

T.C.
MALTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YAPI VE DEPREM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAFİF ÇELİK YAPILARIN FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE
İNCELENMESİ, MEVCUT KONTROL ŞARTLARI VE
OLUŞTURULABİLECEK HAFİF ÇELİK YAPI YÖNETMELİĞİNDE
VURGULANMASI ÖNERİLEN KONULAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
SELMA AYŞEGÜL GÜNEŞ
121412101

Danışman Öğretim Üyesi:
Yrd.Doç.Dr. Seyit ÇERİBAŞI

İstanbul, Haziran 2016

ÖZET

Mevcut piyasa şartlarında Türkiye’de yönetmelik olmamasından dolayı, inşa edilen soğuk büküm hafif çelik yapılar ile ilgili genel kabullerin haricinde, kesit, kapasite, tasarım, üretim ve montaj kontrolleri tam olarak yapılamamaktadır. Piyasada büyük ve küçük birçok firma olduğundan gerekli kontrol ve hesaplamaların her zaman yapıldığını kabul etmek güç olacaktır. Pazar talebinin özellikle fazla olduğu dönemlerde, standart olarak kabul edilen piyasa şartlarına uygun ekonomik yapılar üretilip, inşa edilmektedir. Mevcut tasarım ve üretim kabulleri her firma için farklılık gösterse de deneyime dayalı kabuller ile tasarım, üretim ve montaj yapılmakta, kesinlikle kontrol talep edilen devlet destekli projelerde ise üretim yapan çoğu firma farklı yurtiçi ve yurtdışı yönetmeliklerinden yararlanarak soğuk büküm hafif çelik yapıları incelemektedirler.

Tez kapsamında hafif çelik yapıların tarihçesi, günümüzdeki kullanım şekilleri, Türkiye’de genel olarak kullanılan tasarım ve üretim şekilleri hakkında bilgi verilmiş ve örnek hafif çelik yerinde kaplama bir yapının tasarımı yapılmıştır. Soğuk büküm çelik profilden oluşturulan yapılar ile ilgili mevcut bir yönetmelik olmadığından tasarımda kullanılan kabuller ve eleman özellikleri dünyada kullanılan iki genel yönetmeliğe göre incelenmiş ve kontrolleri yapılarak Türkiye’de ki mevcut yönetmeliklerden de yararlanılarak SAP 2000’de oluşturulan model ile yapının analizi yapılmıştır. Tez çalışması sonucunda, soğuk büküm profillerden oluşan bir hafif çelik yapının dünya ve Türkiye yönetmeliklerine göre genel olarak inceleme ve kontrolü hakkında genel bir yol oluşturulmaya çalışılmıştır.

ABSTRACT

In the current market conditions because of the absence of regulations in Turkey, sections , capacity , design, production and assembly of cold formed light gauge steel buildings can not be fully controlled except for some superficial knowledge. It's hard to assume that necessary controls and calculations are always done because of the variety of the various companies in the market. Especially during periods of high market demand, economic structures accepted as standard in accordance with the market conditions are produced and built . Even though current design and manufacturing assumptions might differ for each company, design and manufacturing are done by experience-based assumptions. For the state projects for which strict controls are requested all examining of cold formed light gauged steel buildings is done with various natinonal and international regulations.

In the scope of this thesis, history of light gauge steel structures, current usage patterns and commonly used design and manufacturing details in Turkey are given and an example of cold formed light gauged steel structure is designed. Due to absence of regulations for cold formed light gauge steel structures cold form profile design assumptions and controls are done by two general regulations of other countries. Together with existing regulations in Turkey structure is analyzed in SAP2000. As a result of the thesis, a general way of overall inspection and control of cold formed light gauged structures have been tried to be reached according to regulations of other countries and Turkey.

İÇİNDEKİLER

Özet.....	i
Abstract.....	ii
İçindekiler.....	iii
Kısaltmalar.....	v
Şekil Listesi.....	vii
Tablo Listesi.....	x
1. Giriş.....	1
2. Hafif Çelik Yapılar.....	3
2.1. Dünyada Hafif Çelik Yapılar.....	3
2.2. Türkiye’de Hafif Çelik Yapılar.....	4
2.3. Hafif Çelik Yapılar ve Elemanları Hakkında Genel Bilgi.....	6
2.3.1. Hafif Çelik Depo ve Hangarlar.....	9
2.3.2. Ön Üretimli Hafif Çelik Panel Sistem Yapılar.....	13
2.3.3. Hafif Çelik Yerinde Kaplama Yapılar.....	26
3. Örnek bir Hafif Çelik Yapının İncelenmesi.....	31
3.1. Yönetmeliklere Göre Profil Kesit Kontrolleri.....	33
3.1.1. Duvar Paneli C (150x70x20x2) Profilinin İncelenmesi.....	35
3.1.1.1. Profil Uygunluğunun AISI S100’e göre Kontrolü.....	35
3.1.1.2. Profil Uygunluğunun EN 1993’e göre Kontrolü.....	40
3.1.1.3. Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması.....	45
3.1.1.4. Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı.....	47
3.1.1.4.1. Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı.....	47
3.1.1.4.2. Kapasite Hesabı.....	49
3.1.2. Duvar Paneli U (150x70x2) Profilinin İncelenmesi.....	50
3.1.2.1. Profil Uygunluğunun AISI S100’e göre Kontrolü.....	51
3.1.2.2. Profil Uygunluğunun EN 1993’e göre Kontrolü.....	53
3.1.2.3. Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması.....	57
3.1.2.4. Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı.....	59
3.1.2.4.1. Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı.....	60
3.1.2.4.2. Kapasite Hesabı.....	61
3.1.3. Şase C (300x70x20x2) Profilinin İncelenmesi.....	62
3.1.3.1. Profil Uygunluğunun AISI S100’e göre Kontrolü.....	62
3.1.3.2. Profil Uygunluğunun EN 1993’e göre Kontrolü.....	67
3.1.3.3. Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması.....	72
3.1.3.4. Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı.....	74
3.1.3.4.1. Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı.....	75
3.1.3.4.2. Kapasite Hesabı.....	75
3.1.4. Şase U (300x70x2) Profilinin İncelenmesi.....	77
3.1.4.1. Profil Uygunluğunun AISI S100’e göre Kontrolü.....	78

3.1.4.2.	Profil Uygunluğunun EN 1993'e göre Kontrolü	80
3.1.4.3.	Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması	84
3.1.4.4.	Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı	86
3.1.4.4.1.	Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı	84
3.1.4.4.2.	Kapasite Hesabı	85
3.1.5.	Ağır Çelik Kolon (150x150x4)'nun İncelenmesi	86
3.1.5.1.	Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı	87
3.1.5.2.	Kapasite Hesabı	88
3.1.6.	Ağır Çelik Kiriş (150x100x4)'in İncelenmesi	93
3.1.6.1.	Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı	93
3.1.6.2.	Kapasite Hesabı	94
3.2.	Yapının Türkiye'deki Mevcut Yönetmeliklere Göre İncelenmesi	96
3.2.1.	DBYBHY 2007 Yönetmeliğine Göre Yapının İncelenmesi	98
4.	Değerlendirme ve Sonuç.....	106
5.	Kaynaklar	111
6.	Özgeçmiş	113
7.	Ekler	118

KISALTMALAR

W_{etkili} : Etkili profil web(en) genişliği

t: Profil kalınlığı

h: profil flanş ölçüsü

E: Elastisite modülü

F_y : Akma gerilmesi

I_a : rijitleştirici elemanın atalet momenti

I_s : rijitleştirici elemanın atalet momenti, elemanın yuvarlatılmış köşeleri hesaba katılmadığı varsayılarak

R_I : rijitleştirici elemanın atalet momentlerinin oranları

b : efektif tasarım boyutu ve web boyutu

d_s ; Güçlendirici (rijitleştirici) elemanın etkili genişliği

k: plaka bükülme katsayısı

c: rijitleştirici eleman (dudak) boyutu

ϵ : F_y 'ye bağlı faktör

b_{pc} : rijitleştirici eleman (dudak) etkili boyutu

b_p : web etkili boyutu

k_σ : Bükülme faktörü

$\sigma_{cr,s}$: Kritik elastik plaka bükülme gerilmesi

λ_p : Plaka narinliği

ρ : Plaka bükülme azaltma faktörü

ψ : stres oranı

b_{eff} : efektif web boyutu

b_{e1} : efektif web kısmi boyutu

b_{e2} : efektif web kısmi boyutu

c_{eff} : efektif rijitleştirici eleman (dudak) boyutu

Y_x : Ağırlık merkezinin X ekseninin orijine uzaklığı

Y_y : Ağırlık merkezinin Y ekseninin orijine uzaklığı

W_x : Kesit Modülü

I_x : X eksenine göre Atalet momenti (Kuvvetli eksen)

Y_{max} : Tarafsız eksene uzaklık

M_x : Moment Kapasitesi

T : Periyot

$T_{A,B}$: Karakteristik periyot

A_0 : etkin yer ivmesi katsayısı

I : Bina önem katsayısı

g: yer ivmesi

G: Sabit Yük

Q: Hareketli Yük

Qr: Çatı Hareketli Yüğü

S: Kar Yüğü

R: Yağmur Yüğü

W: Rüzgar Yüğü

E: Deprem Etkisi

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1: Türkiye’de yapılan örnek okul projesi
- Şekil 2.2: Yurtdışında yapılan örnek kamp projesi
- Şekil 2.3: Modüler sistemlere ait ürün ve sistem gruplandırması
- Şekil 2.4: Karkas ve makas üretiminde kullanılan natürel galvaniz rulo sac
- Şekil 2.5: Karkas ve makas üretiminde kullanılan roll-form makinası
- Şekil 2.6: Hafif çelik yapılarda kullanılan C ve U profiller
- Şekil 2.7: Hafif Çelik Depo Binası
- Şekil 2.8: Çelik depo ve hangarlarda kullanılan örnek makas dizaynı üç boyutlu gösterimi
- Şekil 2.9: Çelik binalarda kullanılan çatı paneli
- Şekil 2.10: Çelik binalarda kullanılan cephe paneli
- Şekil 2.11: Ön üretim hafif çelik yapı örnek kesiti
- Şekil 2.12: Ön üretimli hafif çelik yapıya ait makas planı
- Şekil 2.13: Örnek panel sistem bir yapıya ait aks sistemi
- Şekil 2.14: Ön üretimli Karkas panel sisteme ait panel karkas tasarım görünüşü
- Şekil 2.15: Hafif çelik yapı’ya ait kolon, kiriş çizimi (x-y)
- Şekil 2.16: Hafif çelik yapı’ya ait kolon, kiriş çizimi (x-z)
- Şekil 2.17: Örnek bir hafif çelik yapı için temel planı
- Şekil 2.18: Örnek bir yapı için beton blok tasarımı
- Şekil 2.19: Ön üretimli hafif çelik karkaslı yapılarda kullanılan birleşim elemanları
- Şekil 2.20: Ön üretimli sandviç panel yapılarda kullanılan birleşim elemanları
- Şekil 2.21: Örnek şase modülü
- Şekil 2.22: Örnek hafif çelik bir yapıya ait şase kısmi planı
- Şekil 2.23: Hafif çelik yerinde kaplama bir yapıya ait iskelet cephe görünüşü

- Şekil 2.24: Hafif Çelik yerinde kaplama bir yapıya ait karkas üç boyutlu görünüşü
- Şekil 2.25: Hafif Çelik yerinde kaplama sistem örnek bir yapıya ait şase modülü
- Şekil 2.26: Çelik depo ve hangarlarda kullanılan örnek makas
- Şekil 2.27: Hafif çelik bir yapıya ait örnek kırma çatı makas sistemi
- Şekil 3.1: Yapının Sap 2000’de oluşturulan Cephe Görünüşü
- Şekil 3.2: Yapının Sap2000 modeli (Deforme olmamış hali)
- Şekil 3.3: Cephede kullanılan C ve U profiller
- Şekil 3.4: Şasede kullanılan C ve U profiller
- Şekil 3.5: AISI S100 ‘de belirtilen, hesaplamalarda kullanılan boyutlandırmaların şematik gösterimi
- Şekil 3.6: Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler
- Şekil 3.7: Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)
- Şekil 3.8: Gerilme diyagramı (EN 1993)
- Şekil 3.9: Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler
- Şekil 3.10: Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)
- Şekil 3.11: Gerilme diyagramı (EN 1993)
- Şekil 3.12: AISI S100 ‘de belirtilen, hesaplamalarda kullanılan boyutlandırmaların şematik gösterimi
- Şekil 3.13: Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler
- Şekil 3.14: Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)
- Şekil 3.15: Gerilme diyagramı (EU)
- Şekil 3.16: Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler
- Şekil 3.17: Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)
- Şekil 3.18: Gerilme diyagramı (EN 1993)

Şekil 3.19: SAP 2000’de yapılan analizde örnek 150x150x4 kolon ve 150x100x4 kirişin yapı içerisinde moment diyagramı ile birlikte gösterimi

Şekil 3.20: DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.2 ile oluşturulan Elastik Tasarım İvme Spekturumu

Şekil 3.21: DBYBHY 2007, Denklem 2.1, 2.2 ve 2.3 kullanılarak oluşturulan İvme Spekturumu

Şekil 3.22: Mod 1’e göre yapının deforme olmuş hali

Şekil 3.23: Mod 2’e göre yapının deforme olmuş hali

Şekil 3.24: Mod 3’e göre yapının deforme olmuş hali

Şekil 3.25: Mod 4’e göre yapının deforme olmuş hali

Şekil 3.26: Mod 5’e göre yapının deforme olmuş hali

Şekil 3.27: Mod 6’e göre yapının deforme olmuş hali

Şekil B1: Soğuk büküm profil Kesitleri

Şekil B2: Soğuk büküm profil rijitleştirme tipleri

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Yapı'ya ait genel özellikler

Tablo 3.2: Tasarımda kullanılan profil boyutları

Tablo 3.3: Tasarımda kullanılan çelik sınıfı ve akma ve kopma gerilmesi limitleri

Tablo 3.4: AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.5: EU 1993-1'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.6: C150x70x20x2 Profilin Ağırlık merkezi

Tablo 3.7: I_x Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.8: I_y Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.9: AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.10: EN 1993'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.11: U150x70x2 Profilin Ağırlık merkezi

Tablo 3.12: I_x Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.13: I_y Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.14: AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.15: EN 1993'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.16: 300x70x20x2 Profilinin Ağırlık merkezi

Tablo 3.17: I_x Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.18: I_y Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.19: AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.20: EU 1993'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

Tablo 3.21: U300x70x2 Profilinin Ağırlık merkezi

Tablo 3.22: I_x Atalet Momenti hesap tablosu

Tablo 3.23: I_y Atalet Momenti hesap tablosu

- Tablo 3.24: K150x150x4 kolonunun Ağırlık merkezi
- Tablo 3.25: I_x Atalet Momenti hesap tablosu
- Tablo 3.26: I_y Atalet Momenti hesap tablosu
- Tablo 3.27: K150x100x4 Kirişinin Ağırlık merkezi
- Tablo 3.28: I_x Atalet Momenti hesap tablosu
- Tablo 3.29: I_y Atalet Momenti hesap tablosu
- Tablo 3.30: Genel Şartlar ve ilgili Yönetmelikler
- Tablo 3.31: Modal analize göre Sap2000'den alınan periyot ve frekans sonuçları (20 Mod için)
- Tablo B1: Çelik sınıfına uygun kalınlık kontrol tablosu ve EN standartlarına uygun çelik akma ve kopma gerilme değerleri
- Tablo B2: Çelik sınıfları ve akma, kopma gerilme değerleri
- Tablo B3: Çelik sınıfları ve akma, kopma gerilme değerleri
- Tablo B4: Boyut kontrol şartları
- Tablo C1: Kar Yüğü Tablosu
- Tablo C2: Rüzgar Yüğü
- Tablo C3: Hareketli Yüğü Tablosu
- Tablo C4: Etkin Yer İvmesi Katsayısı Tablosu
- Tablo C5: Bina Önem Katsayısı (I)
- Tablo C6: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
- Tablo C7: Spektrum Karakteristik Periyotları
- Tablo C8: Basınç çubuklarında burkulma boyu
- Tablo C9: FE 37 çeliğı için burkulma katsayıları

1.GİRİŞ

Tez kapsamında hafif çelik yapıların tarihçesi ham madde olan çeliğin kullanımından başlayarak, çelik bina elemanları ve son ürün olan hafif çelik yapıların kullanım ve gelişimini kapsayacak şekilde hazırlanmıştır.

Hafif Çelik yapı sistemleri ön üretimli sandviç panel, karkaslı panel sistem ve yerinde kaplama sistem olarak genel anlamda 3 gruba ayrılmaktadır. Sistemler ülkemizdeki üretici firmaların yaygın olarak kullandığı gruplandırmaya göre isimlendirilmiş ve sistemlerin detayları Prefabrik Yapı, Vefa, Karmod adlı Türkiye'ye ve Ortadoğu'ya yaygın olarak satış ve ihracat yapan üretici firmaların oluşturduğu kataloglar kapsamında detaylandırılmıştır.

Örnek bir yerinde kaplama hafif çelik projesi, AISI Amerikan Demir ve Çelik Enstitü yönetmeliği [1], EN 1993-1-1 [2] , EN 1993-1-3 [3], EN 1993-1-5 [4] Çelik yapıların dizayn yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Yapının yönetmeliklerde belirtilen şartlar ve hesap yöntemleri çerçevesinde değerlendirmesi yapılarak ve Sap2000 programında oluşturulan model ile yapının analizi yapılmıştır.

Yurtdışında kullanılan yönetmeliklere göre incelenen yapı, TS 11372-1994: Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları [5], TS 648-1980 : Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları [6], TS 498-1997 : Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri [7], TS 6793-1989 : Konutlar ve Kamu Binalarında Kullanım ve Yerleşim Yükleri [8], TS ENV-1998 : Depreme Dayanıklı Yapıların Projelendirilmesi Tedbirleri [9] ve

DBYBHY-2007 - Türk Deprem Yönetmeliği [10] 'nde hafif çelik ile bağlantılı olan veya referans olarak gösterilebilecek koşul ve yöntemler örnek alınarak incelenmiştir.

Sonuç olarak, tez kapsamında örnek ön üretimli hafif çelik yapının yurtdışı yönetmelikleri ve ülkemizde kullanılan mevcut yönetmelikler kapsamında yapılan incelemeleri karşılaştırılarak oluşturulacak olası bir hafif çelik yönetmeliğinde vurgulanması önerilen noktalar belirlenmiştir.

2. HAFİF ÇELİK YAPILAR

2.1. Dünyada Hafif Çelik Yapılar

19.yy'da Henry Bessemer tarafından Besemer prosesi adı verilen ilk pahalı olmayan endüstriyel prosesin bulunmasının ardından verimli ve ucuz çelik üretimine başlanmış, çeliğin dayanımının ve sünekliliğinin yüksek olması nedeniyle 19.yy sonlarından itibaren Amerika'da, 20.yy başlarından itibaren ise Britanya'da inşaat sektöründe kullanılmaya başlanmıştır [11].

Çelik karkasın sahaya montaja hazır şekilde sevk edilmesi ve işleme kolaylığı nedeniyle işçilik ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi nedeniyle konut amaçlı “pre-fab” (ön üretilmiş) hafif çelik yapıların inşası artmıştır [12]. Hafif Çeliğin İnşaat Endüstrisindeki tarihi ve gelişimi adlı çalışmada da belirtildiği gibi 2. Dünya savaşının sonunda Avrupa ülkelerinde hızlı ve ekonomik olarak üretilip montajı yapılabilen ön üretilmiş hafif çelik yapıların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Çeliğin dayanımının aynı hacimdeki betonarme veya ahşap elemandan yüksek olması, elektrik ve sıhhi tesisat montajının kolay olması ve sistemin uygun izolasyon malzemesi ile yangına karşı dayanıklılığı nedeniyle tercih edilmeye başlanmıştır. Sıcak büküm çeliğin tasarım kriterleri 1930'larda Amerika'da standartlaştırılmıştır 1946 yılına kadar ince kesitli, farklı şekillerde üretilebilen soğuk büküm için herhangi bir kontrol veya tasarım kriteri belirlenmemiştir.

1946'da AISI(American Iron and Steel Insitute) ne bağlı olarak Cornell Üniversitesi Profesörü George Winter ın gerçekleştirdiği ilk dayanım dizayn özellikleri araştırmasının sonucunda yönetmelik yayınlanmış devam eden yıllarda gelişmelere bağlı sürekli olarak revize edilmiştir. 1991 yılında yük ve dayanım faktör tasarımının Wei-Wen Yu ve Theodore V Galambos tarafından enstitüye bağlı olarak yayınlanmıştır. 1996 yılında iki çalışma birleştirilerek genişletilmiş ve günümüzde kullanılan asıl yönetmelik oluşturulmuştur.

Hafif Çeliğin İnşaat Endüstrisindeki tarihi ve gelişimi adlı çalışmada da belirtildiği gibi 2. Dünya savaşının sonunda Avrupa ülkelerinde hızlı ve ekonomik olarak üretilip montajı yapılabilen ön üretimli hafif çelik yapıların kullanımı yaygınlaşmıştır.

2.2. Türkiye'de Hafif Çelik Yapılar

Sektörde iç piyasa ve dış piyasaya satış yapan firmaların kuruluş ve büyüme tarihlerine bakıldığında ülkemizde hafif çelik yapıların üretiminin 40 seneyi aşmadığı görölmektedir. Endüstrinin gelişmesi, komşu ülkelerdeki savaşlar ve ülkemizde yaşanan depremler sektörün gelişmesini sağlayacak ihtiyacı oluşturmuştur.

Hafif çelik sektöründe adı geçen orta ve büyük çaplı firmaların kapasitelerini arttırıp büyümeleri özellikle 1999 depreminden sonra olmuştur. İç piyasaya üretim ve satış yapan firmalar sonraki yıllarda komşu ülkelerdeki politik yıpranmalar, iç ve dış savaşlar nedeniyle oluşan pazarda konum, üretim ve montaj işçiliği avantajından yararlanarak büyümüş ve dış pazara açılmışlardır.

İç piyasaya üretilen hafif çelik yapılar şahıs alımlarında konut amaçlı, firma alımlarında ise şantiye binası olarak kullanılmaktadır. Ağırlıklı olarak maden ve inşaat sektöründe talep edilen hafif çelik yapılar üretim ve montaj maliyeti düşük olan ön üretimli (prefabrik) panel sistem yapılarıdır.



Şekil 2.1: Türkiye’de yapılan örnek okul projesi [13]

Dış piyasaya üretilen hafif çelik yapılar ise genellikle savaş bölgelerinde askeri veya sivil kamp alanları oluşturmak, savaş ve afet sonrası acil konut ve idari bina ihtiyacını sağlamak, yeniden yapılanan bölgelerde yüksek bütçeli santral, petrol rafinerisi gibi yüksek bütçeli inşaat projelerinde mobilizasyonu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. İç piyasanın aksine ihraç edilen yapıların talep edilen özellikleri ülkemizdeki üretim sistemlerinin gelişmesini ve yurtdışında kullanılan mevcut standartlara ulaşmasını sağlamıştır.

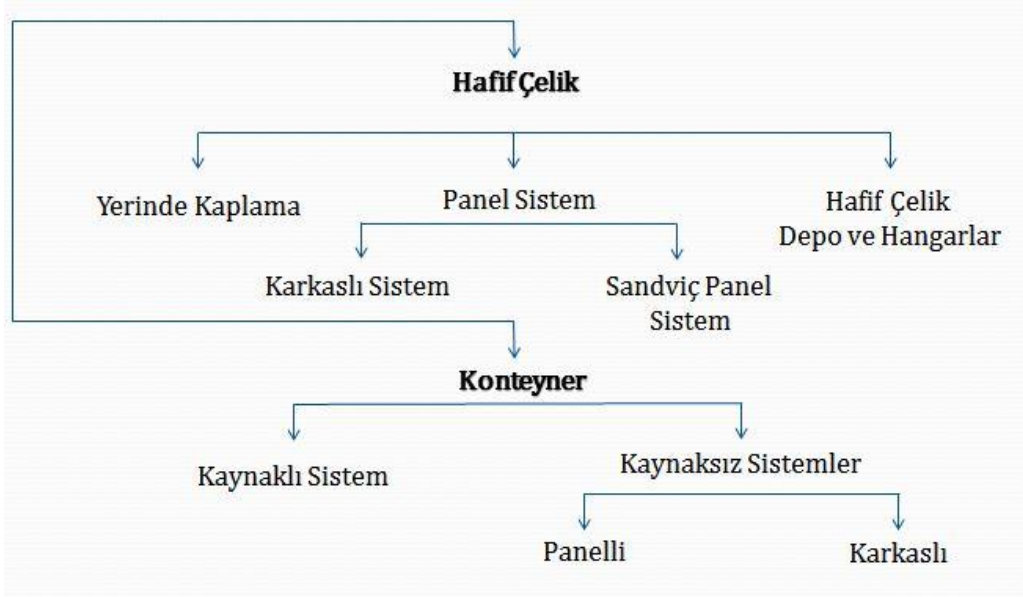


Şekil 2.2: Yurtdışında yapılan örnek kamp projesi [14]

Hafif çelik üretimi yapan firmaların bir kısmı 2000’li yılların ortasından itibaren kar marjlarını ve dışa bağımlılığı azaltmak için kaplama malzemesi gibi ek yapı elemanlarını kendi üretmeye başlamıştır. Sektördeki bu genişleme hafif çelik sektörünün inşaat sektörüyle paralel ve girift olarak gelişmesine neden olmuştur.

2.3. Hafif Çelik Yapılar Hakkında Genel Bilgi

Modüler sistemler kendi içinde hafif çelik yapılar ve konteynerler olmak üzere ikiye ayrılır. İki sistem kullanılan malzeme açısından aynı olup, üretim ve montajda farklılık göstermektedir. Tez kapsamında hafif çelik yapılar incelenmiştir. Hafif Çelik yapı sistemleri yerinde kaplama sistem, panel sistem ve hafif çelik depo ve hangarlar olmak üzere genel anlamda 3 gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.3: Modüler sistemlere ait ürün ve sistem gruplandırması

Sistemlerin üretim ve montajında kullanılan malzemeler ortak ancak üretim ve montaj sistemleri farklıdır. Hafif çelik depo ve hangarlara ait iskelet kolon kiriş imalatları hariç en fazla 2mm sacdan oluşmaktadır.

Sac Şekil 2.4’de görüldüğü gibi rulo olarak temin edilir, üretim sahasında rollform makinalarda çekilmektedir. Rollform makinasında üretilen her parça üretim teknik ofiste autocad ve strucad gibi yardımcı programlar ile dizayn edilmekte aracı program kullanılarak makinaya aktarılmaktadır. Karkasa ait her parçanın bağlantı noktaları dizayn aşamasında belirlenmekte, ilgili noktalarda bağlantı elemanlarına uygun delikler bırakılmaktadır.

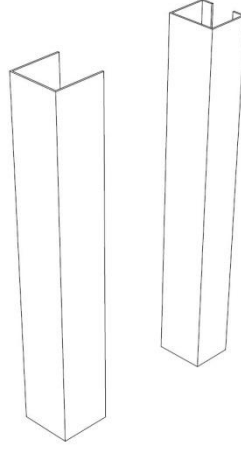


Şekil 2.4: Karkas ve makas üretiminde kullanılan natürel galvaniz rulo sac [15]



Şekil 2.5: Karkas ve makas üretiminde kullanılan roll-form makinası [16]

Genel olarak dikey elemanlar “U profil” , yatay elemanlar ise “C profiller” den oluşmaktadır. Örnek profil şekli Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6: Hafif çelik yapılarda kullanılan “C” ve “U” profiller

Bazı üretici firmalarda tüm yatay ve dikey elemanlar u profil olarak kullanılırsalar da, üretim sistemi geliştirilmiş firmalarda profile etkiyen yüke daha ince malzeme ve fazla aralıklarda kullanılarak malzemede ekonomi sağlaması açısından mukavemeti fazla olan “C” profiller kullanılmaktadır.

2.3.1. Hafif Çelik Depo ve Hangarlar

Hafif çelik depo ve hangarlarda koridor genişliği tek açıklıkta en fazla 10m, yüksekliği ise en fazla 5m olacak şekilde üretim yapılmaktadır. Yükseklik veya eni daha fazla olan depo ve hangar binaları ağır çelik sistemde üretilmektedir. Ağır çelik sistemden ekonomik olması nedeniyle hafif çelik depo ve hangarlar kullanıcının talebine hizmet ettiği durumlarda tercih edilmektedir.

Talebe göre birden fazla koridor kullanılarak depo eni genişletilebilir, ancak makasları taşıması açısından 10m bir depoya dik olarak atılan 2.5m aralıklı kolonlar sistemi bölmektedir. Örnek bir hafif çelik depo yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7: Hafif Çelik Depo Binası [17]

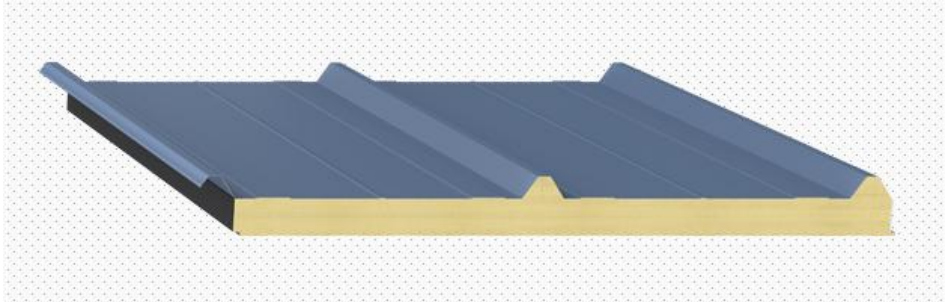
Hafif çelik depo ve hangarlar kullanılacakları konum ve iklime göre yalıtımlı, yalıtımsız olarak ikiye ayrılır. Yalıtımsız depolarda dış kaplama natürel galvaniz sac, boyalı galvaniz sac gibi dış etkenlere dayanıklı malzemeler ile kaplanmaktadır. Kaplama montajının kolay olması için depo karkasına ek profiller koyulmakta bu ek profillerin taşıyıcı özelliği bulunmamaktadır.

Hafif çelik depo ve hangarlarda çatı tüm hafif çelik yapılarıdaki gibi makas, aşık, ve çaprazlardan oluşmaktadır. Makaslar üretici firmaların sistemlerine göre değişse de genellikle her proje için ayrı tasarlanmaktadır. Örnek çelik depo için makas dizaynı Şekil 2.8’de verilmiştir. Hafif çelik yapılarda makas dizaynı bazı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar yerinde kaplama ve panel sistem yapıları içerisinde açıklanmıştır.



Şekil 2.8 : Çelik depo ve hangarlarda kullanılan örnek makas dizaynı üç boyutlu gösterimi

Çatı kaplaması da hafif çelik depo binalarında kullanıcının talebine göre yalıtımlı veya yalıtımsız olarak ikiye ayrılır. Kaplamalar yalıtımsız yapılarda cephe kaplaması ile aynıdır, ancak yalıtımlı yapılarda kullanılan paneller malzeme olarak aynı olsa da dizayn açısından farklılık göstermektedir. Örnek paneller şekil 2.9 ve 2.10’da farkı göstermek için verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi hadve genişlikleri, panellerin birbirine bağlantı şekilleri farklıdır.



Şekil 2.9: Çelik binalarda kullanılan çatı paneli [18]



Şekil 2.10: Çelik binalarda kullanılan cephe paneli [19]

Panellerin yalıtım malzemesi çatı ve duvar panellerinde aynıdır. Yalıtım malzemesinin yoğunluğu panelin mukavemeti açısından önem taşıdığından ülkemizde üretilen paneller eps, taşıyünü ve poliüretan yalıtımlıdır. Yurtdışında bunlara ek olarak yüksek yoğunluklu camyünü de kullanılmaktadır, ancak bu yalıtım malzemesinin ülkemizde üretimi olmadığı için panel üretimlerinde kullanılmamaktadır.

Panellerin iç ve dış kaplaması, farklı kalınlıklarda boyalı galvaniz sac, cephe panellerinde ise boyalı galvaniz sac, betopan, fibercement olarak değişmektedir. Cephe panelleri ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 2.3.2 ve 2.3.3’de detaylı olarak açıklanmıştır.

Hafif çelik depo ve hangarlarda pencere yerinde ışıklık adı verilen şeffaf kaplama elemanları kullanılmaktadır. Bu yapılarda çatıya ayrı bir izolasyon malzemesi serilmemekte, yapının içerisinde kullanıcı tarafından ek bir iç kaplama malzemesi kullanılmadıysa tüm karkas ve makas sistemi görülmektedir.

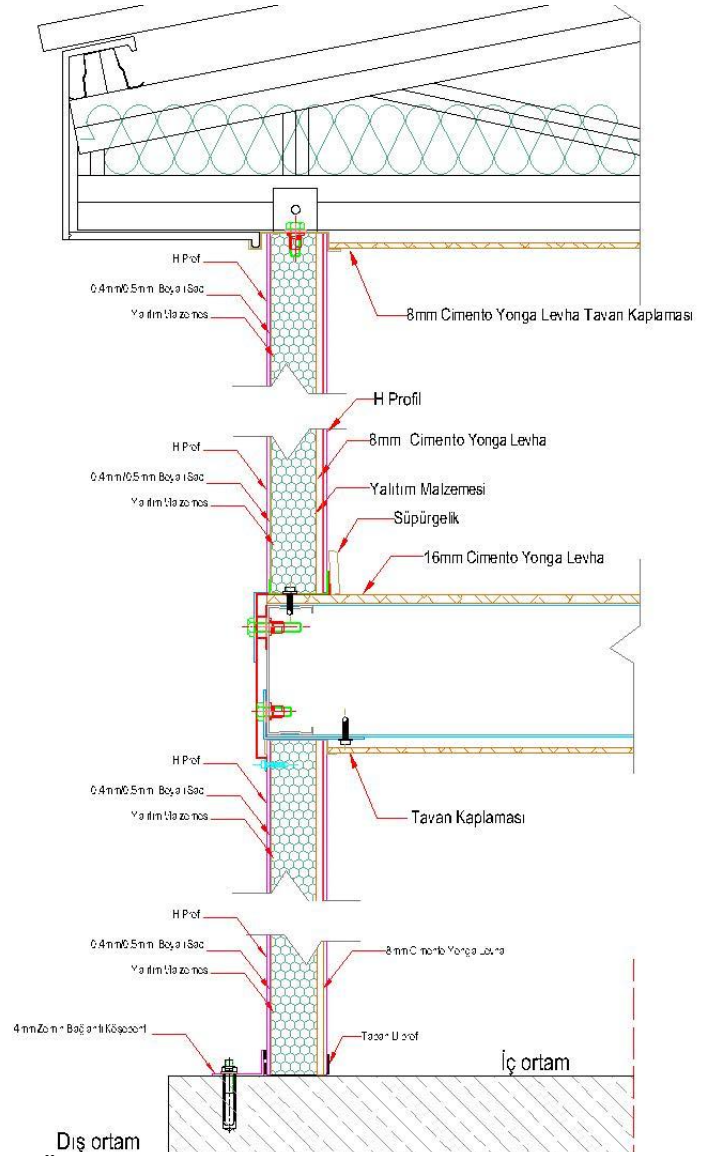
Hafif çelik depoların kapıları kısa cephede olduğundan dolayı bina özelliklerinden hariç bir sınırlamaya sahip değildir. Ancak Roll-up kapı denilen motorlu kepenklerin kullanımını durumunda üretici firmaya motor ve aksesuarların karkas tarafından taşına bilmesi ve statik hesapların buna göre yapılabilmesi için bilgi kullanıcı tarafından verilmelidir.

Hafif çelik depo yapılarının statik hesapları her projeye göre farklılık göstermektedir. Betonarme yapılarda ki gibi kar yükü, rüzgâr yükü, deprem bölgesi dizaynı etkileyen ana faktörlerdir.

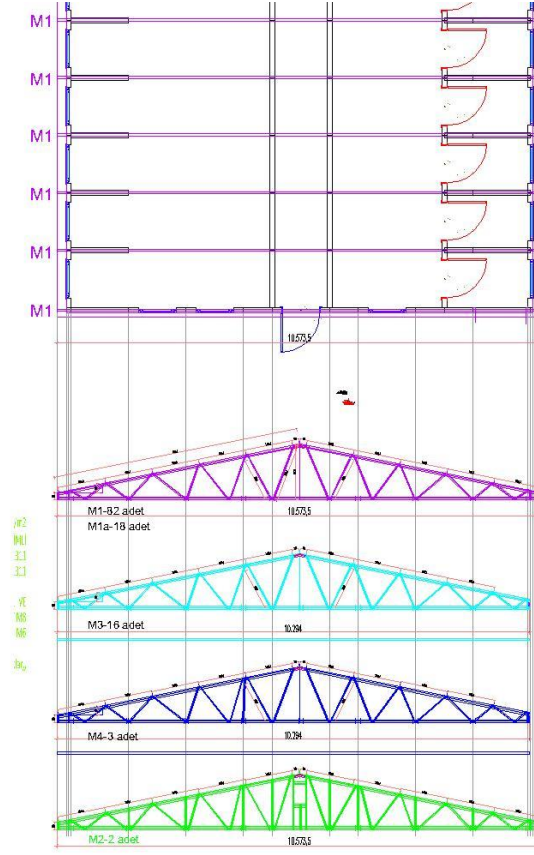
2.3.2. Ön Üretimli Hafif Çelik Panel Sistem Yapılar

Ön üretimli hafif çelik yapılar kendi içinde Karkas panel sistem ve sandviç panel sistem olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. İki sistem daha öncede belirtildiği gibi üretim malzemesi açısından benzerlik gösterse de tasarım ve üretim yönünden ciddi farklılıklar göstermektedir.

Çatı sistemi ön üretimli hafif çelik panel yapılarda aynıdır. Her projede özel olarak çatı makas tasarımı yapılmakta, kaplama malzemesi iklim ve kullanıcıya göre değişmektedir. Depo yapılarında tasarlanan makastan farkı makasların panelleri dik kestiği yerlerde ek dikme profiller kullanılmasıdır. Makas tasarımına eklenen bu dikey profiller çatıdaki yükü direk olarak aşağıdaki taşıyıcı sisteme aktarmaktadır. Burada önemli olan bir başka nokta ise hafif çelik depolar ve ön üretimli panel sistem yapılarda makaslar tasarım akslarına uygun olacak şekilde monte edilmesidir.

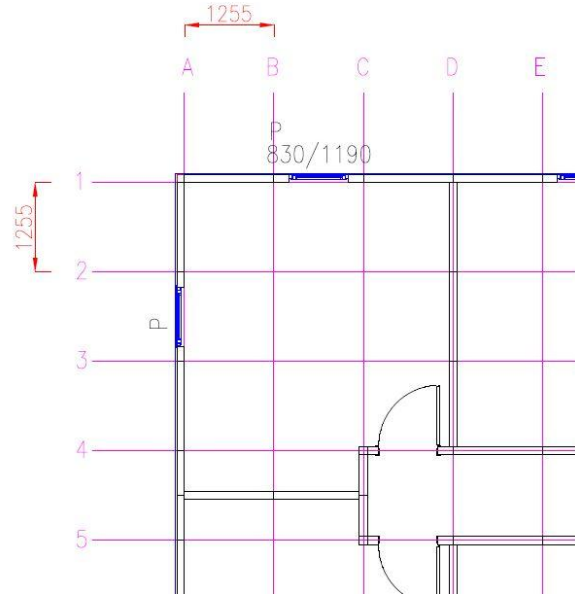


Şekil 2.11: Ön üretim hafif çelik yapı örnek kesiti



Şekil 2.12: Ön üretimli hafif çelik yapıya ait makas planı

Kısaca açıklamak gerekirse, hafif çelik yapılarda aks sistemi betonarme yapıların aks sisteminden tamamen farklıdır. Akslar en dış hatlarda iskeletin dış sınırında, iç hatlarda ise panel birleşimleri veya kolon merkezlerinden geçmektedir. Aşağıda hafif çelik depolar ve ön üretimli hafif çelik panel sistemler için kullanılan aks sistemi gösterilmiştir.



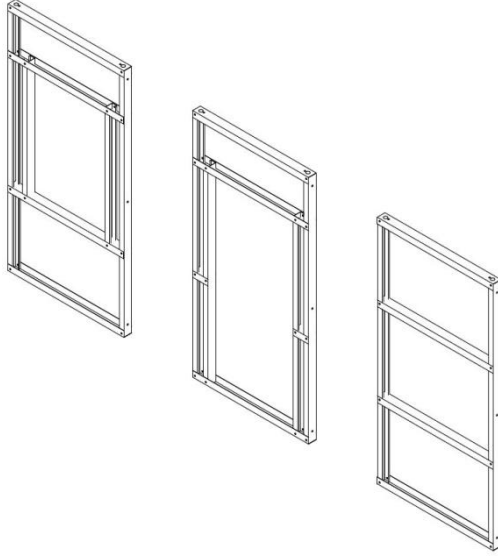
Şekil 2.13: Örnek panel sistem bir yapıya ait aks sistemi

Aks gerçekte 1200mm olup, üretici firmalara göre tolerans değerleri değişmektedir. 1200mm aks ölçüsü hafif çelik yapılar için üretilen panel ölçülerinden gelmektedir. En dış akslar şekilde görüldüğü gibi yapı iç cephesine dayalı, iç akslar ise panel birleşimlerinden geçmektedir.

Makaslar yatay aks hatlarında yapıya yerleştirilmekte, her makasın iskelet ile birleştiği noktalar kesinlikle kolon merkezine veya panel birleşimine denk gelmektedir. Bunun ana nedeni makastan aktarılan yükü sisteme dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktır. Eğer makaslar panelleri ortalayacak şekilde yerleştirilirse, karkaslı yapılarda üst profilin eğilmesine, sandviç panel yapılarda ise sandviç panelin taşıyıcılığı olmadığı için çatı çökmektedir.

Bu noktada ön üretilmiş sistemlerin ilk ana farkı ortaya çıkmaktadır. İki sistemi birbirinden ayıran panellerin üretim şeklidir. Sandviç panellerde iç, dış kaplama ve

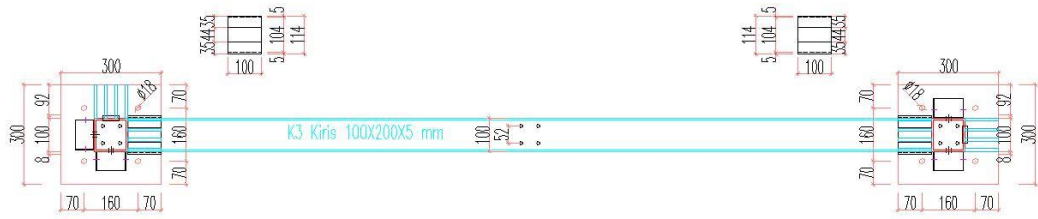
yalıtım malzemesinden oluştuğu için panelin kendi içerisinde taşıyıcılığı yoktur. Panel sadece kaplama işlemi için kullanılmaktadır. İzolasyon malzemesi elik depo ve hangarların anlatıldığı bölümde belirtildiği gibi eps ve taşyn yalıtımlı olarak üretilmektedir. Panel iç kaplaması n üretimli yapılarda boyalı galvaniz sac, betopan, alçı levha ve fibercement olarak değişmektedir. Dış kaplama ise yalıtım malzemesine göre seeneklendirilmekte, taşyn yalıtım malzemesi kullanılan yapılarda sadece boyalı galvaniz sac, eps olan yapılarda ise boyalı galvaniz sac, betopan, fibercement kullanılmaktadır.



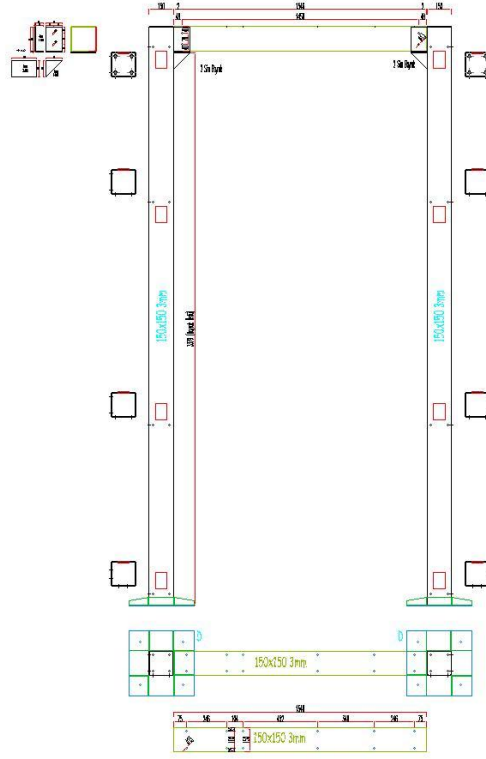
şekil 2.14: n retimli Karkas panel sisteme ait panel karkas tasarım görünüşü

Hafif elik panel sistem yapılarda makas açıklığı, katlı binalarda şase hareketli yükü, çatı yükleri esas alınarak genellikle ufak kesitli kolon kullanımında en fazla 3 aks açıklığı ile yüksek kesitli kolonlarda ise 7 aks açıklığı kullanılmaktadır. Düşük alanlı hafif elik panel sistem yapılarda genellikle kullanıcı memnuniyeti ve mimari endişeler nedeniyle kolon kesitleri panel enini geçmeyecek şekilde tasarım yapılmaktadır.

Örnek bir hafif çelik yapı kolonu Şekil 2.12 ve 2.13’de gösterilmiştir. Kolonlar yapıya etkiyen yüke bağlı tasarlanıp üretilmektedir. Kolon üretiminde kullanılan sac 2mm kalınlığında olduğundan roll-form hattında üretilmemektedir. Kutu profillerden üretilen kolonlar daha sonra ek elemanlarına kaynak ile bağlanmaktadır. Kolonlara ait bayraklar ve kolon yükseklikleri kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir.

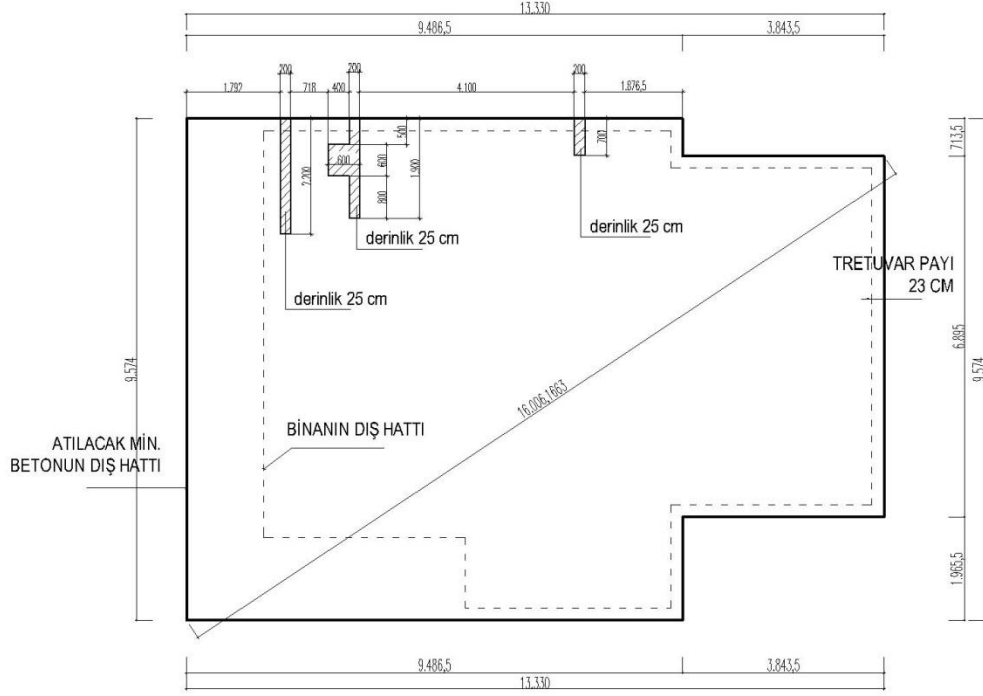


Şekil 2.15: Hafif çelik yapıya ait kolon, kiriş çizimi (plan)

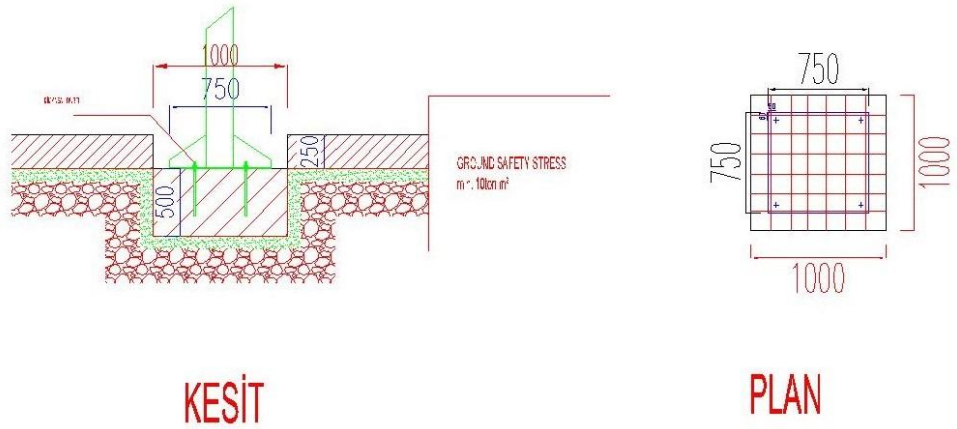


Şekil 2.16: Hafif çelik yapıya ait kolon, kiriş çizimi (aks)

Mimari önemi olan yapılarda bayraklar temele beton blok boşlukları içerisine gelecek şekilde kolon yükseklikleri arttırılarak tasarım yapılmaktadır. Küçük kesitli kolonlarda bayrak olmamakta, 100mm enini geçen çelik kolonlarda bayrak tasarıma eklenmektedir. Fikir vermesi açısından örnek bir temel tasarımı ve beton blok boşluğu aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



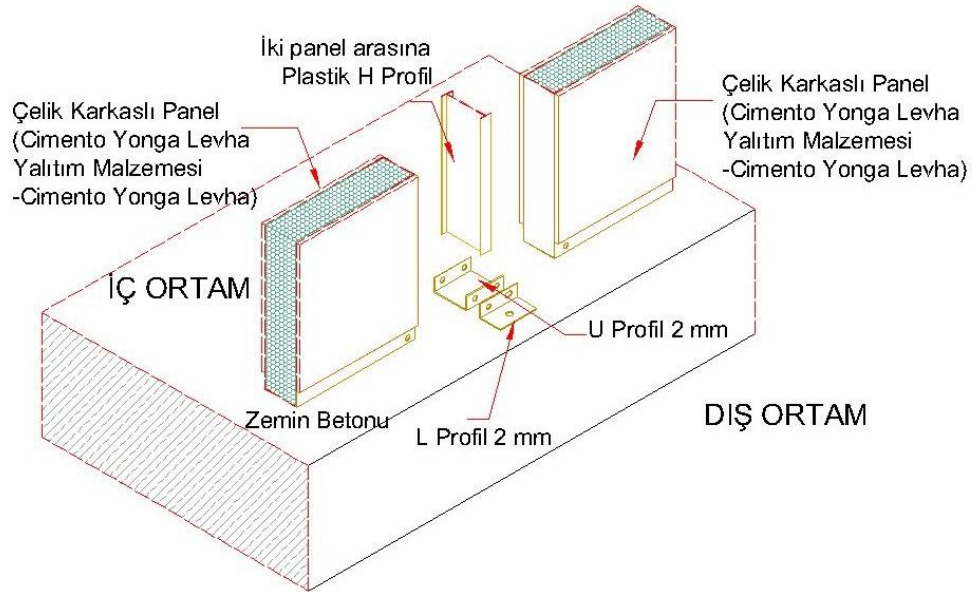
Şekil 2.17: Örnek bir hafif çelik yapı için temel planı



Şekil 2.18: Örnek bir yapı için beton blok(pabuç) tasarımı

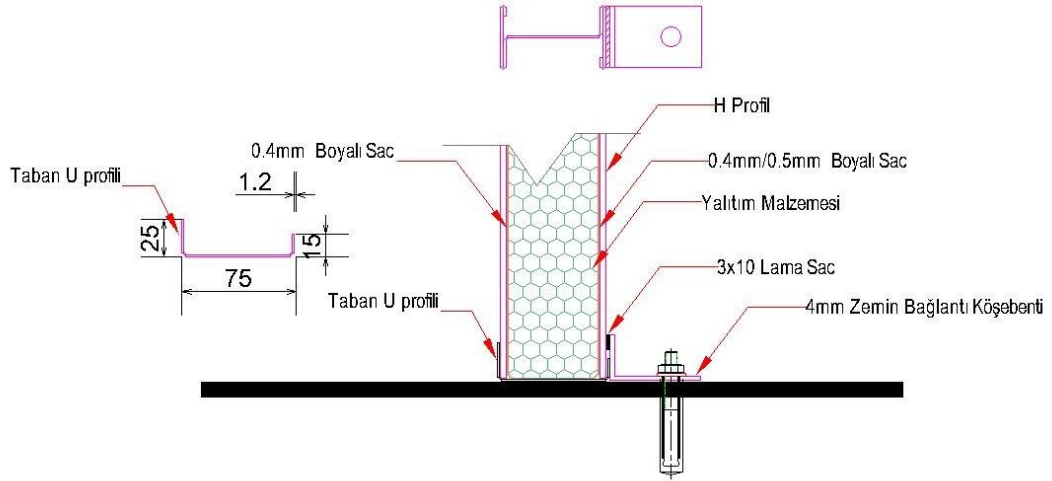
Hafif çelik panel sistem yapılarda yerinde kaplama yapılarda beton temel tasarımı aynıdır. Ülkemizde firmalar genellikle 20cm kalınlıkta beton temel üzerine yapıları kurduktadır. Özel kullanım amaçlı projeler hariç temel kalınlığı ve tasarımı farklılık göstermemektedir. Tretuvar payı olarak genellikle bina dış sınırından başlayacak şekilde 20cm pay ile çalışılmakta, alanı yüksek ve çok katlı yapılarda bu pay artırılmaktadır.

İki sistemi birbirinden montajda ve üretimde ayıran panel tipleri haricindeki en önemli fark panel “H”larıdır. Sandviç panel yapılarda “H” profiller panelin sahip olmadığı taşıyıcılığı yapıya kazandırmak ve makasa denk gelen noktalarda makastan gelen yükü temele aktarmak için 2mm kalınlıkta üretilmektedir. Daha sonra bahsi geçen “H” profillere ısı köprüsünü engellemek için plastik kapaklar montaj esnasında yerleştirilmektedir. Karkas panel sistem hafif çelik yapılarda ise panel kendi içerisinde taşıyıcılığa sahip olduğundan “H” profiller ısı köprüsünü engellemek için ince plastikten üretilmekte, “H” ların hiçbir taşıyıcılığı bulunmamaktadır.



Şekil 2.19: Ön üretimli hafif çelik karkaslı yapılarda kullanılan birleşim elemanları

İki panel arasına yerleştirilen plastik H profil ve panellerine zemine bağlantısını sağlayan L profil şekil 2.19’da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi paneller zemine direk olarak bağlanmamaktadır. Karkaslı yapılarda panel karkasının alt kısmı U profilden oluşmaktadır. İki panelin birleştiği yerde, ısı köprüsü oluşturmak için kullanılan H profil daha öncede bahsedildiği gibi plastiktir. Paneller birleşim yerlerinde çelik U altılıklara oturtulup daha sonra zemine ek L aparat ile dış ortamda bağlanmaktadır.

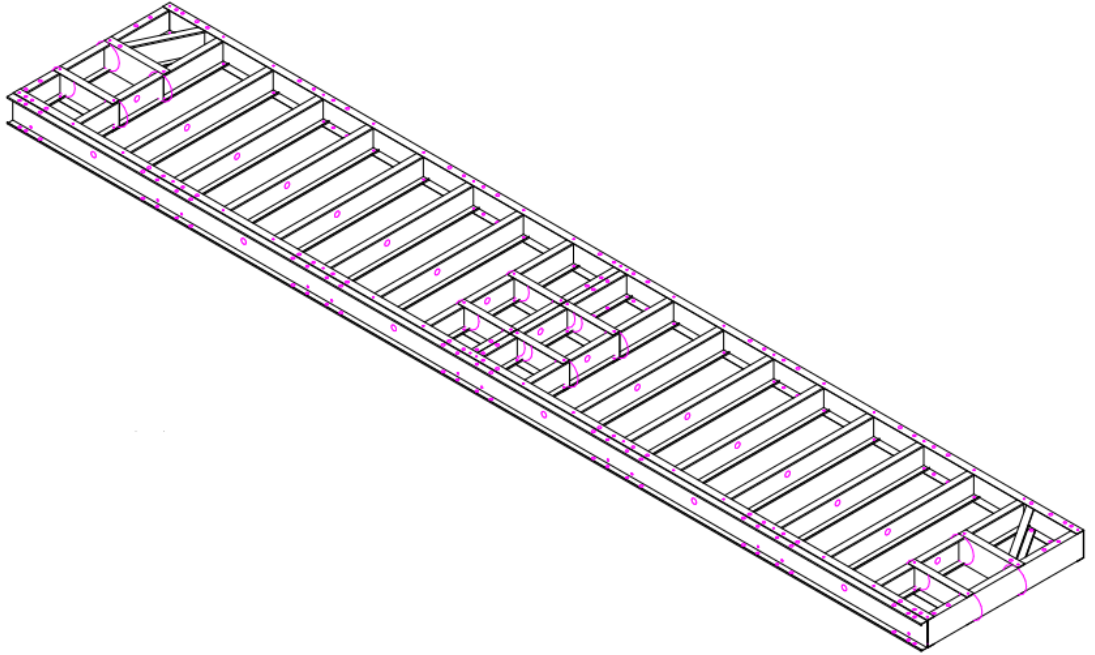


Şekil 2.20: Ön üretimli sandviç panel yapılarda kullanılan birleşim elemanları

Sandviç panel sistem yapılarda paneller birbirine tutturulmaz ve “u” tabanların üzerine oturtulup “H” profillerin arasında kalacak şekilde oturtularak monte edilir. Karkas panellerde ise paneller firmalara bağlı değişiklik göstermekle birlikte clinch adı verilen çift taraflı cıvata vs., gibi eklerle birleştirilip sistemin birbirine bağlı çalışması sağlanmaktadır.

Tavan sistemi hafif çelik yapılarda üretim sistemine göre büyük farklılıklar göstermemektedir. Sandviç panel ve karkaslı panel yapılarda 6-8mm betopan veya fibercement plaka kullanılarak normal tavan, eksiz tavan, taşıyıcı asma tavan, alçıpan asma tavan kullanılmaktadır. Standart üretim olarak tavan ve çatı arasına izolasyon malzemesi serilmektedir. Tavan montajı yapılırken tavan tipine göre ek çelik ve plastik profil, kapak ve askılar kullanılmaktadır.

Çok katlı yapılarda, katlar arasına şase yerleştirilmektedir. Şase yanak kalınlıkları şasenın taşıyacağı yüke göre 100mm ile 350mm arasında değişmekte, tüm şase profilleri roll-form hatlarında üretilmektedir. Örnek bir şase tasarımı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.21: Örnek şase modülü

Şaseler 8 aks açıklığını geçmeyecek şekilde üretilmekte, statik hesaplamalar sonucu şase yönleri belirlenmektedir. Aks açıklığı ön üretimli hafif çelik yapıların hepsinde 1250mm olarak kabul edilmektedir. Bu ölçü aynı zamanda panel ölçüsü ile aynıdır. Tasarım aşamasında 5mm tolerans alınarak 1255mm'e göre tüm çizimler oluşturulur.

Şase uzunluğunun sınırını nakliyede kullanılan araç boyu ve montaj esnasında şasenin taşıma eksenine dik olarak eğilmeden dolayı oluşabilecek deformasyonu belirlemektedir. Şase uç noktalarında şekilde görüldüğü gibi çapraz profiller mukavemeti arttırmak için kullanılmaktadır. Üst kat panellerinin geldiği yerlerde montaj kolaylığı sağlamak amacıyla şase yönüne paralel profiller atılmaktadır.

İnce işçilikten kısaca bahsetmek gerekirse, hafif çelik panel sistem yapılarında panel tipine göre sıva altı ve sıva üstü sıhhi ve elektrik tesisatı kullanılmaktadır. Sandviç panel yapılarında tesisat sıva üstü olmakta, karkaslı panel sistem yapılarında ise panelin iskeleti kullanılarak sıva altı tesisat yapılabilmektedir.

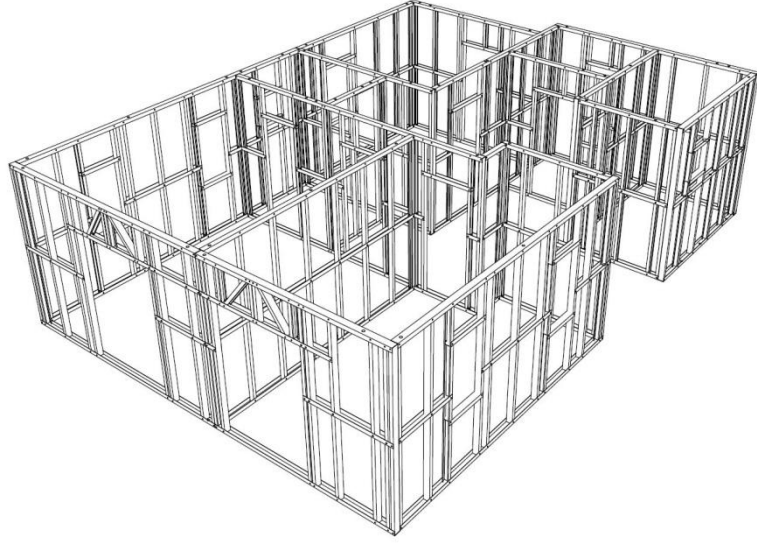
Boya işçiliği, doğrama, kapı gibi ekler sistemler arasında temel farklılıklar göstermeden kullanılabilir. İstisnai durumlar hariç farklılık bulunmadığı gibi kapı ve pencerelerdeki ölçü serbestliğini sağlamak için kompleks yapı sistemleri de tasarlanmaktadır. Örnek vermek gerekirse, sandviç panel sistem bir yapıda çiftli kapı olarak tabir edilen geniş kapı veya pencerelerin montajını yapabilmek için normalde taşıyıcı özelliği bulunmayan panellere iç karkas yerleştirilmektedir.

2.3.3. Hafif Çelik Yerinde Kaplama Yapılar

Hafif çelik yerinde kaplama sistem yapıları karkas panel sistem hafif çelik yapılardan ayıran en önemli özellik yapının panellere ayrılmadan cephelere ayrılarak tasarlanması ve üretilmesidir. Her ne kadar kullanılan malzemeler benzerlik gösterse de sistem tasarım, üretim ve montaj açısından ciddi farklılıklar gösterir. Şekil 2.15’de örnek bir yerinde kaplama yapıya ait cephe görünüşleri ve ön üretilmiş hafif çelik karkas panel sisteme ait panel tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2.23: Hafif çelik yerinde kaplama bir yapıya ait iskelet cephe görünüşü [20]



Şekil 2.24: Hafif çelik yerinde kaplama bir yapıya ait karkas üç boyutlu görünüşü

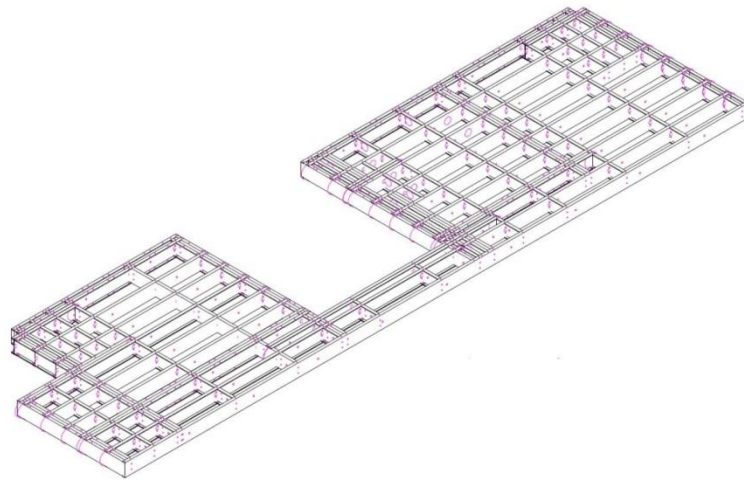
Şekilde de görüldüğü gibi, yerinde kaplama yapılarda dikey profiller panel sistemden daha sık atılmakta, pencere ve kapıların olduğu bölgelere ek çaprazlar tüm yükseklik boyunca eklenmektedir. Standart panel tasarımı yerine tüm yapı tasarlandıktan sonra yapılan statik hesaplara göre gerekli görülen yerlere ek çaprazlar, çaprazlı bölümler veya kolonlar eklenmektedir. Cepheler taşıma ve montajda kolaylık sağlayacak şekilde bölümlendirilmekte ve sabit ölçülere sahip olmamaktadır.

Bu sistem hafif çelik yapılar içerisinde en karmaşık ve detaylı olanıdır. Tasarım aşaması, statiği, üretim ve montajı diğerlerine göre çok daha uzun sürmektedir. Örnek vermek gerekirse, ortalama bir üretim tesisinde standart bir ön üretimli sandviç panel sistem yapı üretimi tasarım süresi dâhil olarak 1 hafta ile 10 gün arasında değişmektedir. Sahada montaj hızı ise sandviç panellerde ortalama 40-55m²/gün, karkas panel sistem yapılarda 30-40m²/gün'dür. Hafif çelik yerinde kaplama yapılarda ise üretime girilmeden önce bina büyüklüğüne bağlı olarak 1 hafta

ile 1 ay arasında tasarım süresi gerekmektedir. Sahadaki montaj hızı ise 10m²/gün ile 20m²/gün arasında değişmektedir.

Montaj aşamasında ilk önce yapının iskeleti kurulmakta daha sonra dış kaplama, iç izolasyon, tesisat ve iç kaplama yapılmaktadır. Duvara montajı yapılan levhaların arasına özel bir macun çekilerek ek yerleri kapatılmakta böylelikle yapı görünüşte betonarme bir yapıyla aynı görüntüye sahip olmaktadır. Karkas panel sisteminde olduğu gibi izolasyon malzemesi olarak eps, xps, taşıyıcı veya camyünü kullanılabilir. İzolasyon tercihi iklim koşulları ve kullanıcı tercihinin göre değişmektedir.

Yapılan tasarıma göre standart şase sistemi yerine özel tasarım şase sistemi kullanılmaktadır. Şaselerde diğer sistemlerde olduğu gibi nakliye ve montaj sınırları dikkate alınarak ölçülendirme yapılmaktadır. İki sistem için kullanılan şase planı şekil 2.17 ve 2.18’de gösterilmiştir. Profil yerleşimi tamamen farklılık göstermektedir.

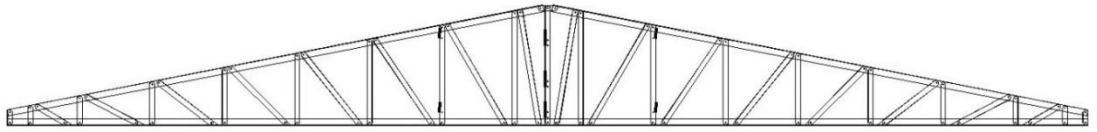


Şekil 2.25: Hafif çelik yerinde kaplama sistem örnek bir yapıya ait şase modülü

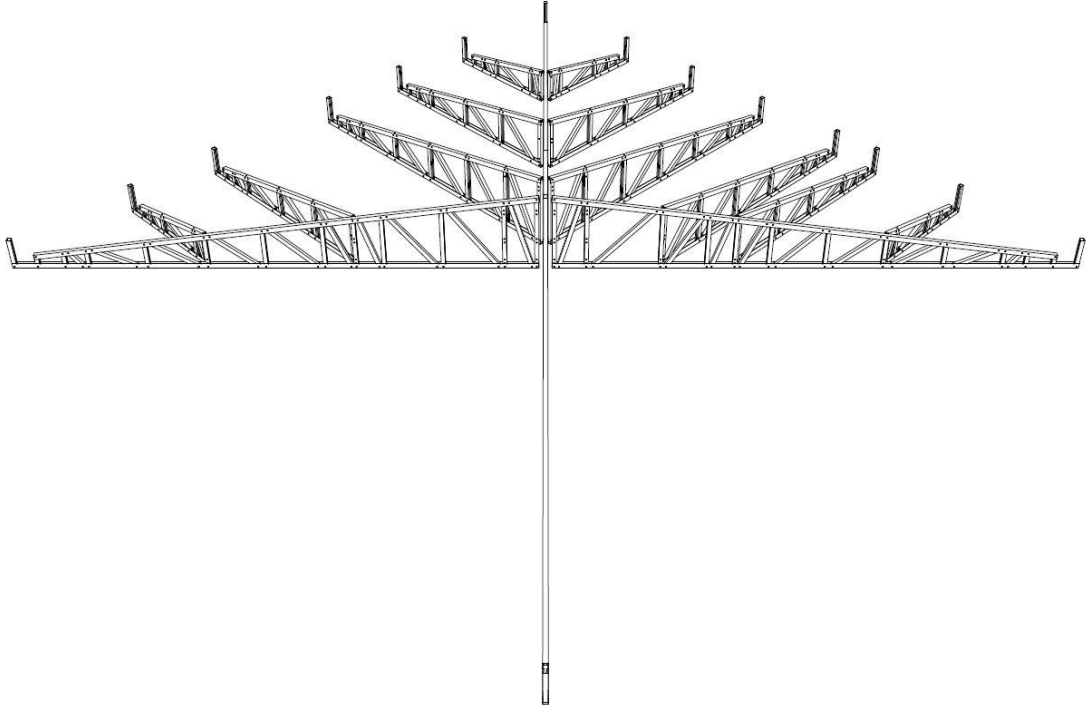
Hafif çelik yerinde kaplama sistem yapılarında üretim aşamasında karkasta tesisat için kullanılacak olan boşluklar ve bağlantı noktaları karkas panel sistem yapılarıdaki gibi otomatik olarak oluşturulur. Talep edilirse şase üzerine şap atılabilir.

İki sistem arasındaki bir diğer ana farklılık, ön üretilmiş yapılarında paneller kaplama ve izolasyon malzemeleri fabrikada monte edilerek gönderilir ancak yerinde kaplama sistem yapılarında üretim tesislerinde bu işlem yapılmaz.

Tüm sistemlerde çatı sistemi, makaslı ve şase olarak ikiye ayrılmaktadır. İki çatı tipinde de roll-form hattında teknik ofis tarafından tasarlanmış projeye uygun profiller üretilerek şase veya makaslar oluşturulur. Çatı yalıtımı cephe yalıtımında olduğu gibi iklim koşulları ve müşteri tercihine göre camyünü veya taşıyünü olarak değişmektedir. Çatı üst kaplaması natürel veya boyalı sac, sandviç panel, ondüline, shingle gibi farklı çeşitlerde yapılabilmekte olup iklim ve kullanıcı tercihine göre değişmektedir. Aşağıdaki şekilde çatı sistem örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.26: Çelik depo ve hangarlarda kullanılan örnek makas



Şekil 2.27: Hafif çelik bir yapıya ait örnek kırma çatı makas sistemi

3. ÖRNEK BİR HAFİF ÇELİK YAPININ İNCELENMESİ

Ön tasarım için cephe karkas kalınlığı 150mm alınmıştır. Cephe kaplaması 12mm çimento yonga levha, iç kaplaması ise 10mm çimento levha'dır. Cephe için kullanılacak yalıtım malzemesi toplamda 15cm kalınlıkta olacak şekilde 2 kat olarak uygulanacak taşıyıcı cephe levhası'dır. Çatı yalıtımı tek kat 12cm kalınlıkta taşıyıcı şilte ile yapılacağı kabul edilmiştir. Yapı köşelerinde konulan kolonlar sürekli (iki kat boyunca) olacağı kabul edilmiştir.

Ön tasarım için kabul edilen ara kat şase kalınlığı ise 300mm'dir. İki şasede de ara kayıtlar statik öncesi tasarımda 400mm'de, dikey kayıtlar ise 900-1200mm'de bir alınmıştır.

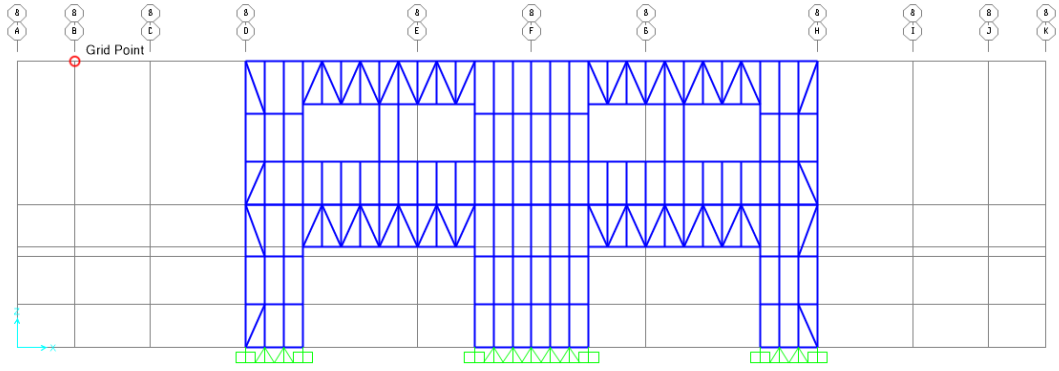
Yönetmeliklere göre incelemek olan hafif çelik yapıya ait özet bilgi Tablo 3.1'de projeler ise EK-A'da verilmiştir.

Tablo 3.1 : Yapıya ait genel özellikler

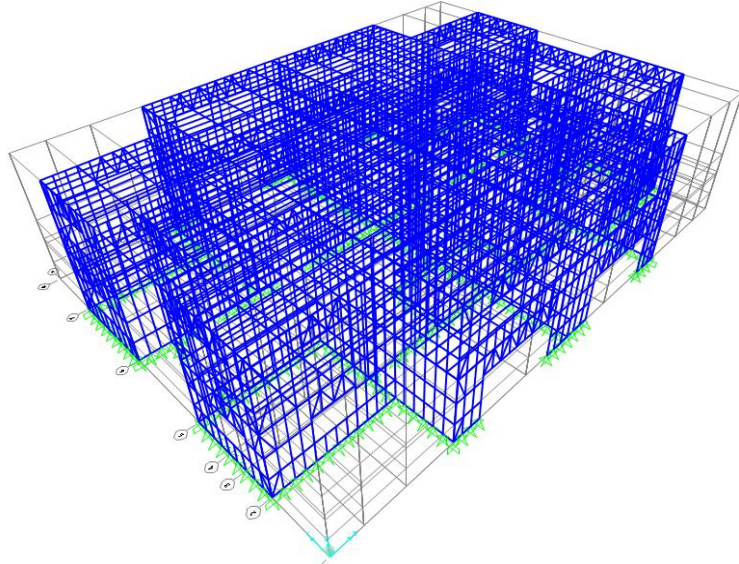
Özellik	
Bina Oturum Alanı	292,4 m ²
Bina Toplam Alanı	584,8m ²
Kat Sayısı	2
Kat Yüksekliği	3,0m
Çatı Tipi	Şase

Kabullere göre SAP2000'de modeli oluşturulan yapı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Modelde de görüldüğü gibi, yapının çatısı düz teras çatı olarak tasarlanmıştır. Bina dış köşelerinde taslak statik'de gösterildiği gibi sürekli 150x150x4mm iki kat boyuna

sürekli kolonlar olacağı, tüm köşe panellerinde birinci ve ikinci dikey arasında çapraz profiller ile cephelerin destekleneceği, tüm kapı ve pencere açıklıklarının üstünde çaprazlar bulunacağı ve 1m'den fazla olan pencere ve kapı açıklıkları için başlangıç ve bitiş noktalarında tek kat boyuna 150x150x4mm kutu profillerden oluşan kolonlar ile sistemin destekleneceği kabul edilmiştir.



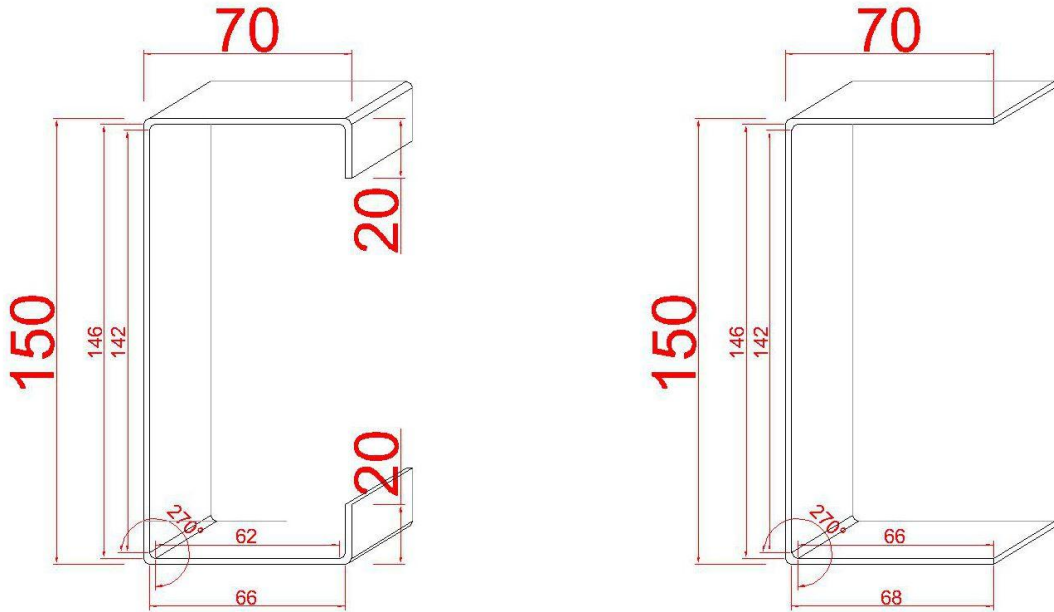
Şekil 3.1 : Yapının Sap 2000'de oluşturulan Cephe Görünüşü



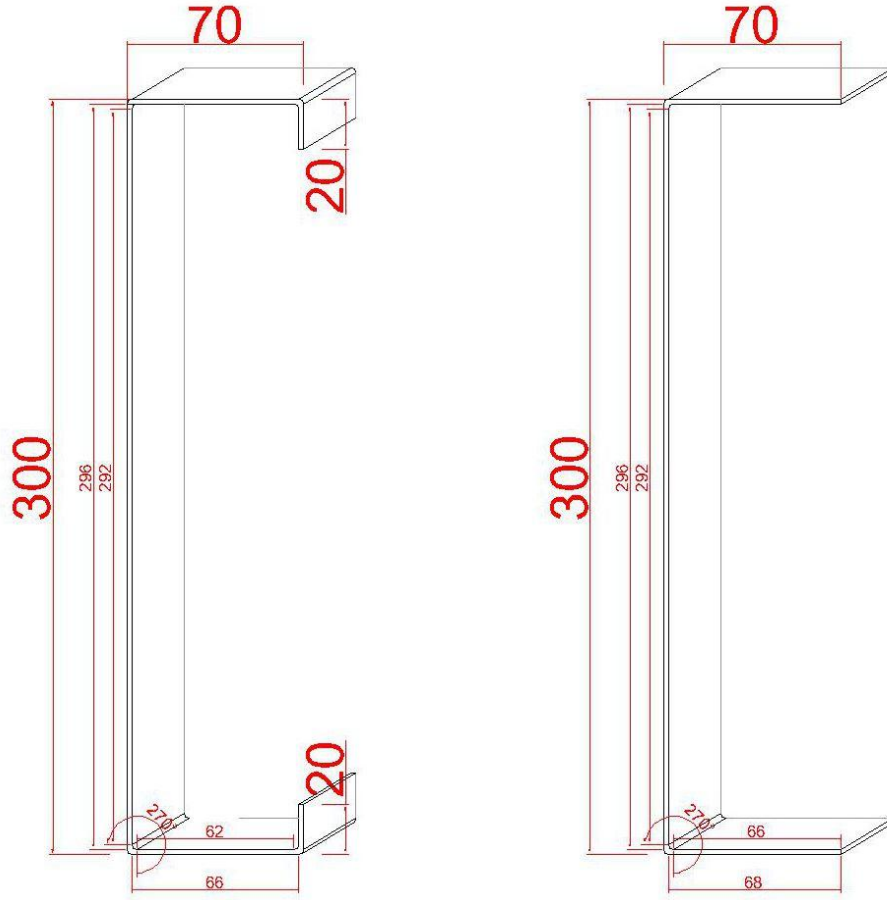
Şekil 3.2 : Yapının Sap2000 modeli (Deforme olmamış hali)

3.1. Yönetmeliklere Göre Profil Kesit Kontrolleri

Yapının tasarımına başlanırken öncelikle kullanılacak duvar ve şase elemanlarının kesit ve kalınlıkları belirlenmiştir. İlk aşamada duvar panelleri için C 150x70x20x2 ve U 150x70x2 profiller, şaseler içinse C 300x70x20x2 ve U 300x70x2 profiller kullanılacağı kabul edilmiştir. Yapılan kabulün uygunluğu ise Soğuk büküm hafif çelik yapı elemanlarının dizaynı ile ilgili yayınlanan AISI S100-2007 (North American Specification for The Design of Cold Formed Steel Structural Members - 2007) [1] ve EN 1993-1-1 [2] , EN 1993-1-3 [3], EN 1993-1-5 [4] yönetmeliklerine göre kontrol edilmiştir.



Şekil 3.3: Cephede kullanılan C ve U profiller



Şekil 3.4: Şasede kullanılan C ve U profiller

Tablo 3.2: Tasarımda kullanılan profil boyutları

	C (Duvar)	U (Duvar)	C (Şase)	U (Şase)
Flanş (f)	150mm	150mm	300mm	300mm
Web (w)	70mm	70mm	70mm	70mm
Kalınlık (t)	2,0mm	2,0mm	2,0mm	2,0mm
Lip (d)	20mm	0mm	20mm	0mm
R (Çap)	2,0mm	2,0mm	2,0 mm	2,0mm

Tablo 3.3: Tasarımda kullanılan çelik sınıfı ve akma ve kopma gerilmesi limitleri

Kullanılan Çelik Sınıfı	F _y (Akma Gerilmesi)	F _u (Kopma Gerilmesi)
S350 (AISI)	350 N/mm ²	420 N/mm ²
S355 (EU)	355 N/mm ²	420 N/mm ²

3.1.1 Duvar Paneli C (150x70x20x2) Profilinin İncelenmesi

Duvar paneline ait C profili basınç elemanıdır. Profil ilk olarak AISI S100 yönetmeliğine daha sonra EU 1993-1 yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan kontroller sonucunda tasarım aşamasına seçilen profil boyutlarının kendi içerisinde uygunluğu teyit edilmiştir. Kapasite hesaplamalarında kullanılacak yönetmeliğe karar verildikten sonra, profil için maksimum moment kapasitesi hesaplanmıştır. Bulunan sonuç en son olarak SAP2000’de yapılan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle profilin yönetmeliklere göre hem tasarım açısından kendi içinde uygunluğu, hem de yapı içerisinde çalışması kontrol edilmiştir.

3.1.1.1 Profil Uygunluğunun AISI S100’e göre Kontrolü

C profil kısmi rijitleştirilmiş basınç elemanıdır. Profil tasarımda basit dudak (lip) ile rijitleştirildiği için profil eni ve kalınlık oranının aşağıda verilen değerden düşük olması gerekmektedir. [1]

$$W_{\text{etkili}}/t \leq 60 \quad (\text{AISI S100, sf:16,B1.1})$$

W_{etkili} : Etkili profil web(en) genişliği

t : Profil kalınlığı

$$W_{\text{etkili}} = W - 2 \times (t + R)$$

$$W_{\text{etkili}} = 70 - 2 \times (2 + 2) = 62\text{mm}$$

$$W_{\text{etkili}}/t = 62/2 = 31,0$$

31,0 ≤ 60 Web boyutu yönetmeliğe uygundur.

Flanş etkili boyutu (h) aşağıda verilen oranların altında olmalıdır.

$$(h/t)_{\text{maks}} = 200 \text{ (Rijitleştirilmemiş elemanlar için) (AISI S100, sf 17, B1.2.a)}$$

$$(h/t)_{\text{maks}} = 260 \text{ (Kısmi rijitleştirilmiş elemanlar için)(AISI S100, sf 17, B1.2b1)}$$

$$h = f - 2 \times t$$

h: profil flanş ölçüsü

$$h = 150 - 2 \times 2 = 146\text{mm}$$

$h/t = 146/2 = 73 < 260$ Yönetmeliğe göre flanş boyutu uygundur.

AISI S100 yönetmeliğine göre kısmi rijitleştirilmiş (dudak (lip) eklenerek) elemanların boyut kontrollü aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$S = 1,28 \sqrt{E/F_y} \text{ (AISI S100, sf:26, Denklem B4-7)}$$

E: Elastisite modülü (S350 çelik için 210GPa kabul edilmiştir.)

F_y : Akma gerilmesi

$$S = 1,28 \sqrt{210000/350} = 31,3535$$

$$0,328 S = 0,328 \times 31,3535 = 10,284$$

$w/t = 31,0$ olarak bulunmuştu, buna göre ;

$w/t > 0,328 S$ olduğu için yönetmeliğe göre aşağıdaki formüller kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$I_a = 399t^4 \left[\frac{w/t}{S} - 0,328 \right]^3 \leq t^4 \left[115 \frac{w/t}{S} + 5 \right]$$

(AISI S100, sf:26, Denklem B4-8)

I_a : rijitleştirici elemanın atalet momenti

$$I_a = 399x 2^4 \left[\frac{62/2}{31,3535} - 0,328 \right]^3 \leq 2^4 \left[115 \frac{62/2}{31,3535} + 5 \right]$$

$$I_a = 1841,43 \leq 1899,25$$

Güçlendirme elemanının yeterli atalet momenti yönetmeliğe uygundur. Tüm komponentler güçlendirilmiş eleman gibi davranacaktır.

$$I_s = (d^3 t \sin^2 \theta) / 12 \text{ (AISI S100, sf:26, Denklem B4-10)}$$

I_s : rijitleştirici elemanın atalet momenti, elemanın yuvarlatılmış köşeleri hesaba katılmadığı varsayılarak

$$I_s = ((16)^3 2x 1) / 12 = 682,66 \text{ mm}^4$$

$$R_I = I_s/I_a \leq 1 \text{ (AISI S100, sf:26, Denklem B4-9)}$$

R_I : rijitleştirici elemanın atalet momentlerinin oranları

$$R_I = 682,66/1841,43 = 0,37 \leq 1 \text{ Yönetmeliğe uygundur.}$$

b : efektif tasarım boyutu ise;

$$b_1 = (b/2)R_1$$

$$b_1 = (62/2) \times 0,37 = 11,49 \text{ mm'dir}$$

$$b_2 = b - b_1$$

$$b_2 = 62 - 11,49 = 49,51 \text{ mm'dir}$$

$$d_s = d'_s (R_1)$$

$$d_s = 16 \times 0,37 = 5,92 \text{ mm'dir}$$

d_s ; Güçlendirici (rijitleştirici) elemanın etkili genişliği

$$n = \left(0,582 - \frac{w/t}{4S} \right) \geq \frac{1}{3} \text{ (AISI S100, sf:27, Denklem B4-11)}$$

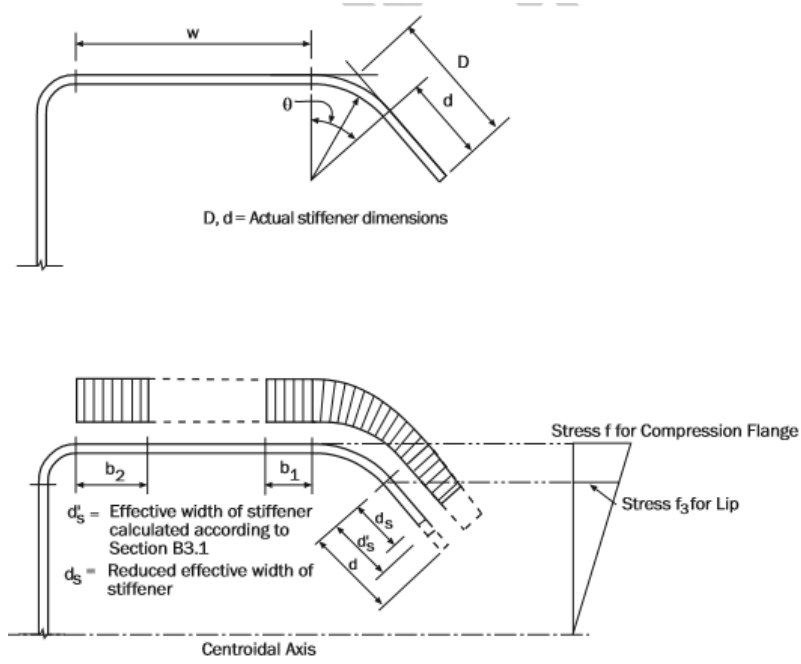
$$n = \left(0,582 - \frac{62/2}{4 \times 31,3535} \right) = 0,334 \geq \frac{1}{3} \text{ yönetmeliğe uygundur.}$$

$D/w = 16/62 = 0,25 < 0,25$ olduğu için aşağıdaki formül kullanılarak son boyut kontrolü yapılmıştır.

$$k = 3,57 (R_I)^n + 0,43 \leq 4$$

k : plaka bükülme katsayısı

$$3,57 (0,37)^{0,348} + 0,43 = 2,926 \leq 4 \text{ Yönetmeliğe uygundur.}$$



Şekil 3.5 : AISI S100 'de belirtilen, hesaplamalarda kullanılan boyutlandırmaların şematik gösterimi (AISI S100,sf;27, Şekil B4-1)

3.1.1.2 Profil Uygunluğunun EN 1993'e göre Kontrolü

Profil boyutları EN 1993-1-1 (2005) [2], EN 1993-1-3 (2006) [3] ve EN 1993-1-5 (2006) [4] göre kontrol edilmiştir. EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kullanılacağı kabul edilen S350, belirtilen yönetmelik incelemesinde S355 olarak değiştirilmiştir. Sac kalınlığı ise incelenen duvar paneli C profili için EN 1993-1-1(2005) [2]'de verilen sac sınıfına uygundur. Sınıflandırma ile ilgili tablo EK-B'de Tablo B1'de verilmiştir. İncelenen profil EN 1993-1-1 (2005) [2]'e göre tek açıklık kesitli profil sınıfına girmektedir. Soğuk büküm profil sınıfları EK-B'de Şekil B1'de gösterilmiştir.

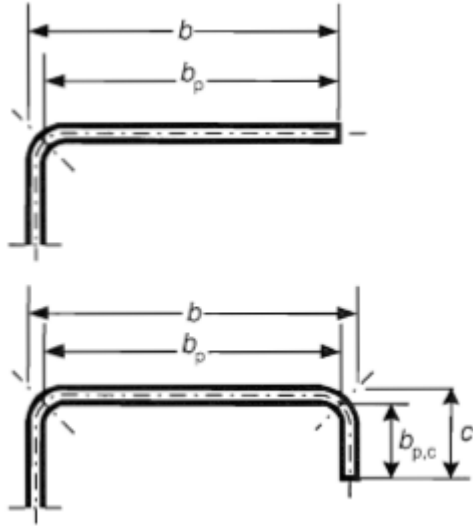
EN 10025-2'ye göre S355 sınıfı çelik için temel akma gerilmesi 355N/mm^2 , kopma gerilmesi ise 470N/mm^2 olarak kabul edilmiştir. Tasarım kalınlığı 2mm olarak kabul edilmiştir. EN 1993-1-3 (2006) [3] 'e göre;

$$0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15\text{mm} \text{ (EN1993-1-3 (2006), Sf:16)}$$

t_{cor} : S355 sac ruloya ait asıl kalınlık

Olmalıdır. Tasarım aşamasında seçilen kalınlık yönetmeliğe uygundur. Malzeme toleransının %5 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak kalınlık, tolerans %5 olduğu için aynen kullanılmıştır.

$$t = t_{cor} \quad \text{tolerans} \leq \%5 \text{ (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 16)}$$



Şekil 3.6 : Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 19, Şekil 5.1)[3]

EN 1993-1-3(2006) [3] 'e göre tasarlanan profil boyutları Tablo B4'de verilmiştir. Kısmi rijitleştirilmiş C profiller için;

$$b/t \leq 60 \text{ ve } c/t \leq 50$$

b: web boyutu

t: profil kalınlığı

c: dudak boyutu

$$\frac{b}{t} = 70/2 = 35 \leq 60$$

Web boyutu ve kalınlık oranı yönetmelik şartlarını sağlamaktadır.

$$\frac{c}{t} = 20/2 = 10 \leq 50$$

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \quad (\text{EU 1993-1-3 (2006), Sf:21, Denklem 5.2a})$$

$$\frac{c}{b} = 20/70 = 0,285 \leq 0,6$$

Dudak ve web boyutlarının oranı yönetmelik sınırları içerisinde. Tasarım için kabul edilen boyutlar yönetmeliğe uygundur.

Basınç elemanları için profil efektif boyutların hesaplamaları EN 1993-1-5(2006) [4]'e göre hesaplanmıştır. Web'e uygulanan gerilmelerin düzgün yayılı ve eşit olduğu kabul edilmiş, buna göre efektif boyutlar EKB-'de yer alan TabloB3'de verilen formüller ile hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ (EN 1993-1-5 (2006), Sf:15)}$$

ε : F_y 'ye bağı faktör

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Basınç elemanları için bükülme katsayısı (buckling factor), EN 1993-1-3 (2006) [3]'e göre net dudak boyutunun net web boyutuna oranına bağlıdır.

$$\frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0,35 \text{ ise, } k_\sigma = 0,5$$

$$0,35 \leq \frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0,6 \text{ ise, } k_\sigma = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p.c}/b_p - 0,35)^2}$$

$b_{p.c}$: rijitleştirici eleman (dudak) etkili boyutu

b_p : web etkili boyutu

k_σ : bükülme faktörü

$$\frac{18}{66} = 0,273 \text{ olduğundan,}$$

$$k_\sigma = 0,5 \text{ 'dir.}$$

Rijitleştirme elemanının efektif boyutu EN 1993-1-3 (2006) [3] yönetmeliğine göre azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır. Kısmi rijitleştirilmiş (sondan tek parça ile) elemanlar için azaltma faktörü EN 1993-1-3 [3] Bölüm 5.5.3.2.(4)'e göre rijitleştirilmemiş elemanlar ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. Azaltma faktörü ve efektif web boyutları plaka elemanlar için EN1993-1-5 (2006) [4]'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cr.s} = \frac{\pi^2 EI_s}{A_s a^2} \quad (\text{EN 1993-1-5 (2006) , Sf:19, Denklem 4.9})$$

$\sigma_{cr.s}$: Kritik elastik plaka bükülme gerilmesi

$$\sigma_{cr.s} = \frac{3,14^2 \cdot 210000 \cdot (2 \cdot 20^3 / 12)}{2 \cdot 20 \cdot 18^2} = 67.839,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad (\text{EN1993-1-5 (2006) , Sf: 15, Denklem 4.3})[4]$$

λ_p : Plaka narinliği

$$\lambda_p = \frac{355}{67.839,5} = 0,0052$$

$$\rho = 1,0 \quad \lambda_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,188}{\lambda_p^2} \leq 1,0 \quad \lambda_p > 0,748$$

$$\psi = 1$$

ρ : Plaka bükülme azaltma faktörü

ψ : stres oranı

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p$$

b_{eff} : efektif web boyutu

$$b_{eff} = 1 . 66 = 66mm$$

$$b_{e1} = 0,5 . b_{eff}$$

b_{e1} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e1} = 0,5 . 66 = 33mm$$

$$b_{e2} = 0,5 . b_{eff}$$

b_{e2} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e2} = 0,5 . 66 = 33 mm$$

Hesaplanan azaltma faktörü, efektif dudak boyutu hesaplamalarında kullanılmıştır.

[3]

$$c_{eff} = \rho . b_{pc} \text{ (EN 1993-1-3 (2006), Sf:29, Denklem 5.13d)}$$

c_{eff} : efektif rijitleştirici eleman (dudak) boyutu

$$c_{eff} = 1 . 18 = 18 mm$$

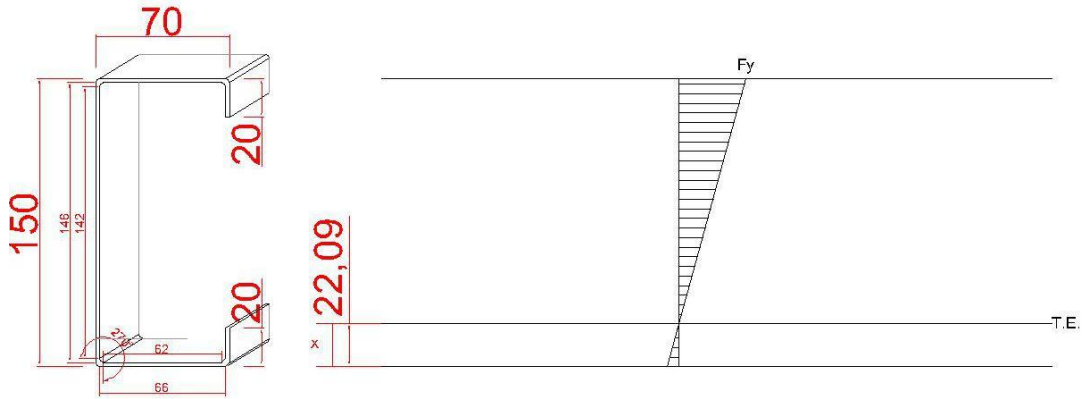
3.1.1.3 Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması

İki yönetmeliğe göre hesaplanan efektif boyutlar kullanılarak tarafsız eksenin konumu Tablo 3.4 ve 3.5'e göre hesaplanmış, gerilme diyagramları (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8) oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda güvenli bölgede kalmak adına basınç elemanı için daha düşük moment kapasitesine sahip olacağından AISI yönetmeliğine göre hesaplanan değerler moment kapasitesi hesaplarında ve mevcut yapının kritik kesit kontrollerinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 3.4 : AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
Wetkili	66 mm	(x-1)	68x - 68
R	2 mm	(x-1)	2x - 2
fetkili	146 mm	(x-75)	146x - 10.950
R	2 mm	(150-1-x)	-2x + 298
B	49,51 mm	(150-1-x)	-41,382x + 6165,92
D	5,92mm	(140-x)	-5,92x + 828,8

$$x = \frac{3.727,28}{168,698} = 22,09 \text{ mm}$$

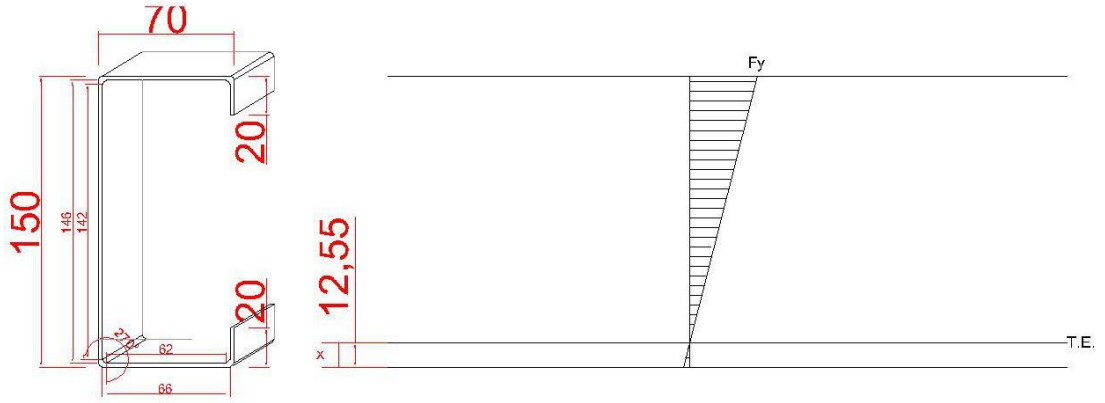


Şekil 3.7 : Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

Tablo 3.5 : EU 1993-1'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
Wetkili	66 mm	(x-1)	68x - 68
R	2 mm	(x-1)	2x - 2
f _{etkili}	146 mm	(x-75)	146x - 10.950
R	2 mm	(150-1-x)	-2x + 298
B	66 mm	(150-1-x)	-66x + 9.834
D	18 mm	(140-x)	-18x + 2.520

$$x = \frac{1.632}{130} = 12,55 \text{ mm}$$



Şekil 3.8 : Gerilme diyagramı (EN 1993-1 yönetmeliklerine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

3.1.1.4 Profilin Taşıma Kapasitesi

Moment kapasitesinin hesaplanması için ilk aşamada ağırlık merkezi (Tablo 3.6) ve profilin iki yönde atalet momentleri (Tablo 3.7, Tablo 3.8) hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplamalar Sap2000’de modelleme aşamasında kullanılmak üzere oluşturulan kesitler ile karşılaştırılarak model ve kağıt üzerinde yapılan hesaplamaların paralel olarak devam etmesi sağlanmıştır.

Bulunan atalet momenti ve tarafsız eksen konumu kullanılarak profilin kesit modülü hesaplanmış, yönetmeliğe göre kabul edilen akma gerilmesi de kullanılarak profilin taşıyabileceği maksimum moment hesaplanmıştır.

3.1.1.4.1 Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı

Tablo 3.6 : C150x70x20x2 Profilin Ağırlık merkezi

No	Alan (mm ²)	d _x (mm)	A _i .d _{xi} (mm ³)	d _y (mm)	A _i .d _{yi} (mm ³)
1	300	75	22.500	1	300
2	132	(150-1)	19.668	35	4.620
2	132	1	132	35	4.620
3	40	(150-10)	5.600	(70-1)	2.760
3	40	10	400	(70-1)	2.760
Toplam	644		48.300		15.060

$$Y_x = 48.300/644 = 75mm$$

$$Y_y = 15.060/644 = 23,39mm$$

Tablo 3.7 : I_x Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I _{xi} (mm ⁴)	d _{xi} (mm)	A _i .d _{xi} ² (mm ³)	I _{xi} + A _i .d _{xi} ² (mm ⁴)
1	300	421.875	0	0	421.875
2	132	44	74	255.552	255.596
2	132	44	-74	255.552	255.596
3	40	125	65	169.000	169.125
3	40	125	-65	169.000	169.125
Toplam					1.271.317

Tablo 3.8 : I_y Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I_{yi} (mm ⁴)	d_{yi} (mm)	$A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm ³)	$I_{yi} + A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm ⁴)
1	300	42,1875	(1-23,39)	64.298	64.340,19
2	132	47.916	(35-23,39)	17.792,56	65.708,56
2	132	47.916	(35-23,39)	17.792,56	65.708,56
3	40	2,81	(69-23,39)	8.282,88	8.285,69
3	40	2,81	(69-23,39)	8.282,88	8.285,69
Toplam					212.328,69

3.1.1.4.2 Kapasite Hesabı

Basınç elemanı olan C profili için kapasite hesaplamalarında öncelikle atalet yarıçapı hesaplanmıştır. Atalet yarıçapı ve kesit modülü kullanılarak hesaplanan narinlik kullanılarak ω Tablo C10'dan alınmıştır. S350 için Türkiye'de bulunan yönetmeliklerde burkulma katsayısı ile ilgili bilgi olmamasından dolayı, S350'ye en yakın kabul edilen St52'nin narinlik, burkulma katsayısı tablosundan yararlanılmıştır.

$$i_{x,y} = \sqrt{\frac{I_{x,y}}{A}}$$

$i_{x,y}$: Atalet yarıçapı

A: Kesit alanı

$I_{x,y}$: Atalet momenti

$$i_x = \sqrt{\frac{1.271.317}{644}} = 44,43mm$$

$$i_y = \sqrt{\frac{212.328,69}{644}} = 18,16mm$$

$$s_k = s \times k$$

s: Çubuğun boyu

k: kolon uç değerine bağlı katsayı

s_k: Burkulma boyu

$$s_k = 3,0m \times 1 = 3,0m' \text{ dir.}$$

$$\lambda_{x,y} = \frac{S_{kx,y}}{i_{x,y}}$$

$\lambda_{x,y}$: narinlik

$$\lambda_x = \frac{300}{44,43} = 6,75$$

$$\lambda_y = \frac{300}{18,16} = 16,51$$

$\lambda_{maks} = 16,51$ olduğuna göre $\omega = 1,025$ 'dür.

$$S = \frac{A \times \sigma_{em}}{\omega}$$

S: taşıma kapasitesi

$$S = \frac{6,44 \times 1,44}{1,025} = 9,047 \text{ ton/cm}^2$$

$$S = 9.047 \text{ kg/cm}^2 = 0,8872 \text{ kN/mm}^2$$

En yüksek yük taşıyan örnek C profilinin SAP2000’de yapılan analize göre taşıdığı yük;

$$S_{\text{maks}} = 0,026 \text{ kN/mm}^2$$

Analiz sonucu ve basınç elemanının kapasitesi yapılan hesaplamalar sonucunda karşılaştırılıp profil boyutlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapının tasarımı için seçilen C profilinin uygun olduğu görüşmüştür.

3.1.2 Duvar Paneli U Profilinin İncelenmesi (150x70x2)

Profil ilk olarak AISI S100 yönetmeliğine daha sonra EU 1993-1 yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan kontroller sonucunda tasarım aşamasına seçilen profil boyutlarının kendi içerisinde uygunluğu teyit edilmiştir. Kapasite hesaplamalarında kullanılacak yönetmeliğe karar verildikten sonra, profil için maksimum moment kapasitesi hesaplanmıştır. Bulunan sonuç en son olarak SAP2000’de yapılan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle profilin yönetmeliklere göre hem tasarım açısından kendi içinde uygunluğu, hem de yapı içerisinde çalışması kontrol edilmiştir.

3.1.2.1 Profil Uygunluğunun AISI S100'e göre Kontrolü

U profil rijitleştirilmemiştir. Profil eni ve kalınlık oranının aşağıda verilen değerden düşük olması gerekmektedir. [1]

$$W_{etkili}/t \leq 60 \quad (\text{AISI S100, sf:16,B1.1})$$

$$W_{etkili} = W - (t + R)$$

$$W_{etkili} = 70 - (2 + 2) = 66mm$$

$$W_{etkili}/t = 66/2 = 33,0$$

$33,0 \leq 60$ Web boyutu yönetmeliğe uygundur.

Flanş etkili boyutu (h) aşağıda verilen oranların altında olmalıdır.

$$(h/t)_{maks} = 200 \quad (\text{Rijitleştirilmemiş elemanlar için}) \quad (\text{AISI S100, sf 17, B1.2.a})$$

$$h = f - 2 \times t$$

$$h = 150 - 2 \times 2 = 146mm$$

$h/t = 146/2 = 73 < 200$ Yönetmeliğe göre flanş boyutu uygundur.

AISI S100 yönetmeliğine göre rijitleştirilmemiş elemanların boyut kontrollü aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$F_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w}\right)^2 \text{ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-5)}$$

k : Plaka burkulma katsayısı (Yönetmeliğe göre k değeri rijitleştirilmemiş elemanlar için 0,43 olarak alınmıştır. (AISI S100, sf:23, B.3.1(b))

E: Elastisite modülü (S350 çelik için 210GPa kabul edilmiştir.)

μ : Poisson Oranı (S350 çelik için bu oran NŞA'da 0,27 olarak kabul edilmiştir)

t: kalınlık

w : etkili en

$$F_{cr} = 0,43 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 210000}{12(1 - 0,27^2)} \left(\frac{2}{66}\right)^2$$

$$F_{cr} = 73,49 \text{ N}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{F}{F_{cr}}} \text{ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-4)}$$

λ : Narinlik faktörü

F : Akma gerilmesi olarak hesaplamalarda kabul edilmiştir. (S350 için 350N/mm²)

$$\lambda = \sqrt{\frac{350}{73,49}} = 4,76$$

$\lambda > 0,673$ ise $b = \rho \cdot w$ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-2)

b : efektif en

ρ : lokal indirgeme faktörü

$$\rho = \frac{(1-0,22/\lambda)}{\lambda} \quad (\text{AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-3})$$

$$\rho = \frac{(1 - 0,22/4,76)}{1,52} = 0,627$$

$$b = 0,627 \times 66 = 41,382 \text{ mm}$$

3.1.2.2 Profil Uygunluğunun EN 1993'e göre Kontrolü

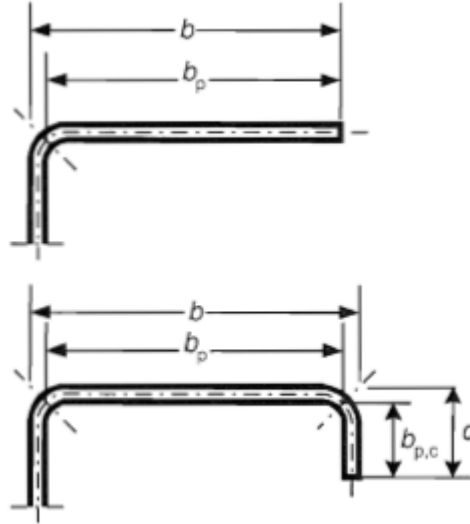
Profil boyutları EN 1993-1-1 (2005) [2], EN 1993-1-3 (2006) [3] ve EN 1993-1-5 (2006) [4] göre kontrol edilmiştir. EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kullanılacağı kabul edilen S350, belirtilen yönetmelik incelemesinde S355 olarak değiştirilmiştir. Sac kalınlığı ise incelenen duvar paneli C profili için EN 1993-1-1(2005) [2]'de verilen sac sınıfına uygundur. Sınıflandırma ile ilgili tablo EK-B'de Tablo B1'de verilmiştir. İncelenen profil EN 1993-1-1 (2005) [2]'e göre tek açıklık kesitli profil sınıfına girmektedir. Soğuk büküm profil sınıfları EK-B'de Şekil B1'de gösterilmiştir.

EN 10025-2'ye göre S355 sınıfı çelik için temel akma gerilmesi 355N/mm^2 , kopma gerilmesi ise 470N/mm^2 olarak kabul edilmiştir. Tasarım kalınlığı 2mm olarak kabul edilmiştir. EN 1993-1-3 (2006) [3] 'e göre;

$$0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15 \text{ mm} \text{ (EN1993-1-3 (2006), Sf:16)}$$

Olmalıdır. Tasarım aşamasında seçilen kalınlık yönetmeliğe uygundur. Malzeme toleransının %5 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak kalınlık, tolerans %5 olduğu için aynen kullanılmıştır.

$$t = t_{cor} \quad \text{tolerans} \leq \%5 \text{ (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 16)}$$



Şekil 3.9 : Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 19, Şekil 5.1)[3]

EN 1993-1-3(2006) [3] 'e göre tasarlanan profil boyutları Tablo B4'de verilmiştir. Kısmi rijitleştirilmiş U profiller için;

$$b/t \leq 50$$

b: web boyutu

t: profil kalınlığı

$$70/2 = 35 \leq 50$$

Web boyutu ve kalınlık oranı yönetmelik şartlarını sağlamaktadır. Tasarım için kabul edilen boyutlar yönetmeliğe uygundur.

Web'e uygulanan gerilmelerin düzgün yayılı ve eşit olduğu kabul edilmiş, buna göre efektif boyutlar EKB-'de yer alan TabloB3'de verilen formüller ile hesaplanmıştır. Profilin efektif web boyutu EN 1993-1-5 (2006) [4] yönetmeliğine göre azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{EU 1993-1-5 (2006), Sf:15})$$

ε : F_y 'ye bağlı faktör

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b/t}{2,84 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} \quad (\text{EN1993-1-5 (2006) , Sf: 15, Denklem 4.3})[4]$$

$\psi = 1$ için k_σ 4'dür. [4]

λ_p : Plaka narinliği

σ_{cr} : Kritik elastik plaka bükülme gerilmesi

$$\lambda_p = \frac{68/2}{2,84 \cdot 0,814\sqrt{4}} = 7,354$$

$$\rho = 1,0 \quad \lambda_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,188}{\lambda_p^2} \leq 1,0 \quad \lambda_p > 0,748$$

ρ : Plaka bükülme azaltma faktörü

$$\psi = 1$$

ψ : stres oranı

$$\rho = \frac{7,354 - 0,188}{7,354^2} = 0,133 \leq 1,0$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p$$

b_{eff} : efektif web boyutu

$$b_{eff} = 0,133 \cdot 68 = 9,044mm$$

$$b_{e1} = 0,5 \cdot b_{eff}$$

b_{e1} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e1} = 0,5 \cdot 9,044 = 4,522mm$$

$$b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff}$$

b_{e2} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e2} = 0,5 \cdot 9,044 = 4,522 \text{ mm}$$

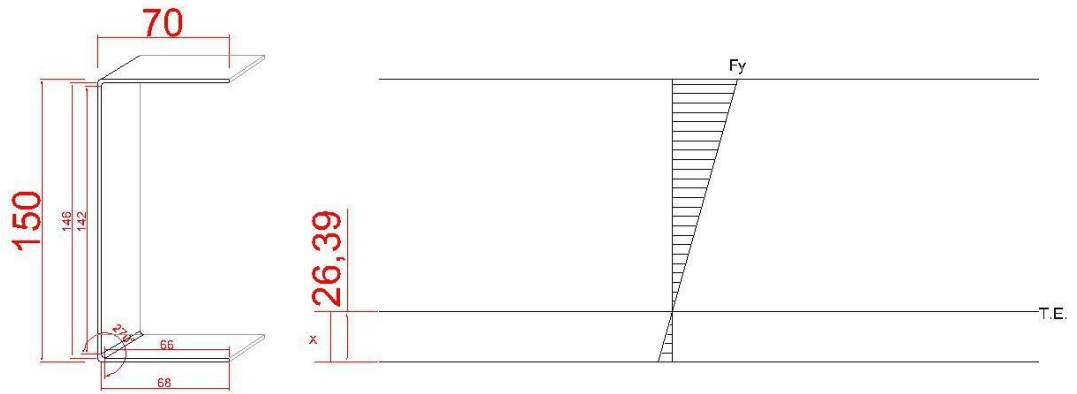
3.1.2.3 Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması

İki yönetmeliğe göre hesaplanan efektif boyutlar kullanılarak tarafsız eksenin konumu Tablo 3.9 ve 3.10'e göre hesaplanmış, gerilme diyagramları (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8) oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda iki yönetmelik arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. AISI yönetmeliğine göre hesaplanan değerler moment kapasitesi hesaplarında ve mevcut yapının kritik kesit kontrollerinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 3.9 : AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
W_{etkili}	68 mm	(x-1)	$68x - 68$
r	2 mm	(x-1)	$2x - 2$
f_{etkili}	146 mm	(x-75)	$146x - 10.950$
r	2 mm	(150-1-x)	$-2x + 298$
b	41,382 mm	(150-1-x)	$-41,382x + 6165,92$

$$x = \frac{4.556,08}{172,618} = 26,394 \text{ mm}$$

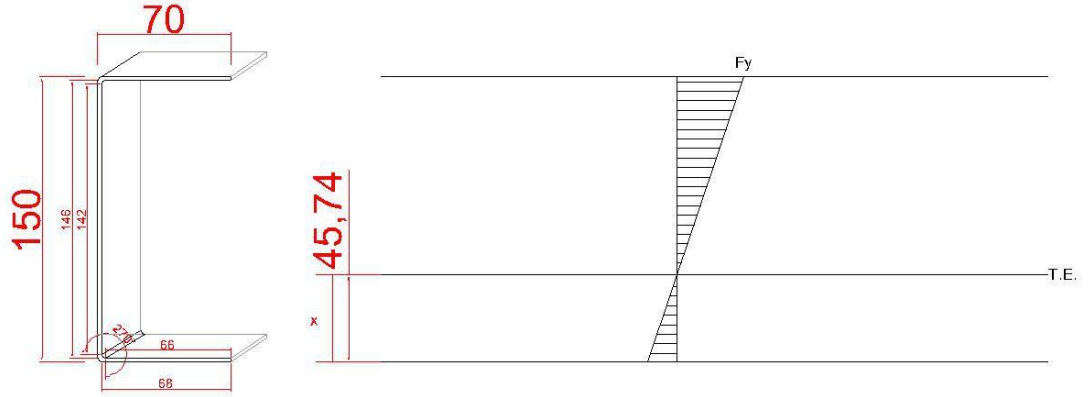


Şekil 3.10 : Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

Tablo 3.10 : EN 1993'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
W etkili	68 mm	(x-1)	68x - 68
r	2 mm	(x-1)	2x - 2
f etkili	146 mm	(x-75)	146x - 10.950
r	2 mm	(149-x)	-2x + 298
b	9,044 mm	(149-x)	-9,044x + 1.347,56

$$x = \frac{9.374,44}{204,956} = 45,74mm$$



Şekil 3.11 : Gerilme diyagramı (EN 1993 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

3.1.2.4 Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı

Moment kapasitesinin hesaplanması için ilk aşamada ağırlık merkezi (Tablo 3.11) ve profilin iki yönde atalet momentleri (Tablo 3.12, Tablo 3.13) hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplamalar Sap2000’de modelleme aşamasında kullanılmak üzere oluşturulan kesitler ile karşılaştırılarak model ve kağıt üzerinde yapılan hesaplamaların paralel olarak devam etmesi sağlanmıştır.

Bulunan atalet momenti ve tarafsız eksen konumu kullanılarak profilin kesit modülü hesaplanmış, yönetmeliğe göre kabul edilen akma gerilmesi de kullanılarak profilin taşıyabileceği maksimum moment hesaplanmıştır.

3.1.2.4.1 Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı

Tablo 3.11 : U150x70x2 Profilin Ağırlık merkezi

No	Alan (mm ²)	d _x (mm)	A _i .d _{xi} (mm ³)	d _y (mm)	A _i .d _{yi} (mm ³)
1	300	75	22500	1	300
2	96	149	14304	25	2400
2	96	1	96	25	2400
Toplam	492		36900		5100

$$Y_x = 36900/492 = 75mm$$

$$Y_y = 5100/492 = 10,37mm$$

Tablo 3.12 : I_x Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I _{xi} (mm ⁴)	d _{xi} (mm)	A _i .d _{xi} ² (mm ³)	I _{xi} + A _i .d _{xi} ² (mm ⁴)
1	300	562500	0	0	562500
2	96	32	74	525696	525728
2	96	32	-74	525696	525728
Toplam					1.613.956

Tablo 3.13 : I_y Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I _{yi} (mm ⁴)	d _{yi} (mm)	A _i .d _{yi} ² (mm ³)	I _{yi} + A _i .d _{yi} ² (mm ⁴)
1	300	100	(10,37-1)	26339,07	26439,07
2	96	18432	(25-10,37)	20547,54	38979,54
2	96	18432	(10,37-25)	20547,54	38979,54
Toplam					67.534,15

3.1.2.4.2 Kapasite Hesabı

$$W_x = \frac{I_x}{Y_{max}} \text{ (Kesit Modülü)}$$

W_x : Kesit Modülü

I_x : X eksenine göre Atalet momenti (Kuvvetli eksen)

Y_{max} : Tarafsız eksene uzaklık

$$W_x = \frac{1.613.956}{(150 - 26,39)} = 13.056,84 \text{ mm}^3$$

$$M_x = W_x \cdot F_y \text{ (Moment Kapasitesi)}$$

M_x : Moment Kapasitesi

W_x : Kesit Modülü

F_y : Akma Gerilmesi

$$M_x = 13.056,84 \cdot 350,0,6 = 2.741.936,4 \text{ Nmm}$$

$$M_x = 2,74 \text{ kNm (2.741,9 kNmm)}$$

En yüksek moment taşıyan örnek U profilinin SAP2000'de yapılan analize göre taşıdığı moment;

$$M = 407,85 \text{ kNmm'dir}$$

SAP2000’de oluşturulan modelden en yüksek moment taşıyan eleman değeri ile profilin taşıyabileceği en yüksek moment değeri karşılaştırılmış, profil boyutlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapının tasarımı için seçilen U profilinin uygun olduğu görülmüştür.

3.1.3 Şaşe (Döşeme) C (300x70x20x2) Profilinin İncelenmesi

Profil ilk olarak AISI S100 yönetmeliğine daha sonra EU 1993-1 yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan kontroller sonucunda tasarım aşamasına seçilen profil boyutlarının kendi içerisinde uygunluğu teyit edilmiştir. Kapasite hesaplamalarında kullanılacak yönetmeliğe karar verildikten sonra, profil için maksimum moment kapasitesi hesaplanmıştır. Bulunan sonuç en son olarak SAP2000’de yapılan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle profilin yönetmeliklere göre hem tasarım açısından kendi içinde uygunluğu, hem de yapı içerisinde çalışması kontrol edilmiştir.

3.1.3.1 Profil Uygunluğunun AISI S100’e göre Kontrolü

C profil kısmi rijitleştirilmiş basınç ve çekme elemanıdır. Profil tasarımda basit dudak (lip) ile rijitleştirildiği için profil eni ve kalınlık oranının aşağıda verilen değerden düşük olması gerekmektedir. [1]

$$W_{\text{etkili}}/t \leq 60 \quad (\text{AISI S100, sf:16,B1.1})$$

W_{etkili} : Etkili profil web(en) genişliği

t : Profil kalınlığı

$$W_{\text{etkili}} = W - 2 \times (t + R)$$

$$W_{\text{etkili}} = 70 - 2 \times (2 + 2) = 62\text{mm}$$

$$W_{\text{etkili}}/t = 62/2 = 31$$

$31 \leq 60$ Web boyutu yönetmeliğe uygundur.

Flanş etkili boyutu (h) aşağıda verilen oranların altında olmalıdır.

$(h/t)_{\text{maks}} = 260$ (Kısmi rijitleştirilmiş elemanlar için) (AISI S100, sf 17, B1.2b1)

$$h = f - 2 \times t$$

h : profil flanş ölçüsü

$$h = 300 - 2 \times 2 = 296\text{mm}$$

$h/t = 296/2 = 148 < 260$ Yönetmeliğe göre flanş boyutu uygundur.

AISI S100 yönetmeliğine göre kısmi rijitleştirilmiş (dudak (lip) eklenerek) elemanların boyut kontrollü aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$S = 1,28 \sqrt{E/F_y} \quad (\text{AISI S100, sf:26, Denklem B4-7})$$

E : Elastisite modülü (S350 çelik için 210GPa kabul edilmiştir.)

F_y : Akma gerilmesi

$$S = 1,28 \sqrt{210000/350} = 31,3535$$

$$0,328 S = 0,328 \times 31,3535 = 10,284$$

$w/t = 31$ olarak bulunmuştur, buna göre ;

$w/t > 0,328 S$ olduğu için yönetmeliğe göre aşağıdaki formüller kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$I_a = 399t^4 \left[\frac{w/t}{S} - 0,328 \right]^3 \leq t^4 \left[115 \frac{w/t}{S} + 5 \right]$$

(AISI S100, sf:26, Denklem B4-8)

I_a : rijitleştirici elemanın atalet momenti

$$I_a = 399 \times 2^4 \left[\frac{62/2}{31,3535} - 0,328 \right]^3 \leq 2^4 \left[115 \frac{62/2}{31,3535} + 5 \right]$$

$$I_a = 1841,43 \leq 1899,25$$

Güçlendirme elemanının yeterli atalet momenti yönetmeliğe uygundur. Tüm komponentler güçlendirilmiş eleman gibi davranacaktır.

$$I_s = (d^3 t \sin^2 \theta) / 12 \text{ (AISI S100, sf:26, Denklem B4-10)}$$

I_s : Tüm rijitleştirme elemanlarının rijitleştireceği elemana paralel aksa göre atalet momenti

$$I_s = (20^3 \times 1) / 12 = 1333,33 \text{ mm}^4$$

$$R_I = I_s / I_a \leq 1 \text{ (AISI S100, sf:26, Denklem B4-9)}$$

$$R_I = 1333,33 / 1841,43 = 0,724 \leq 1 \text{ Yönetmeliğe uygundur.}$$

b : efektif tasarım boyutu ise;

$$b_1 = (b/2) R_I$$

$$b_1 = (62/2) \times 0,724 = 22,45 \text{ mm' dir}$$

$$b_2 = b - b_1$$

$$b_2 = 62 - 22,45 = 39,55 \text{ mm' dir}$$

$$d_s = d' (R_I)$$

$$d_s = 20 \times 0,724 = 14,48 \text{ mm' dir}$$

d_s ; Güçlendirici (rijitleştirici) elemanın etkili genişliği

$$n = \left(0,582 - \frac{w/t}{4s} \right) \geq \frac{1}{3} \text{ (AISI S100, sf:27, Denklem B4-11)}$$

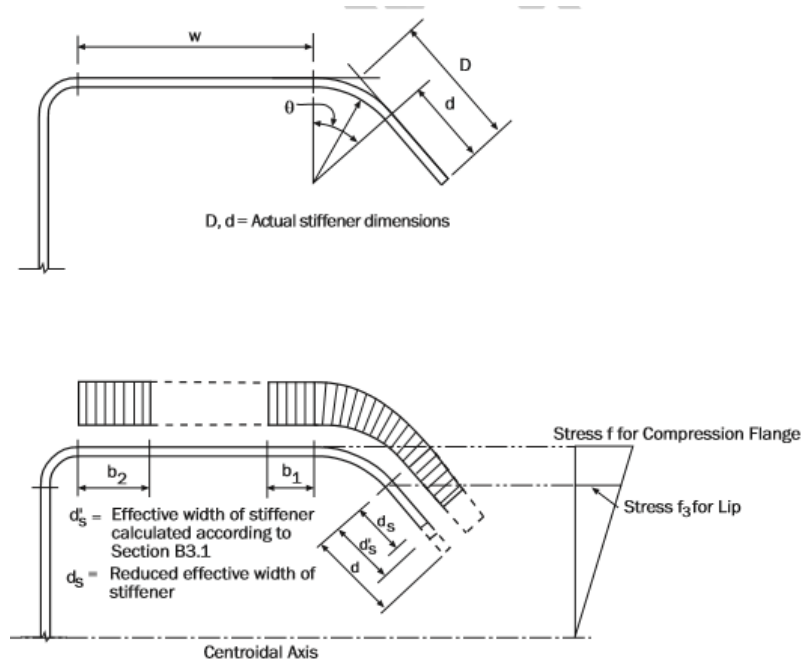
$$n = \left(0,582 - \frac{62/2}{4 \times 31,3535} \right) = 0,3348 \geq \frac{1}{3} \text{ yönetmeliğe uygundur.}$$

$D/w = 10/62 = 0,1613 < 0,25$ olduğu için aşağıdaki formül kullanılarak son boyut kontrolü yapılmıştır.

$$k = 3,57 (R_f)^n + 0,43 \leq 4$$

k: plaka bükülme katsayısı

$$3,57 (0,724)^{0,348} + 0,43 = 3,62 \leq 4 \text{ Yönetmeliğe uygundur.}$$



Şekil 3.12 :AISI S100 'de belirtilen, hesaplamalarda kullanılan boyutlandırmaların şematik gösterimi (AISI S100,sf;27, Şekil B4-1)

3.1.3.2 Profil Uygunluğunun EN 1993'e göre Kontrolü

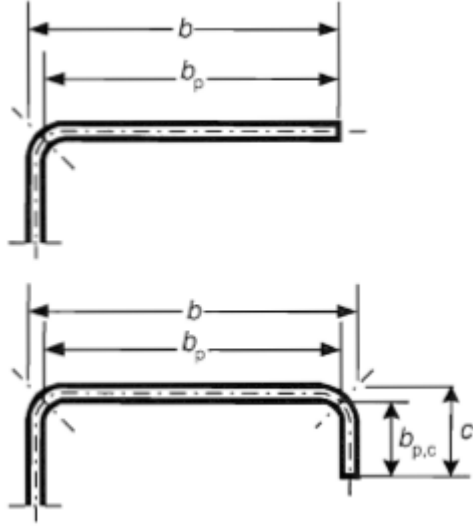
Profil boyutları EN 1993-1-1 (2005) [2], EN 1993-1-3 (2006) [3] ve EN 1993-1-5 (2006) [4] göre kontrol edilmiştir. EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kullanılacağı kabul edilen S350, belirtilen yönetmelik incelemesinde S355 olarak değiştirilmiştir. Sac kalınlığı ise incelenen duvar paneli C profili için EN 1993-1-1(2005) [2]'de verilen sac sınıfına uygundur. Sınıflandırma ile ilgili tablo EK-B'de Tablo B1'de verilmiştir. İncelenen profil EN 1993-1-1 (2005) [2]'e göre tek açıklık kesitli profil sınıfına girmektedir. Soğuk büküm profil sınıfları EK-B'de Şekil B1'de gösterilmiştir.

EN 10025-2'ye göre S355 sınıfı çelik için temel akma gerilmesi 355N/mm^2 , kopma gerilmesi ise 470N/mm^2 olarak kabul edilmiştir. Tasarım kalınlığı 2mm olarak kabul edilmiştir. EN 1993-1-3 (2006) [3] 'e göre;

$$0,45\text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15\text{mm} \text{ (EN1993-1-3 (2006), Sf:16)}$$

Olmalıdır. Tasarım aşamasında seçilen kalınlık yönetmeliğe uygundur. Malzeme toleransının %5 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak kalınlık, tolerans %5 olduğu için aynen kullanılmıştır.

$$t = t_{cor} \quad \text{tolerans} \leq \%5 \text{ (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 16)}$$



Şekil 3.13 : Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 19, Şekil 5.1)[3]

EN 1993-1-3(2006) [3] 'e göre tasarlanan profil boyutları Tablo B4'de verilmiştir. Kısmi rijitleştirilmiş C profiller için;

$$b/t \leq 60 \text{ ve } c/t \leq 50$$

b: web boyutu

t: profil kalınlığı

c: dudak boyutu

$$70/2 = 35 \leq 60$$

Web boyutu ve kalınlık oranı yönetmelik şartlarını sağlamaktadır.

$$20/2 = 10 \leq 50$$

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \quad (\text{EU 1993-1-3 (2006), Sf:21, Denklem 5.2a})$$

$$20/70 = 0,285 \leq 0,6$$

Dudak ve web boyutlarının oranı yönetmelik sınırları içerisinde. Tasarım için kabul edilen boyutlar yönetmeliğe uygundur.

Basınç elemanları için profil efektif boyutların hesaplamaları EN 1993-1-5(2006) [4]'e göre hesaplanmıştır. Web'e uygulanan gerilmelerin düzgün yayılı ve eşit olduğu kabul edilmiş, buna göre efektif boyutlar EKB-'de yer alan TabloB3'de verilen formüller ile hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{EN 1993-1-5 (2006), Sf:15})$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

ε : F_y 'ye bağlı faktör

Basınç elemanları için bükülme katsayısı (buckling factor), EN 1993-1-3 (2006) [3]'e göre net dudak boyutunun net web boyutuna oranına bağlıdır.

$$\frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0,35 \text{ ise, } k_\sigma = 0,5$$

$b_{p.c}$: rijitleştirici eleman (dudak) etkili boyutu

b_p : web etkili boyutu

k_σ : Bükülme faktörü

$$0,35 \leq \frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0,6 \text{ ise, } k_\sigma = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p.c}/b_p - 0,35)^2}$$

$$\frac{18}{66} = 0,273 \text{ olduğundan,}$$

$$k_\sigma = 0,5 \text{ 'dir.}$$

Rijitleştirme elemanının efektif boyutu EN 1993-1-3 (2006) [3] yönetmeliğine göre azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır. Kısmi rijitleştirilmiş (sondan tek parça ile) elemanlar için azaltma faktörü EN 1993-1-3 [3] Bölüm 5.5.3.2.(4)'e göre rijitleştirilmemiş elemanlar ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. Azaltma faktörü ve efektif web boyutları plaka elemanlar için EN1993-1-5 (2006) [4]'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cr.s} = \frac{\pi^2 EI_s}{A_s a^2} \text{ (EN 1993-1-5 (2006) , Sf:19, Denklem 4.9)}$$

$\sigma_{cr.s}$: Kritik elastik plaka bükülme gerilmesi

$$\sigma_{cr.s} = \frac{3,14^2 \cdot 210000 \cdot (2 \cdot 20^3 / 12)}{2 \cdot 20 \cdot 18^2} = 213.016,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \text{ (EN1993-1-5 (2006) , Sf: 15, Denklem 4.3)[4]}$$

λ_p : Plaka narınlığı

$$\lambda_p = \frac{355}{213.016,05} = 0,0016$$

$$\rho = 1,0 \quad \lambda_p \leq 0,748$$

ρ : Plaka bükülme azaltma faktörü

ψ : stres oranı

$$\psi = 1$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p$$

b_{eff} : efektif web boyutu

$$b_{eff} = 1 \cdot 66 = 66mm$$

$$b_{e1} = 0,5 \cdot b_{eff}$$

b_{e1} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e1} = 0,5 \cdot 66 = 33mm$$

$$b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff}$$

b_{e2} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e2} = 0,5 \cdot 66 = 33 \text{ mm}$$

Hesaplanan azaltma faktörü, efektif dudak boyutu hesaplamalarında kullanılmıştır. [3]

$$c_{eff} = \rho \cdot b_{pc} \text{ (EN 1993-1-3 (2006), Sf:29, Denklem 5.13d)}$$

c_{eff} : efektif rijitleştirici eleman (dudak) boyutu

$$c_{eff} = 1 \cdot 18 = 18 \text{ mm}$$

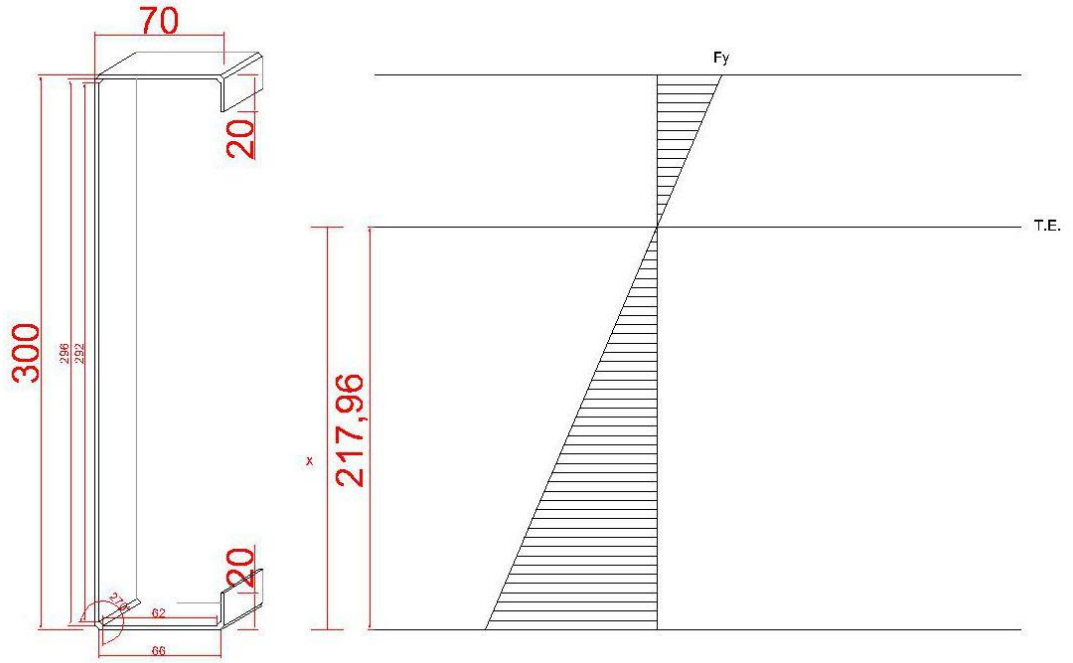
3.1.3.3 Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması

İki yönetmeliğe göre hesaplanan efektif boyutlar kullanılarak tarafsız eksenin konumu Tablo 3.14 ve 3.15'e göre hesaplanmış, gerilme diyagramları (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15) oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda güvenli bölgede kalmak adına basınç elemanı için daha düşük moment kapasitesine sahip olacağından AISI yönetmeliğine göre hesaplanan değerler moment kapasitesi hesaplarında ve mevcut yapının kritik kesit kontrollerinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 3.14 : AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
W_{etkili}	62 mm	(x-1)	$62x - 62$
r	2 mm	(x-1)	$2x - 2$
f_{etkili}	296 mm	(150-x)	$-296x + 44400$
r	2 mm	(300-1-x)	$-2x + 598$
b	(39,55+22,45)mm	(300-1-x)	$-62x + 18538$
d	14,48mm	(290-x)	$-14,48x + 4.199,2$

$$x = \frac{67671,2}{310,48} = 217,96 \text{ mm}$$

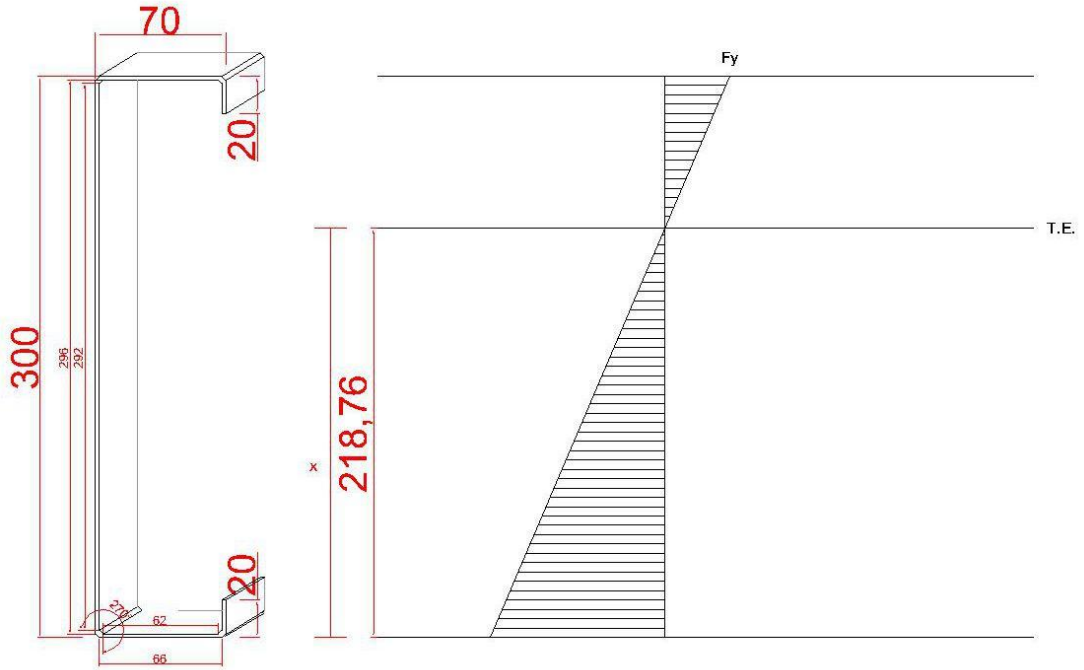


Şekil 3.14 : Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

Tablo 3.15 : EN 1993'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
Wetkili	62 mm	(x-1)	62x - 62
r	2 mm	(x-1)	2x - 2
f _{etkili}	296 mm	(150-x)	-296x + 44400
r	2 mm	(300-1-x)	-2x + 598
b	(33+33)mm	(300-1-x)	-62x + 18538
C _{eff}	18mm	(290-x)	-18x + 5.220

$$x = \frac{68.692}{314} = 218,76 \text{ mm}$$



Şekil 3.15 : Gerilme diyagramı (EU yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

3.1.3.4 Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı

Moment kapasitesinin hesaplanması için ilk aşamada ağırlık merkezi (Tablo 3.16) ve profilin iki yönde atalet momentleri (Tablo 3.17, Tablo 3.18) hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplamalar Sap2000'de modelleme aşamasında kullanılmak üzere oluşturulan kesitler ile karşılaştırılarak model ve kağıt üzerinde yapılan hesaplamaların paralel olarak devam etmesi sağlanmıştır.

Bulunan atalet momenti ve tarafsız eksen konumu kullanılarak profilin kesit modülü hesaplanmış, yönetmeliğe göre kabul edilen akma gerilmesi de kullanılarak profilin taşıyabileceği maksimum moment hesaplanmıştır.

3.1.3.4.1 Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı

Tablo 3.16 : C300x70x20x2 Profilinin Ağırlık merkezi

No	Alan (mm ²)	d _x (mm)	A _i .d _{xi} (mm ³)	d _y (mm)	A _i .d _{yi} (mm ³)
1	600	150	90.000	1	600
2	132	(300-1)	39.468	35	4.620
2	132	1	132	35	4.620
3	100	(300-10)	29.000	69	6.900
3	100	10	1.000	69	6.900
Toplam	1.064		159.600		23.640

$$Y_x = 159.600/1064 = 150mm$$

$$Y_y = 23.640/1064 = 22,22mm$$

Tablo 3.17 : I_x Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I _{xi} (mm ⁴)	d _{xi} (mm)	A _i .d _{xi} ² (mm ³)	I _{xi} + A _i .d _{xi} ² (mm ⁴)
1	600	4.500.000	0	0	4.500.000
2	132	44	(150-1)	2.930.532	2.930.576
2	132	44	(1-150)	2.930.532	2.930.576
3	100	20.833,33	(150-25)	1.562.500	1.583.333,33
3	100	20.833,33	(25-150)	1.562.500	1.583.333,33
Toplam	1.064				13.527.818,7

Tablo 3.18 : I_y Atalet Momenti hesap tablosu

o	Alan (mm²)	I_{yi} (mm⁴)	d_{yi} (mm)	$A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm³)	$I_{yi} + A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm⁴)
1	600	200	(22,22-1)	270.173,04	270.373,04
2	132	47.916	(35-22,22)	21.559,35	69.475,35
2	132	47.916	(22,22-35)	21.559,35	69.475,35
3	100	33,33	(70-22,22-1)	218.930,41	218.963,74
3	100	33,33	(70-22,22-1)	218.930,41	218.963,74
Toplam	1.064				847.251,22

3.1.3.4.2 Kapasite Hesabı

$$W_x = \frac{I_x}{Y_{max}} \text{ (Kesit Modülü)}$$

W_x : Kesit Modülü

I_x : X eksenine göre Atalet momenti (Kuvvetli eksen)

Y_{max} : Tarafsız eksene uzaklık

$$W_x = \frac{13.527.818,7}{(218,76)} = 61.833,6mm^3$$

$$M_x = W_x \cdot F_y \text{ (Moment Kapasitesi)}$$

M_x : Moment Kapasitesi

W_x : Kesit Modülü

F_y : Akma Gerilmesi

$$M_x = 61.833,6 \times 350 \times 0,6 = 12.986.123 \text{ Nmm}$$

$$M_x = 12.986 \text{ kNmm}$$

En yüksek moment taşıyan örnek C profilinin SAP2000'de yapılan analize göre taşıdığı moment;

$$M = 2.908,16 \text{ kNmm}$$

SAP2000'de oluşturulan modelden en yüksek moment taşıyan eleman değeri ile profilin taşıyabileceği en yüksek moment değeri karşılaştırılmış, profil boyutlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapının tasarımı için seçilen C profilinin uygun olduğu görüşmüştür.

3.1.4 Şase (Döşeme) U Profilinin İncelenmesi (300x70x2)

Profil ilk olarak AISI S100 yönetmeliğine daha sonra EU 1993-1 yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan kontroller sonucunda tasarım aşamasına seçilen profil boyutlarının kendi içerisinde uygunluğu teyit edilmiştir.

Kapasite hesaplamalarında kullanılacak yönetmeliğe karar verildikten sonra, profil için maksimum moment kapasitesi hesaplanmıştır. Bulunan sonuç en son olarak SAP2000'de yapılan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle profilin yönetmeliklere göre hem tasarım açısından kendi içinde uygunluğu, hem de yapı içerisinde çalışması kontrol edilmiştir.

3.1.4.1 Profil Uygunluğunun AISI S100'e göre Kontrolü

U profil rijitleştirilmemiştir. Profil eni ve kalınlık oranının aşağıda verilen değerden düşük olması gerekmektedir. (AISI S100, sf:16)

$$W_{etkili}/t \leq 60 \quad (\text{AISI S100, sf:16,B1.1})$$

$$W_{etkili} = W - x(t + R)$$

$$W_{etkili} = 70 - (2 + 2) = 66mm$$

$$W_{etkili}/t = 66/2 = 33,0$$

$33,0 \leq 60$ Web boyutu yönetmeliğe uygundur.

Flanş etkili boyutu (h) aşağıda verilen oranların altında olmalıdır.

$$(h/t)_{maks} = 200 \quad (\text{Rijitleştirilmemiş elemanlar için}) \quad (\text{AISI S100, sf 17, B1.2.a})$$

$$h = f - 2 x t$$

$$h = 300 - 2 x 2 = 296mm$$

$h/t = 296/2 = 148 < 200$ Yönetmeliğe göre flanş boyutu uygundur.

AISI S100 yönetmeliğine göre rijitleştirilmemiş elemanların boyut kontrolü aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$F_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w}\right)^2 \text{ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-5)}$$

k : Plaka burkulma katsayısı (Yönetmeliğe göre k değeri rijitleştirilmemiş elemanlar için 0,43 olarak alınmıştır. (AISI S100, sf:23, B.3.1(b))

E: Elastisite modülü (S350 çelik için 210GPa kabul edilmiştir.)

μ : Poisson Oranı (S350 çelik için bu oran NŞA'da 0,27 olarak kabul edilmiştir)

t: kalınlık

w : etkili en

$$F_{cr} = 0,43 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 210000}{12(1 - 0,27^2)} \left(\frac{2}{66}\right)^2$$

$$F_{cr} = 73,49 \text{ N}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{F}{F_{cr}}} \text{ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-4)}$$

λ : Narinlik faktörü

F : Akma gerilmesi olarak hesaplamalarda kabul edilmiştir. (S350 için 350N/mm²)

$$\lambda = \sqrt{\frac{350}{73,49}} = 4,76$$

$$\lambda > 0,673 \text{ ise } b = \rho \cdot w \text{ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-2)}$$

b : efektif en

ρ : lokal indirgeme faktörü

$$\rho = \frac{(1-0,22/\lambda)}{\lambda} \text{ (AISI S100, sf:18, Denklem B2.1-3)}$$

$$\rho = \frac{(1 - 0,22/4,76)}{4,76} = 0,200$$

$$b = 0,200 \times 66 = 13,225mm$$

3.1.4.2 Profil Uygunluğunun EN 1993'e göre Kontrolü

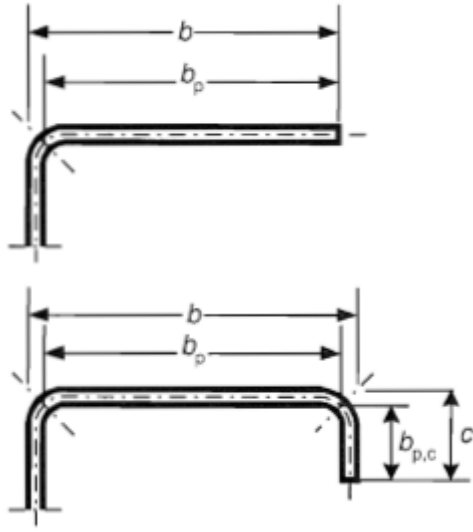
Profil boyutları EN 1993-1-1 (2005) [2], EN 1993-1-3 (2006) [3] ve EN 1993-1-5 (2006) [4] göre kontrol edilmiştir. EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kullanılacağı kabul edilen S350, belirtilen yönetmelik incelemesinde S355 olarak değiştirilmiştir. Sac kalınlığı ise incelenen duvar paneli C profili için EN 1993-1-1(2005) [2]'de verilen sac sınıfına uygundur. Sınıflandırma ile ilgili tablo EK-B'de Tablo B1'de verilmiştir. İncelenen profil EN 1993-1-1 (2005) [2]'e göre tek açıklık kesitli profil sınıfına girmektedir. Soğuk büküm profil sınıfları EK-B'de Şekil B1'de gösterilmiştir.

EN 10025-2'ye göre S355 sınıfı çelik için temel akma gerilmesi $355N/mm^2$, kopma gerilmesi ise $470N/mm^2$ olarak kabul edilmiştir. Tasarım kalınlığı 2mm olarak kabul edilmiştir. EN 1993-1-3 (2006) [3] 'e göre;

$$0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15mm \text{ (EN1993-1-3 (2006), Sf:16)}$$

Olmalıdır. Tasarım aşamasında seçilen kalınlık yönetmeliğe uygundur. Malzeme toleransının %5 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak kalınlık, tolerans %5 olduğu için aynen kullanılmıştır.

$$t = t_{cor} \quad \text{tolerans} \leq \%5 \text{ (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 16)}$$



Şekil 3.16 : Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 19, Şekil 5.1)[3]

EN 1993-1-3(2006) [3] 'e göre tasarlanan profil boyutları Tablo B4'de verilmiştir. Kısmi rijitleştirilmiş U profiller için;

$$b/t \leq 50$$

b: web boyutu

t: profil kalınlığı

$$70/2 = 35 \leq 50$$

Web boyutu ve kalınlık oranı yönetmelik şartlarını sağlamaktadır. Tasarım için kabul edilen boyutlar yönetmeliğe uygundur.

Web'e uygulanan gerilmelerin düzgün yayılı ve eşit olduğu kabul edilmiş, buna göre efektif boyutlar EKB-'de yer alan TabloB3'de verilen formüller ile hesaplanmıştır. Profilin efektif web boyutu EN 1993-1-5 (2006) [4] yönetmeliğine göre azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{EU 1993-1-5 (2006), Sf:15})$$

ε : F_y 'ye bağlı faktör

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b/t}{2,84 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (\text{EN1993-1-5 (2006) , Sf: 15, Denklem 4.3})[4]$$

λ_p : Plaka narınlığı

$\psi = 1$ için $k_\sigma = 4$ 'dür. [4]

ψ : stres oranı

k_σ : Bükülme faktörü

$$\lambda_p = \frac{68/2}{2,84 \cdot 0,814\sqrt{4}} = 7,35$$

$$\rho = 1,0 \quad \lambda_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0,188}{\lambda_p^2} \leq 1,0 \quad \lambda_p > 0,748$$

ρ : Plaka bükülme azaltma faktörü

$$\psi = 1$$

$$\rho = \frac{7,35 - 0,188}{7,35^2} = 0,1326 \leq 1,0$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p$$

b_{eff} : efektif web boyutu

$$b_{eff} = 0,1326 \cdot 68 = 9,017mm$$

$$b_{e1} = 0,5 \cdot b_{eff}$$

b_{e1} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e1} = 0,5 \cdot 9,017 = 4,5085mm$$

$$b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff}$$

b_{e2} : efektif web kısmi boyutu

$$b_{e2} = 0,5 \cdot 9,017 = 4,5085 \text{ mm}$$

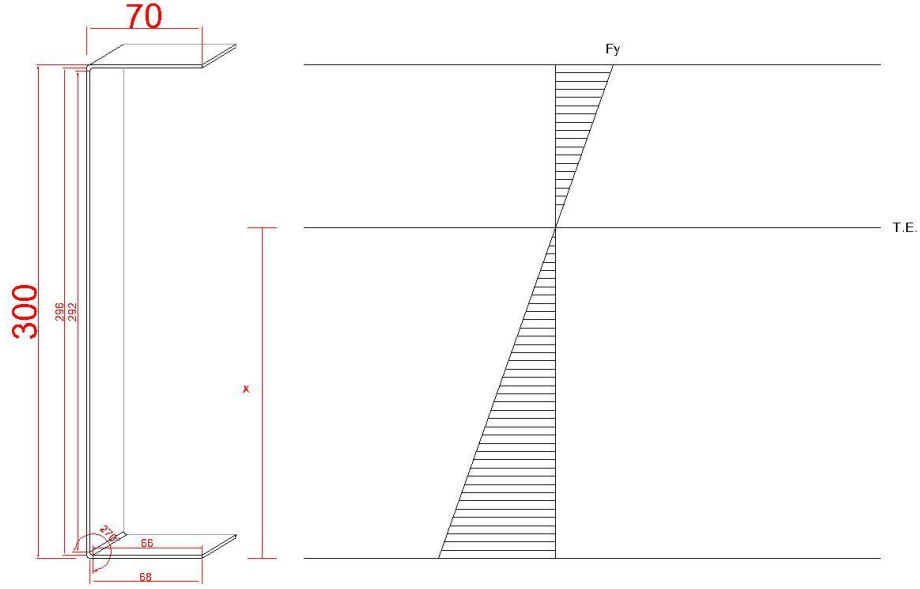
3.1.4.3 Yönetmeliklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması

İki yönetmeliğe göre hesaplanan efektif boyutlar kullanılarak tarafsız eksenin konumu Tablo 3.19 ve 3.20'e göre hesaplanmış, gerilme diyagramları (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18) oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda güvenli bölgede kalmak adına basınç elemanı için daha düşük moment kapasitesine sahip olacağından AISI yönetmeliğine göre hesaplanan değerler moment kapasitesi hesaplarında ve mevcut yapının kritik kesit kontrollerinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 3.19 : AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
W_{etkili}	66 mm	(x-1)	66x - 66
r	2 mm	(x-1)	2x - 2
f_{etkili}	296 mm	(150-x)	-296x + 44.400
r	2 mm	(300-1-x)	-2x + 598
b	13,225 mm	(300-1-x)	- 13,225 x + 3.954,28

$$x = \frac{48.884,28}{243,225} = 200,98 \text{ mm}$$

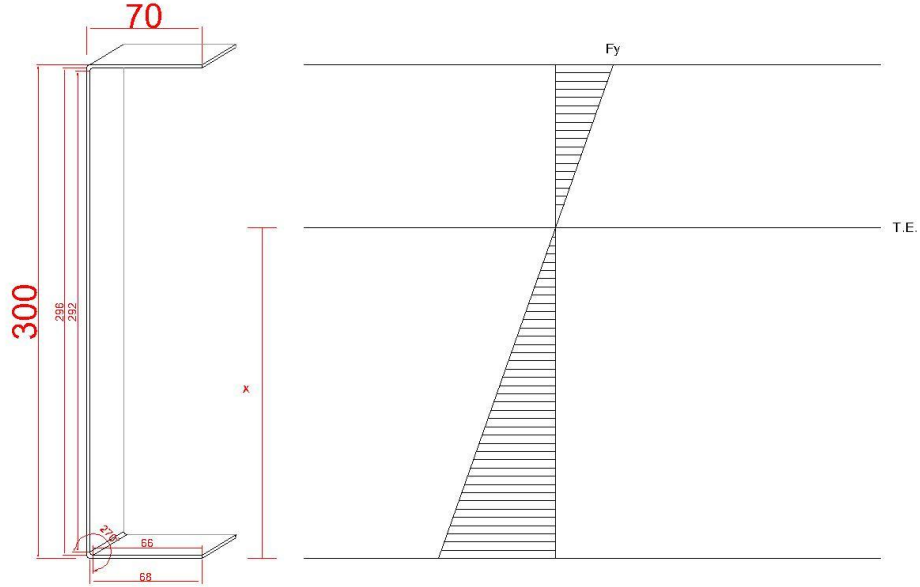


Şekil 3.17 : Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

Tablo 3.20 : EU 1993'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen

	Uzunluk	T.E'ye uzaklık	
Wetkili	66 mm	(x-1)	66x - 66
r	2 mm	(x-1)	2x - 2
fetkili	296 mm	(150-x)	-296x + 44.400
r	2 mm	(300-1-x)	-2x + 598
b	9,017 mm	(300-1-x)	- 9,017 x + 2.696,08

$$x = \frac{47.626,08}{239,017} = 199,26mm$$



Şekil 3.18 : Gerilme diyagramı (EU yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre)

3.1.4.4 Profilin Taşıma Kapasitesi Hesabı

Moment kapasitesinin hesaplanması için ilk aşamada ağırlık merkezi (Tablo 3.21) ve profilin iki yönde atalet momentleri (Tablo 3.22, Tablo 3.23) hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplamalar Sap2000’de modelleme aşamasında kullanılmak üzere oluşturulan kesitler ile karşılaştırılarak model ve kağıt üzerinde yapılan hesaplamaların paralel olarak devam etmesi sağlanmıştır.

Bulunan atalet momenti ve tarafsız eksen konumu kullanılarak profilin kesit modülü hesaplanmış, yönetmeliğe göre kabul edilen akma gerilmesi de kullanılarak profilin taşıyabileceği maksimum moment hesaplanmıştır.

3.1.4.4.1 Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı

Tablo 3.21 : U300x70x2 Profilinin Ağırlık merkezi

No	Alan (mm ²)	d _x (mm)	A _i .d _{xi} (mm ³)	d _y (mm)	A _i .d _{yi} (mm ³)
1	600	150	90.000	1	600
2	136	299	40.664	30	4.080
2	136	1	136	30	4.080
Toplam	872		130.800		8.760

$$Y_x = 130.800/872 = 150mm$$

$$Y_y = 8.760/872 = 10.05mm$$

Tablo 3.22 : I_x Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I _{xi} (mm ⁴)	d _{xi} (mm)	A _i .d _{xi} ² (mm ³)	I _{xi} + A _i .d _{xi} ² (mm ⁴)
1	600	4.500.000	0	0	4.500.000
2	136	45,33	149	3.019.336	3.019.381,3
2	136	45,33	-149	3.019.336	3.019.381,3
Toplam					10.538.762,7

Tablo 3.23 : I_y Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I _{yi} (mm ⁴)	d _{yi} (mm)	A _i .d _{yi} ² (mm ³)	I _{yi} + A _i .d _{yi} ² (mm ⁴)
1	600	200	(10,05-1)	49.141,5	49.341,5
2	136	52.405,3	(35-10,05)	84.660,34	137.065,64
2	136	52.405,3	(35-10,05)	84.660,34	137.065,64
Toplam					323.472,78

3.1.4.4.2 Kapasite Hesabı

$$W_x = \frac{I_x}{Y_{max}} \text{ (Kesit Modülü)}$$

W_x : Kesit Modülü

I_x : X eksenine göre Atalet momenti (Kuvvetli eksen)

Y_{max} : Tarafsız eksene uzaklık

$$W_x = \frac{10.538.762,7}{(200,98)} = 52.436,87 \text{ mm}^3$$

$$M_x = W_x \cdot F_y$$

M_x : Moment Kapasitesi

W_x : Kesit Modülü

F_y : Akma Gerilmesi

$$M_x = 52.436,87 \cdot 350 \cdot 0,6 = 11.011.743 \text{ Nmm}$$

$$M_x = 11.011,7 \text{ kNmm}$$

En yüksek moment taşıyan örnek U profilinin SAP2000'de yapılan analize göre taşıdığı moment;

$$M = 4.152,8 \text{ kNmm}$$

SAP2000'de oluşturulan modelden en yüksek moment taşıyan eleman değeri ile profilin taşıyabileceği en yüksek moment değeri karşılaştırılmış, profil boyutlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapının tasarımı için seçilen U profilinin uygun olduğu görüşmüştür.

3.1.5 Ağır Çelik Kolon K150x150x4mm

3.1.5.1 Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı

Tablo 3.24 : K150x150x4 kolonunun Ağırlık merkezi

No	Alan (mm ²)	d _x (mm)	A _i .d _{xi} (mm ³)	d _y (mm)	A _i .d _{yi} (mm ³)
1	600	75	45.000	1	600
1	600	75	45.000	149	89.400
2	568	149	84.632	75	42.600
2	568	1	568	75	42.600
Toplam	2.336		175.200		175.200

$$Y_x = 175.200/2.336 = 75mm$$

$$Y_y = 175.200/2.336 = 75mm$$

Tablo 3.25 : I_x Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I_{xi} (mm ⁴)	d_{xi} (mm)	$A_i \cdot d_{xi}^2$ (mm ³)	$I_{xi} + A_i \cdot d_{xi}^2$ (mm ⁴)
1	600	1.125.000	0	0	1.125.000
1	600	1.125.000	0	0	1.125.000
2	568	757,33	74	4.147.155,51	4.147.912,8
2	568	757,33	-74	4.147.155,51	4.147.912,8
Toplam	2.336				10.545.825,6

Tablo 3.26 : I_y Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I_{yi} (mm ⁴)	d_{yi} (mm)	$A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm ³)	$I_{yi} + A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm ⁴)
1	600	800	74	3.285.600	3.286.400
1	600	800	74	3.285.600	3.286.400
2	568	954.429,3	0	0	954.429,3
2	568	954.429,3	0	0	954.429,3
Toplam	2.336				8.481.658,6

3.1.5.2 Kapasite Hesabı

Yapı'da aynı kesitte iki farklı uzunlukta kolon mevcuttur. Yapının köşelerinde iki kat boyuna olan kolonlar ve yapı içerisinde ve çiftli kapıların bulunduğu yerlerde arakat şasesine kadar uzanan kolonlar. Kolonların yerleri EK-A'da gösterilmiştir. Buna göre, incelenen iki kat boyuna olan kolonlar 6,3m değerleri ise 3m'dir. Çelik türünün St37 olduğu kabul edilmiştir. St37 'nin TS 648'e göre emniyet gerilmesi 144000kg/mm²'dir. Kesit Alanı Tablo 3.24'de gösterildiği gibi 2.336 mm² olarak hesaplanmıştır.

$$i_{x,y} = \sqrt{\frac{I_{x,y}}{A}}$$

$i_{x,y}$: Atalet yarıçapı

A : Kesit alanı

$I_{x,y}$: Atalet momenti

$$i_x = \sqrt{\frac{10.545.825,6}{2.336}} = 67,19mm$$

$$i_y = \sqrt{\frac{8.481.658,6}{2.336}} = 60,27mm$$

H :6,3m ;

$$s_k = s \times k$$

s : Çubuğun boyu

k : kolon uç değerine bağlı katsayı

s_k : Burkulma boyu

$$s_k = 6,3m \times 1 = 6,3m \text{ dir.}$$

$$\lambda_{x,y} = \frac{s_{kx,y}}{i_{x,y}}$$

$\lambda_{x,y}$: narinlik

$$\lambda_x = \frac{6.300}{67,19} = 93,76$$

$$\lambda_y = \frac{6.300}{60,27} = 104,53$$

$\lambda_{maks} = 104,53$ olduğuna göre $\omega = 2,06$ 'dır.

$$S = \frac{A \times \sigma_{em}}{\omega}$$

S: taşıma kapasitesi

$$S = \frac{23,36 \times 1,44}{2,06} = 16,32 \text{ ton/cm}^2$$

H: 3,0m ;

$$s_k = 3,0m \times 1 = 3,0m' \text{ dir.}$$

$$\lambda_{x,y} = \frac{S_{kx,y}}{i_{x,y}}$$

$\lambda_{x,y}$: narinlik

$$\lambda_x = \frac{3.000}{67,19} = 44,65$$

$$\lambda_y = \frac{3.000}{60,27} = 49,78$$

$\lambda_{maks} = 49,78$ olduğuna göre $\omega = 1,22$ 'dir.

$$S = \frac{A \times \sigma_{em}}{\omega}$$

S: taşıma kapasitesi

$$S = \frac{23,36 \times 1,44}{1,22} = 27,57 \text{ ton/cm}^2$$

H:3,0m kolon için taşıma kapasitesi 27,57ton /cm² olarak hesaplanmıştır.

H:6,3m kolon için taşıma kapasitesi 16,32ton /cm² , H:3,0m kolon için taşıma kapasitesi ise 27,57 ton/cm² olarak hesaplanmıştır. SAP 2000'de yapılan analiz sonucu kolona etkileyen maksimum yük;

0,01348 kN/mm² = 1,348 kN/cm²'dir.

Seçilen kolon kesiti maksimum taşıma kapasitesinin altındadır. Kesit uygundur.

3.1.6 Ağır Çelik Kiriş K150x100x4mm

3.1.6.1 Ağırlık Merkezi ve Atalet Momenti Hesabı

Tablo 3.27 : K150x100x4 Kirişinin Ağırlık merkezi

No	Alan (mm ²)	d _x (mm)	A _i .d _{xi} (mm ³)	d _y (mm)	A _i .d _{yi} (mm ³)
1	600	75	45.000	1	600
1	600	75	45.000	99	59.400
2	368	149	54.832	50	18.400
2	368	1	368	50	18.400
Toplam	1.936				96.800

$$Y_x = 145.200/1.936 = 75mm$$

$$Y_y = 96.800/1.936 = 50mm$$

Tablo 3.28 : I_x Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I_{xi} (mm ⁴)	d_{xi} (mm)	$A_i \cdot d_{xi}^2$ (mm ³)	$I_{xi} + A_i \cdot d_{xi}^2$ (mm ⁴)
1	600	1.125.000	0	0	1.125.000
1	600	1.125.000	0	0	1.125.000
2	368	490,67	74	2.015.168	2.015.658,7
2	368	490,67	-74	2.015.168	2.015.658,7
Toplam					6.281.317,4

Tablo 3.29 : I_y Atalet Momenti hesap tablosu

No	Alan (mm ²)	I_{yi} (mm ⁴)	d_{yi} (mm)	$A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm ³)	$I_{yi} + A_i \cdot d_{yi}^2$ (mm ⁴)
1	600	800	-49		1.440.600
1	600	800	49		1.440.600
2	368	259.562,67	0	0	259.562,7
2	368	259.562,67	0	0	259.562,7
Toplam					3.400.325,4

3.1.6.2 Kapasite Hesabı

Kiriş'in atalet momentleri ve ağırlık merkezi Tablo 3.25, 3.26 ve 3.27'de hesaplanmıştır. Hesaplamalarda bulunan değerler kullanılarak kiriş kenarında ve iç açıklıkta oluşan moment kapasiteleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$W_x = \frac{I_x}{Y_{maks}}$$

W_x : Kesit modülü

I_x: atalet momenti

Y_{maks} : x eksenine olan maksimum uzaklık

$$W_x = \frac{6.281.317,4}{75} = 83.750,9 \text{ mm}^3$$

K1 kirişinin uzunluğu 3450mm'dir. Kiriş için yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$M_x = S_x \cdot F_y$$

M_x : Moment Kapasitesi

W_x : Kesit Modülü

F_y : Akma Gerilmesi

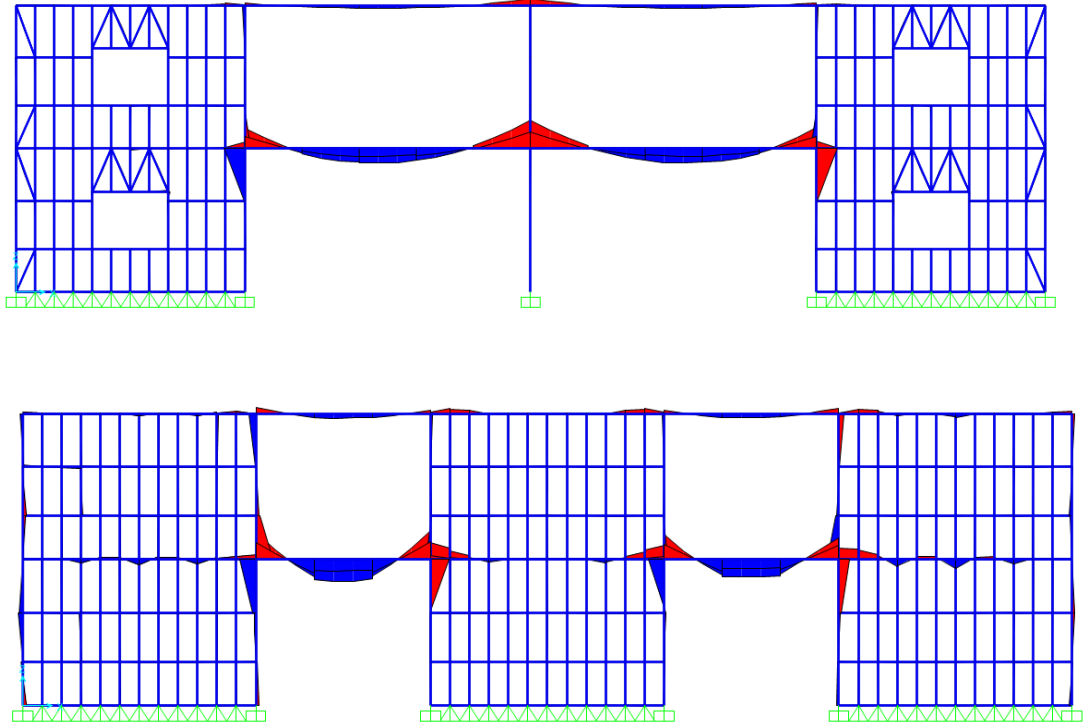
$$M_x = 83.750,9 \times 350 = 29.312.815 \text{ Nmm}$$

$$M_x = 29.312,8 \text{ kNmm}$$

En yüksek moment taşıyan örnek K1 kirişinin SAP2000'de yapılan analize göre taşıdığı moment;

$$M = 1.674,21 \text{ kNmm}$$

SAP2000’de oluşturulan modelden en yüksek moment taşıyan eleman değeri ile kirişin taşıyabileceği en yüksek moment değeri karşılaştırılmış, boyutlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapının tasarımı için seçilen kiriş boyutlarının uygun olduğu görüşmüştür.



Şekil 3.19 : SAP 2000’de yapılan analizde örnek 150x150x4 kolon ve 150x100x4 kirişin yapı içerisinde moment diyagramı ile birlikte gösterimi

3.2. Yapının Türkiye’deki Mevcut Yönetmeliklere Göre İncelenmesi

Tasarımda esas alınacak yük değerleri TS 498’e uygun, Kar yükü TS EN 1991-1-3’e uygun, rüzgar yükü TS EN 1991-1-4’e uygun olacak şekilde seçilmiştir. Deprem etki hesaplamaları ise DBYBHY’e göre yapılmıştır.

Tablo 3.30 : Genel Şartlar ve ilgili Yönetmelikler (EK-C)

Genel Şartlar		Yönetmelik
Kar Yüğü	80kg/m ²	TS498 Çizelge 4 (Zati Kar yüğü bölgesi II)
Rüzgar Yüğü	1,28 kN/m ² (128kg/m ²)	TS498 Çizelge 6
Hareketli Yüğü	2kN/m ² (200kg/m ²)	TS498 Çizelge 7 2- Konut, Zaman zaman kullanılan çatılar
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A ₀)	0,4	DBYBHY-2007 Tablo 2.2-1. Deprem Böl.
Bina Önem Katsayısı	1,0	DBYBHY-2007 Tablo 2.3 - Konutlar

Önceki bölümde tasarım kontrolleri yapılan profiller kullanılarak Sap2000 programında yapı modellenmiştir. Yüğü kombinasyonları için Türkiye’de 4mm altındaki çelik elemanlardan oluşan yapılar ile ilgili yönetmelik olmamasından dolayı Sap 2000 analizi için 4mm üzeri elemanlardan oluşan çelik yapılar için hazırlanan Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik’te verilen Güvelik Katsayıları ile Tasarım yüğü kombinasyonları kullanılmıştır. [21]

Yönetmelikte belirtilen yüğü kombinasyonları;

1. G
2. G + Q
3. G + S
4. G + 0,75Q+0,75(Q_r veya S veya R)
5. G + W
G + 0,7 E
6. G + 0,75Q + 0,75 S + 0,75 W
G + 0,75Q + 0,75 S +0,75 (0,7E)
7. 0,6G + W
8. 0,6G + 0,7E
9. 0,9G + 1,0E

G: Sabit Yük

Q: Hareketli Yük

Q_r: atı Hareketli Yükü

S: Kar Yükü

R: Yağmur Yükü

W: Rüzgar Yükü

E: Deprem Etkisi

3.2.2. Yapının DBYBHY 2007'ye Göre İncelenmesi

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yayınlanan yönetmelik kapsamında soğuk büküm profillerden oluşan hafif elik yapılar olmadığından yönetmelikte bulunan ağır elik yapılar için kabul edilen esaslar baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İki yapı grubu arasında tasarım, imalat ve davranışlarda farklılıklar olduğundan kontroller ayrıca EU [4] ve AISI [1]'ya göre ayrıca incelenmiştir.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yayınlanan yönetmelik'e göre elastik deprem yüklerinin tanımlanmasında yönetmeliğe uygun Tablo 3.30'da gösterilen tanımlamalar yapılmıştır. Etkin yer ivmesi katsayısı, 1.deprem bölgesinde yapılacağı kabul edilen yapı için Tablo C4'den 0,40 olarak seçilmiştir. Bina önem katsayısı DBYBHY'ye göre konut yapısı olarak inşa edilmesi planlanan yapı için Tablo C5'den 1,0 olarak seçilmiştir. Taşıyıcı sistem katsayısı ise tasarımı yapılan yapı deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar sınıfına girdiği için Tablo C6'dan süneklilik düzeyi yüksek sistemler için 8,0 olarak alınmıştır.

Yerel zemin sınıfı ise Z2 olarak seçilmiştir, buna göre spektrum karakteristik periyotları TabloC7'ye göre 0,15 ve 0,40 olduğu kabul edilmiştir. Spektrum katsayısı, binanın doğal periyoduna bağlı olarak DBYBHY 2007'ye göre denklem 2.2'ye göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 3.X'de gösterilen grafik oluşturulmuştur.

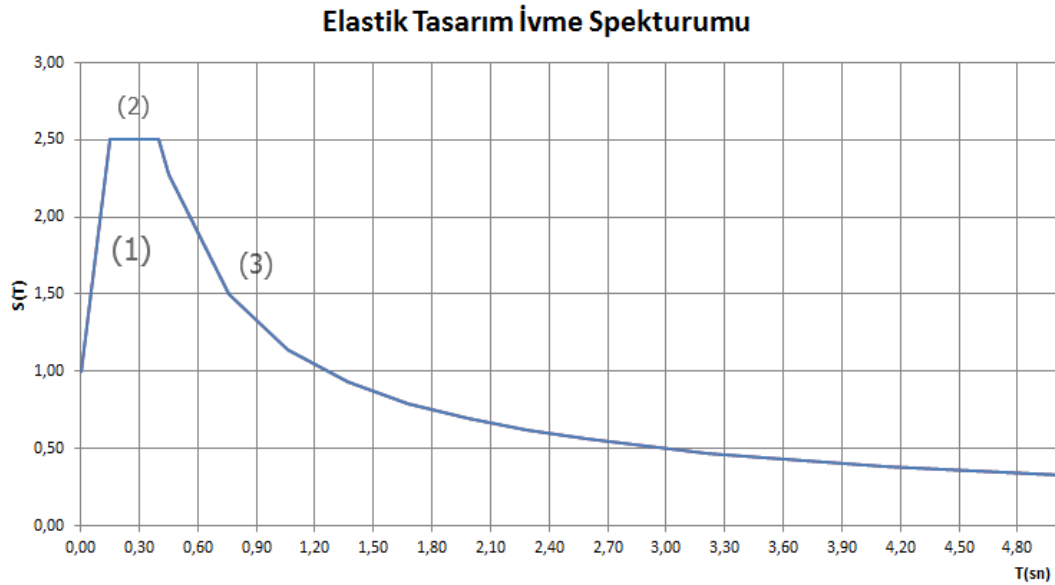
$$S(T) = 1 + 1,5 \times \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (\text{DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.2})$$

$$S(T) = 2,5 \times \left[\frac{T_B}{T} \right]^{0,8} \quad (T_B \leq T)$$

T : Periyot

T_{A,B} : Karakteristik periyotlar



Şekil 3.20 : DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.2 ile oluşturulan Elastik Tasarım İvme Spekturumu

$$A(T) = A_0 I S(T) \text{ (DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.1)}$$

A₀ : etkin yer ivmesi katsayısı = 0,4

I : Bina önem katsayısı = 1,0

$$S_{ae}(T) = A(T) x g \text{ (DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.1)}$$

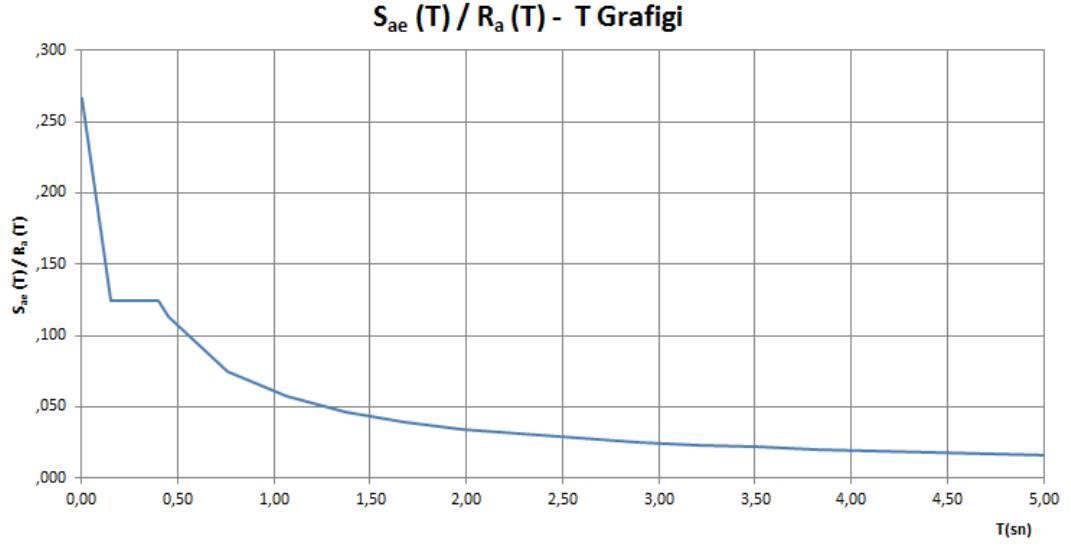
g: yer ivmesi

Yönetmeliğe göre A₀ değeri birinci deprem bölgesi için 0,4'dür (EK-C, Tablo X.X), yapının birinci deprem bölgesinde inşa edileceği kabul edilerek hesaplamalarda belirtilen değer kullanılmıştır. Bina önem katsayısı ise bina konut binası olarak kabul edildiğinden yine yönetmeliğe göre 1 kabul edilmiştir.

Kabul edilen değerler neticesince oluşturulan ivme spektrumunu her bölge için ($T < T_A$, $T_A < T < T_B$ ve $T_B < T$ için) ayrı ayrı A(T) değerleri hesaplanmıştır. Hafif çelik yapılar ile ilgili Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) yönetmeliğe göre olmadığı için, deprem yüklerinin tamamen çerçeveler ile taşındığı yüksek süneklik düzeyi yüksek ağır çelik yapılar için ilgili yönetmeliğe göre 8 alınmıştır. (EK-C, Tablo C6)

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5) x \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A \leq T) \text{ (DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.3)}$$



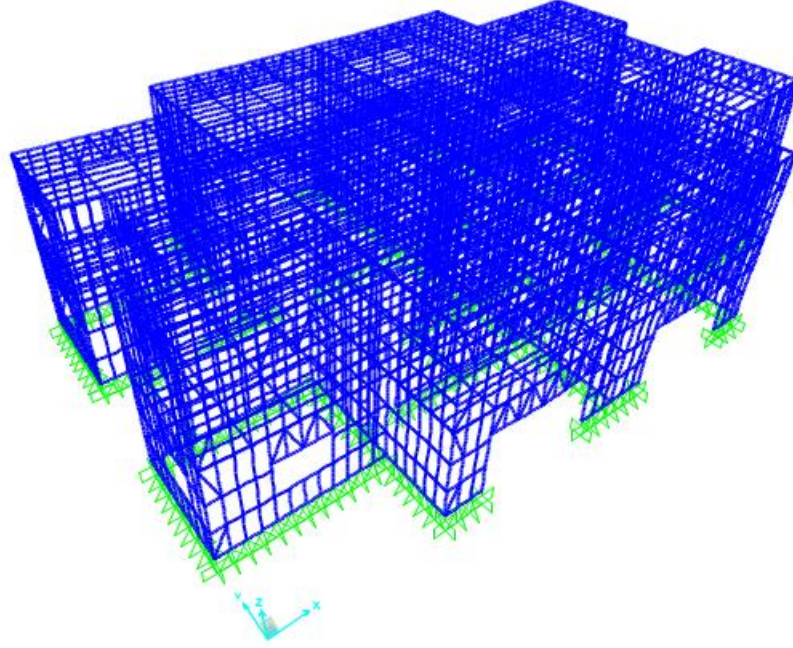
Şekil 3.21 : DBYBHY 2007, Denklem 2.1, 2.2 ve 2.3 kullanılarak oluşturulan İvme Spekturumu

Şekil 3.20’de gösterilen hesaplamalar sonucu elde edilen ivme spekturum grafiği modal analizin deprem yönetmeliğine uygun yapılabilmesi için Sap2000 programına girilmiştir.

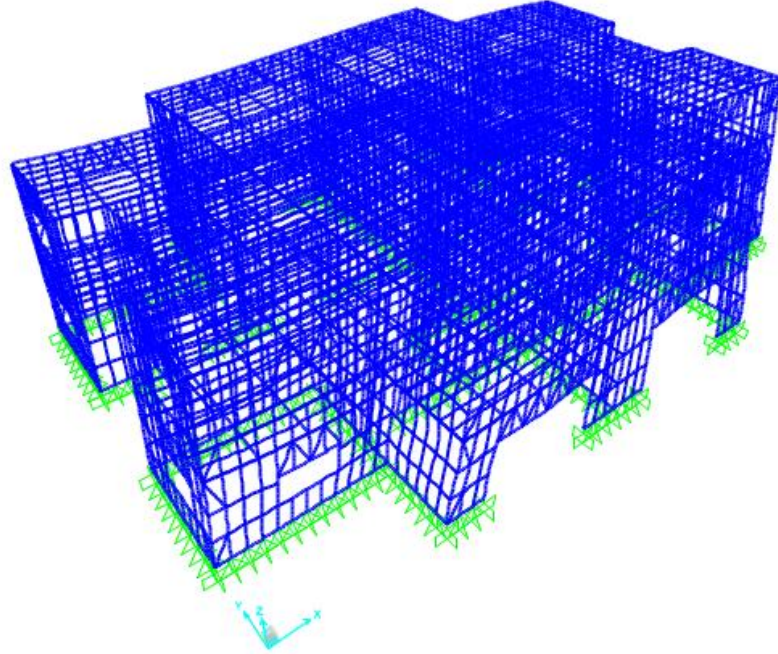
Yapılan modal analiz için yönetmeliğe göre Mod Birleştirme yöntemi incelenen yapı için kütle katılımının %90’dan fazla olacağı şekilde 20 mod ile analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda bulunan her moda ait periyot, kütle katılım oranı Tablo 3.31’de verilmiştir.

Tablo3.31 : Modal analize göre Sap2000'den alınan periyot, frekans değerleri ve kütle katılım oranları (20 Mod için)

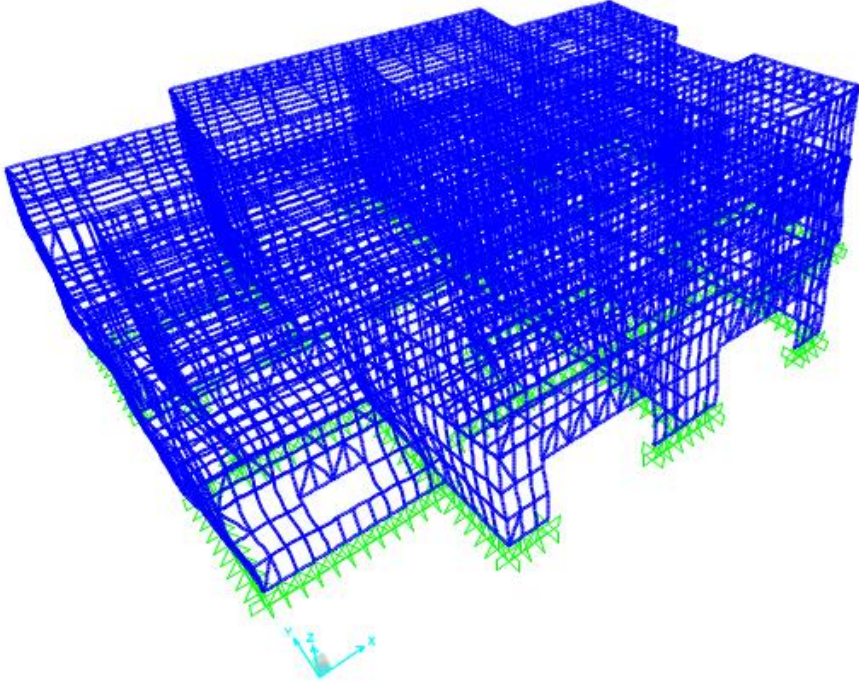
Analiz	Mod	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım (X)	Kütle Katılım (Y)
Modal	1	0,22695	4,4063	$1,2 \times 10^{-6}$	0,81
Modal	2	0,159328	6,2764	$3,9 \times 10^{-4}$	0,81
Modal	3	0,158028	6,328	0,9	0,81
Modal	4	0,118836	8,415	0,9	0,82
Modal	5	0,11815	8,4638	0,9	0,82
Modal	6	0,1151	8,6881	0,9	0,96
Modal	7	0,098544	10,148	0,9	0,96
Modal	8	0,093137	10,737	0,9	0,96
Modal	9	0,085866	11,646	0,94	0,96
Modal	10	0,082566	12,112	0,94	0,96
Modal	11	0,080289	12,455	0,94	0,96
Modal	12	0,080273	12,458	0,94	0,96
Modal	13	0,077075	12,974	0,94	0,96
Modal	14	0,075061	13,322	0,94	0,96
Modal	15	0,070984	14,088	0,94	0,96
Modal	16	0,070238	14,237	0,96	0,96
Modal	17	0,067955	14,716	0,96	0,96
Modal	18	0,067932	14,721	0,96	0,96
Modal	19	0,062406	16,024	0,96	0,96
Modal	20	0,061616	16,230	0,97	0,96



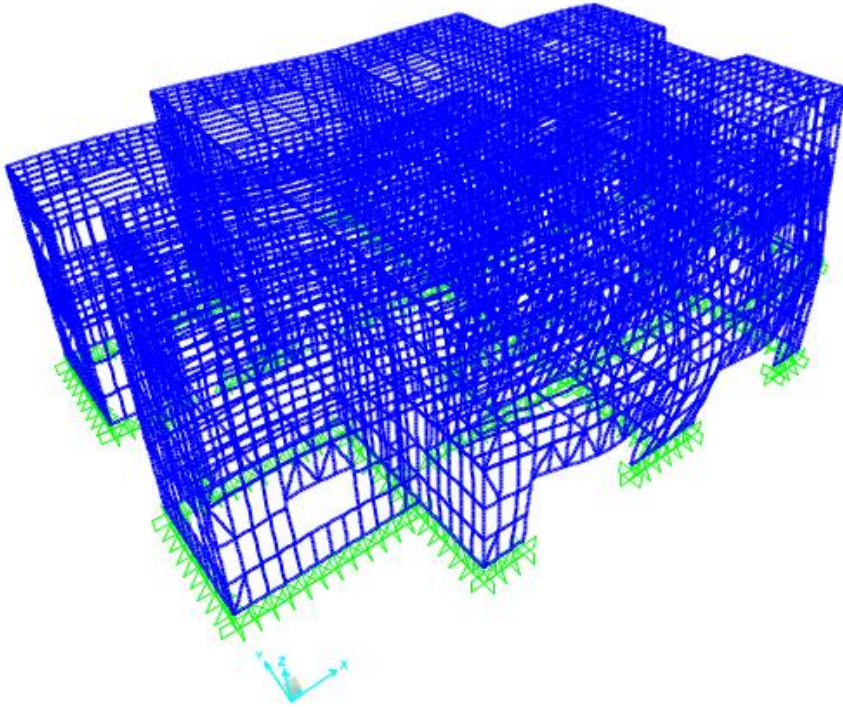
Şekil 3.22 : Mod 1'e göre yapının deforme olmuş hali



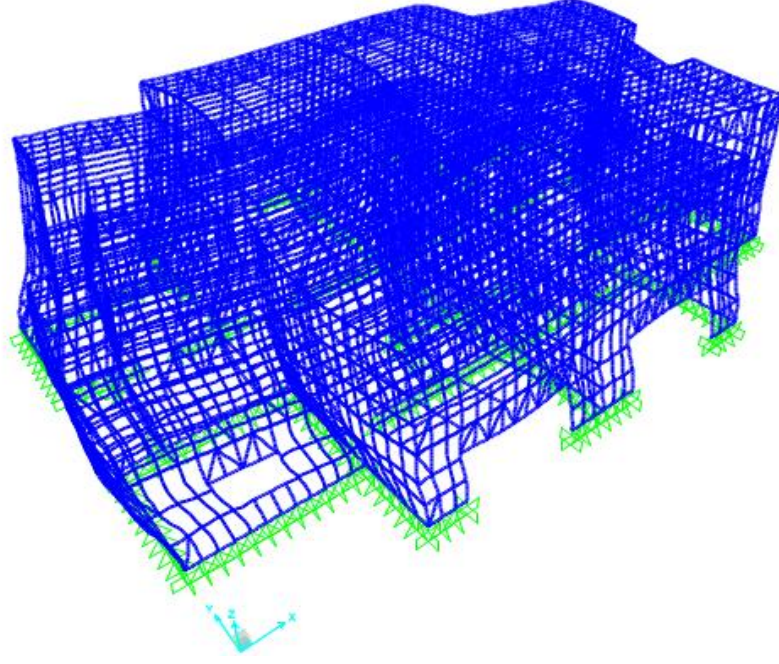
Şekil 3.23 : Mod 2'e göre yapının deforme olmuş hali



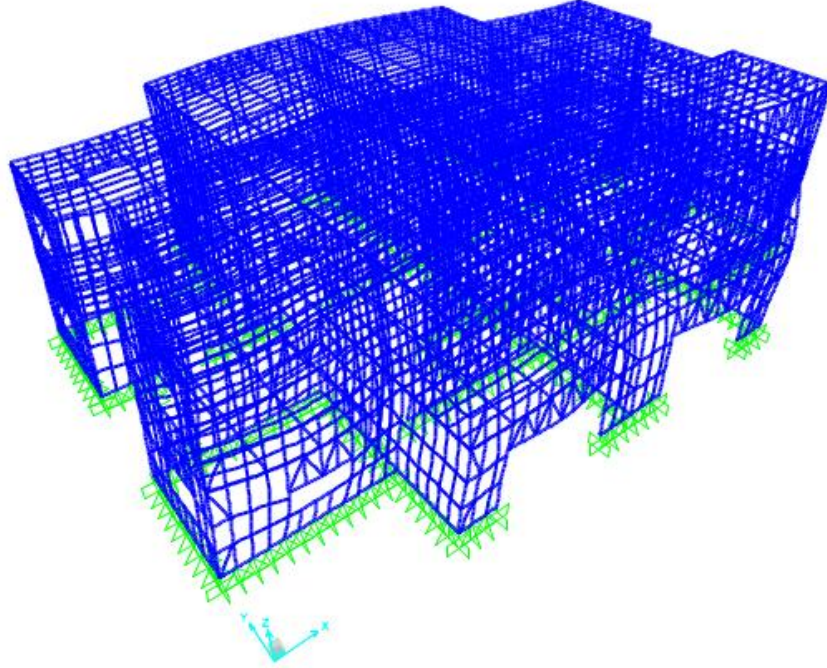
Şekil 3.24 : Mod 3'e göre yapının deforme olmuş hali



Şekil 3.25 : Mod 4'e göre yapının deforme olmuş hali



Şekil 3.26 : Mod 5'e göre yapının deforme olmuş hali



Şekil 3.27 : Mod 6'e göre yapının deforme olmuş hali

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Soğuk büküm profiller için Türkiye’de kullanılan ayrı bir standart olmamasından dolayı, ilk başta kullanılacak sacın malzeme özellikleri EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kabul edilmiştir. Kullanılacağı kabul edilen sac için AISI ve EU yönetmeliklerine göre akma değerleri değiştiğinden, kapasite hesaplamalarında en düşük değer asıl olarak kullanılmıştır.

Kalınlığı 4mm’den yüksek sıcak hadde profiller ve kalınlığı 4mm’nin altında olan soğuk büküm profillerin plaka davranışları farklılık göstermektedir. Gerekli en gerçekçi boyut kontrorlünün yapılabilmesi için AISI ve EU yönetmeliklerine göre tasarım kontrolleri yapılmıştır.

İki yönetmelikle yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında rijitleştirici eleman (dudak)’nın boyut sınırlamasının net olarak EU 1993-1’de olması, AISI’da ise atalet momenti sınırlamasına göre hesaplamaların sonunda incelenmektedir. Flanş boyut kontrorlünde ise AISI’da net boyut kontrolü yapılmasına karşın EU 1993-1 yönetmeliklerinde rijitleştirilmemiş flanş boyut kontrolü yapılamamıştır. AISI’da profil boyut kontrolü aynı yönetmelik içerisinde birbirini takip eden bölümlerde olması kontrollerde kolaylık sağlamıştır. Ancak, EU 1993-1 yönetmeliklerine göre tasarım incelendiğinde her boyut kontrolünde birden fazla yönetmeliğe başvurulması gerekmiştir. Örneğin, hesaplamalarda da görüldüğü gibi kalınlık ilk aşamada EN 1993-1-1’e göre kontrol edilmiş, daha sonra kalınlık ve temel boyut oranı kontrolleri EN 1993-1-3’e göre yapılmıştır.

Efektif boyutların ilk aşaması EN 1993-1-5 'e göre, rijitleştirici eleman efektif boyutu son kontrolü ise EN 1993-1-3'e göre yapılmıştır. Yapılan tüm kontroller sonucunda hesaplamalarda kullanılmasına karar verilen efektif boyutlar seçilerek taşıma kapasitesi hesaplarına geçilmiştir. Mevcut bir hafif çelik yönetmeliği olmadığından, yük kombinasyonları Resmi Gazetede yayınlanan 4mm üzeri çelik elemanlar ile oluşturulan yapıları kapsayan Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik'ten alınmıştır. Deprem analizinin yapılabilmesi için ise DBYBHY 'den betonarme ve ağır çelik yapılar için kullanılan koşullar kabul edilip, ivme spektrumu oluşturulmuştur.

Tablo 3.32 : Hesaplamalarda esas alınan yönetmelik tablosu

	AISI 100	EU	TS
Flaş Boyut Kontrolü Rijitleştirilmemiş	AISI 100	-	
Rijitleştirici Uç Eleman Boyut Sınırlandırılması	-	EU 1993-1-3	
Kalınlık kontrolü	AISI 100	EU 1993-1-1 ve EU 1993-1-3	
Efektif Eleman Boyutları	AISI 100	EU 1993-1-3 Ve EU 1993-1-5	
Hesaplamaya Esas Yükler			TS 498
Analize esas Yük Kombinasyonları			Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik (4mm üstü elemanlar için)
Modal Analiz'e Esas Spektrum Hesaplamaları			DBYBHY 2007

Son aşamada, profil taşıma kapasitelerinin analiz sonucu bulunan yüklerden fazla olmasına rağmen profil kesitleri değiştirilmemiştir. Bunun başlıca sebebi, yapıya ait elemanların birbirine bağlayan bağlantı elemanlarının yönetmeliklere göre kontrolünün yapılmamış olmasıdır. Türkiye’de genel kabul olarak cephe ve döşemelerde birleşimler cıvatalı sistem ile yapılmaktadır. İleriye dönük paslanma sorunun yaşanmaması için kaynak tercih edilmemektedir. Bağlantılar genel piyasa kabulüne göre m6 ve m8 cıvatalar ile yapılmaktadır.

Üretici firmalara göre minör değişiklikler gösterse de bağlantılar ortalama 40cm ara ile yapılmakta, elektrik tesisatı, sıhhi tesisat için döşeme ve cephe karkasında 5cm ile 15cm arasında değişiklik gösteren kare veya dairesel delikler açılmaktadır. Yapı incelemesinde tesisat boşlukları içinde ayrıca inceleme gerekmektedir. Cephe karkası genel kabule göre 3 noktadan birbirine clinç adı verilen çift tarafı erkek eleman ile bağlanmakta yanal deplasman böylelikle engellenmektedir. Düşeyde ise aynı elemanlar kullanılarak yine ortalama 40cm aralıklar ile döşeme ve cephe karkası birbirine bağlanmaktadır.

Bağlantı aralıkları, bağlantı elemanı, tesisat boşlukları nedeniyle oluşan zayıflıkları inceleyecek Türkiye’de bir yönetmelik olmamasından dolayı tüm bu detaylar kontrol edilmemektedir. Tez kapsamında görüleceği gibi, bazı mevcut projelerde statik hesaplamaların yapılması ve yapının yönetmeliklere göre incelenmesi istendiğinde yapı profillere ayrılarak incelenmektedir. Dolayısıyla bu incelemeler sonucunda verilen raporların yapıyı tamamen kapsadığını söylemek mümkün olmamaktadır.

Türkiye içerisinde inşa edilen konut ve mobilizasyon yapılarının yanı sıra Ortadoğu, Afrika gibi hızlı mobilizasyon desteği arayan bölgelere ağırlıklı hizmet türk üreticiler yılda betonarme yapı metrajına yakın hafif çelik yapı üretmekte ve monte etmektedirler. Büyük bir pazara sahip olan büyük, orta ve küçük ölçekli üreticiler

için, oluşturulacak bir yönetmelikte, dünyada en yaygın olarak kullanılan iki yönetmelikten yararlanılarak, sadece kesit kontrol ve kapasite hesaplamalarını kapsamayan aynı zamanda bağlantı detayları, profil zayıflıkları gibi yapının bütününe kapsayan ek kontrollerinde bulunması üretici firmalara ve denetleyici kurumlara detaylı hesaplama ve kontrollerin yapılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] AISI S100 (2007), "North American Specification For The Design of Cold Formed Steel Structural Members", Amerika Birleşik Devletleri, 2007
- [2] EN 1993-1-1 (2005), "Eurocode 3: Design of Steel Structures Part1-1: General Rules for Buildings", Avrupa Birliği, 2005
- [3] EN 1993-1-3 (2006), "Eurocode 3: Design of Steel Structures Part1-3: General Rules, Supplementary Rules for Cold Formed Members and Sheetings", Avrupa Birliği, 2006
- [4] EN 1993-1-5 (2006), "Eurocode 3: Design of Steel Structures Part1-5: General Rules, Plates Structural Elements", Avrupa Birliği, 2006
- [5] TS 11372-1994, "Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları", Türkiye,1994
- [6] TS 648-1980, "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", Türkiye, 1980
- [7] TS 498-1997, "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", Türkiye, 1997
- [8] TS 6793-1989, "Konutlar ve Kamu Binalarında Kullanım ve Yerleşim Yükleri", Türkiye, 1989
- [9] TS ENV-1998, "Depreme Dayanıklı Yapıların Projelendirilmesi Tedbirleri", Türkiye, 1998
- [10] DBYBHY-2007, "Türk Deprem Yönetmeliği", Türkiye,2007
- [11] Britanyada Çelik Karkaslı yapıların gelişimi, Alastair A. Jackson, İnşaat Tarihi, Böl 14, 1998)
- [12] Popüler Bilim, Kasım, 1928
- [13] Dorçe Prefabrik Yapı ve İnşaat San. Tic. A.Ş., 2000, "Milli Eğitim Bakanlığı Deprem Bölgesi Okul Projesi, Adapazarı", Web : <http://www.dorce.com.tr/EN,6145/ministry-of-education-earthquake-field-schools--12-scho-.html>)
- [14] Dorçe Prefabrik Yapı ve İnşaat San. Tic. A.Ş., 2009, "16000 People Residential City Al Mafraq, UAE", Web : <http://www.dorce.com.tr/EN,6233/16000-person-residential-city---al-mafraq-abu-dhabi---u-.html>

- [15] Gözdem Paslanmaz Çelik Merkezi San. Ve Tic. A.Ş., “Paslanmaz Çelik Rulo”, Web: [http://www.gozdempaslanmaz.com/paslanmazdetay.asp?ha=1&isim=Paslanmaz %20%C7elik % 20Rulo](http://www.gozdempaslanmaz.com/paslanmazdetay.asp?ha=1&isim=Paslanmaz%20%C7elik%20Rulo)
- [16] Özge Yapı San.Tic.A.Ş.,“ÜretimTesis”, Web:<http://www.ozgeyapi.com/hakkimizda/detay/Uretim-Tesislerimiz/235/348/0>
- [17] Prefabrik Yapı San. Tic. A.Ş. “Depo Binası” , Web: [http://www.prefabrik-yapi.com/celik-yapi/depolar-ve-hangarlar#prettyphoto\[gallery\]](http://www.prefabrik-yapi.com/celik-yapi/depolar-ve-hangarlar#prettyphoto[gallery]) /0/
- [18] Assan Panel A.Ş. “Çatı Paneli, 100R4”, Web: <http://www.assanpanel.com.tr/urunler/sandvic-paneller/cati-paneli/100r4>
- [19] Assan Panel A.Ş. “Cephe Paneli, 1000W”, Web: <http://www.assanpanel.com.tr/urunler/sandvic-paneller/cephe-paneli/1000w>
- [20] Dorçe Prefabrik Yapı ve İnşaat San. Tic. A.Ş., Eylül-2008, Intercity Konut Projesi”,Web: [http://www.dorce.com.tr/EN,3561/intercity-housing-poject--abudhabi-uae.html](http://www.dorce.com.tr/EN,3561/intercity-housing-project--abudhabi-uae.html)
- [21] Resmi Gazete, “Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik”, Türkiye, 2016

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Eğitim Durumu : Üniversite

Doğum Tarihi/Yer : 13.08.1984 İstanbul

Ehliyet : B(2004)

E-mail : selmagunes@gmail.com

DENEYİM

Teknik Satış Temsilcisi

Onduline Avrasya A.Ş. - (2016 Ocak – Devam)

- Bursa, Kocaeli ve İstanbul Anadolu yakasında bulunan bayiler aracılığı ile satış yapmak,
- Mevcut bayi portföyünü geliştirmek,
- Bayilerin satışlarını arttırıcı tanıtım faaliyetlerinde bulunmak,
- Gerekli görülen yeni bölgelerde tanıtım faaliyetlerini bayilerin satış temsilcileri ile birlikte yürütmek,
- Mevcut bayilere yapılan satışların, sipariş, ödeme, anlaşma ve sevkiyatlarını koordine etmek ve gerçekleştirmek,

Teknik Proje Satış Temsilcisi

Onduline Avrasya A.Ş. - (2015 Mayıs – 2016 Ocak)

- İstanbul Anadolu yakasından başlayarak doğuda Bartın'a, güneyde ise Bursa'ya kadar olan bölgede şantiye ve inşaat ofislerini ziyaret etmek, ürün ve firma tanıtımı yapmak,
- Yeni kapsamlı projelerde, yetkililer ile bağlantıya geçip ürünün proje bazında satışını gerçekleştirmek,

Satınalma ve Proje Mühendisi

Ecrin Elektrik Taahüt San. Tic. Ltd. Şti. – (2014 Haziran – 2015 Mayıs)

- Mevcut projelerin şantiye kontrolünü gerçekleştirmek,
- Malzeme tedariki yapmak,
- Elektrik projelerini hazırlamak,

(2013 Eylül ile 2014 Haziran arasında Yüksek Lisans programına ait örgün öğretim programında bulunan İnşaat Mühendisliği Lisans fark dersleri verilmiştir. Bu nedenle ilgili döneme ait iş deneyimi bulunmamaktadır)

İş Geliştirme ve Teknik Danışman

Hekim Holding Prefabrik Yapı - (2012 Şubat- 2013 Eylül)

- Uluslararası projelerin satış öncesi ve sonrası teknik danışmanlığını yapmak, müşterilerin ihtiyaçları doğrultusunda önerilerde bulunmak
- Yurtdışı şantiyelerin denetimini yapmak ve şantiyeleri yönlendirmek, sahada oluşan problemlerin çözümünü sağlamak.
- Üretim, şantiye ve satış departmanları arasındaki koordinasyonu sağlamak.
- Müşteriler tarafından talep edilen kapsamlı projelere uygun tek veya çok katlı prefabrik yapıların, konteyner ve hafif çelik yapıların satışını gerçekleştirmek.
- Kapsamlı projelerde ayrıntılı maliyet çalışması ve raporlaması yapmak,

Proje Satış Mühendisi

Hekim Holding Prefabrik Yapı - (2011 Eylül- 2012 Şubat)

- Talep edilen özelliklere uygun çok veya tek katlı prefabrik yapıların, konteyner ve hafif çelik yapı, projelerinin uygun şartlarda satışlarını gerçekleştirmek.

Teklif Hazırlama Mühendisi

Hekim Holding Prefabrik Yapı - (2011 Şubat- 2011 Eylül)

- Talep edilen özelliklere uygun çok veya tek katlı prefabrik yapıların, konteyner ve konteyner yapılarının, projelerini hazırlamak,
- Maliyet analizlerini yapmak, gerektiğinde özel taleplere göre mahal listeleri ve ayrıntılı maliyet çalışması ve raporlaması yapmak,

Üretim Mühendisi

Hekim Holding Prefabrik Yapı - (2010 Eylül- 2011 Şubat)

- Üretim, sevkiyat ve şantiye departmanları arasındaki koordinasyonu sağlamak,
- Günlük fabrika işleyiş raporlarının hazırlanması ve üst yönetime sunmak,
- Teknik Ofis'e bağlı olarak çok katlı binalar için StruCad programı ile arakat şase, duvar karkası çizimini yapmak ve üretim hattına yüklemek,
- Pano üretimi için malzeme listesinin hazırlamak,
- Mevcut binada ihtiyaca bağlı olarak çatı makaslarının Autocad ve Strucad'a çizimini yapmak. Ve üretim hattına yüklemek,
- Dış ticaret departmanına destek olarak Paketleme ve Sevkiyat Listelerinin hazırlanmak,

Dış Ticaret & İhracat Müşterileri Sorumlusu

SSM Steril Sağlık Malz. San. Tic. A.Ş. - (2009 Ağustos-2010 Eylül)

- Yurtdışı satınalma işlemlerini yapmak,
- Hammadde ithalatı ve son ürün ihracat işlemlerini yürütmek takip etmek,
- İlgili Devlet kurumları ve kişiler arasındaki iletişimi sağlamak,

Gönüllü Hizmet (İngiltere)

Cancer Research UK - (2008 Haziran- 2008 Aralık)

- İlgili yardım kuruluşunda ürün kabulü yapıp, ürünlerin satışa hazırlanmasını sağlamak,

Maden Mühendisi (Stajer) Manisa

Soma Kömür İşletmeleri - (2007 Ağustos- 2007 Eylül)

- Yeraltı İşletme iş yürüyüşü hakkında bilgi edinmek,
- Firmaya ait yeni saha çalışmalarını yapmak ve ihale dosyalarını hazırlamak,

Maden Mühendisi (Stajer) Kütahya

Eti Maden İşletmeleri - (2007 Mayıs – 2007 Haziran)

- Açık Ocak İşletme ve iş yürüyüşü hakkında bilgi edinmek,
- Bitirme projesi için gerekli olan saha verilerini toplamak,
- Ocağın yıllara bağlı üretim planlamasını yapmak ve ocak işleyişini 3D modelleme yaparak ilgili devlet birimine sunmak, (Lisans Bitirme Projesi)

NİTELİKLER

Yabancı Dil

- İngilizce (Çok İyi)
- Almanca (Başlangıç)

Bilgisayar Bilgileri

- Autocad (Ç.İyi)
- StruCad V15 (Orta)
- Samesor U/C Cad-Cam (İyi)
- Sap2000 (Orta)
- Vulcan 3D 7.0 Maden Modelleme (Açık Ocak Modellemesi)
- Ms.Office(Word,Excel,P.P, vb) (Çok iyi)

Sınav Bilgileri

- ALES (Sayısal) % 79,9 - (2012 Kasım)
- KPDS %69 - (2012 Kasım)
- IELTS (Akademik) %72 (6.5/9) - (2008 Aralık)

Alınan Sertifikalar

- Dış Ticaret Uzmanlık Sertifikası 04.10.2009 İhracat Platformu
- ISO 9001-2008 Kalite Yönetim Süreç Eğitimi 03.11.2009 ISTC
- ISO 9001-2008 Kalite Yönetim Dökümantasyon Eğitimi 20.11.2009 ISTC
- ISO 9001-2008 Kalite Yönetim İç Denetçi Eğitimi 27.11.2009 ISTC
- ISO 9001-2008 Kalite Yönetim Sistemi (KYS) Eğitimi 06.12.2009 ISTC
- ISO 14001-2004 Çevre Yönetim Sistemi İç Denetçi Eğitimi 11.12.2009 ISTC
- ISO 18001-2007 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemi İç Denetçi Eğitimi 25.12.2009 ISTC

EĞİTİM

- **Yüksek Lisans : Maltepe Üniversitesi (2012 – 2016)**

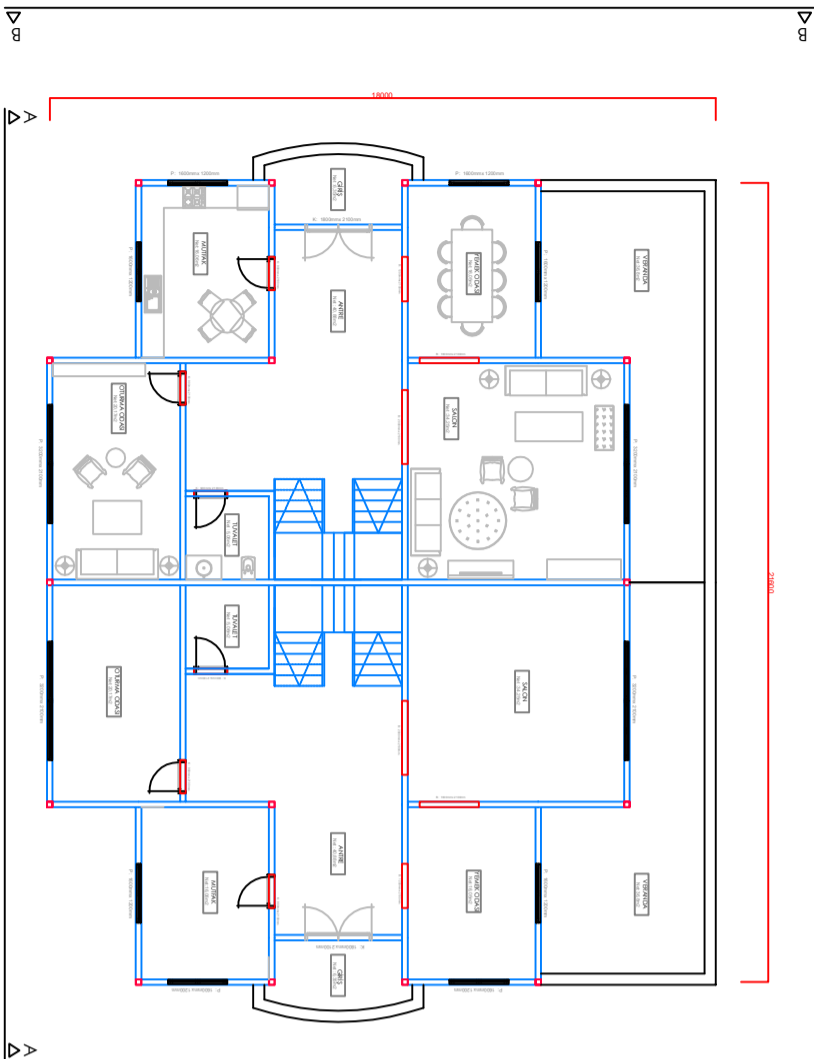
Yapı ve Deprem Mühendisliği (Tezli)

(İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı)

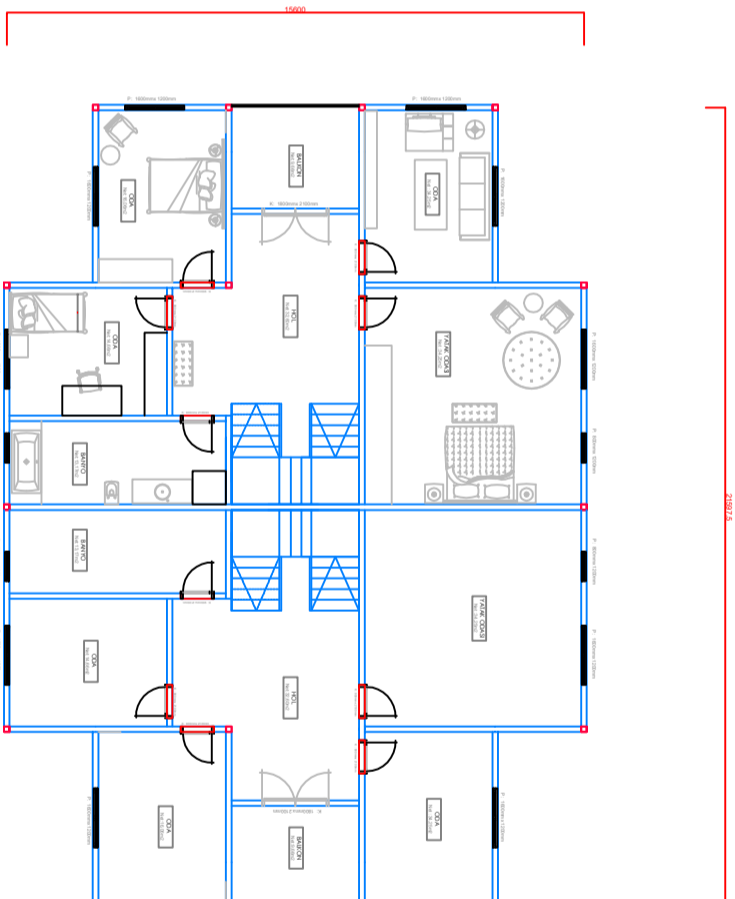
- **Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi (2009 Ocak)**

Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği (İngilizce)

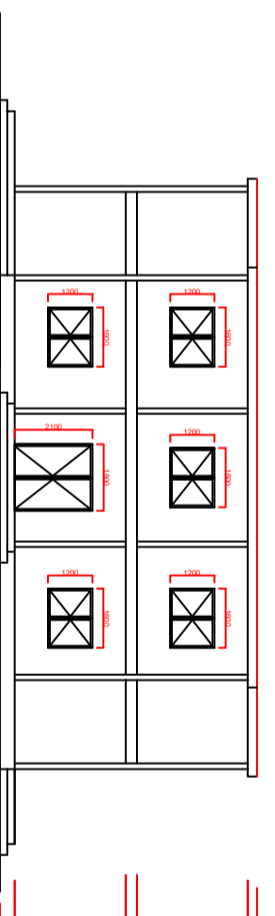
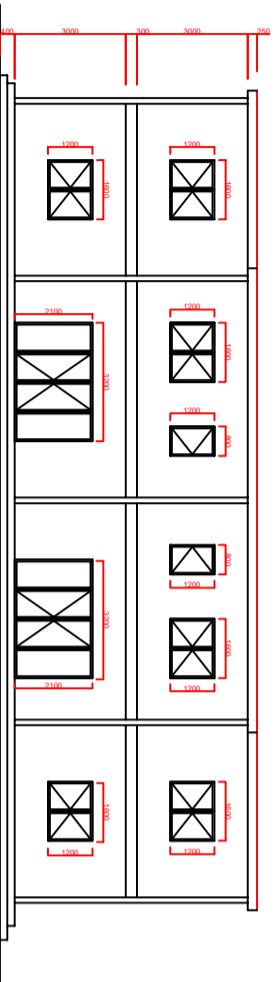
- Lise : Özel Marmara Lisesi (2002)



ZEMİN KAT PLANI



BİRİNCİ KAT PLANI



Bina Oturma Alanı : 288,19 m²

Toplam Alan : 576,38 m²

Kat Yüksekliği (H) : 3,0 m

Cephe Karkas :

C-150x50x20x2mm

U-150x50x2mm

Şase (Döşeme) Karkası:

C-300x50x20x2mm

U-300x50x2mm

Pencere:

P1:1600x1200mm

P2:800x1200mm

Kapı :

K1-dış:3200x2100mm

K2-dış:1800x2100mm

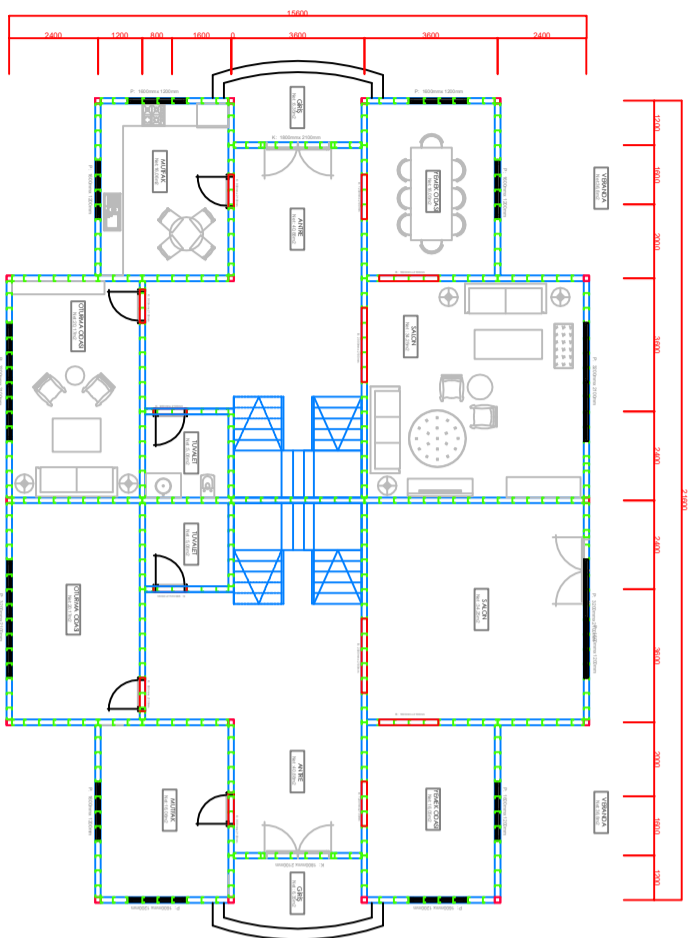
K3-iç:900x2100mm

EK - A

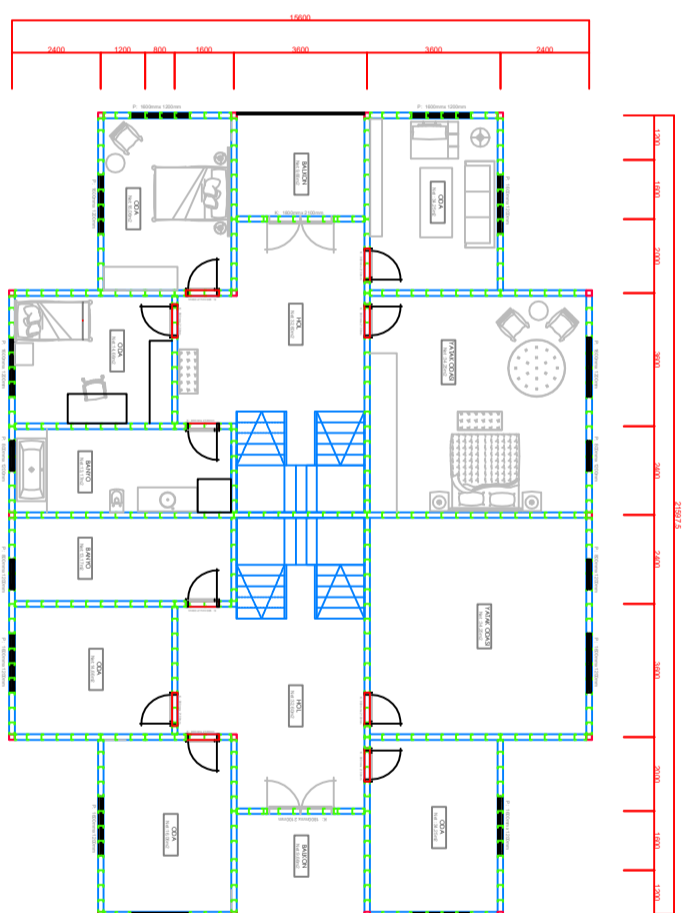
PLAN

VE

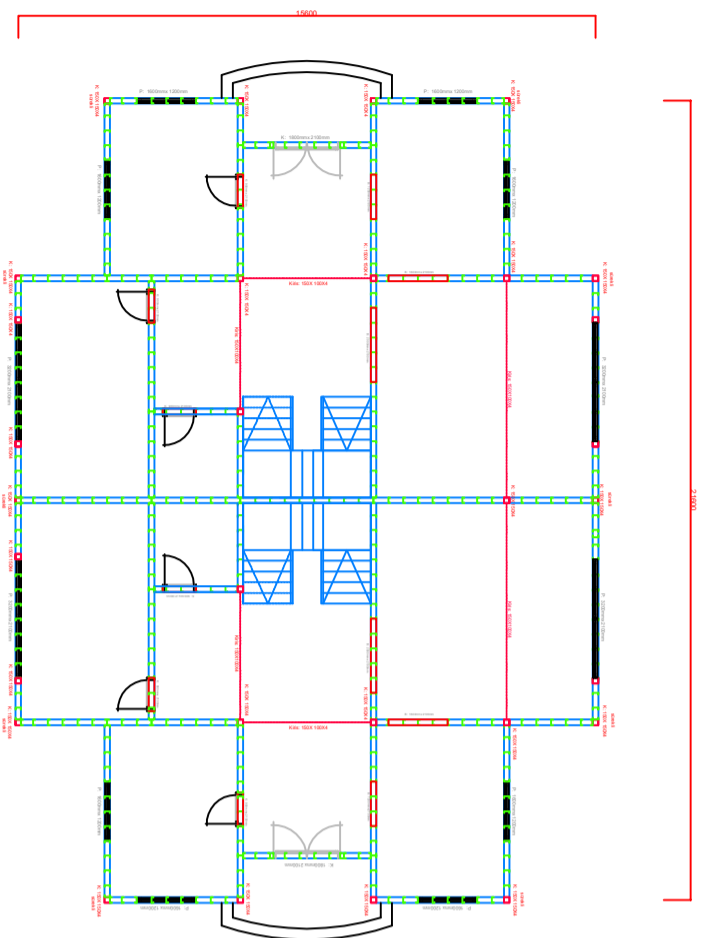
GÖRÜNÜŞ



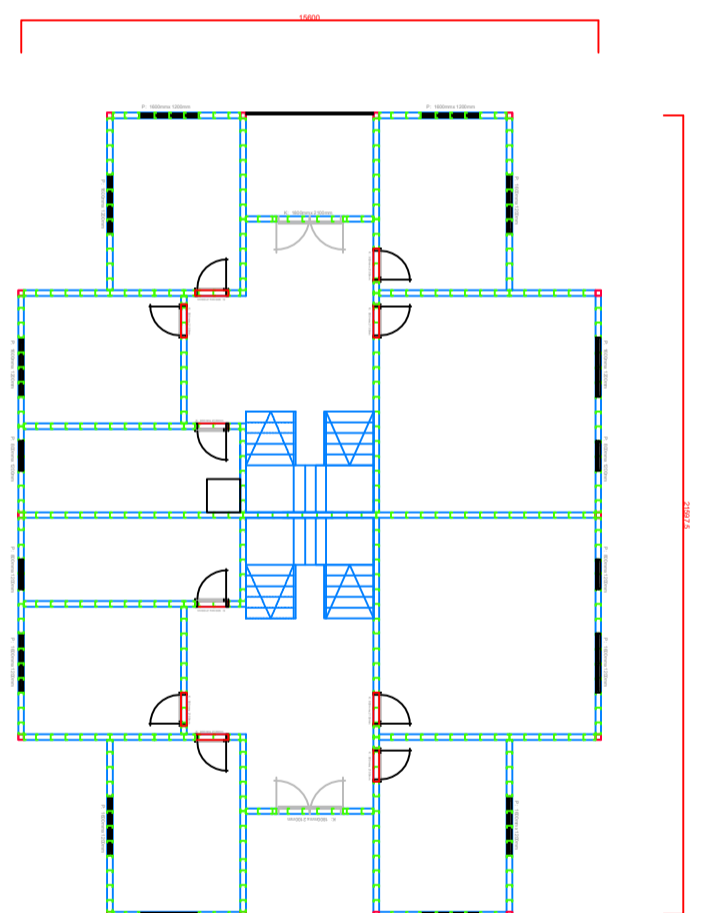
ZEMİN KAT PLANI



BİRİNCİ KAT PLANI



ZEMİN KAT PLANI



BİRİNCİ KAT PLANI

Bina Oturum Alanı : 288,19 m²
 Toplam Alan : 576,38 m²
 Kat Yüksekliği (H) : 3,0 m

Cephe Karkas :

C-150x50x20x2mm
 U-150x50x2mm

Şase (Döşeme) Karkası:

C-300x50x20x2mm
 U-300x50x2mm

Pencere:

P1:1600x1200mm
 P2:800x1200mm

Kapı :

K1-dış:3200x2100mm
 K2-dış:1800x2100mm
 K3-iç:900x2100mm

EK - A

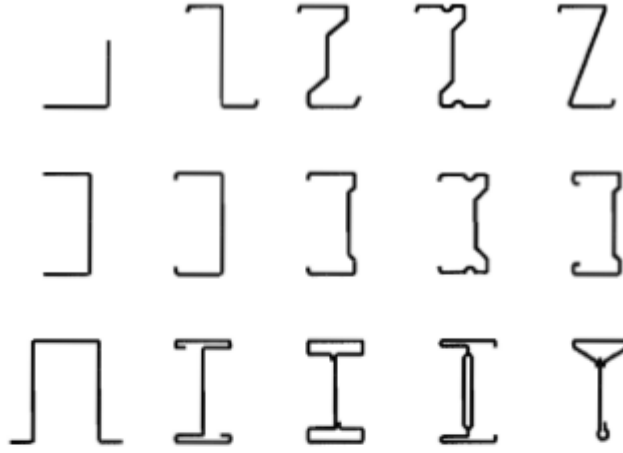
**TASLAK
 STATİK**

EK-B

EN 1993-1-1(2005), EN 1993-1-3 (2006) ve EN 1993-1-5(2006) Yönetmeliklerinden alınan Tablo ve Şekiller

Tablo B1 : Çelik sınıfına uygun kalınlık kontrol tablosu ve EN standartlarına uygun çelik akma ve kopma gerilme değerleri (EN 1993-1-1 (2005), Sf;26, Tablo 3.1) [2]

Standard and steel grade	Nominal thickness of the element t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	$\boxed{AC2}$ 490 $\boxed{AC2}$	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	$\boxed{AC2}$ 490 $\boxed{AC2}$	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550



a) Single open sections



b) Open built-up sections



c) Closed built-up sections

Şekil B1 : Soğuk büküm profil Kesitleri (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 8, Şekil 1.1) [3]



a) Single edge fold stiffeners

b) Double edge fold stiffeners

Şekil B2 : Soğuk büküm profil rijitleştirme tipleri (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 10, Şekil 1.5) [3]


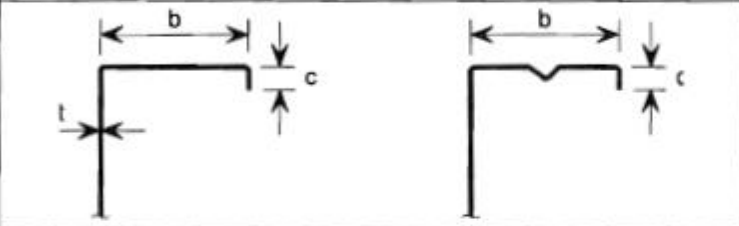
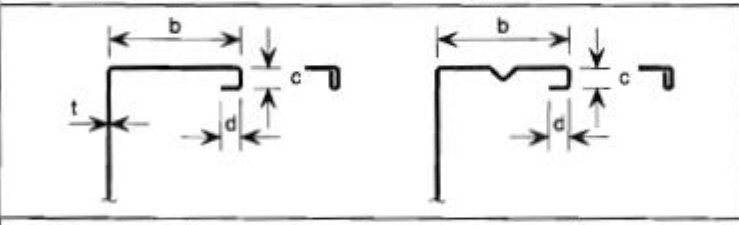

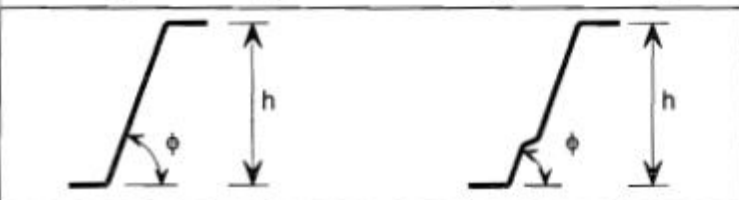
Tablo B2 : Çelik sınıfları ve akma, kopma gerilme değerleri (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 13, Tablo 3.1a) [3]

Type of steel	Standard	Grade	f_{yk} N/mm ²	f_u N/mm ²
Hot rolled products of non-alloy structural steels. Part 2: Technical delivery conditions for non alloy structural steels	EN 10025: Part 2	S 235	235	360
		S 275	275	430
		S 355	355	510
Hot-rolled products of structural steels. Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels	EN 10025: Part 3	S 275 N	275	370
		S 355 N	355	470
		S 420 N	420	520
		S 460 N	460	550
		S 275 NL	275	370
		S 355 NL	355	470
		S 420 NL	420	520
Hot-rolled products of structural steels. Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels	EN 10025: Part 4	S 275 M	275	360
		S 355 M	355	450
		S 420 M	420	500
		S 460 M	460	530
		S 275 ML	275	360
		S 355 ML	355	450
		S 420 ML	420	500
S 460 ML	460	530		

Tablo B3 : Çelik sınıfları ve akma, kopma gerilme değerleri (EN 1993-1-5 (2006), Sf: 17, Tablo 4.1) [4]

Stress distribution (compression positive)				Effective ^p width b_{eff}	
				$\psi = 1$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$	
				$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$	
				$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$	
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	$-1 \leq \psi \leq -3(\frac{AC1}{AC2})$
Buckling factor k_{σ}	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	$23,9$ $5,98 (1 - \psi)^2$

Tablo B4 : Boyut kontrol şartları (EN 1993-1-3 (2006), Sf: 21, Tablo 5.1) [3]

Element of cross-section		Maximum value
		$b/t \leq 50$
		$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
		$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

EK-C

TS 498, TS 648 ve DBYBHY 2007'den alınan Tablo ve Şekiller

Tablo C1 : Kar Yüğü Tablosu (TS498, Sf;7, Çizelge 4) [7]

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliğı	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	≤ 200	0,75	0,75	0,75	0,75
2	300	0,75	0,75	0,75	0,80
	400	0,75	0,75	0,75	0,80
	500	0,75	0,75	0,75	0,85
3	600	0,75	0,75	0,80	0,90
	700	0,75	0,75	0,85	0,95
	800	0,80	0,85	1,25	1,40
4	900	0,80	0,95	1,30	1,50
	1000	0,80	1,05	1,35	1,60
5	> 1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar %10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.			

Tablo C2: Rüzgâr Yüğü (TS498, Sf;10, Çizelge 6) [7]

Yapı Cinsi	Katsayı C	Rüzgâr Yüğü W = c.q			
		q = 0,5 kN/m ²	q = 0,8 kN/m ²	q = 1,10 kN/m ²	q = 1,30 kN/m ²
1) Düzlemsel yüzeyler ile sınırlandırılmış yapı elemanları (Madde 2 istisna)					
1.1)Kapalı Yapı Elemanları					
1.1.1)Rüzgâr yönüne dikey yüzeylerde					
a)Genel olarak	1,2	0,60	0,96	1,32	1,56
b)Kule tipi yapılarda(*)	1,6	0,80	1,28	1,76	2,08
1.1.2)Rüzgâr yönüne α açısı yapan eğimli yüzeylerde					
a)Genel olarak	1,2 Sinα	0,60 Sinα	0,96 Sinα	1,32 Sinα	1,56 Sinα
b)Kule tipi yapılarda	1,6 Sinα	0,80 Sinα	1,26 Sinα	1,32 Sinα	1,56 Sinα

Tablo C3 : Hareketli Yük Tablosu (TS498, Sf,12, Çizelge 7) [7]

Kullanma Şekli			Hesap Değeri	
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	kN/m ²
1		Çatı arası odalar		1,5
2	Zaman zaman kullanılan çatılar	Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m ² 'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları		2
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	Hesap Değeri kN/m ²
3	Konut toleranslarının kullanılması ve çiçeklik (bahçe yapılması)	Hastanelerin mutfakları, muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar, yatakhaneler, anfiler	Konut Merdivenleri	3,5

Tablo C4: Etkin Yer İvmesi Katsayısı Tablosu (DBYBHY 2007, Sf 10) [10]

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>A_o</i>
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo C5: Bina Önem Katsayısı (I), (DBYBHY 2007, Sf 10) [10]

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

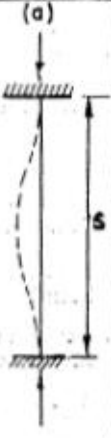
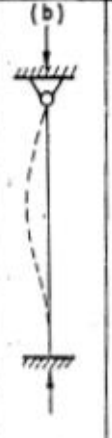



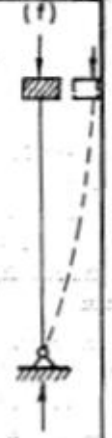




Tablo C6: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (DBYBHY 2007, Sf 13) [10]

<i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i>	<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i>
<u>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u>		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7
<u>(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR</u>		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsalı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsalı olan prefabrike binalar..	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6
<u>(3) ÇELİK BİNALAR</u>		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsalı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Tablo C7: Spektrum Karakteristik Periyotları (DBYBHY 2007, Sf 11) [10]

<i>Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı</i>	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Tablo C8: Basınç çubuklarında burkulma boyu (TS 648, Sf:8, Çizelge 3) [6]

Kesikli çizgilerle basınç çubuğunun burkulma şekli gösterilmiştir.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Teorik burkulma boyu	0,5.s	0,7.s	1,0.s	1,0.s	2,0.s	2,0.s
Tavsiye edilen burkulma boyu S_k	0,65.s	0,8.s	1,2.s	1,0.s	2,10.s	2,0.s
Bilgi	   	Dönme ve öteleme önlenmiş Dönme serbest , öteleme önlenmiş Dönme önlenmiş , öteleme serbest Dönme ve öteleme serbest				

Tablo C9: FE 37 çeliği için burkulma katsayıları (TS 648, Sf:12, Çizelge 6) [6]

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08
30	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16
40	1,17	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
50	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35
60	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,43	1,44	1,45	1,46
70	1,47	1,49	1,50	1,51	1,53	1,54	1,55	1,57	1,58	1,59
80	1,67	1,62	1,64	1,65	1,67	1,69	1,70	1,72	1,74	1,75
90	1,77	1,79	1,81	1,82	1,84	1,86	1,88	1,90	1,92	1,94
100	1,96	1,99	2,01	2,03	2,05	2,08	2,10	2,13	2,15	2,18
110	2,20	2,23	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38	2,41	2,44	2,48
120	2,51	2,55	2,59	2,63	2,66	2,71	2,75	2,79	2,84	2,88
130	2,93	2,98	3,03	3,07	3,12	3,17	3,21	3,26	3,31	3,36
140	3,91	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	3,80	3,86
150	3,40	3,96	4,01	4,07	4,12	4,17	4,23	4,28	4,34	4,39
160	4,45	4,50	4,56	4,61	4,67	4,73	4,79	4,84	4,90	4,96
170	5,02	5,08	5,14	5,20	5,26	5,32	5,38	5,44	5,50	5,57
180	5,63	5,69	5,75	5,82	5,88	5,94	6,01	6,07	6,14	6,20
190	6,27	6,34	6,40	6,47	6,54	6,60	6,67	6,74	6,81	6,88
200	6,95	7,02	7,09	7,16	7,23	7,30	7,37	7,44	7,51	7,59
210	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10	8,18	8,25	8,33
220	8,41	8,48	8,56	8,64	8,72	8,79	8,87	8,95	9,03	9,11
230	9,19	9,27	9,35	9,43	9,51	9,57	9,67	9,76	9,84	9,92
240	10,00	10,09	10,17	10,26	10,34	10,43	10,51	10,60	10,68	10,77
250	10,96									

Tablo C9: FE 52 çeliği için burkulma katsayıları (TS 648, Sf:13, Çizelge 7) [6]

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04
20	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13
30	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24
40	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36
50	1,37	1,39	1,40	1,41	1,43	1,44	1,46	1,47	1,49	1,50
60	1,52	1,54	1,55	1,57	1,59	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68
70	1,70	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80	1,83	1,85	1,87	1,90
80	1,92	1,95	1,97	2,00	2,03	2,06	2,08	2,11	2,15	2,18
90	2,21	2,24	2,28	2,32	2,35	2,39	2,43	2,47	2,52	2,56
100	2,61	2,65	2,70	2,75	2,81	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10
110	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51	3,57	3,63	3,69
120	3,75	3,81	3,88	3,94	4,01	4,07	4,14	4,20	4,27	4,34
130	4,40	4,47	4,54	4,61	4,68	4,75	4,82	4,89	4,96	5,03
140	5,11	5,18	5,25	5,33	5,40	5,48	5,55	5,63	5,71	5,78
150	5,86	5,94	6,02	6,10	6,18	6,26	6,34	6,42	6,50	6,59
160	6,67	6,75	6,84	6,92	7,01	7,09	7,18	7,27	7,35	7,44
170	7,53	7,62	7,71	7,80	7,89	7,98	8,07	8,16	8,25	8,35
180	8,44	8,54	8,63	8,73	8,82	8,92	9,01	9,11	9,21	9,31
190	9,41	9,50	9,60	9,70	9,81	9,91	10,01	10,11	10,21	10,32
200	10,42	10,53	10,63	10,74	10,84	10,95	11,06	11,16	11,27	11,38
210	11,49	11,60	11,71	11,82	11,93	12,04	12,16	12,27	12,38	12,50
220	12,61	12,73	12,84	12,96	13,07	13,19	13,31	13,43	13,54	13,66
230	13,78	13,90	14,02	14,14	14,27	14,39	14,51	14,63	14,76	14,88
240	15,01	15,13	15,26	15,38	15,51	15,64	15,77	15,90	16,02	16,15
250	16,28									