK.
- Şensoy, S. (2017). *Celik Depo Raf Sistemlerinde kullanılan Dikme ve Ayakların Burkulma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi)*. Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- TBDY. (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Todd, R., Allen, D., & Alting, L. (1994). *Manufacturing Processes Reference Guide*,. *Industrial Press Inc.*, s. ss. 300-304.



- TS EN 1993-1-1 (Eurocode 3). (2005). *Design of Steel Structures*. European Committee for Standardization, Brussels, BEL.
- TS EN 1993-1-3 (Eurocode 3). (2006). *Cold Formed Steel Frame Design*. European Committee for Standardization, Brussels, BEL.
- Tunca, O., Erdal, F., Sağöz, A., & Çarbaş, S. (2017, Ekim 26). Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Profillerin Yapısal Özellikleri. *Uluslararası Katılımlı 7.Çelik Yapılar Sempozyumu*, s. 234-241.
- Türker, Y. (2020, Ekim ). Hafif Çelik Yapılar. *Türk Yapısal Çelik Derneği Yayınları*, Sayı: 66 .
- Ülker, M., & Savaş, S. (2018). *AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Gmre Çelik Yapıların Tasarımı*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ.
- Wei-Wen, Y. (1999). *Cold Formed Steel Structures*. Department of Civil Engineering University of Missouri, Rolla, US.
- Yazıcı, C. (2020). Çelik Yapılarda Kullanılan Birleşim Elemanlarının Yangın Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *(Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi)*. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yazıcı, C. (2022). *Depolama Raf Sistemi Elemanlarının Deneysel ve Sayısal olarak İncelenmesi ve Kolon Kiriş Birleşimleri İçin Mekanik Bir Model Önerilmesi (Yayınlanmış Doktora Tesiz)*. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇELİK, Ali

Uyruğu : T.C.

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
--------	---------------	------------------

Yüksek lisans

Lisans

Lise

## İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-----	-----	-------

## Yabancı Dil

İngilizce

## Yayınlar

## Hobiler

Motorsiklet