

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği-Yapı Mekaniği Programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tezi çalışmasında, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlardan oluşan çerçeve duvarı, deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Yüksek Lisans Tezi çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, çalışmanın her aşamasında yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan Boduroğlu'na sonsuz teşekkür ederim.

Çalışma sırasında ilgi ve yardımları dolayısıyla Sayın Prof. Dr. Nesrin Yardımcı'ya ve deneysel çalışmalar sırasında yardımlarından dolayı Araş. Gör. Cüneyt Vatansever'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmanın gerçekleşmesinde maddi katkıları dolayısıyla Akşan A.Ş.'ne ve teknik destek veren Proje Müdürü Taner Mermut'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince bana çalışma ortamı sağlayan ve yardımcı olan kuzenlerim Sermin Özkeleş ve Hakan Hösükoğlu'na teşekkür ederim.

Ayrıca bütün eğitim hayatım boyunca sonu olmayan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anneannem Zeynep Hösükoğlu'na, annem Füsun Büyüksişli'ye, ablam Nükhet Mumbuç'a, ve değerli dayılarım M.Ali Hösükoğlu ve Fehmi Hösükoğlu'na çok teşekkür ederim.

Çalışmanın bu konu ile ilgilenenlere, atılacak sonraki adımlar için yol gösterici olmasını ve elde edilen verilerin uygulama açısından faydalı olmasını dilerim.

Mayıs 2004

A. Berna BÜYÜKŞİŞLİ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem.....	3
2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLAR	4
2.1 Yapı Malzemesi Olarak Çelik.....	4
2.1.1 Kullanılan Çelik Malzemenin Özellikleri.....	5
2.2 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profiller ve Kullanıldıkları Yerler....	8
2.2.1 Yapı Sistemlerinin Ana Taşıyıcı Elemanları.....	8
2.2.2 Çatı ve Yan Duvar Kaplamaları.....	11
2.3 Soğukta Şekil Verme Yöntemleri.....	13
2.3.1 Sürekli Şekil Verme.....	13
2.3.2 Pres Kullanma.....	13
2.4 Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanların Yararları.....	14
2.5 Konuyla İlgili Araştırmalar ve Boyutlandırma Standartları.....	15
2.5.1 Yabancı Ülkelerdeki Durum.....	15
2.5.2 Ülkemizdeki Durum.....	16
3. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN BİRLEŞİM YÖNTEMLERİ	17
3.1 Vidalı Birleşim Yöntemi.....	17
3.1.1 Makaslama Kuvveti.....	18
3.1.1.1 Birleşimdeki Makaslama.....	18
3.1.1.2 Vidalardaki Makaslama.....	18
3.1.2 Çekme Kuvveti.....	19
3.1.3 Uygulama.....	21
3.2 Bulonlu Birleşimler.....	24
3.2.1 Kayma, Ara Mesafe ve Kenara Mesafe.....	24
3.2.2 Birleştirilen Her Bir Parçadaki Çekme.....	25
3.2.3 Ezilme.....	25
3.2.4 Kayma ve Çekme.....	27
3.3 Kaynaklı Birleşimler.....	27
3.3.1 Küt kaynaklar.....	27
3.3.2 Ark Spot Kaynakları.....	28
3.3.2.1 Kesme.....	29

3.3.2.2 Çekme.....	32
3.3.3 Köşe Kaynakları.....	33
3.3.4 Eğri Kenarlı Küt Kaynaklar.....	34
3.3.5 Direnç Kaynağı.....	34
4. HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMİ.....	35
4.1 Hafif Çelik Yapılarda İskelet Sistemi.....	35
4.2 Hafif Çelik Yapılarda Taşıyıcı Sistem.....	36
4.3 Duvar Yapısı.....	36
4.4 Korozyon.....	39
4.5 Yangın.....	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	40
5.1 Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Elemanlarla Oluşturulan Çaprazlı Çerçeve Duvarın Kayma Direnci Ölçümü için Yapılan Statik Yükleme Deneyi.....	40
5.1.1 Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması.....	40
5.1.2 Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Elemanlarla Yapılan Çaprazlı Çerçeve Duvarın Üretimi.....	43
5.2 Deney Düzenegi.....	45
5.3 Ölçüm Yöntemi ve Veri Toplanması.....	46
5.3.1 Yer Değiştirme Ölçerler.....	46
5.3.2 Şekil Değiştirme Ölçerler.....	50
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE HESAPLAMALARI.....	55
6.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	55
6.2 Deney Sonuçları.....	56
6.3 Hesaplamalar.....	56
6.3.1 Kapsam.....	56
6.3.2 Tanımlamalar.....	57
6.3.3 Deney Sonucunda Elde Edilen Kuvvet-Yer Değiştirme Eğrisinin Değerlendirilmesi.....	60
7. KURAMSAL ÇALIŞMA.....	61
7.1 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması.....	61
7.2 Çalışmanın Sonuçları.....	66
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
8.1 İleriki Çalışmalar İçin Öneriler.....	70
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	86

KISALTMALAR

TUCSA	:Türk Yapısal Çelik Derneği
ASD	:Allowable Stress Design
LRFD	:Load and Resistance Factor Design
AISI	:American Iron Steel Institute
LVDT	:Linear Voltage Differential Transducer
LGSEA	:Light Gauge Steel Engineers Association
OSB	:Sıkıştırılmış Lifli Ahşap Levha
SAP	:Structural Analysis Program
STRAP	: Structural Analysis Program

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Bulon başı ve somunu altında pul olması halinde ezilmeye göre emniyetle aktarılan yük.....	26
Tablo 3.2 Bulon başı ve somunu altında pul olmaması durumunda ezilmeye göre emniyetle aktarılabilen yük.....	26
Tablo 5.1 Yer değiştirme ölçerlerin özellikleri.....	47
Tablo 5.2 Şekil değiştirme ölçerlerin ismi ve veri toplama kutusuna bağlı oldukları kanalları.....	50
Tablo 6.1 Deney sırasında kayma panelinde gözlenen değişiklikler.....	56
Tablo 6.2 X-çaprazlı çerçeve duvarı deney sonucu.....	59
Tablo 7.1 SAP2000 program çıktısı (düğüm noktası yer değiştirmeleri).....	64

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 :Soğukta şekillendirilmiş kesitlerin çeşitli şekiller	3
Şekil 2.1 :Gerilme-deformasyon eğrisi.....	7
Şekil 2.2 :Gerilme-deformasyon eğrisi.....	7
Şekil 2.3 :Yapılarda kullanılan soğukta şekillendirilmiş kesitler.....	8
Şekil 2.4 :Soğukta şekil verilmiş çelik kirişlerle sıcakta şekil verilmiş elemanların birlikte kullanımı.....	9
Şekil 2.5(a) :New York'taki Dünya Ticaret Merkezi Yapısı'nda kullanılan birleşik makas-panel sistemi.....	10
Şekil 2.5(b) :Dünya Ticaret Merkezi Yapısı'nın birleşik döşeme-panel kesitinin yerleşimi.....	10
Şekil 2.6 :Çatı kaplaması ve yan duvar kaplaması en kesit şekilleri.....	11
Şekil 2.7 :Çatı kaplaması ve yan duvar kaplaması en kesit şekilleri.....	12
Şekil 3.1 :Kullanılan vida çeşitleri.....	20
Şekil 3.2 :Temel birleşim detayı.....	20
Şekil 3.3 :Dikme başlık birleşimi.....	21
Şekil 3.4(a) :Tipik kaynak pulu.....	28
Şekil 3.4(b) :Tipik kaynak pulu.....	28
Şekil 3.5 :Yarıçap tanımları.....	30
Şekil 3.6 :Yarıçap tanımları.....	30
Şekil 3.7 :Tek ince cidarlı levha hali.....	31
Şekil 3.8 :İki ince cidarlı levha hali.....	32
Şekil 3.9 :Bindirmeli birleşim.....	33
Şekil 4.1 :Hafif çelik yapı iskelet sistemi.....	36
Şekil 4.2 :Ara kat döşeme detayı.....	36
Şekil 4.3 :Sıvalı cephe detayı.....	37
Şekil 4.4 :Ahşap kaplamalı cephe detayı.....	37
Şekil 4.5 :Duvar dış köşe birleşim detayı.....	38
Şekil 4.6 :Duvar birleşim detayı.....	38
Şekil 4.7 :Duvar T birleşim detayı.....	38
Şekil 5.1 :Dikme kesiti (AK-CM15015).....	41
Şekil 5.2 :Üç boyutlu dikme kesiti.....	41
Şekil 5.3 :Üç boyutlu başlık kesiti.....	42
Şekil 5.4 :Çaprazlı çerçeve duvarı kesit özellikleri ve detayları.....	44
Şekil 5.5 :Deney temel sistemi.....	45
Şekil 5.6 :Deney düzeneği.....	46
Şekil 5.7 :Yer değiştirme ölçerin gösterimi.....	47
Şekil 5.8 :Yer değiştirme ölçerin gösterimi.....	48
Şekil 5.9 :Yer değiştirme ölçerin gösterimi.....	48
Şekil 5.10 :Yer değiştirme ölçerin gösterimi.....	49
Şekil 5.11 :Yer değiştirme ölçerlerin gösterimi.....	49

Şekil 5.12	:Deney düzeneğinde bütün yer değiştirme ölçerlerin gösterimi...	50
Şekil 5.13	:Çerçeve duvarına yerleştirilen bütün şekil değiştirme ölçerlerin gösterimi.....	51
Şekil 5.14	:S4 ve S5 isimli şekil değiştirme ölçerlerin yerlerinin gösterimi...	52
Şekil 5.15	:SX8 ve SX9 isimli şekil değiştirme ölçerlerin gösterimi.....	52
Şekil 5.16	:Veri toplama kutusu.....	53
Şekil 5.17	:Veri toplama sistemi.....	54
Şekil 6.1	:Yatay ölçüm.....	58
Şekil 6.2	:Kuvvet-yer değiştirme diyagramı.....	60
Şekil 7.1	:Çerçeve duvarının 3 boyutlu görünüşü.....	62
Şekil 7.2	:Çerçeve duvarının düğüm noktası numaraları ve eleman numaraları.....	63
Şekil 7.3	:Çerçeve duvarına uygulanan kuvvetin gösterimi.....	65
Şekil 7.4	:Çerçeve duvarın analiz sonucu 3D deformasyon şekli.....	67
Şekil 7.5	:Çerçeve duvarın analiz sonucu deformasyon şekli.....	68
Şekil A.1	:Basınca çalışan çapraz elemanı burkulması.....	74
Şekil A.2	:Basınca çalışan çapraz elemanı burkulması.....	74
Şekil A.3	:Alt başlık U profilinin yerel burkulması.....	75
Şekil A.4	:Alt başlık U profilinde meydana gelen yerel burkulma.....	75
Şekil A.5	:Üst başlık ve 5. dikme birleşimindeki vida başının kopması.....	76
Şekil A.6	:Alt başlık ve 6. dikme birleşimindeki vida başının kopması.....	76
Şekil B.1	:1.Dikme üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	78
Şekil B.2	:1.Dikme üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	78
Şekil B.3	:1.Dikme üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	79
Şekil B.4	:7.Dikme üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	79
Şekil B.5	:7.Dikme üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	80
Şekil B.6	:7.Dikme üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	80
Şekil B.7	:Çapraz üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	81
Şekil B.8	:Çapraz üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	81
Şekil B.9	:Çapraz üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	82
Şekil B.10	:Çapraz üzerindeki kuvvet-şekil değiştirme diyagramı.....	82
Şekil B.11	:Yatay hareketi gösteren kuvvet-yer değiştirme diyagramı.....	83
Şekil B.12	:Yatay hareketi gösteren kuvvet-yer değiştirme diyagramı.....	83
Şekil B.13	:Sistemin düzlem dışı hareketi.....	84
Şekil B.14	:Sistemin yatay hareketi.....	84
Şekil B.15	:Sistemde dönme için yerleştirilen yer değiştirme ölçerlerin sonuçlarının diyagramı.....	85
Şekil B.16	:Sistemin dönmesi.....	85

SEMBOL LİSTESİ

d	: İtibari vida çapı
Ω	: Güvenlik katsayısı (ASD)
ϕ	: Direnç faktörü (LRFD)
P_{ns}	: Bir vidanın taşıdığı itibari kesme (makaslama) dayanım kuvveti
P_{nt}	: Bir vidanın taşıdığı itibari çekme dayanım kuvveti
P_{not}	: Bir vidanın taşıdığı itibari dışa çekme (pull-out) dayanım kuvveti
P_{not}	: Bir vidanın taşıdığı itibari üstüne çekme (pull-over) dayanım kuvveti
t_1	: Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı
t_2	: Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı
F_{u1}	: Vida başı ile temasta olan elemanın çekme mukavemeti
F_{u2}	: Vida başı ile temasta olmayan elemanın çekme mukavemeti
F_u	: Çekme gerilmesi
d_{wc}	: Net gövde yüksekliği
n	: Kritik en kesitteki delik sayısı
d_h	: Delik çapı
t	: Gövde kalınlığı
P	: Birleşimin taşıyabileceği maksimum yük
n	: Birleşimdeki vida sayısı
P_{ns}	: Bir vidanın dayanımı
R	: Grup etkisi için azaltma faktörü
F_u	: Birleşen saçların kopma mukavemeti
V_n	: Kritik kesitin taşıyabileceği maksimum yük
P_n	: İtibari kayma mukavemeti
e	: Yük doğrultusunda ölçülen bulon merkezinden takip eden deliğin kenarına kadar veya parçanın ucuna kadar olan mesafe
F_s	: Birleştirilen elemanların malzemelerine ait kırılma noktası
A_n	: Faydalı en kesit alanı
r	: (ele alınan kesitten bulon veya bulonlarla aktarılan yük) / (bu kesitte birleştirilen eleman üzerine etkiyen çekme kuvveti) oranı.
s	: Gerilme çizgisine dik bulon aralığı
F_y	: Çelik malzemede akma sınır gerilmesi
L	: Kaynak boyu
t_e	: Kaynak kordonu kalınlığı
d_a	: t kalınlığının ortasında ark spot kaynağının ortalama yarıçapıdır
d_e	: Maksimum kayma kuvveti transfer düzleminde kaynak arkının oluştuğu bölgenin etkili yarıçapı
F_{xx}	: Elektrot malzemesinin mukavemeti
P	: Kaynak tarafından aktarılan istenilen mukavemet (itibari kuvvet) (ASD)
P_u	: Kaynak tarafından aktarılan istenilen mukavemet (faktör kuvvet) (LRFD)
F_{sy}	: Kırılma noktası

P_n	: Köşe kaynağının mukavemeti
t	: Levha kalınlığı
t_w	: Köşe kaynak kordonu kalınlığı
R	: İç köşe yarıçapı
S_{xx}	: Kesit modülü
M_a	: Eğilme momenti
I_{xx}	: Atalet momenti
A	: Kesit alanı
R_x	: Atalet Yarıçapı
S_{yy}	: Kesit Modülü
a	: Sabitlenmiş kayma duvarının yüksekliği
b	: Sabitlenmiş kayma duvarının genişliği
c	: Diyagonal ilk uzunluğu
δ	: Diyagonal uzama
Δ	: Test aletinin ölçtüğü duvarın en üstündeki toplam yatay yer değiştirme
G'	: Global kayma dayanımı
G'_{int}	: Parçanın iç kayma dayanımı
P	: Duvarın üst sınırına seçilmiş referans yer değiştirmesinde etkiyen konsantre yük
P_u	: Enine kesit ölçüsünü kaydedecek kadar uzun süre tutulan en yüksek yük derecesi
S_u	: Parçanın nihai kayma direnci

SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARDAN OLUŞAN ÇERÇEVE DUVARI İÇİN DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMA

ÖZET

Son yıllarda, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanların yapılarda ve diğer alanlarda kullanılması yaygınlaşmıştır. Soğukta şekil verilmiş çelik elemanlarla oluşturulan yapılar, Kuzey Amerika, Avustralya, Avrupa ve Rusya’da yaygın olarak kullanılmakla beraber, bu yapı şeklinin örneklerine Türkiye’de çok nadiren rastlanmaktadır. Türk Yapısal Çelik Derneği istatistiklerinde de belirtildiği üzere, Türkiye’de konutlardaki hafif çelik yapı sistemi uygulaması %0.5 oranındadır. Ülkemizde hafif çelik yapı sisteminin kullanımı 17 Ağustos 1999 İzmit depremi sonrasındaki büyük can kaybı ve bina yıkımı sonrasında, mevcut yapı sistemlerinin irdelenmesi sonucunda başlamıştır.

Bu çalışmada, birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsamı ve sınırları belirtilmektedir. İkinci bölümde; soğukta şekil verilmiş çelik elemanlarla ilgili bilgi verilip, kullanıldıkları yerler, şekil verme yöntemleri, bu elemanların yapıya sağladığı yararlar ve yapılan araştırmalar anlatılmaktadır.

Daha sonra; soğukta şekil verilmiş çelik elemanların birleşim yöntemleri AISI’ya göre verilmiş ve hafif çelik yapı sistemi hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde; soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlarla oluşturulan çaprazlı çerçeve duvarı deneyi yapılmış ve bu deneyde kullanılan ölçme yöntemi anlatılmıştır. Daha sonraki bölümde; deney sonuçları değerlendirilmiş ve E564 Uluslararası Amerikan Standardı’na göre çerçeve duvarın global kayma rijitliği ve nihai kayma dayanımı hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmaya paralel olarak, elde edilen sonuçlarla sonlu elemanlar yöntemiyle modelleme yapılmaya çalışılmıştır.

Son bölümde; deney sonuçları, modelleme sonuçları irdelenmiş, ileride yapılabilecek çalışmalar belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler:Soğukta Şekil Verilmiş, İnce Cidar, Hafif Çelik Yapı, Çaprazlı Çerçeve Duvar, Kayma Dayanımı

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY ON COLD-FORMED THIN-WALLED STEEL FRAME WALL ELEMENTS

SUMMARY

Recently, cold formed thin-walled steel elements have been widely used both in steel constructions and other industries. Framings using lightweight steel sections are extensively used in Northern America, Australia, Europe and Russia due to many advantages they provide. However, applications of the regarding system can rarely be observed in Turkey. As per indicated in the statistics of TUCSA, the portion of residential buildings constructed with lightweight steel is 0.5 per cent in Turkey among all the buildings. The use of lightweight steel structures has begun as a result of the examination of present structure systems due to the great life loss and destruction of many buildings after the catastrophic earthquake in Izmit on August 17, 1999.

The first part of this study deals with the objectives and scope of this research subject. In the second part, information about the cold formed steel elements, their applications, cold forming methods and advantages they provide with the constructions are given. Research done about cold formed steel structures has also been added to this part.

Afterwards, the connection methods of the cold-formed steel elements are given according to AISI standards and detailed information about lightweight steel structures is given.

An experiment about a cold formed steel structured framed wall with bracing has been performed next and the measurement principles are provided accordingly in the fifth chapter. The results of this experiment have been evaluated in the following chapter and the shear stiffness and shear strength of the framed wall with bracing are calculated according to E564 International American Standards.

Using the Finite Elements Method, a modelling is done in the light of the results taken from the above mentioned experiments.

A conclusion about the experiment results is drawn and modelling principles are evaluated in the last portion of this study. In addition to these, possible future research about the subject is determined.

Keywords: Cold-Formed, Thin-Walled, Lightweight Steel Structure, Frame Wall with Bracing, Shear Strength.

1.GİRİŞ

Çok eskilerden beri bilinen bir malzeme olmakla birlikte, çelikte ilk patent 1887’de Benardos, A. Meritem’s’in yöntemi ile ele alınmıştır. Taşıyıcı iskelet olarak çelik ilk önce köprü yapımında kullanılmıştır. İlk çelik köprü 1890’da Almanya’da inşa edilmiştir. Taşıyıcı iskelet olarak çeliğin binalarda kullanılması ise I. Dünya Savaşı sonrasında başlamış, II. Dünya Savaşı sonrasında ise taleplere yetişmek için hızlandırılmıştır [1].

Dünyada hafif çeliğin inşaat sektöründe ana yapı elemanı olarak kullanımı 1945’de II. Dünya Savaşı’ndan sonra Amerika Birleşik Devletleri’nde başlamıştır. Savaş sonrasında hurda olarak nitelendirilen çelik malzemenin tekrar kullanım için eritilip levha haline dönüştürülmesinden sonra, profil olarak, yapıda kullanımı söz konusu olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri’nde ahşap ve kerpiç yapı uygulaması çok fazladır. Sistem olarak ahşap ve hafif çelik yapı sistemleri birbirinin aynıdır, bu yüzden hafif çelik yapı sistemine geçiş kolay olmuştur [1].

20. yüzyılın başından itibaren elektrik fırınlarının kullanılmaya başlanmasıyla, dökme çelik üretimi artmış ve modern çelik yapı tekniğinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Kaynaklı birleşimlerin de uygulama alanına girmesiyle, bugünkü modern çelik konstrüksiyon anlayışı ortaya çıkmıştır [2]. Uzun yıllardır dünyada çelik yaygın bir şekilde pek çok bina tipinde uygulanmaktadır. ABD, Japonya, Kore, Çin gibi deprem bölgesinde bulunan ülkeler yapı çeliği kullanımına büyük önem vermektedir. Bunların dışında Almanya, İsviçre, Fransa deprem bölgesinde olmayıp da yine güvenilirliğine inanarak yapı çeliği kullanmayı tercih etmektedirler [1].

Çelik yapılarda kullanılan iki tür çelik taşıyıcı eleman vardır. Bunlardan ilk grup, yaygın şekilde kullanılan hadde profilleri ve levhaların birbirine kaynaklanması suretiyle üretilen yapma profilleridir. İkinci grup ise, gün geçtikçe uygulama sahası genişleyen soğukta şekil verilmiş profillerdir. Bu profiller, kalınlığı 0.5 mm ile 6 mm arasında değişen çelik levhalara ısıl işleme tabi tutulmaksızın, sürekli şekil verme veya pres kullanılarak şekil verme metotlarıyla üretilirler [3].

Soğukta şekil verilmiş elemanlar; otomobil gövdelerinde, demiryolu vagonlarında, çeşitli ekipmanların imalinde, köprülerde v.b. geniş uygulama alanı bulurlar. Burada, bu tür elemanların yapı taşıyıcı sistemlerindeki kullanılışıyla ilgili konulardan söz edilecektir [3].

Soğukta şekil verilmiş çelik taşıyıcı elemanlar kullanılarak üretilen hafif çelik yapılar konusunda bilgi ve deneyim birikimi, 20. yüzyılın başlarında uçak endüstrisinin mümkün olduğunca hafif, fakat taşıma kapasitesi o nispette yüksek taşıyıcı elemanlara ihtiyaç duymasıyla, hızlanarak yoğun araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Bu tür yapı üretim tekniği ve boyutlandırma prensibiyle ilgili bilgi birikiminin hızlanmasına neden olan ikinci faktör, otomobil endüstrisidir. I. Dünya Savaşı sırasında, otomobil kaportasının ve demiryolu vagonlarının üretimi; ince çelik levhaların soğukta şekillendirilmesi suretiyle elde edilen elemanların kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu teknik daha sonra pencere çerçevesi, kapı doğraması gibi yapıların taşıyıcı olmayan elemanlarının üretiminde kullanılmıştır. Uçak ve otomobil endüstrisinin bu şekilde neden olduğu bilgi ve tecrübe birikimi, soğukta şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanların yapı endüstrisinde de yaygın şekilde kullanılmasına neden olmuştur. Öte yandan, II. Dünya Savaşı'nda ortaya çıkan çelik malzeme darlığı, bu tekniğin daha da gelişmesine neden olmuştur. O zamandan beri bu yapı tekniği hızla gelişmiş, özellikle ABD ve İngiltere'de gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaya devam etmiştir. Bu gelişim İngiltere'den sonra diğer Avrupa ülkelerince de izlenerek yapı endüstrisine uygulanmıştır [3].

Genel olarak soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların yapı tekniğinde sağladığı yararlar şöyle sıralanabilir:

- Sıcakta şekillendirilmiş profillere oranla, orta büyüklükte açıklıklar ve orta şiddette dış yükler için çok daha ekonomik boyutlamaya olanak sağlar.
- Yük taşıma kapasitesi / Ağırlık oranı oldukça yüksek ve farklı kesit şekillerinin ekonomik ve süratli olarak üretilmesi, soğukta şekil vererek mümkün olmaktadır (Şekil 1.1).
- İnce cidarlı çelik strüktür diğer yapı türlerine oranla hafif olduğu için, depremden diğer strüktürlere oranla daha az etkilenir.



Şekil 1.1 Soğukta Şekillendirilmiş Kesitlerin Çeşitli Şekilleri [4]

- Mimari detayların çözümünü kolaylaştıran, aynı zamanda optimum taşıma kapasitesi sağlayan kesit şekillerini kolayca üretmek mümkündür. Yapı elemanları prefabrik olarak imal edileceklerinden üniform kalite sağlayabilme imkanı vardır.

1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem

Bu çalışmada soğukta şekil verilmiş, ince cidarlı çelik elemanlarla oluşturulan çaprazlı çerçeve duvarına statik yatay yükleme deneyi yapılarak çerçeve duvarının kayma dayanımını hesaplamak amaçlanmıştır.

“Soğukta Şekil Verilmiş, İnce Cidarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Çerçeve Duvarı İçin Deneysel Ve Teorik Çalışma” başlıklı tez kapsamında soğukta şekil verilmiş elemanlarla ilgili bilgi verilmiş, kullanıldıkları yerler, şekil verme yöntemleri, bu elemanların yapıya sağladığı yararlar ve birleşim yöntemleri açıklanmıştır. Daha sonra soğukta şekil verilmiş çelik elemanlardan oluşan çerçeve duvarı deneysel ve teorik olarak çalışılıp, E564 Uluslararası Amerikan Standardına göre kayma dayanımı hesaplanmıştır.

2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLAR

Çelik yapılarda kullanılan iki tür çelik taşıyıcı eleman vardır. Bunlardan birincisi, yaygın şekilde kullanılan hadde profilleri ve levhaların birbirine kaynaklanması sonucu üretilen yapma profillerdir. İkincisi ise gün geçtikçe uygulama sahası genişleyen soğukta şekil verilmiş profillerdir [3].

Bu bölümde genel olarak soğukta şekil verilmiş çelik profiller hakkında bilgi verilecektir.

2.1 Yapı Malzemesi Olarak Çelik

Çelik, demir cevherinden elde edilir. Demir cevheri doğada bulunmaz, oksit, hidroksit veya karbonat halinde diğer maddelerle karışık olarak bulunur. Karışımda karbon, kükürt, fosfor, arsen, bakır, silisyum gibi bazı zararlı maddeler mevcuttur. Bu zararlı maddelerin belli bir yüzdeye ulaştırılması için bazı ilaveler gerekmektedir. Bu ilaveler krom, bakır, manganez, silisyumdur. Karbon miktarının çelik üstündeki etkisi büyüktür. Eğer karbon miktarı 17/1000'den büyük olursa çelik işlenmez. Fosfor çeliğin kırılmasına ve gevrek olmasına neden olur. %2 fosfor içeren çelik cam gibi kırılgan olur. Kükürt ise yüksek sıcaklığa maruz kaldığında çeliğin kırılganlığına sebep olur. Çeliğin elde edilişi sırasında ilave edilen maddelerden, krom, manganez ve silisyum mukavemeti artırır [5].

Yapı çeliğinin öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçüktür ve bu da yüksek dayanımlı bir malzeme olduğunun kanıtıdır. Elastisite modülleri betonarmede 210000 kg/cm² iken çelikte 2100000 kg/cm²'dir. Elastisite modülünün çok yüksek olması, stabilite sorunlarına, dinamik yüklere, titreşimlere uygun davranış göstermesini sağlar. Yapısal çeliğin çekme dayanımı, basınç dayanımına eşit, hatta burkulma olayı düşünülürse daha yüksektir [6].

Yapı çeliğinin özgül ağırlığı bünyesindeki karbon oranına göre değişir. Çeliğin erime sıcaklığı 1400°C'dir ve bu özelliği çelik çerçeveli yapılarda yangına karşı önlemler alınmasını gerektirir. Yangın etkisi malzeme yapısı üzerinde fiziksel ve kimyasal

olmak üzere iki şekilde görülür. Isısal deformasyonlar ve erime fiziksel değişimin sonucudur. Erime, sıcaklığın artışı sonucu malzemenin katı halden akıcı hale geçmesi durumudur [5].

Çeliğin ısı iletkenliği 35 kcal/mh °C'dir. Bu katsayı ne kadar düşükse, ısı kaybı o kadar az olur. Çelik, diğer metaller gibi serbest veya sabit elektronlardan kurulu, homojen ve yoğun dokulu kristal sistem sayesinde ısı, ses ve elektriği iyi iletme özelliğine sahiptir. Çeliğin elektrik iletkenliği 14 Mho/m/mm²dir [5].

Kuvvet etkisi ile denge konumundaki malzemede çeşitli bozulmalar meydana gelebilir. Çelik elemanlara uygulanan yükler de, çeliğin iç yapısı üzerinde çeşitli deformasyonlara neden olur. Çeliğe uygulanan mekanik etkiler, kristal sistemler arasında önce elastik ve plastik deformasyonlar oluşturmakta, sonra da bu deformasyonların meydana getirdiği kayma alanı içinde bir noktada çeliğin kopmasına neden olmaktadır. Gerilme değeri akma gerilmesi değerine ulaştığında malzemede büyük plastik deformasyonlar oluşur. Bu nedenle çelikte emniyet gerilmeleri akma sınırına göre belirlenir [5].

2.1.1 Kullanılan Çelik Malzemenin Özellikleri

Çeliğin önemli özellikleri:

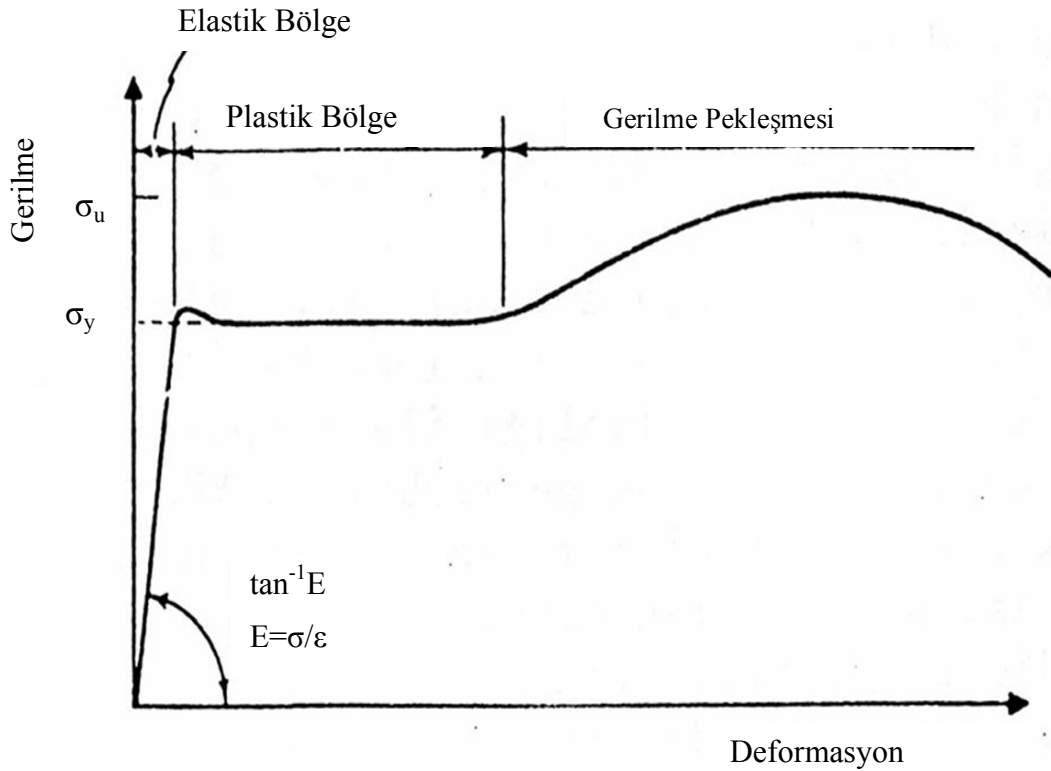
- 1) Akma sınır gerilmesi
- 2) Çekme mukavemeti
- 3) Gerilme-deformasyon eğrisinin şekli
- 4) Elastisite modülü (elastik bölgede eğrinin eğimine eşit bir büyüklüktedir) ve teğet modülü
- 5) Süneklik (malzemede kopmadan önce oluşacak deformasyon kapasitesi)
- 6) Kaynaklanabilme özelliği
- 7) Yorulma mukavemeti
- 8) Sertlik

Soğukta şekillendirilerek üretilen ince cidarlı elemanların üretiminde çeliğin bu özelliklerine uygun olmasına dikkat edilmelidir. Soğukta şekil verilmiş çelik taşıyıcı

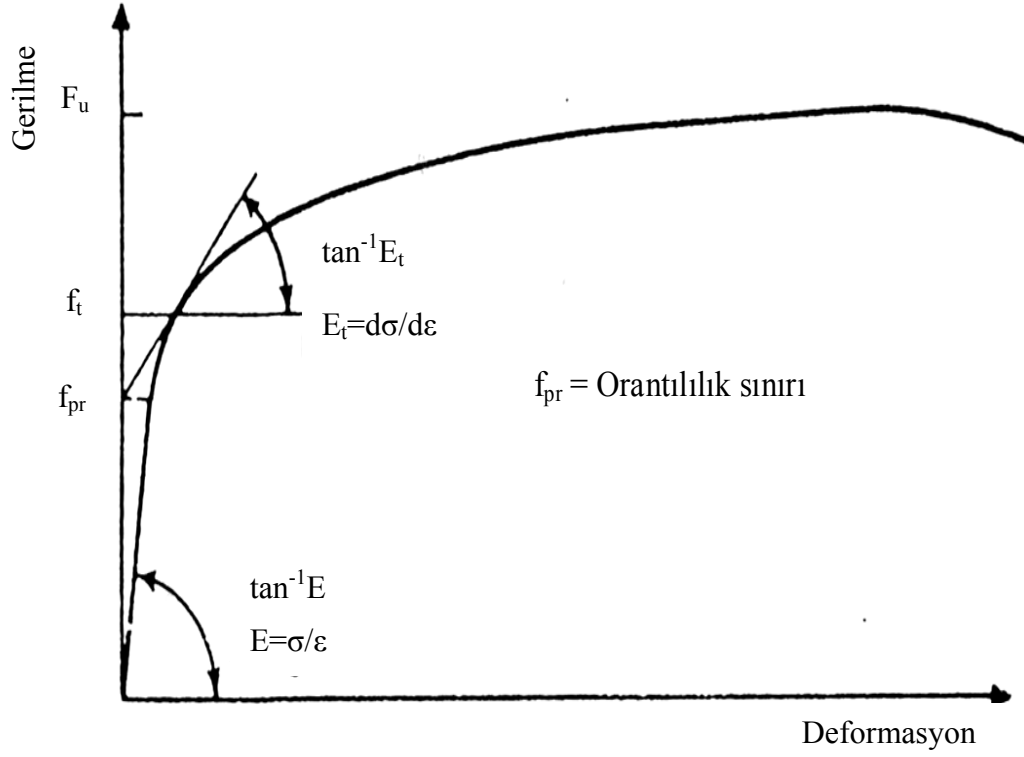
elemanların yük taşıma kapasiteleri, elastik yerel burkulma veya tümsel burkulmanın kritik olduğu haller dışında, kullanılan malzemenin akma sınır gerilmesine bağlıdır.

Genel olarak soğukta şekil verilmiş elemanların üretiminde kullanılan çelik cinsleri için Şekil 2.1’de görüldüğü gibi iki tip gerilme- deformasyon eğrisi vardır. Bunlardan birincisi, Şekil 2.1 (a)’da görülen ani akma özelliğidir. İkincisi ise Şekil 2.1 (b)’de görülen tedrici akma özelliğindedir. Sıcakta haddeleme suretiyle üretilen çelik malzeme, Şekil 2.1 (a)’da görüldüğü gibi ani akma özelliği gösterir. Bu tip çelik malzemede akma sınırı, gerilme-deformasyon eğrisinin yatay hale geldiği gerilme seviyesi ile tanımlanır. Öte yandan, soğukta haddeleme şeklinde üretilen çelik malzemede ise Şekil 2.1 (b)’de görüldüğü gibi gerilme deformasyon eğrisi tedrici akma özelliği gösterdiğinden akma sınırı kalıcı plastik deformasyon yöntemiyle saptanır [3].

Bu yöntemde akma gerilmesi, %0.2 değerindeki kalıcı plastik deformasyonu ϵ ekseninde temsil eden noktadan, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, gerilme deformasyon eğrisinin başlangıçta sahip olduğu doğrusal kısma çizilen paralelin eğriyi kestiği nokta ile tanımlanır [3].

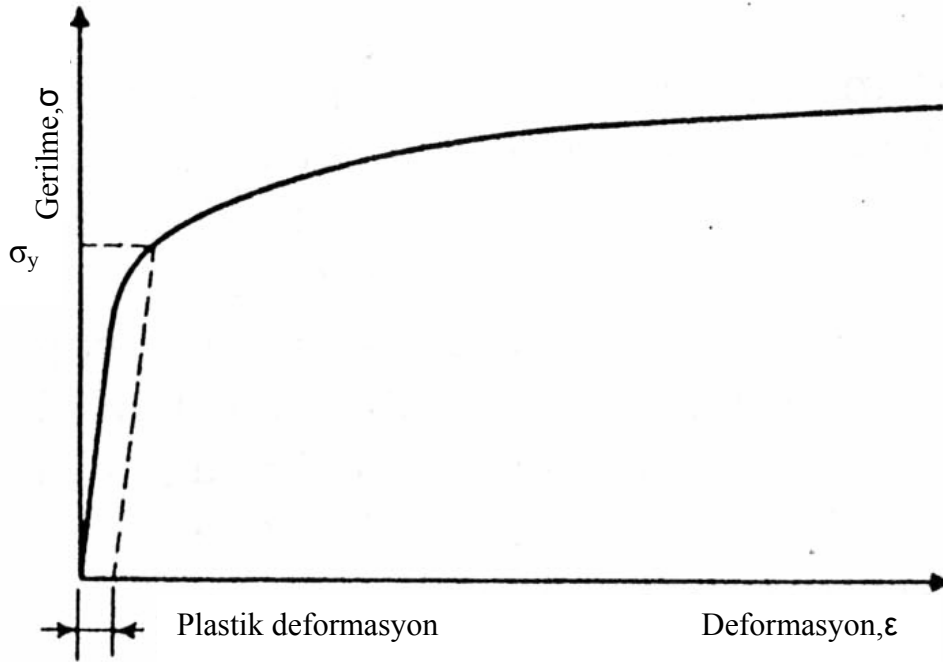


(a) Ani Akma Özelliğindeki Çelik



(b) Tedrici Akma Özelliğindeki Çelik

Şekil 2.1 Gerilme – Deformasyon Eğrisi[3]



Şekil 2.2 Gerilme - Deformasyon Eğrisi [3]

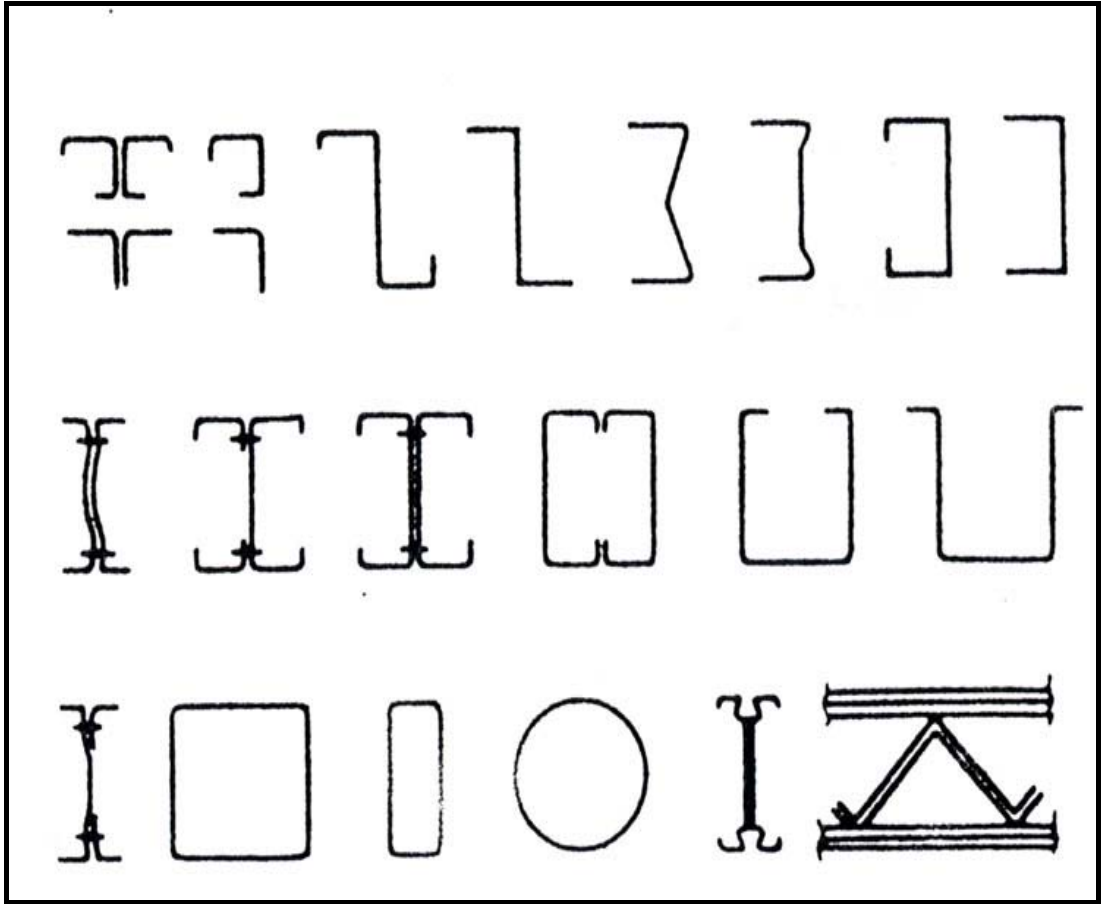
2.2 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profiller ve Kullanıldıkları Yerler

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlar iki ana grupta toplanabilir:

- 1) Yapı sistemlerinin ana taşıyıcı elemanları
- 2) Çatı ve yan duvar kaplamaları

2.2.1 Yapı Sistemlerinin Ana Taşıyıcı Elemanları

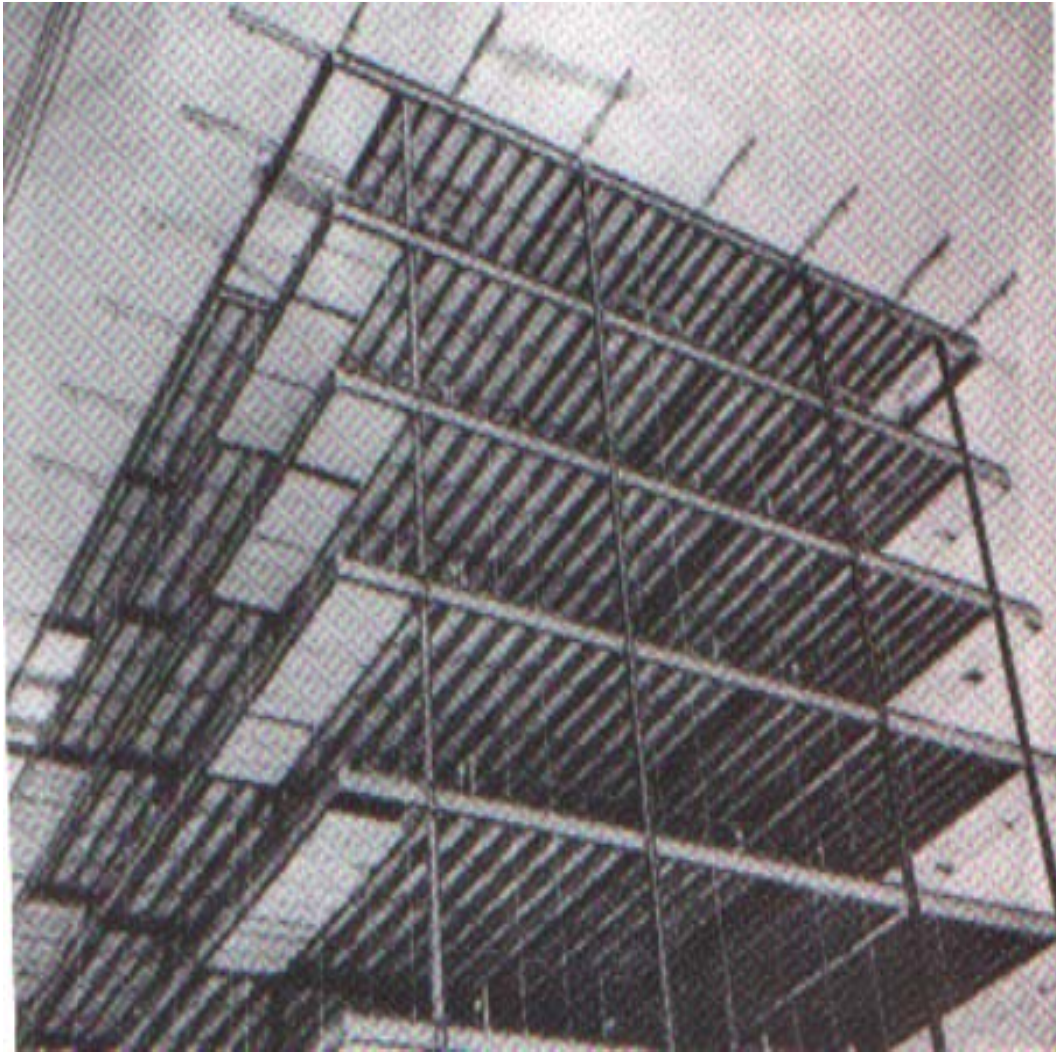
Şekil 2.3’de yapıların ana taşıyıcı sistemlerinde kullanılan bazı soğukta şekil verilmiş ince cidarlı kesitler görülmektedir. En çok kullanılanlar, Şekil 2.3’de görülen U, L, ve şapka şeklindeki kesitlerle; I, T ve dairesel, dikdörtgen, kare en kesitli boru elemanlardır. Genel olarak, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı ana taşıyıcı elemanların yüksekliği, 50 mm ile 300 mm arasında; et kalınlıkları ise 2 mm ile 6mm arasında değişmektedir. Bu kesitler, üç veya dört katlı yapıların ana taşıyıcı sistemlerinin birinci derecede yük taşıyan elemanları olarak kullanılır [3].



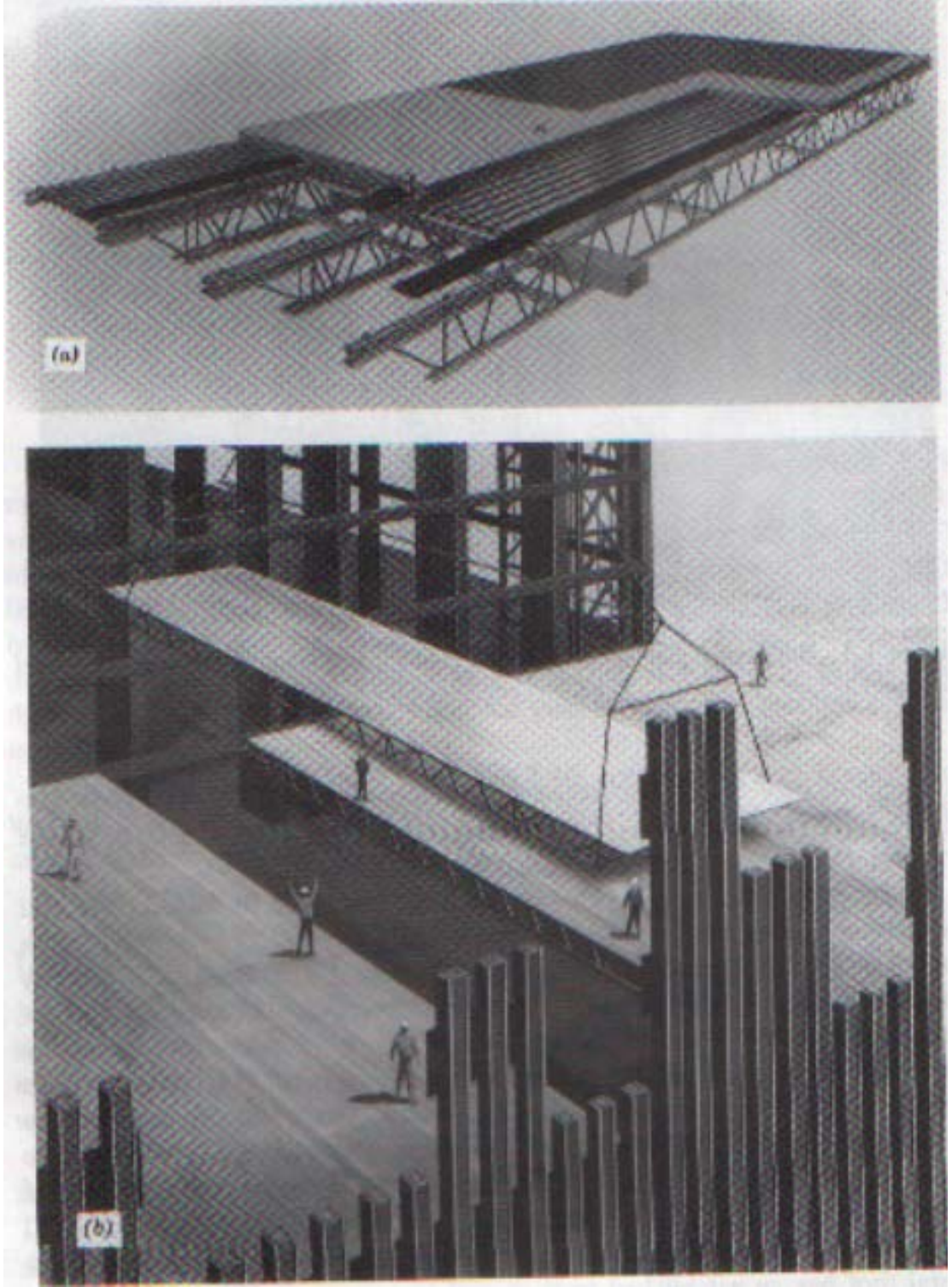
Şekil 2.3 Yapılarda Kullanılan Soğukta Şekillendirilmiş Kesitler [4]

Çok katlı yapılarda; ana taşıyıcıyı, sıcakta şekil verilmiş çelik elemanlarla ve ikincil olarak da yani kiriş ve panel gibi soğukta şekil verilmiş çelik elmanlarla birlikte kullanılabilirler (Şekil 2.4; Şekil 2.5). Bu durumda, sıcakta şekil verilmiş ağır çelik elemanlar ve soğukta şekil verilmiş çelik profiller birbirlerini tamamlarlar [4].

Şekil 2.4 Soğukta şekil verilmiş çelik kirişlerle sıcakta şekil verilmiş elemanların beraber kullanımını göstermektedir. Şekil 2.5 (a)'da New York'taki Dünya Ticaret Merkezi Yapısında kullanılan birleşik makas-panel sistemi ve Şekil 2.5 (b)'de ise yine Dünya Ticaret Merkezi Yapısı'nın birleşik döşeme-panel kesitinin yapılışı gösterilmektedir [4].



Şekil 2.4 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Kirişlerle Sıcakta Şekil Verilmiş Elemanların Birlikte Kullanımı (Stran-Steel Corporation) [4]



Şekil 2.5 (a) New York'taki Dünya Ticaret Merkezi Yapısında Kullanılan Birleşik Makas-Panel Sistemi (Laclede Steel Company)

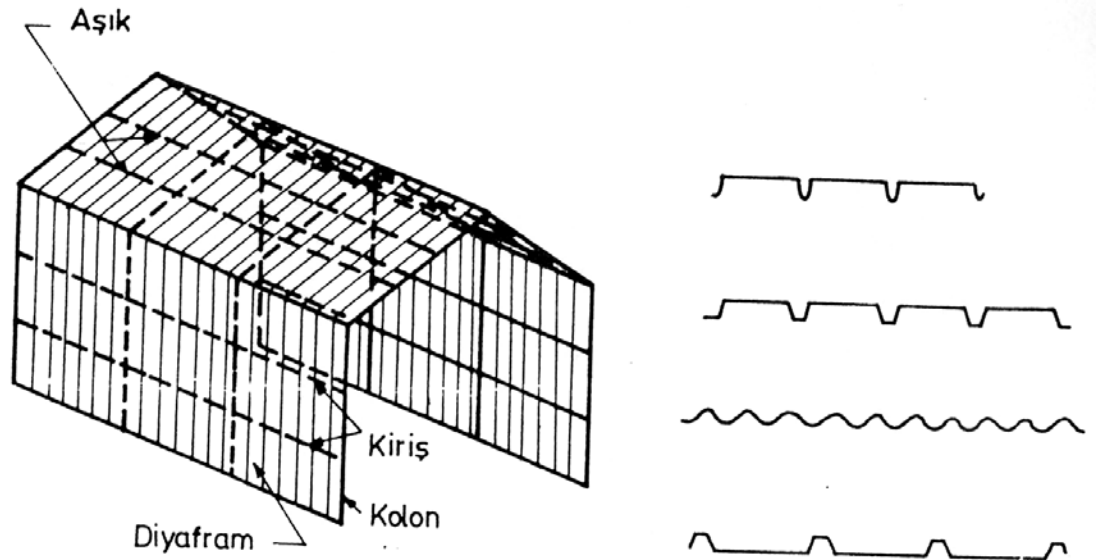
(b) Dünya Ticaret Merkezi Yapısı'nın Birleşik Döşeme-Panel Kesitinin Yerleşimi [4]

2.2.2 Çatı ve Yan Duvar Kaplamaları [3]

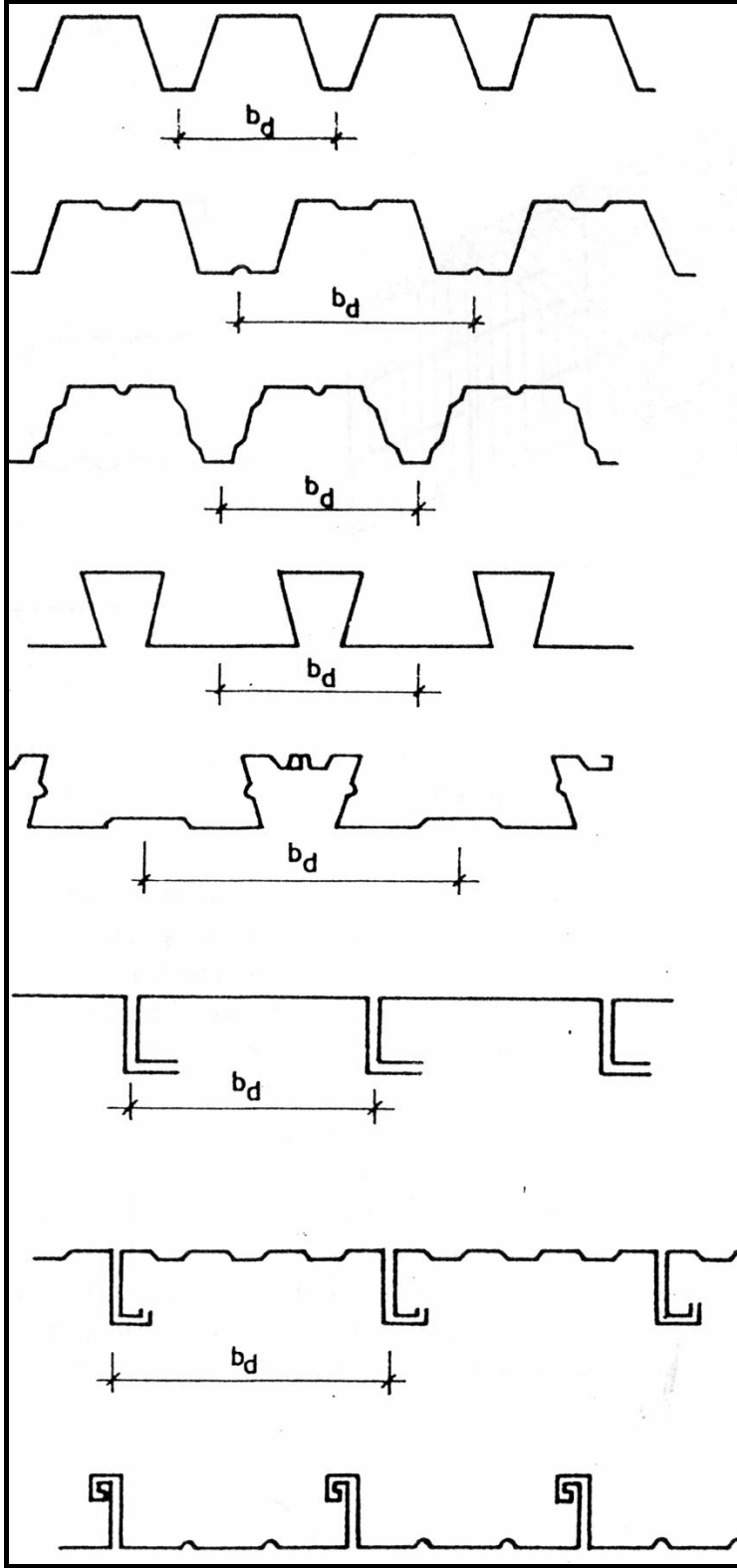
Bu taşıyıcı elemanlar iki amaçla kullanılırlar:

a) Çatı kaplaması veya yan duvar kaplaması olarak aşık veya kuşaklar arasında, düzlemlerine dik etkiyen rüzgar veya kar yükü ve ölü yükleri; basit kiriş, sürekli kiriş gibi statik sistemlerde taşıyıp, ayrıca yapının içini dış ortamdandan ayırırlar. Bunlar 0.3 mm'den 1.20 mm'ye kadar değişen kalınlıklarda alüminyum alaşım malzemedenden; galvanizlenmiş veya darbeye dayanıklı fırın boyayla boyanmış çelik malzemedenden Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de görülen en kesit şekillerinde üretilirler. Ülkemizde bu elemanların belirli en kesit şekilleri için üretimi vardır.

b) Çatı ve yan duvar paneli olarak kendi düzlemleri içinde kesme kuvveti taşıyarak yan duvar çaprazı veya çatı düzlemi çaprazı görevini görürler. Böyle bir yük taşıma kapasitesine sahip olabilmeleri için; yan duvar veya çatı düzlemi aşıklarıyla, ana taşıyıcı çerçeve üst başlığına kesme kuvveti taşıma kapasitesi olan özel saç vidalarıyla bağlanmaları gerekir.



Şekil 2.6 Çatı Kaplaması ve Yan Duvar Kaplaması En kesit Şekilleri [3]



Şekil 2.7 Çatı Kaplaması ve Yan Duvar Kaplaması En kesit Şekilleri [3]

2.3 Soğukta Şekil Verme Yöntemleri

Çelik levhaya soğukta şekil vermenin iki yolu vardır:

- a) Sürekli şekil verme
- b) Pres kullanma

2.3.1 Sürekli Şekil Verme

Saç şeridi çeşitli kademelerde adım adım şekillendirilerek son formunu alır. Bu adımların her birine pas veya istasyon adı verilir. Bir kesit şeklinin oluşması için gerekli pas veya istasyon sayısı, kesit şeklinin ne kadar karmaşık olduğuna bağlıdır. Örneğin, 2mm'nin üstünde et kalınlığı olan bir Z kesitin oluşturulması için beş veya daha fazla pas gereklidir [3].

Sürekli şekil verme yönteminin en belirgin üstünlüğü, üretim hızının yüksek olması ve önceden galvanizlenmiş veya boyanmış malzemenin kaplamasına hasar verilmeden şekillendirilebilmesidir [3].

2.3.2 Pres Kullanma

Bu şekil verme işleminde daha çok kısa boydaki elemanlar üretilir. Kesit şeklini oluştururken meydana getirilen her köşe bir pres darbesiyle oluşturulur. Üretilebilecek kesitin karmaşıklığı kullanılan pres yatağının şekline bağlıdır. Bu amaçla kullanılan preslerin basma gücü genellikle 3-3.5 m uzunlukta eleman oluşturulmasını sağlar. Fakat 8 m uzunluğunda eleman üretimini sağlayan kuvvetli presler de vardır [3].

Ülkemizde soğukta şekil verilmiş profiller üretilmektedir. Örneğin, Akşan Yapı Çelik Fabrikası'nda, Hafif Çelik Yapı sistemlerinde kullanılan yapı elemanları, Hot Dip Galvanized teknolojisiyle üretilen, sıcak hadde rulo galvaniz saclardan, soğuk şekillendirilerek imal edilirler (Cold Forming). Et kalınlıkları 0.50 mm ile 2.50 mm arasında statik hesaplar gözetilerek seçilir. Rolforming makinelerinde soğuk olarak çekilen profiller delme kabiliyeti olan vidalar aracılığıyla birleştirilir. Bu vidalar korozyona karşı dayanıklı olmaları için galvanizlenmiş veya co-polimer ile kaplanmıştır [7].

2.4 Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanların Yararları

- Çelik profiller homojen, izotrop, yüksek rijitlik, yüksek düktilite özelliklerinin yanında sürekli denetlenerek üretildiğinden güvenilirlerdir.
- İnce cidarlı çelik strüktür diğer yapı türlerine oranla hafif olduğu için, depremde diğer strüktürlere oranla daha az etkilenir.
- Galvanizleme yoluyla sağlanan korozyon direnci, sistemin uzun ömürlü olmasını sağlar.
- Hava şartlarına bağlı olmaksızın her iklimde sürekli inşaat yapılabilir.
- Çelik geri dönüşümlüdür, doğaya zarar vermez.
- Uygulamada herhangi bir şekilde kalıp kullanılmadığından ölü malzeme maliyeti yoktur.
- Ön üretim sırasında tesisat geçişlerine ait delikler açıldığından elektrik tesisatı, sıhhi ve kalorifer tesisatı işçiliğinden tasarruf sağlar.
- Yüksek kapasitede süratli bir yapı üretimi sağlar. Yapı sistemlerinin montaja hazır biçimde çok sayıda üretilip stoklanması mümkündür.
- Mimari detayların çözümünü kolaylaştıran, aynı zamanda optimum taşıma kapasitesi sağlayan kesit şekillerini kolayca üretmek mümkündür. Yapı elemanları prefabrik olarak imal edileceklerinden üniform kalite sağlayabilme imkanı vardır.
- Hadde profillerine oranla, orta büyüklükte açıklıklar ve orta şiddete dış yükler için çok daha ekonomik boyutlamaya imkan verirler.
- Yük taşıma kapasitesinin ağırlığa oranı oldukça yüksek değişik kesit şekillerini ekonomik ve hızlı bir şekilde üretmek soğukta şekil verilerek mümkün olmaktadır.
- Soğukta şekil verilmiş çelik taşıyıcı elemanların oluşturduğu yapılar prefabrik özelliktedir. Yapıyı oluşturan taşıyıcı özellikteki elemanlarla, birinci derecede taşıyıcı özelliği olmayan detay parçaları ve kaplama elemanları, önceden imal edilip koruyucu ve dekoratif özellikteki boyalarla boyandıktan sonra, yapı yerinde monte edilirler.

2.5 Konuyla İlgili Araştırmalar ve Boyutlandırma Standartları

2.5.1 Yabancı Ülkelerdeki Durum [3]

1930’larda ABD’de soğukta şekil verilmiş taşıyıcı elemanların kullanılması sırasında çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır. O sırada kullanılan standartlarda soğukta şekil verilmiş taşıyıcı elemanların boyutlandırma prensipleri ile ilgili madde yoktu. Ayrıca, bu taşıyıcı elemanların yük altında davranış biçimleri ve göçme mekanizmaları sıcak hadde ürünü ağır çelik taşıyıcı elemanlarından farklıydı ve aynı zamanda, kullanılan elemanların profil şekilleri, üretim yöntemleri, birleşim araçları ve bunların yapı içinde kullanılış biçimleri, alışılmış çelik yapılarından birçok noktada farklılık göstermekteydi. Sonuç olarak, sıcak hadde ürünü çelik yapı standartları soğukta şekil verilmiş çelik yapıların dizayn özelliklerini kapsamıyordu.

Bu tür yapıları konu eden bir standardın hazırlanması gereği vurgulu bir şekilde ortaya çıkmıştı. Öte yandan bu standardın hazırlanmasına alt yapı teşkil edecek olan araştırma sonuçları ve uygulama tecrübesi birikimi, yeterli seviyede değildi. Bu konuda hazırlanacak bir standarda altyapı sağlayacak bilgileri üretmek amacıyla, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanların, çeşitli yükleme hallerinde davranışlarını incelemek üzere; Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute) tarafından, Cornell Üniversitesi’ne 1939’dan başlamak üzere sürekli araştırma fonları sağlanmıştır. Daha sonra bu tür araştırma projeleri yine aynı Enstitü tarafından diğer ABD üniversitelerine de sağlanarak, üretilen araştırma sonuçlarının kapsamı genişletilmiştir. 1939 yılından beri bu araştırma faaliyetleri sürdürülmektedir. Cornell Üniversitesinde başlatılan bu araştırma, ölümüne kadar Prof. Dr. George Winter başkanlığındaki bir araştırma grubu tarafından yürütülmüştür. Ölümünden sonra bu görevi Prof. Dr. Teoman Peköz almıştır.

Başta Cornell Üniversitesi olmak üzere birçok ABD üniversitelerinde yapılan araştırma sonuçları ve bu alanda elde edilen uygulama tecrübesindeki birikim; 1946 yılında Specification for Design of Light Gage Steel Structural Member isminde, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanların boyutlandırma kurallarını içeren bir standardın, AISI (American Iron and Steel Institute) tarafından hazırlanarak yayınlanmasını sağlamıştır. Bu standart daha sonra, elde edilen yeni araştırma sonuçları ve uygulamadan yansıyan tecrübe birikimi sayesinde gittikçe

gelişerek son halini almıştır. Bu standart; Alman, İspanyol, İtalyan, Çin, Fransız, Çekoslovak ve Polonya dillerine tercüme edilmiş olup, birçok ülkenin standardına alt yapı teşkil etmiştir.

Bu konuda; İngiltere, Kanada, Almanya, Fransa, Japonya, Hindistan başta olmak üzere çeşitli ülkeler kendi ulusal standartlarını hazırlamışlardır. Bu standartların bazı boyutlandırma kuralları AISI standardına dayanmakla birlikte her ülke kendi ekonomik ve teknolojik özelliklerini göz önünde tutarak, çeşitli araştırmalar yapmak suretiyle ulusal standartlarına altyapı teşkil eden bilgi birikimini gerçekleştirmişlerdir. Örneğin; İngiltere’de Bristol, Cambridge, London, Cardiff, Oxford, Southampton, Liverpool ve Swansea Üniversitelerinde 1949 yılından beri bu konuda çeşitli araştırma projeleri yürütülmüştür. Bu sayede, 1958 yılında ilk İngiliz Standardı, İngiliz Standartlar Enstitüsü tarafından Specification for the Use of Cold-Formed Steel Sections in Buildings, BS449 adı altında yayınlanmıştır. Benzer şekilde, Kanada’da birçok üniversitede araştırma projeleri yapılmış, bu konudaki ilk Kanada Standardı 1963 yılında Kanada Standartlar Birliği tarafından yayınlanmış ve daha sonra bu standart yenilerek geliştirilmiştir.

2.5.2 Ülkemizdeki Durum

Ülkemizde, İstanbul Teknik Üniversitesi Çelik Yapılar Çalışma Grubu Öğretim Üyeleri çeşitli araştırmalar sonucu ve başta AISI standardı olmak üzere çeşitli ülke standartlarını inceleyip, yorumlayarak bir Türk Standardını yani Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları adı altında TS 11372’yi hazırlamışlardır ve 1994 yılında Türk Standartları Enstitüsü tarafından bu standart çıkarılmıştır. Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulmuş Hafif Çelik Yapılarla ilgili çalışmalar ve araştırmalar başta İstanbul Teknik Üniversitesi olmak üzere diğer bazı üniversitelerde de devam etmektedir.

3. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN BİRLEŞİM YÖNTEMLERİ

Hafif çelik yapımında kullanılan birleşim yöntemleri:

- Vidalı Birleşimler
- Bulonlu Birleşimler
- Kaynaklı Birleşimler
- Perçinli Birleşimler olarak sıralanabilir.

3.1 Vidalı Birleşim Yöntemi [8]

Notasyon:

d =İtibari vida çapı

Ω =3.0 Güvenlik katsayısı (ASD)

ϕ =0.5 Direnç faktörü (LRFD)

P_{ns} =Bir vidanın taşıdığı itibari kesme (makaslama) dayanım kuvveti

P_{nt} =Bir vidanın taşıdığı itibari çekme dayanım kuvveti

P_{not} =Bir vidanın taşıdığı itibari dışa çekme (pull-out) dayanım kuvveti

P_{not} =Bir vidanın taşıdığı itibari üstüne çekme (pull-over) dayanım kuvveti

t_1 =Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı

t_2 =Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı

F_{u1} =Vida başı ile temasta olan elemanın çekme mukavemeti

F_{u2} =Vida başı ile temasta olmayan elemanın çekme mukavemeti

Minimum Mesafe:

- Bağlantı elemanlarının merkezleri arasındaki mesafe $3d$ 'den az olamaz.
- Ayrıca bir bağlantı elemanının merkezi ile herhangi bir parçanın uç noktaları arasındaki mesafe $3d$ 'den az olmayacaktır. Bağlantı bir doğrultuda kesme kuvvetine maruz ise minimum uç mesafesi yüke dik yönde $1.5d$ olacaktır.

3.1.1 Makaslama Kuvveti

3.1.1.1 Birleşimdeki Makaslama

Bir vidanın taşıdığı itibari kesme dayanım kuvveti P_{ns} , üç duruma göre belirlenir.

- $t_2 / t_1 \leq 1.0$ için P_{ns} aşağıdaki değerlerin en küçüğüne eşit olacaktır.

$$P_{ns} = 4.2 * \sqrt{(t_2^3 * d)} * F_{u2} \quad (3.1)$$

$$P_{ns} = 2.7 * t_1 * F_{u1} \quad (3.2)$$

$$P_{ns} = 2.7 * t_2 * F_{u2} \quad (3.3)$$

burada;

d = İtibari vida çapı

t_1 = Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı

t_2 = Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı

F_{u1} = Vida başı ile temasta olan elemanın çekme mukavemeti

F_{u2} = Vida başı ile temasta olmayan elemanın çekme mukavemeti

P_{ns} = Bir vidanın taşıdığı itibari kesme (makaslama) dayanım kuvveti

- $t_2 / t_1 \geq 2.5$ için P_{ns} aşağıdaki değerlerin en küçüğüne eşit olacaktır.

$$P_{ns} = 2.7 * t_1 * F_{u1} \quad (3.4)$$

$$P_{ns} = 2.7 * t_2 * F_{u2} \quad (3.5)$$

- $1.0 \leq t_2 / t_1 \leq 2.5$ için P_{ns} diğer iki durum arasında lineer interpolasyon yapılarak bulunur.

3.1.1.2 Vidalardaki Makaslama

Vidalardaki makaslama test yapılarak bulunur. Vidanın itibari makaslama dayanımı $1.25 * P_{ns}$ 'den küçük olmamalıdır.

3.1.2 Çekme Kuvveti

Çekme taşıyan vidalarda vidanın ve eğer varsa rondelanın (pulun) çapı $d_w=7.94\text{mm}$ 'den az olamaz. Rondela en az 1.27mm kalınlığında olmalıdır.

Dışa Çekme (Pull-out):

Emniyetli dışa çekme dayanım kuvveti P_{not} ;

$$P_{not}=0.85*t_c*d*F_{u2} \quad (3.6)$$

Burada t_c , Vidanın dış dibi derinliği ile t_2 'den daha küçük olmalıdır.

Üstüne Çekme (Pull-Over):

Emniyetli üstüne çekme kuvveti P_{nov} ;

$$P_{nov}=1.50*t_1*d_w*F_{u1} \quad (3.7)$$

Burada d_w ; vida başı çapı veya rondela (pul) çapından en büyük olanıdır ve bu değer 12.7 mm'den büyük alınamaz. ($d_w < 12.7 \text{ mm}$)

Vidada Çekme Kuvveti:

Vida çekme kuvveti test yapılarak bulunur.

P_{nt} = İtibari çekme dayanımı

$$P_{nt} \geq 1.25 * \min (P_{nov}; P_{not})$$

Çekme Yırtılması:

Flanşların birinde ya da birden fazlasında vidanın düzleminde yırtılma meydana gelebilir. Bu değer V_n şöyle hesaplanır;

$$V_n = 0.6 F_u * A_{wn}$$

$$\Omega=2.0 \text{ (ASD)}$$

$$\phi=0.75 \text{ (LRFD)}$$

burada;

F_u = Çekme gerilmesi

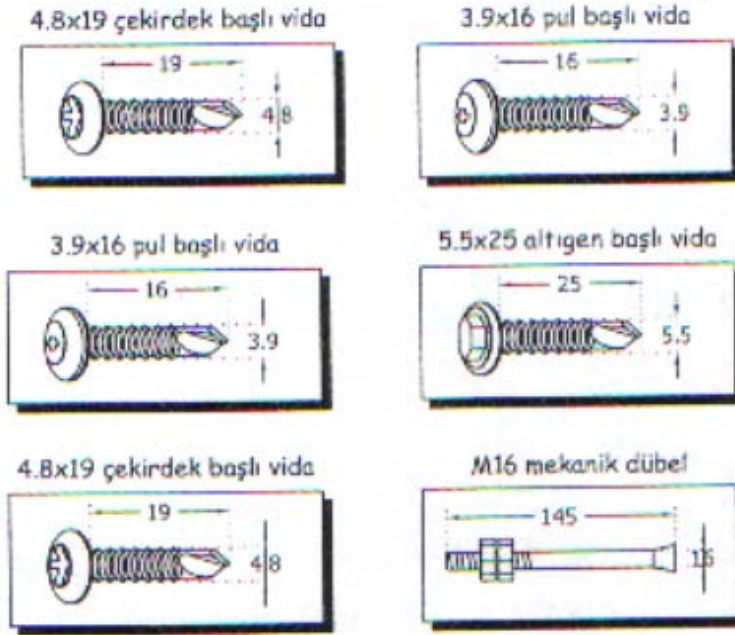
$$A_{wn} = (d_{wc}-nd_h) * t$$

d_{wc} = Net gövde yüksekliği

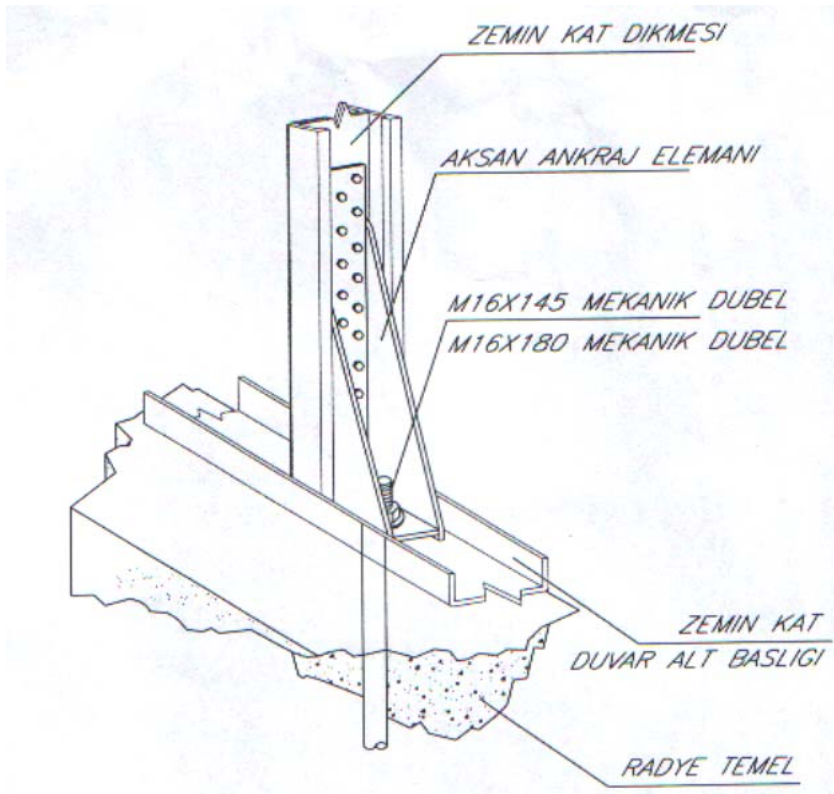
n = Kritik en kesitteki delik sayısı

d_h = Delik çapı

t = Gövde kalınlığı

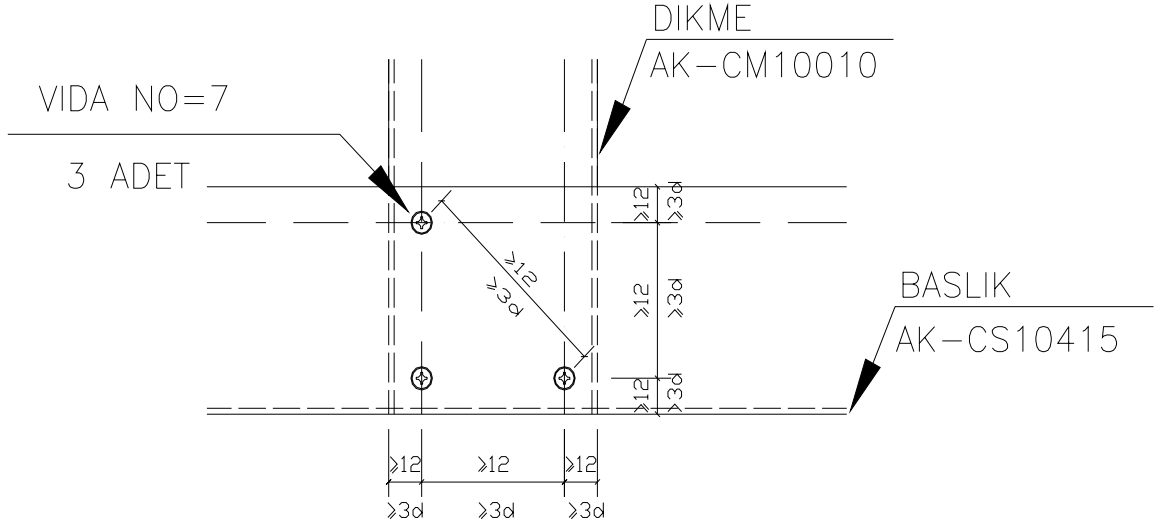


Şekil 3.1 Kullanılan Vida Çeşitleri



Şekil 3.2 Temel Birleşim Detayı

3.1.3 UYGULAMA



Şekil 3.3 Dikme-Başlık Birleşimi

1) Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında

Kullanılan AISI Şartnamesine Göre Hesaplama:

$$t_1 = 1.5 \text{ mm}$$

$$t_2 = 1.0 \text{ mm}$$

$t_2 / t_1 = 1/1.5 = 0.6667 < 1.0$ olduğundan P_{ns} için (3.1) ,(3.2) ,(3.3) formülleri kullanılır ve sonucu minimum olan alınır.

$$P_{ns1} = 4.2 * \sqrt{(t_2^3 * d)} * F_{u2} = 4.2 * \sqrt{(0.1^3 * 0.39)} * 3650 = 302.74 \text{ kg}$$

$$P_{ns2} = 2.7 * t_1 * F_{u1} = 2.7 * 0.15 * 0.39 * 3650 = 576.52 \text{ kg}$$

$$P_{ns3} = 2.7 * t_2 * F_{u2} = 2.7 * 0.1 * 0.39 * 3650 = 384.35 \text{ kg}$$

$$P_{ns} = \min [P_{ns1}; P_{ns2}; P_{ns3}] = 302.74 \text{ kg}$$

Birleşimin taşıyabileceği maksimum yük P;

$$P = n * P_1 * R \quad (3.8)$$

n = Birleşimdeki vida sayısı

P_{ns} = Bir vidanın dayanımı

R = Grup etkisi için azaltma faktörü

$s > 3d$ için $R = R_{3d}$

$$R_{3d} = (0.535 + 0.467 / \sqrt{n}) \leq 1.0 \quad (3.9)$$

$$R_{3d} = (0.535 + 0.467 / \sqrt{3}) = 0.805 \leq 1.0$$

$$P = 3 * 302.74 * 0.805 = 729.3 \text{ kg}$$

2) Vidalı birleşimlerin davranışlarıyla ilgili yapılan LGSEA test sonucu araştırma raporuna göre hesaplama [9]:

Birleşimin taşıyabileceği maksimum yük:

$$P = n * P_1 * R$$

n = Birleşimdeki vida sayısı

P_1 = Bir vidanın dayanımı

R = Grup etkisi için azaltma faktörü

$$P_1 = F_u * t * d * (2.013 * t / d + 1.56) \quad (3.10)$$

F_u = Birleşen saçların kopma mukavemeti

t = Birleşen saçların minimum kalınlığı

d = Vida çapı

$s > 3d$ için $R = R_{3d}$

$$R_{3d} = (0.535 + 0.467 / \sqrt{n}) \leq 1.0$$

$n = 3$ adet

$t_2 = 1 \text{ mm}$

$d = 3.9 \text{ mm}$

$F_u = 3650 \text{ kg/cm}^2$

$$R_{3d} = (0.535 + 0.467 / \sqrt{3}) = 0.805 \leq 1.0$$

$$P_1 = 3650 * 0.1 * 0.39 * [2.013 * 0.1 / 0.39 + 1.56] = 302.07 \text{ kg}$$

$$P = 3 \cdot 302.07 \cdot 0.805 = 730.24 \text{ kg}$$

Yukarıda hesabı gösterilen iki farklı yöntemden alınan sonuçlara göre bir birleşim noktasının tek tarafındaki 3 vida ile oluşturulan birleşimin taşıyabileceği maksimum makaslama kuvveti 730 kg'dır. Statik hesabı yapılmış ve boyutlandırılmış olan bir projede maksimum iç kuvvetin 1030 kg olduğu bilinmektedir. Bu sonuca göre 6 vida ile yapılan iki taraflı bir bileşimin taşıyacağı yük 1460.5 kg olup, sisteme gelen maksimum yükten fazladır.

Vidalarındaki Makaslama:

Vidanın itibari makaslama dayanımı $1.25 \cdot P_{ns}$ 'den küçük olmamalıdır. 7 no'lu vidanın itibari makaslama dayanımı;

$$412.0 \text{ kg} > 1.25 \cdot 302.74 = 378.43 \text{ kg}$$

Çekme Yırtılması:

Flaşların birinde ya da birden fazlasında vidanın düzleminde yırtılma meydana gelebilir. Bu değer V_n şöyle hesaplanır;

$$V_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{wn} \text{ (Kritik kesitin taşıyabileceği maksimum yük)}$$

$$F_u = \text{Kopma gerilmesi} = 3650 \text{ kg / cm}^2$$

$$A_{wn} = (d_{wc} - n d_h) \cdot t$$

$$d_{wc} = \text{Gövde yüksekliği} = 42 \text{ mm (AK-CS10415)}$$

$$n = \text{Kritik kesitteki delik sayısı} = 2$$

$$d_h = \text{Delik çapı} = 3.9 \text{ mm}$$

$$t = \text{Gövde kalınlığı} = 1.5 \text{ mm}$$

$$A_{wn} = (d_{wc} - n d_h) \cdot t = (42 - 2 \cdot 3.9) \cdot 1.5 = 51.3 \text{ mm}^2 = 0.513 \text{ cm}^2$$

$$V_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{wn} = 0.6 \cdot 3650 \cdot 0.513 = 1123 \text{ kg}$$

Flaşlarda meydana gelebilecek herhangi bir yırtılma durumuna karşı birleşimin taşıyabileceği maksimum yük $V_n = 1123 \text{ kg}$ 'dır. Sisteme gelen maksimum yük ise 1030 kg'dır. Bu yük, her iki taraftaki flaşların yükü eşit bölüştüğü yaklaşımı ile 515kg kabul edilebilir. Sonuç olarak birleşim teşkili hem makaslama hem de çekme yırtılmasına göre güvenli durumdadır.

3.2 Bulonlu Birleşimler [8]

En incisinin kalınlığı 4.76 mm'den daha küçük olan soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanlarının bulonlu birleşimlerinin hesabı, aşağıda verilen kurallara göre yapılır.

3.2.1 Kayma, Ara Mesafe ve Kenara Mesafe

İtibari kayma mukavemeti P_n aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P_n = t \cdot e \cdot F_u \quad (3.11)$$

a) $F_u / F_{sy} \geq 1.08$ için;

$$\Omega = 2.0 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.70 \text{ (LRFD)}$$

b) $F_u / F_{sy} < 1.08$ için

$$\Omega = 2.22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

burada;

P_n = İtibari dayanma kuvveti

e = Yük doğrultusunda ölçülen bulon merkezinden takip eden deliğin kenarına kadar veya parçanın ucuna kadar olan mesafe

t = Birleştirilen elemanlardan en incisinin kalınlığı

F_u = Birleştirilen elemanların malzemelerine ait çekme mukavemeti

F_{sy} = Birleştirilen elemanların malzemelerine ait kırılma noktası

Ayrıca, bulon delikleri merkezi arasındaki mesafe, bulon başı, somun ve pullar ile anahtar tutma mesafesine izin verecek kadar olmalıdır. Ancak bu değer, 3d'den az olmamalıdır. Aynı zamanda, bulon merkezinden levha kenarına veya takip eden bulonun deliğinin kenarına mesafe 1.5d'den az olamaz.

Hiçbir durumda birbirini izleyen iki deliğin kenardan kenara mesafesi 2d'den daha az olamaz. Delik kenarından birleştirilen eleman kenarına mesafe d'den az olamaz.

3.2.2 Birleştirilen Her Bir Parçadaki Çekme

Birleştirilen her bir parçanın faydalı en kesitinde taşınabilecek çekme kuvveti, aşağıda verilen ifadelerle hesaplanacaktır:

a) Bulon başının ve somun başının altına pul konmuş ise;

$$P_n = (1.0 - 0.9*r + 3*r*d / s) F_u * A_n \leq F_u * A_n \quad (3.12)$$

Çift etkili kesme için: $\Omega = 2.0$ (ASD)

$$\phi = 0.65 \text{ (LRFD)}$$

Tek etkili kesme için: $\Omega = 2.22$ (ASD)

$$\phi = 0.55 \text{ (LRFD)}$$

b) Bulon başı ve somun başının altına pul konmamış ise;

$$P_n = (1.0 - r + 2.5*r*d / s) F_u * A_n \leq F_u * A_n \quad (3.13)$$

$$\Omega = 2.22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.55 \text{ (LRFD)}$$

Ayrıca emniyetle taşınabilecek çekme kuvveti, aşağıda verilen değeri aşmamalıdır:

$$P_n = (F_y * A_n) / 1.67 \quad (\text{ASD})$$

$$P_n = (F_y * A_n) / 0.95 \quad (\text{LRFD})$$

burada;

A_n = Faydalı en kesit alanı

r = (ele alınan kesitten bulon veya bulonlarla aktarılan yük) / (bu kesitte birleştirilen eleman üzerine etkiyen çekme kuvveti) oranı.

Eğer $r < 0$ ise sıfıra eşit alınabilir.

s = Gerilme çizgisine dik bulon aralığı

Tek bulon halinde ise s = levhanın brüt genişliğidir.

F_u = Birleştirilen parçanın çekme mukavemeti

F_y = Birleştirilen parçanın kırılma noktası

3.2.3 Ezilme

Ezilme açısından emniyetle taşınan kuvvet, Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilmektedir

Tablo 3.1 Bulon Başı ve Somunu Altında Pul Olması Halinde Ezilmeye Göre Emniyetle Aktarılan Yük [8]

Birleştirilen parçanın kalınlığı t (mm)	Birleşim tipi	Birleştirilen parçanın F_u/F_y oranı	Ω (ASD)	ϕ (LRFD)	Ezilmeye göre yük taşıma kapasitesi P_n
$0.61 \leq t < 4.76$	İki tesirli birleşimin iç levhası	≥ 1.08	2.22	0.55	$3.33 \cdot F_u \cdot d \cdot t$
		< 1.08	2.22	0.65	$3.00 \cdot F_u \cdot d \cdot t$
	Tek tesirli ve iki tesirli birleşimin dış levhaları	Limit yok	2.22	0.60	$3.00 \cdot F_u \cdot d \cdot t$

Tablo 3.2 Bulon Başı ve Somunu Altında Pul Olmaması Durumunda Ezilmeye Göre Emniyetle Aktarılabilen Yük [8]

Birleştirilen parçaların kalınlığı t (mm)	Birleşim tipi	Birleştirilen parçanın F_u/F_y oranı	Ω (ASD)	ϕ (LRFD)	Ezilmeye göre yük taşıma kapasitesi P_n
$0.61 \leq t < 4.76$	İki tesirli birleşimin iç levhası	≥ 1.08	2.22	0.65	$3.00 \cdot F_u \cdot d \cdot t$
	Tek tesirli ve iki tesirli birleşimin dış levhaları	≥ 1.08	2.22	0.70	$2.22 \cdot F_u \cdot d \cdot t$

3.2.4 Kayma ve Çekme

Kayma ve çekmeye göre gerilme kontrolleri, standart bulonlu birleşimlerde olduğu gibidir.

3.3 Kaynaklı Birleşimler [8]

Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların birleşiminde kullanılan kaynaklar şöyle sıralanabilir:

- Küt kaynaklar
- Ark spot kaynakları
- Köşe kaynakları
- Eğri kenarlı küt kaynaklar
- Direnç kaynakları

3.3.1 Küt kaynaklar

a) Kaynak eksenine paralel veya kaynak kesitine dik çekme ve basınç;

$$P_n = L * t_e * F_y \quad (3.14)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

b) Kaynak kesiti üzerinde kayma (3.14) ve (3.15) denklemlerinin verdiği değerlerin en küçüğüdür.

$$P_n = L * t_e * 0.6 * F_{xx} \quad (3.15)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.80 \text{ (LRFD)}$$

$$P_n = L * t_e * F_y / \sqrt{3} \quad (3.16)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

burada;

F_{xx} = Elektrod malzemesinin akma gerilmesi

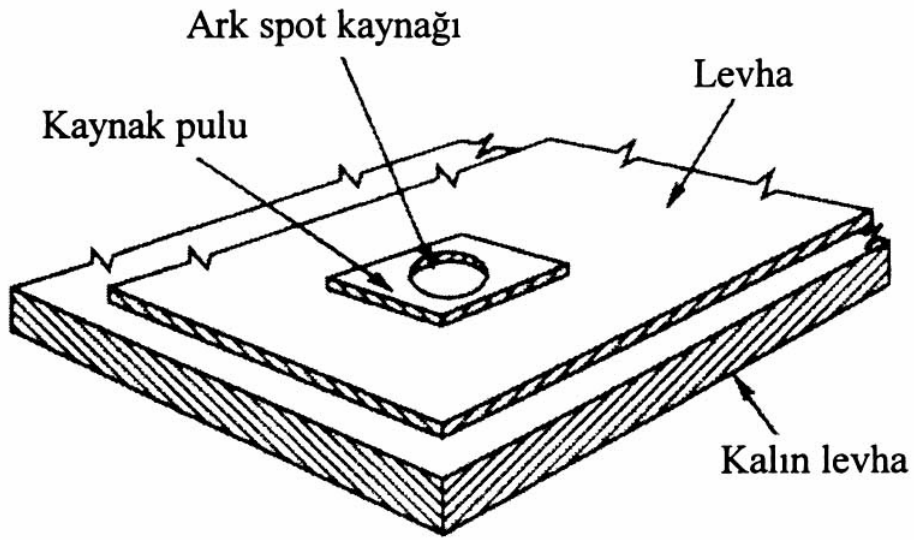
F_y = Çelik malzemede akma sınır gerilmesi

L = Kaynak boyu

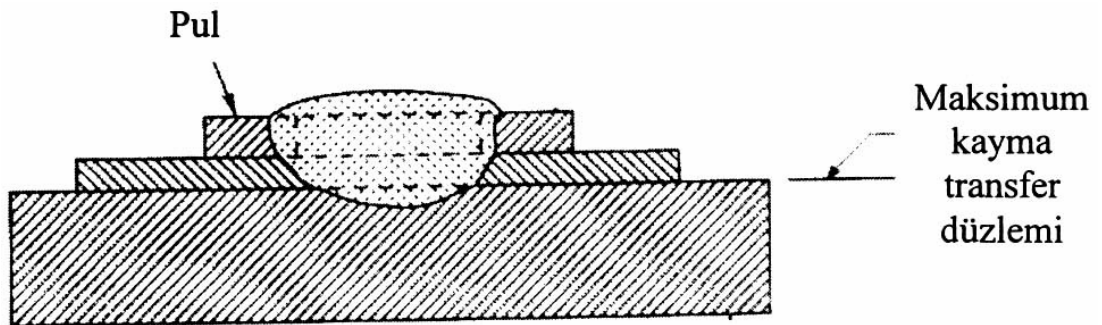
t_e = Kaynak kordonu kalınlığı

3.3.2 Ark Spot Kaynakları

Bu kaynak türü, birleştirilen elemanların en incisinin et kalınlığı 3.81 mm'den daha fazla ise veya birleştirilen elemanların toplam kalınlığı 3.81 mm'yi geçiyorsa kullanılmaz.



Şekil 3.4 (a) Tipik kaynak pulu



Şekil 3.4 (b) Tipik kaynak pulu

Kaynaklanacak levha kalınlığı 0.711 mm'den daha düşükse, Şekil 3.4 (a) ve Şekil 3.4 (b)'de görülen kaynak pulları kullanılır. Kaynak pullarının kalınlığı 1.27 mm ile 2.03 mm arasında olacaktır. Bunların üzerindeki deliğin çapı minimum 9.5 mm olacaktır.

3.3.2.1 Kesme

Her bir ark spot kaynağının birleştirdiği levhalar arasında aktarabildiği kesme kuvveti, aşağıda verilen formüllerden hesaplanan değerlerin en küçüğüne eşittir.

- $$P_n = \frac{\pi * d_e^2}{4} * 0.75 * F_{xx} \quad (3.17)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

- $(d_a / t) \leq 0.815 * \sqrt{(E/F_u)}$ için

$$P_n = 2.20 * t * d_a * F_u \quad (3.18)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

- $0.815 * \sqrt{(E/F_u)} < (d_a / t) < 1.397 * \sqrt{(E/F_u)}$ için;

$$P_n = 0.280 * \left[1 + 5.59 \frac{\sqrt{E/F_u}}{d_a/t} \right] * t * d_a * F_u \quad (3.19)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.50 \text{ (LRFD)}$$

- $(d_a / t) \geq 1.397 * \sqrt{(E/F_u)}$ için;

$$P_n = 1.40 * t * d_a * F_u \quad (3.20)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.50 \text{ (LRFD)}$$

burada;

P_n = Bir ark spot kaynağının taşıyabileceği kesme kuvveti

d = Ark spot kaynağının dış yüzünün görünür çapı

d_a = t kalınlığının ortasında ark spot kaynağının ortalama yarıçapıdır. Burada tek bir levha diğerine bağlanıyorsa $d_a = (d-t)$ ve çok sayıda levha bağlanıyorsa $d_a = (d-2t)$ 'dir. (Kalın levhanın üzerine üst üste dört levhadan fazlası konmaz.)

d_e = Maksimum kayma kuvveti transfer düzleminde kaynak arkının olduğu bölgenin etkili yarıçapı:

$$d_e = 0.7d - 1.5t \text{ ve}$$

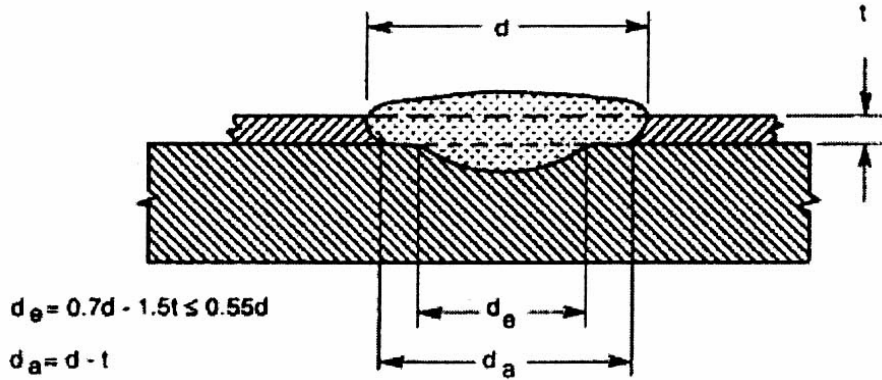
$$d_e \leq 0.55 \cdot d$$

t = Kaplama malzemesi dışında, maksimum kesme transferinin olduğu düzlemin üzerindeki kesme transferine katılan levhaların toplam kalınlığıdır.

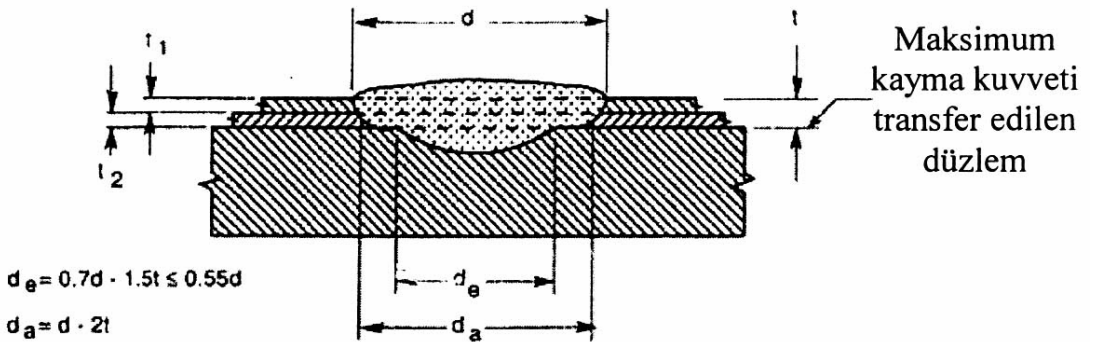
F_{xx} = Elektrot malzemesinin mukavemeti

F_u = Çekme mukavemeti

Not: Yarıçap tanımları için Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Yarıçap Tanımları



Şekil 3.6 Yarıçap Tanımları

Kuvvet doğrultusunda bir kaynağın merkezinden takip eden kaynağın yakın kenarına veya birleştirilen levhanın kenarına mesafe, aşağıda verilen e_{min} değerinden küçük olamaz.

$$e_{min} = \frac{P * \Omega}{F_u * t} \quad (\text{ASD}) \quad (3.21)$$

$$e_{min} = \frac{P_u}{\phi * F_u * t} \quad (\text{LRFD}) \quad (3.22)$$

- $F_u / F_{sy} \geq 1.08$ ise;

$$\Omega = 2.0 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi = 0.70 \quad (\text{LRFD})$$

- $F_u / F_{sy} < 1.08$ ise;

$$\Omega = 2.22 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi = 0.60 \quad (\text{LRFD})$$

burada;

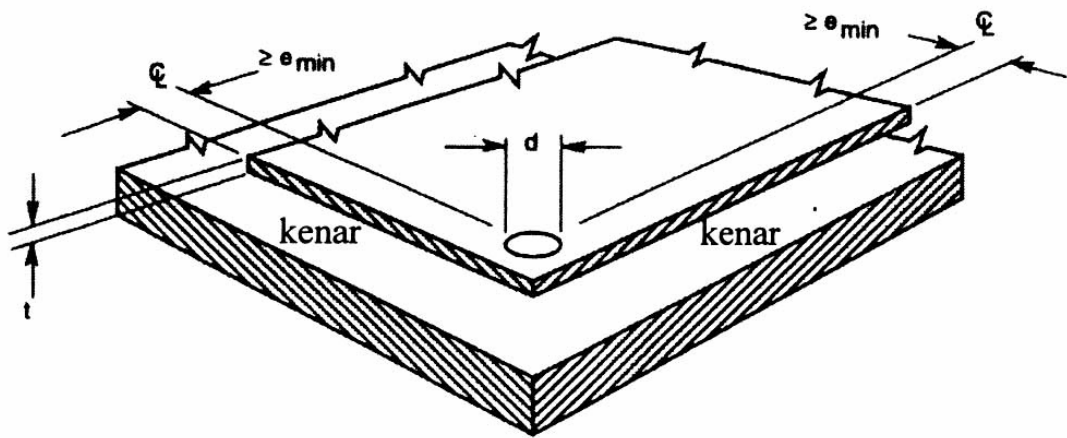
P = Kaynak tarafından aktarılan istenilen mukavemet (itibari kuvvet) (ASD)

P_u = Kaynak tarafından aktarılan istenilen mukavemet (faktör kuvvet) (LRFD)

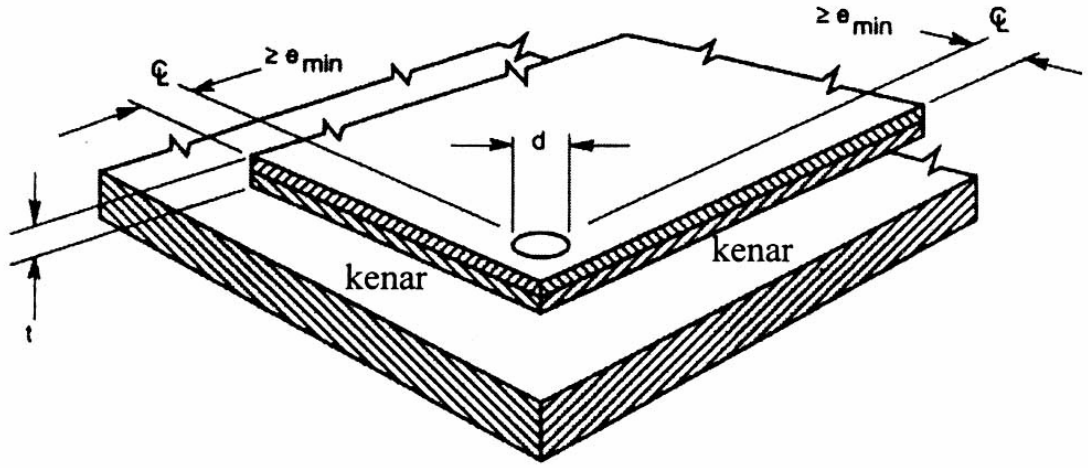
t = Birleştirilen levhaların en incisinin kalınlığı

F_{sy} = Kırılma noktası

Not: Ark spot kaynaklarının kenara mesafesi Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Tek ince cidarlı levha hali



Şekil 3.8 İki ince cidarlı levha hali

3.3.2.2 Çekme

Levha düzlemine dik çekme mukavemeti her bir tekil yüklü ark spot kaynağı için aşağıdaki formüllerden hesaplanan en küçük değerdir:

$$P_n = \frac{\pi * d_e^2}{4} * F_{xx} \quad (3.23)$$

veya

- $F_u / E < 0.00187$ için;

$$P_n = [6.59 - 3150 (F_u / E)] * t * d_a * F_u \leq 1.46 * t * d_a * F_u \quad (3.24)$$

- $F_u / E \geq 0.00187$ için;

$$P_n = 0.70 * t * d_a * F_u \quad (3.25)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

Ayrıca aşağıdaki ek sınırlamalar uygulanır:

$$e_{min} \geq d$$

$$F_{xx} \geq 414 \text{ MPa}$$

$$F_u \leq 565 \text{ MPa (birleştirilen levhaların)}$$

$$F_{xx} > F_u$$

Eksantrik olarak yüklenen ark spot kaynaklarının emniyetli çekme yükü taşıma kapasitesi yukarıda verilenin % 50'si kadar alınacaktır.

3.3.3 Köşe Kaynakları

Köşe kaynakları aşağıda verilen durumlarda uygulanır:

- 1) İnce cidarlı levha – ince cidarlı levhaya
- 2) İnce cidarlı levha – kalın levhaya

Emniyetli kesme mukavemeti P_n şöyle hesaplanır:

- a) Boyuna yükleme durumunda:

$L/t < 25$ için;

$$P_n = \left(1 - \frac{0.01 * L}{t}\right) * t * L * F_u \quad (3.26)$$

$\Omega = 2.50$ (ASD)

$\phi = 0.60$ (LRFD)

$L/t \geq 25$ için;

$$P_n = 0.75 * t * L * F_u \quad (3.27)$$

$\Omega = 2.50$ (ASD),

$\phi = 0.55$ (LRFD)

- b) Enine yükleme durumunda:

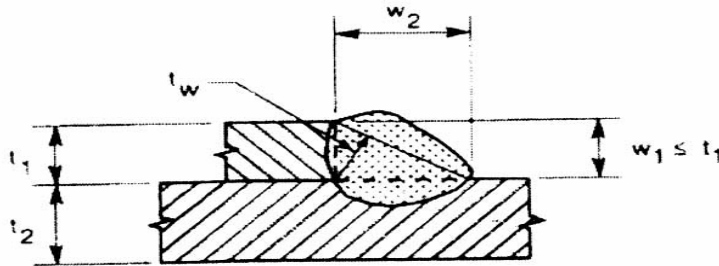
$$P_n = t * L * F_u \quad (3.28)$$

$\Omega = 2.50$ (ASD)

$\phi = 0.60$ (LRFD)

burada;

t = Birleşen levhaların en incisinin kalınlığıdır. Şekil 3.9’da $t = \min(t_1, t_2)$ ’dir.



Şekil 3.9 Bindirmeli Birleşim

Ayrıca, $t \geq 3.81$ mm için yukarıdaki formüllerle hesaplanan kesme kuvveti, aşağıda verilen formülle hesaplanacak P_n değerini aşmamalıdır.

$$P_n = 0.75 \cdot t_w \cdot L \cdot F_{xx} \quad (3.29)$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

burada;

P_n = Köşe kaynağın mukavemeti

L = Köşe kaynağın uzunluğu

t = Levha kalınlığı

t_w = Köşe kaynak kordonu kalınlığı

F_u = Malzemenin mukavemeti

F_{xx} = Elektrotun çekme mukavemeti

3.3.4 Eğri Kenarlı Küt Kaynaklar

Eğri kenarlı küt kaynaklar şu pozisyonlarda uygulanır:

- 1) Düz ince cidarlı levha – eğri kenarlı ince cidarlı elemana V- küt kaynağı ile
- 2) Düz ince cidarlı levha – eğri kenarlı ince cidarlı levhaya yarım V- küt kaynağı ile
- 3) Düz kalın levha - eğri kenarlı ince cidarlı levhaya yarım V- küt kaynağı.

3.3.5 Direnç Kaynağı

Bu kaynak yönteminde, parçaların birbirine kaynaklanacak kısımları kızıl dereceye (plastik kıvama) kadar ısıtılıp, basınç ve darbe uygulanmak suretiyle birleşim sağlanır. Hafif çelik yapılarda kullanılan elektrik direnç kaynağı, çelik yapılarda kullanılan basınç kaynağı metodudur. Elektrik direnç kaynağı, nokta kaynağı ve kordon kaynağı şeklinde olur.

4. HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMİ

4.1 Hafif Çelik Yapılarda İskelet Sistemi

Hafif çelik taşıyıcı sistemlerinde ahşap iskelet yapımında görüldüğü gibi bir mekan oluşturan duvar veya döşeme çok sayıda küçük taşıyıcı profillerden oluşur. Hafif çelik yapı sisteminde, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profiller kullanılmaktadır. Profiller şantiyeye gitmeden önce boy ve bağlantı işlemleri tamamlanmış olarak montaj yerine getirilirler. Duvar ve döşeme rijitliği, diyagonaller kullanılmakla beraber, kaplama ile güçlendirilir. Şekil 4.1’de hafif çelik yapı iskelet sistemi gösterilmektedir.



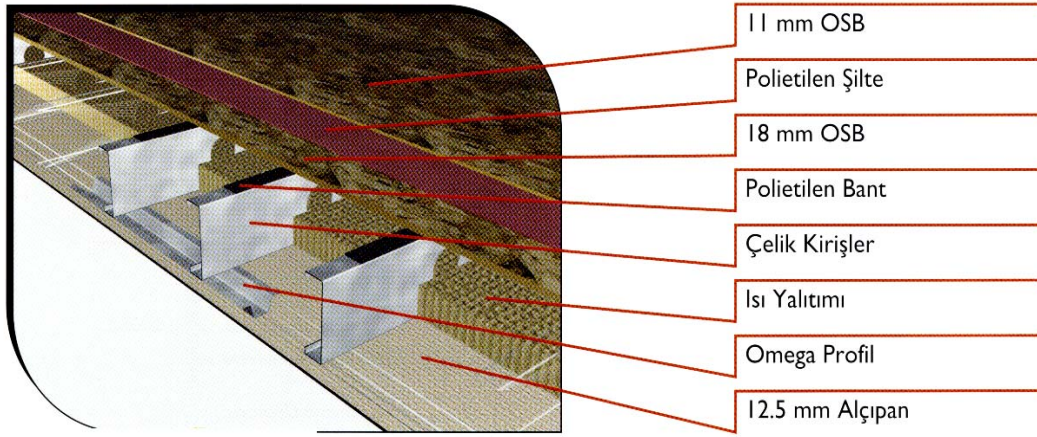
Şekil 4.1 Hafif Çelik Yapı İskelet Sistemi [7]

Ülkemizde yaşanmış olan 1999 depreminden sonra mevcut yapım sistemlerinin yerine alternatifler aranmış ve konut yapımında hafif çelik yapı sistemi gündeme

gelmiştir. Hafif çelik taşıyıcılı yapı sistemi, soğukta şekil verilerek elde edilen çelik profiller ile yapılan yapı sistemidir.

4.2 Hafif Çelik Yapılarda Taşıyıcı Sistem

Bir taşıyıcı düzlem (duvar veya döşeme) gerektiği sayıda soğukta şekil verilmiş profil ile taşınır. Çok sayıda elemanın birbirine bağlanması için bir çok teknik kullanılır. Yatayda döşeme ve çatı, düşeyde iç ve dış duvarlar yapıya ait bütün yükleri taşırlar. Yatay ve düşey yükleri taşıyabilmek amacıyla çelik profil sistem içinde güçlendirilir. Bağlantı noktalarındaki ilave elemanlar, yatay yük çaprazları, iki yöndeki kaplama malzemeleri, sistemi güçlendirecek şekilde kullanılırlar [5].



Şekil 4.2 Ara Kat Döşeme Detayı [7]

4.3 Duvar Yapısı

İç ve dış duvarlar; yapının düşey taşıyıcılarını oluşturur, düşey yatay yüklerde yeterli mukavemeti ve stabiliteyi sağlarlar. Duvarlar yangının yayılmasını önlemeli, duvar kaplamaları taşıyıcı çeliği yangından korumalıdır.

Duvar kesiti, yapı sağlığı ve mekanlardaki insan sağlığına uygun tasarlanmalı, yapının ihtiyacı olan tesisat için uygun yer bırakılmalıdır. Dış duvarlar ayrıca iç mekanları atmosfer şartlarından korumalıdır.

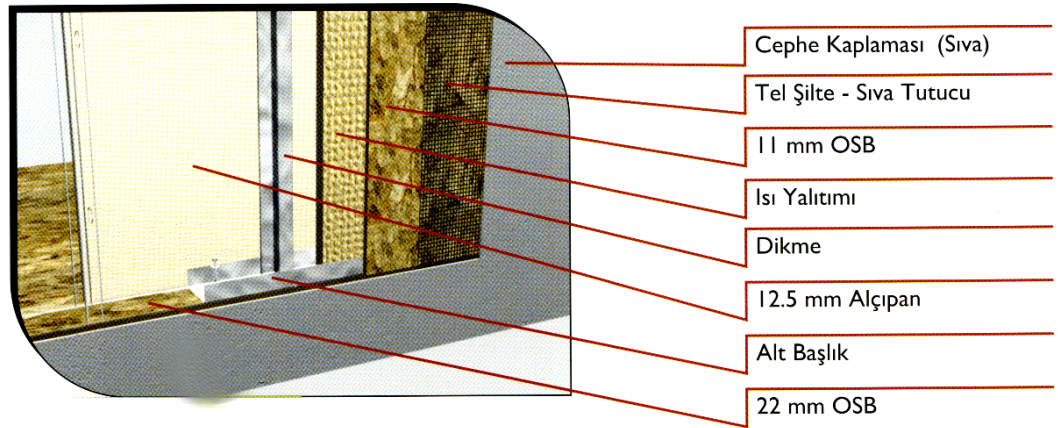
Soğukta şekil verilmiş profillere alçı panellerin monte edilmesiyle iç duvarlar oluşturulmakta, kullanım yerlerine göre kalınlık, su geçirimsizlik ve yangına daha

uzun süre dayanım gibi özellikleri olan alçı panellerin arasında yine kullanım yerlerine göre su ve ısı yalıtımı bulunmaktadır [5].

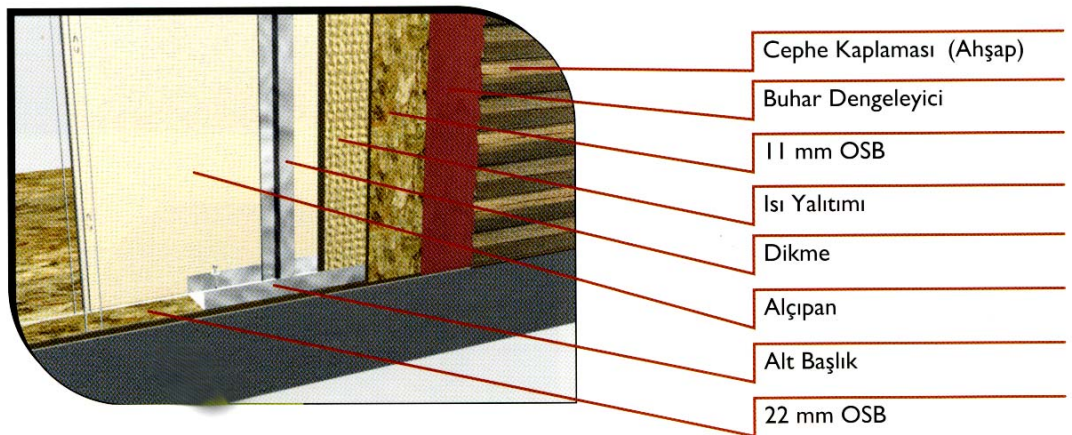
Önceden delikleri açılmış, soğukta şekil verilmiş çelik profillerden oluşan duvarlara elektrik, telefon, su ve tesisat elemanları kısa sürede ve kolaylıkla monte edilmektedir.

Dış duvarlar da, iç tarafında alçı panel dış tarafında hava koşullarına dayanıklı bir kaplama ile aralarındaki yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Dış duvarlarda istenilen ısı, ses, buhar ve su yalıtımına dikkat edilmelidir [5].

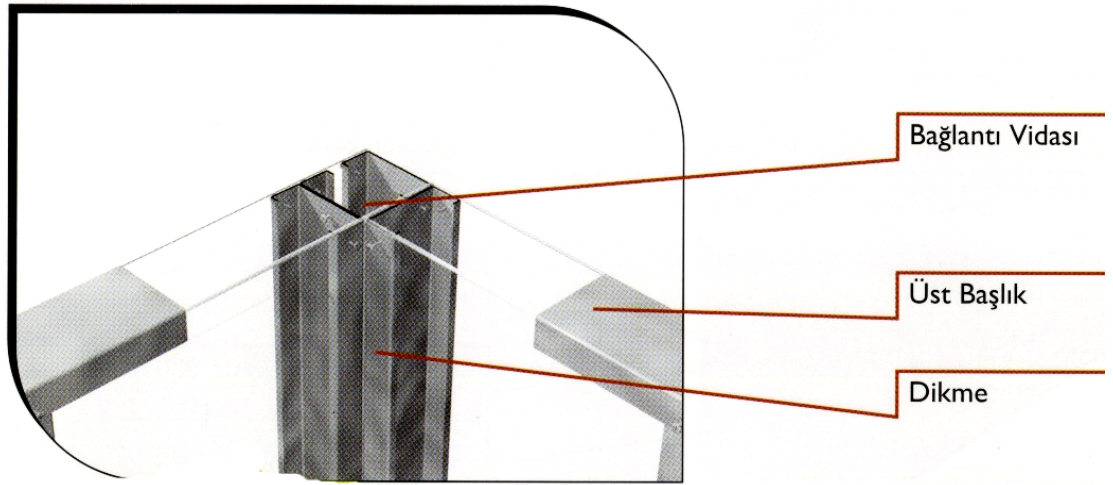
Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de dış duvar cephe detayı, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de duvar birleşim detayları görülmektedir.



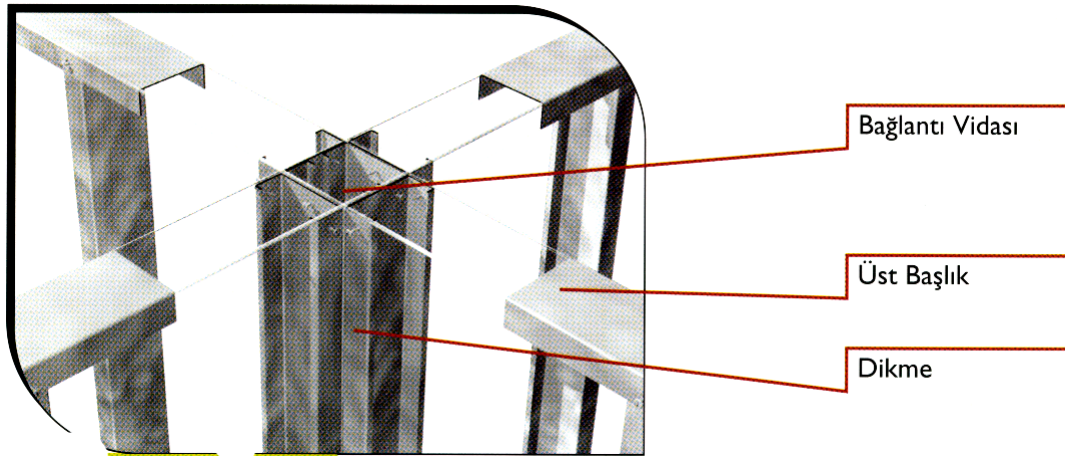
Şekil 4.3 Sıvalı Cephe Detayı [7]



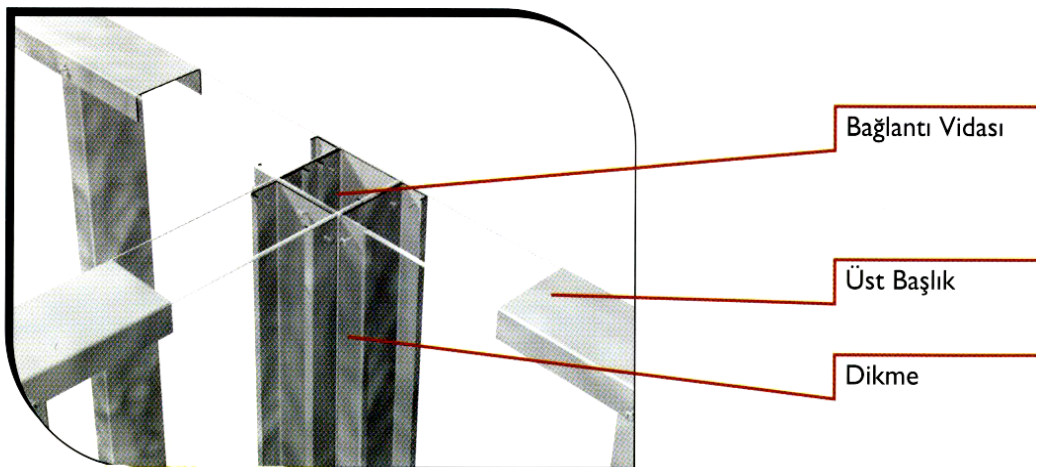
Şekil 4.4 Ahşap Kaplamalı Cephe Detayı [7]



Şekil 4.5 Duvar Dış Köşe Birleşim Detayı [7]



Şekil 4.6 Duvar Birleşim Detayı [7]



Şekil 4.7 Duvar T Birleşim Detayı [7]

4.4 Korozyon [5]

Korozyon yapısal çelik için ciddi tehlike oluşturmaktadır. Korozyon tehdidi, rölatif nem %60'ın üstüne çıkıyorsa, yapı, ziraat veya endüstri bölgesinde ise ya da deniz kenarında ise bulunur. Korozyonun önlenmesi için özel tedbirler alınmalıdır.

- Boya ile korozyon önlemi: Kimyasal veya mekanik yoldan çeliğin yüzeyi temizlendikten sonra kurşun veya çinko esaslı astar veya bitümlü boya ile örtülür.
- Galvanizleme yolu ile korozyon önlemi: Yüzey temizlendikten sonra kimyasal yoldan veya daldırma yolu ile galvanizlemek.
- Alaşım yolu ile korozyon önlemi: Bakır bulunan alaşımların yüzeyinde çeliği korozyondan koruyan oksidasyon tabakası oluşur.

Hafif çelik yapı sisteminde kullanılan çelik sacın kesiti ince olduğundan, hafif çelik taşıyıcılar korozyondan daha çok zarar görürler. Bükme profil imalatında kullanılan çelik sacın korozyondan korunması için genellikle daldırma galvaniz tekniği kullanılır. Fabrikada yapılan bu işlemlerde standart kalite güvencesi elde edilir. Montaj sonrasında ek yerinde bozulan koruma düzeltilmelidir. Korumanın yanı sıra korozyon ortamının da tanımlanması, mümkünse yok edilmesi gerekir. Aksi takdirde yapının narin taşıyıcı sistemi zarar görür.

4.5 Yangın [5]

Hafif çelik yapılarda kullanılan profiller ince sacdan imal edildikleri için yangından ciddi şekilde korunmalıdır. Yangından korunma, projelendirme aşamasında başlar. Elemandaki sıcaklığın 450°C'yi aşması durumunda önce uzama etkisi ile çelik taşıyıcılığını kaybeder. Sıcaklığın taşıyıcı profillerden uzak tutulabilmesi için mantolama yapılmalıdır. Mantolama için kullanılan malzemeler yanma sırasında zehirli gazlar veya aşırı duman çıkartmamalıdır. Taşıyıcı sistemin yangından korunması için iç kaplamalarda alçı levha kullanılmaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Elemanlarla Oluşturulan Çaprazlı Çerçeve Duvarın Kayma Direnci Ölçümü için Yapılan Statik Yükleme Deneyi

Deney, test etmek üzere hazırlanan soğukta şekillendirilmiş elemanlardan oluşan çaprazlı çerçeve duvara yatay olarak, 25 kN itme kapasiteli Actuator'ın, çerçeve en üst noktasından yatay kuvvet uygulanması ile yapılmıştır. Deney sonucunda bu kayma panelinin alacağı yük ve yapacağı deplasman bulunmuştur. Daha sonra bu sonuçlarla E564 Uluslararası Amerikan Standardına göre bu çerçeve duvarın kayma rijitliği hesaplanmıştır.

5.1.1 Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

Çerçeve duvarı, 7 adet dikme (AK-CM15015) profili, 2 adet başlık (AK-CS15415) profili, 2 adet çapraz (X-7015) profili, 4 adet köşe birleşimlerde kullanılan (P1-100.150.1,5) levha profillerinden oluşmaktadır. Ayrıca deney sistemini oluşturmak için 456 mm x 278 mm boyutunda, 20 mm kalınlığında çelik plak ve yükün sisteme yatayda eşit yayılmasını sağlamak amacıyla I 200 profili kullanılmıştır.

AK-CM15015 Dikme Kesiti Özellikleri:

Gövde Yüksekliği = 150mm

Üst Flanş = 50mm

Alt Flanş = 50mm

Kenar Bükümler = 13mm

Kalınlık, $t = 1.5\text{mm}$

İç Köşe Yarıçapı, $R = 5\text{mm}$

Akma Gerilmesi, $F_y = 227\text{ MPa}$

Kesit Alanı, $A = 390.2 \text{ mm}^2$

Atalet Yarıçapı, $R_x = 57.6912 \text{ mm}$

Zayıf Eksen, Kesit Özellikleri:

Atalet Momenti, $I_{yy} = 119456 \text{ mm}^4$

Atalet Yarıçapı, $R_y = 17.4970 \text{ mm}$

Kesit Modülü, $S_{yy} = 3169 \text{ mm}^3$

Momenti, $M_{ay} = 431.80 \text{ Nm}$

Burulma özellikleri:

St. Venant Burulma Sabiti ($J \cdot 1000$) = 292644 mm^4

Atalet Yarıçapı, $R_o = 69.7934 \text{ mm}$

AK-CS15415 Başlık Kesiti Özellikleri:

Gövde Yüksekliği = 154 mm

Üst Flanş = 56 mm

Alt Flanş = 56 mm

Kalınlık, $t = 1.5 \text{ mm}$

İç Köşe Yarıçapı, $R = 5 \text{ mm}$



Şekil 5.3 Üç Boyutlu Başlık Kesiti

Soğukta şekillendirilmiş çelik elemanların kesit hesabında kullanılan AISIWIN V5.0 Clark Steel Framing programı sonucuna göre kesitin;

Güçlü Eksen, Kesit Özellikleri:

Kesit Modülü, $S_{xx} = 13162 \text{ mm}^3$

Eğilme Momenti, $M_a = 1793.25 \text{ Nm}$

Atalet Momenti, $I_{xx} = 1362823 \text{ mm}^4$

Kesit Alanı, $A = 387.1 \text{ mm}^2$

Atalet Yarıçapı, $R_x = 59.3349 \text{ mm}$

Zayıf Eksen, Kesit Özellikleri:

Atalet Momenti, $I_{yy} = 114255 \text{ mm}^4$

Atalet Yarıçapı, $R_y = 17.1802 \text{ mm}$

Kesit Modülü, $S_{yy} = 832 \text{ mm}^3$

Momenti, $M_{ay} = 113.34 \text{ Nm}$

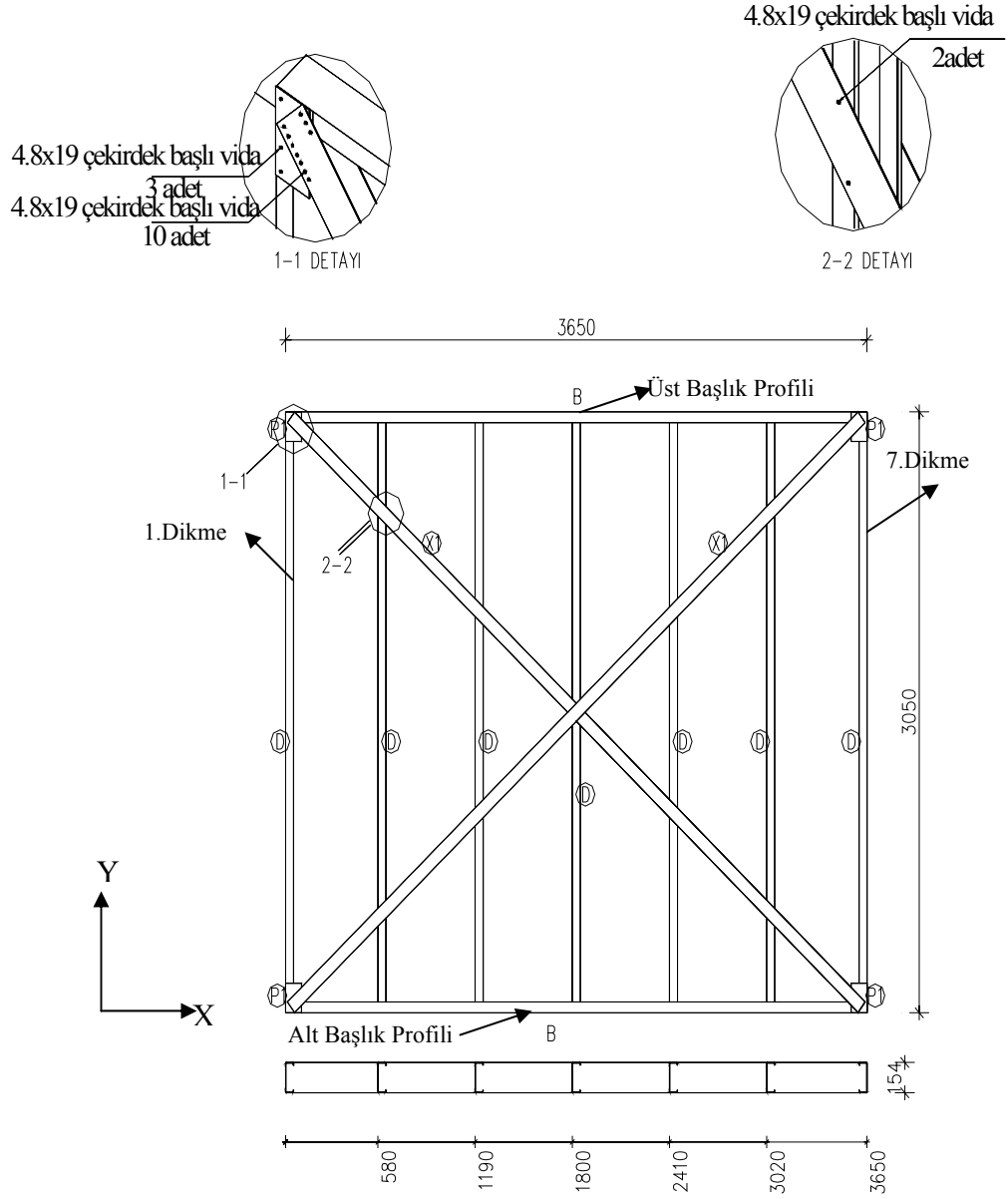
Burulma özellikleri:

St. Venant Burulma Sabiti ($J \cdot 1000$) = 290322 mm^4

Atalet Yarıçapı, $R_o = 69.2860 \text{ mm}$

5.1.2 Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Elemanlarla Yapılan Çaprazlı Çerçeve Duvarın Üretimi

Çaprazlı Çerçeve Duvarı, Akşan Çelik Yapı Fabrikası'nda üretilmiştir. Rollforming makinelerinde soğuk olarak çekilen profiller kendi deliğini ve dışını açan vidalar aracılığıyla birleştirilmiş ve çaprazlı çerçeve duvarı deneye hazır bir şekilde İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı-Deprem Laboratuvarına, Akşan Şirketi tarafından getirilmiştir. Profilleri birleştirmede kullanılan bu vidalar, korozyona karşı dayanıklı olmaları için galvanizlenmiş veya co-polimer ile kaplanmıştır.



KESİT ÖZELLİKLERİ			
ADET	PROFİL TİPLERİ	UZUNLUĞU	ETİKET
2	AK-CS15415	3650	B
7	AK-CM15015	3036	D
2	X-7015	4668	X1
4	P1-100.150.1,5		P1

Şekil 5.4 Çaprazlı Çerçeve Duvarı Kesit Özellikleri ve Detayları

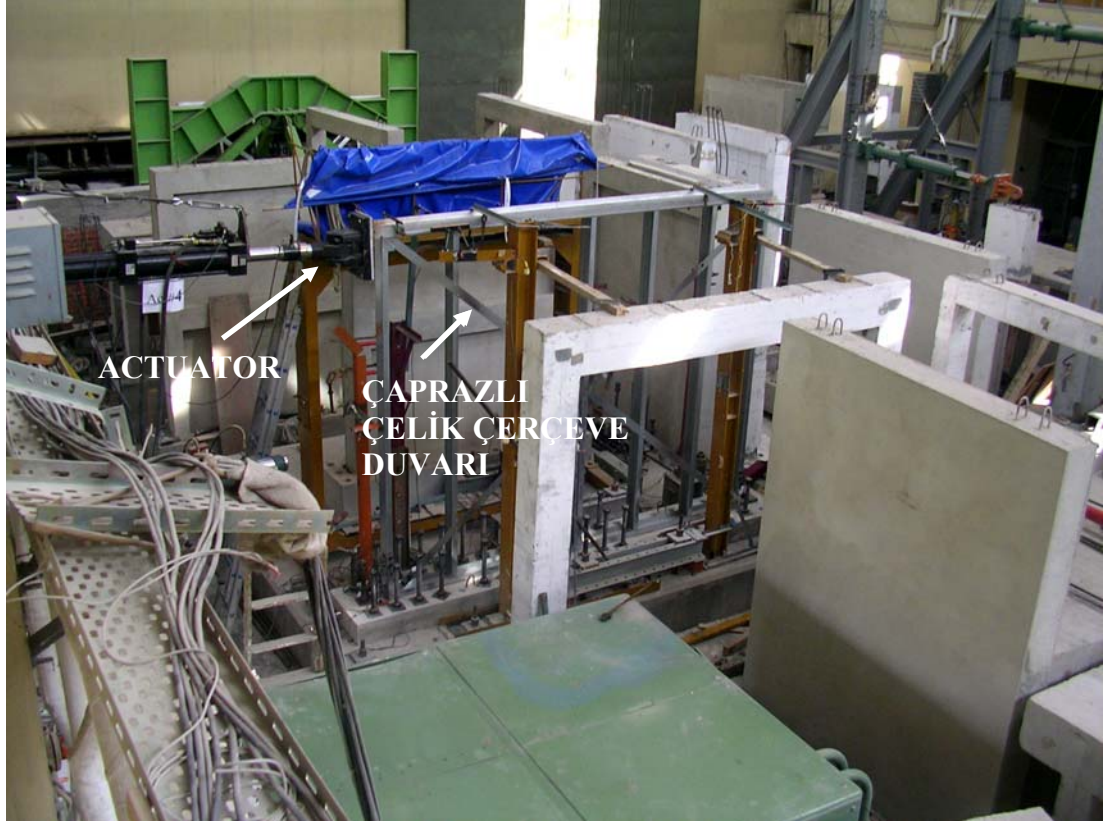
5.2 Deney Düzenegi

Deney düzeneğinin kurulmasında ilk aşama olarak, laboratuvara hazır olarak gelen çerçeve duvarının monte edileceği betonarme temel hazırlanmıştır. Temel, laboratuvarda mevcut 4500 mm x 600 mm genişliğindeki ve 480 mm yüksekliğindeki betonarme temelin üzerine 200 mm yüksekliğindeki betonarme ayar platformu, temel ankraj bulonları ile birbirine birleştirilerek oluşturulmuştur. Daha sonra hazırlanan bu betonarme platformun üzerine test edilmeye hazır olarak gelen 3050 mmx3650 mm boyutlarındaki soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlardan oluşan çerçeve duvarı üç yerinden ankraj profili ve ankraj vidaları ile temele monte edilmiştir. Şekil 5.5'te deneyin temel sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Deney Temel Sistemi

Deney, bu çerçeve duvarına, 1.Dikmenin en üst köşesinden yatay yük uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yükün sisteme eşit yayılabilmesi için 456mmx278mm boyutunda ve 20mm kalınlığında çelik plaka ve üst başlık profiline M13 bulonları ile birleştirilen I 200 çelik profili kullanılmıştır. Ayrıca yükleme düzlemi dışında yer değiştirmeleri sınırlandırmak için çerçeve duvarı, üst başlığının üzerinde iki yerinden desteklenmiştir. Şekil 5.6'da deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Deney Düzenegi

5.3 Ölçüm Yöntemi ve Veri Toplanması

Deneyde standart veri toplama prosedürü uygulanmıştır. Burada yük- yer değiştirme metotlarına göre LVDT denilen yer değiştirme ve strain gauge denilen şekil değiştirme ölçerlerden toplanan verilerin bilgisayara aktarılması ile veri toplaması gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde yapılan ölçümler mm'nin binde biri hassasiyetindedir.

5.3.1 Yer Değiştirme Ölçerler (Transducer)

- Özellikleri:

Tablo 5.1'de deney sırasında çerçeve duvarın alt ve üst yüzeyinden yapılan ölçümler için kullanılan yer değiştirme ölçerlerin tipleri verilmektedir. Tablodaki değerler, "CDP" yer değiştirme ölçerin tipini ve ardından gelen rakam ise hassas olarak yapılabilen en büyük ölçüm değerini ifade etmektedir.

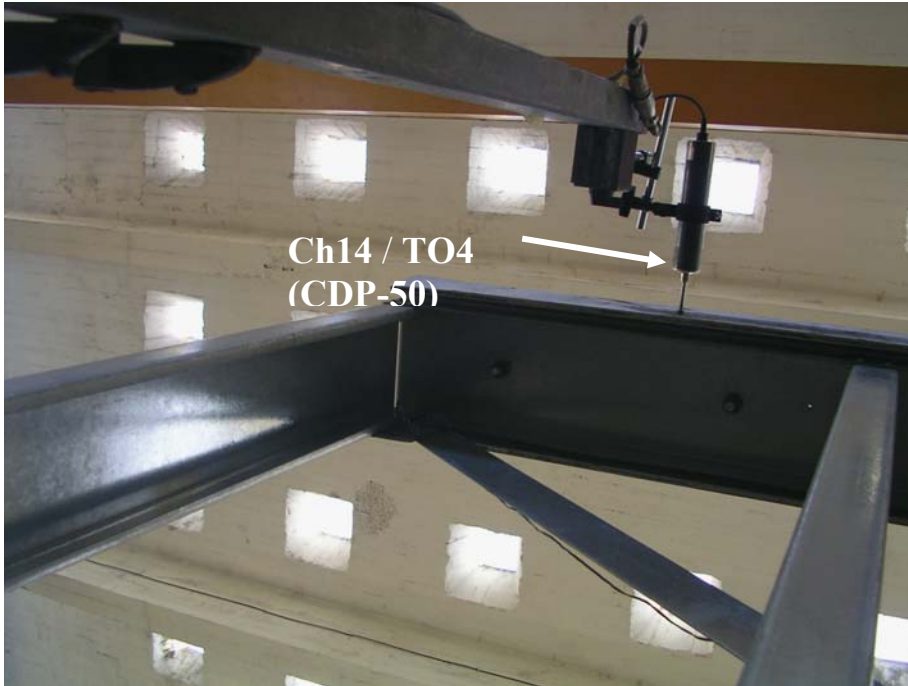
Tablo 5.1 Yer değiştirme ölçerlerin zellikleri

Kanal ismi	Transducer ismi	Transducer tipi
Ch11	TT1	SDP-200D
Ch12	TM2	SDP-100C
Ch13	TB3	CDP-25
Ch14	TO4	CDP-50
Ch15	TAR5	CDP-25
Ch16	TR6	CDP-25
Ch17	TAF7	CDP-10
Ch28	TAO8	CDP-50

- Yerleşimleri:

Düzlem dışı hareketi ölçmek için;

Ch14/TO4/CDP- 50, Ch28/TAO8/CDP-50, olmak üzere 2 adet yer değiştirme ler Z eksenini doğrultusuna paralel olarak yerleştirilmiştir.



şekil 5.7 Yer Değiştirme lerin Gösterimi



Şekil 5.8 Yer Değiştirme Ölçerin Gösterimi

Sistemdeki (X eksenı doğrultusundaki) yatay hareketi ölçmek için;

Ch11/TT1/SDP-200D; Ch12/TM2/SDP-100C; Ch13/TB3/CDP-25 olmak üzere 3 adet yer değiştirme ölçer X eksenı doğrultusuna paralel olarak yerleştirilmiştir. Şekil 5.9'da Ch11ve Şekil 5.10'da Ch12 yer değiştirme ölçerlerinin yeri gösterilmiştir. Şekil 5.11'de de Ch13 yer değiştirme ölçerinin yeri gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Yer Değiştirme Ölçerin Gösterimi



Şekil 5.10 Yer Değiştirme Ölçerin Gösterimi

Sistemdeki (Y eksenini etrafındaki) dönmeyi ölçmek için:

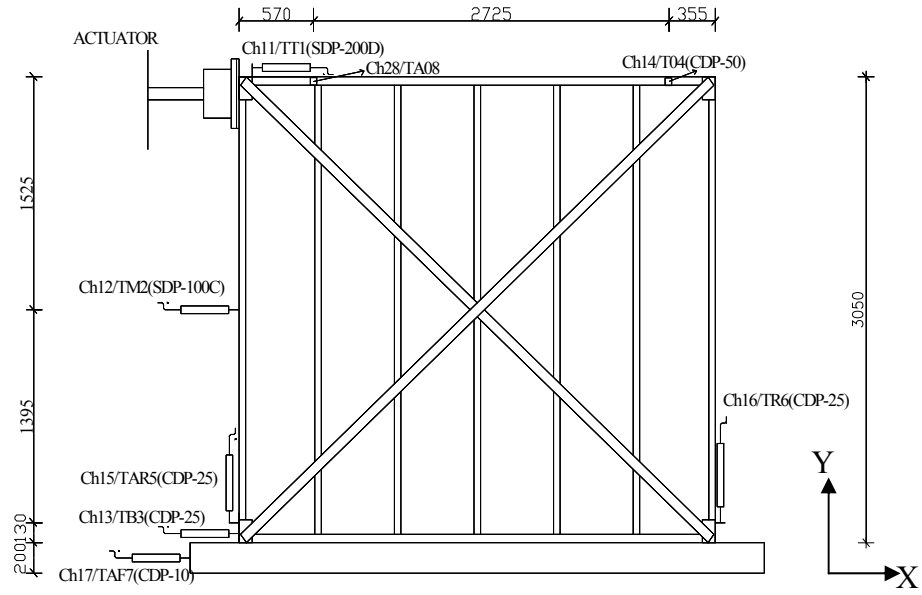
Ch15/TAR5/CDP-25

Ch16/TR6/CDP-25

olmak üzere 2 adet yer değiştirme ölçer yerleştirilmiştir.



Şekil 5.11 Yer Değiştirme Ölçerlerin Gösterimi



Şekil 5.12 Deney Düzenliğinde Bütün Yer Değiştirme Ölçerlerin Gösterimi

5.3.2 Şekil Değiştirme Ölçerler (Strain Gauges)

- Ölçüm boyu 5mm
- Şekil değiştirme limiti $\pm \%1$
- Ölçüm katsayısı 2.12

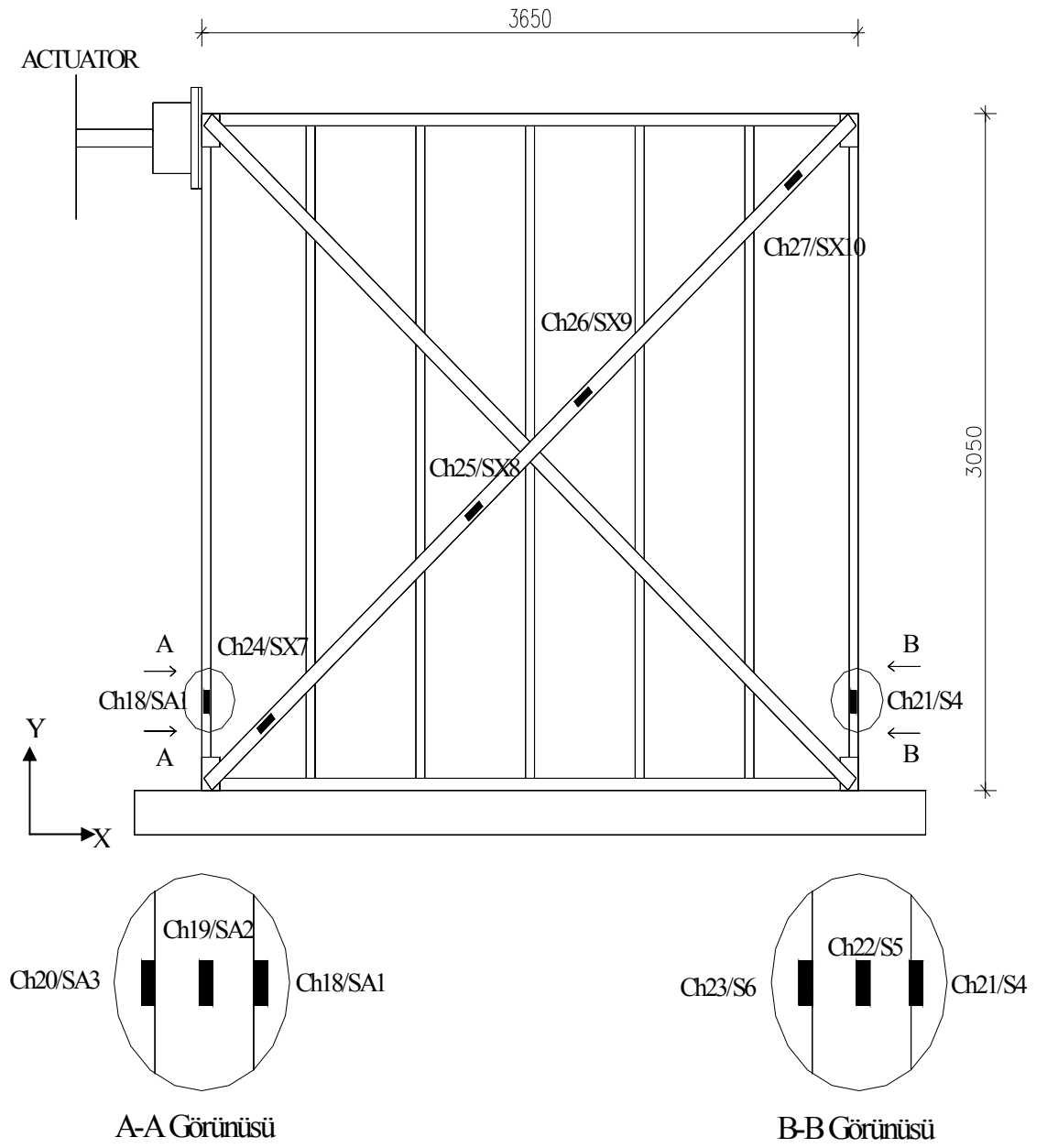
Tablo 5.2 Şekil değ. ölçerlerin ismi ve veri toplama kutusuna bağlı oldukları kanallar

Kanal ismi	Şek.değ. ölç.ismi
Ch18	SA1
Ch19	SA2
Ch20	SA3
Ch21	S4
Ch22	S5
Ch23	S6
Ch24	SX7
Ch25	SX8
Ch26	SX9
Ch27	SX10

Yerleşimleri:

Deney sırasında farklı noktalar arası şekil değiştirme ölçümlerinin yapılabilmesi amacıyla; 3 adet actuator tarafından 1. dikme kesitine, 3 adet 7. dikme kesitine, 4 adet çekmeye çalışan çapraz elemanına olmak üzere toplam 10 adet şekil değiştirme ölçer yerleştirilmiştir.

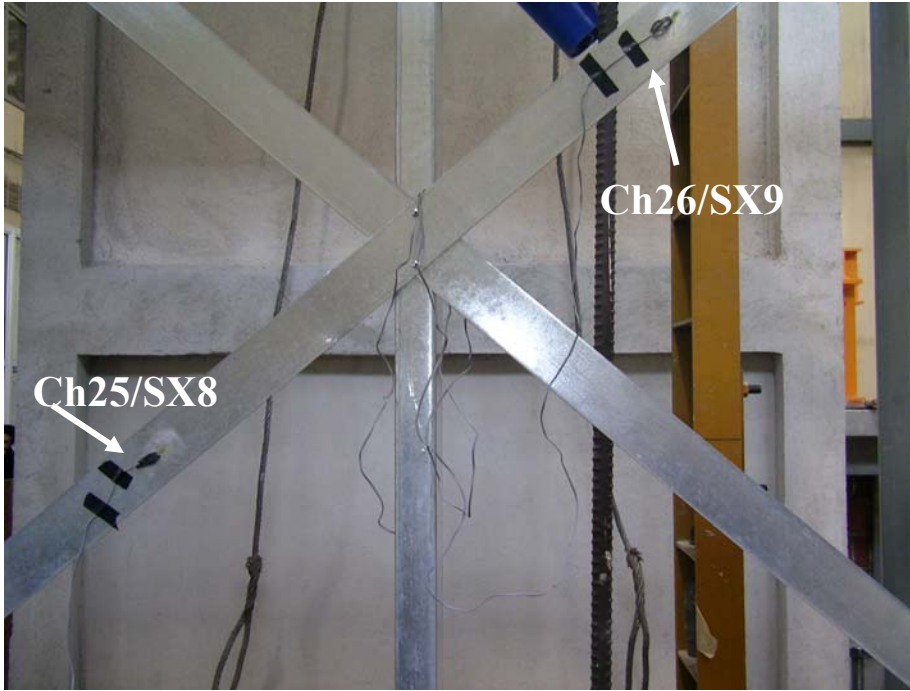
Şekil 5.13’de Çerçeve duvarına yerleştirilen bütün şekil değiştirme ölçerleri gösterilmiştir. Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de de bu şekil değiştirme ölçerlerin tek tek gösterildiği resimler vardır.



Şekil 5.13 Çerçeve Duvarına Yerleştirilen Bütün Şekil Değiştirme Ölçerlerin Gösterimi



Şekil 5.14 S4 ve S5 İsimli Şekil Değiştirme Ölçerlerin Yerlerinin Gösterimi



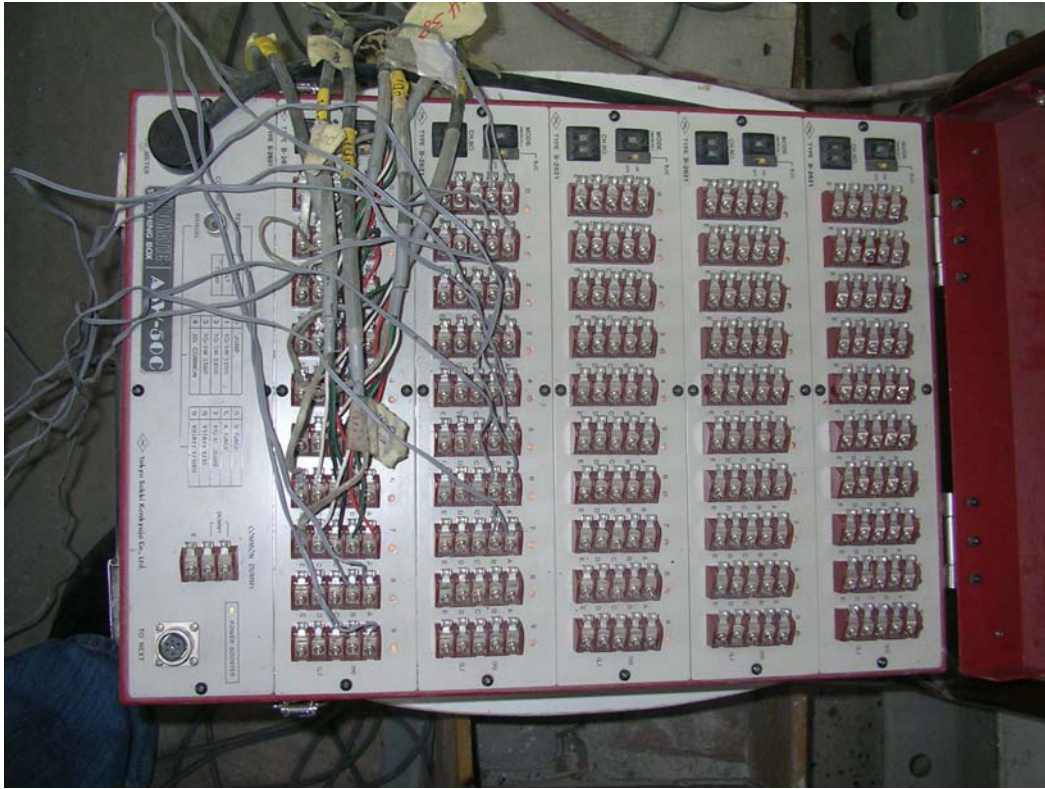
Şekil 5.15 SX8 ve SX9 İsimli Şekil Değiştirme Ölçerlerin Gösterimi

Numuneye Uygulanması:

Öncelikle şekil değiştirme ölçerin yapıştırılacağı kesit yüzeyinin pürüzleri zımpara ile temizlenerek, tamamen düz ve pürüzsüz hale getirildi. Sonra yüzey alkol ile temizlenerek şekil değiştirme ölçerlerin yapıştırılabileceği kadar temiz bir duruma

getirildi. Uygun bir yapıştırıcı kullanılarak, şekil değiştirme ölçerler kesit üzerine yapıştırıldı. Yapıştırılırken aşırı basınç verilmemeye çalışıldı. Kullanılacakları ortamda su ve darbe etkisiyle zarar görmelerini önlemek için yalıtkan bir yapıştırıcı sürülerek 20 saat kuruması beklendi.

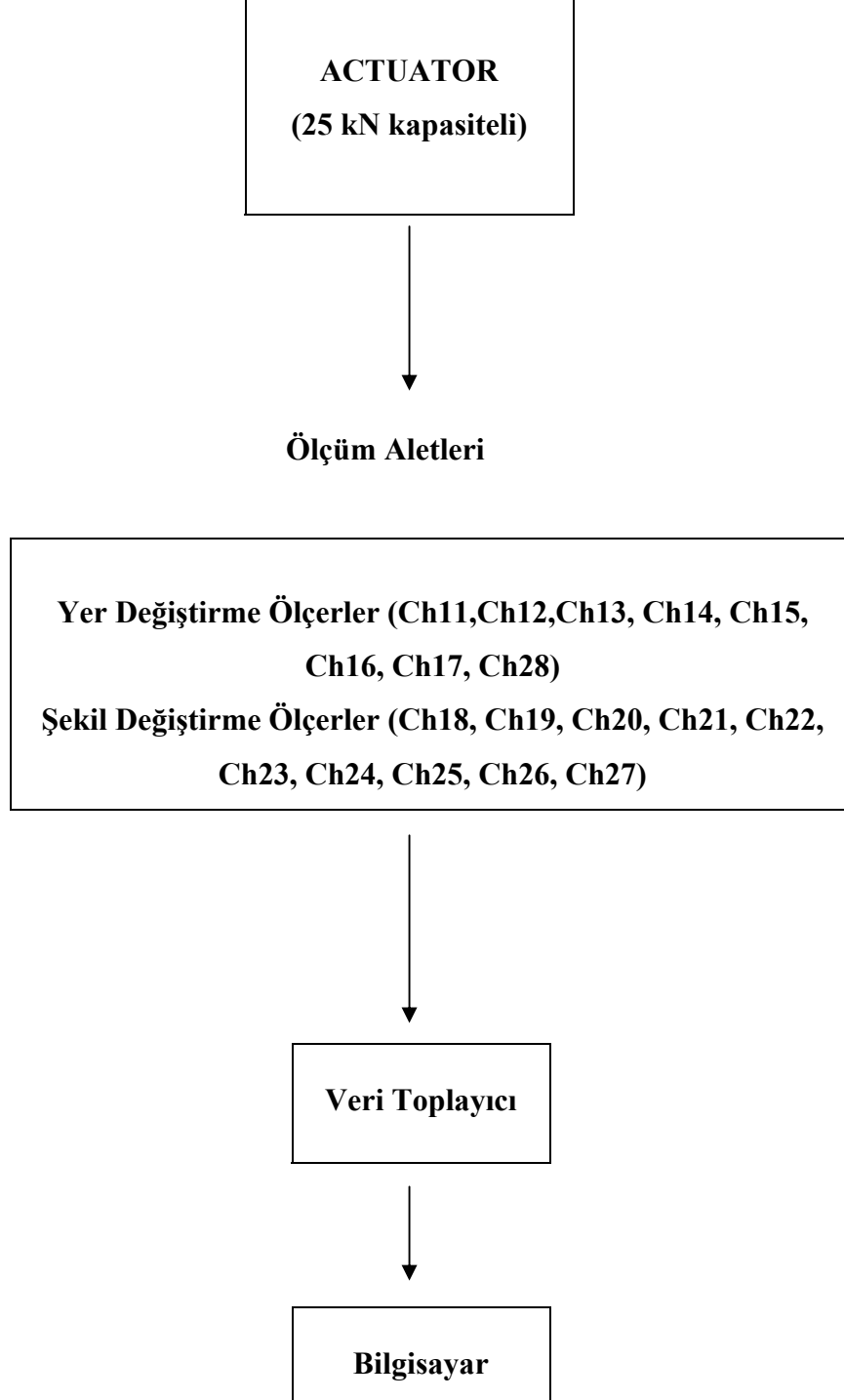
Yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçerler test edilmek üzere hazırlanan soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlardan oluşan kayma duvarına yerleştirildikten sonra bu ölçme aletlerinin bütün kabloları veri toplama kutusuna bağlandı. Ayrıca deneye başlamadan önce oluşturulan bütün kanalların çalışıp çalışmadığı kontrol edildi. Deneysel çalışmada, burada özellikleri ve yerleşimi ayrıntılı olarak açıklanan yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçerler ile alınan kayıtlar toplanarak özel bir yazılım ile bilgisayara aktarıldı. Şekil 5.16’da veri toplama kutusu gösterilmektedir. Ayrıca veri toplama sistemi Şekil 5.17’de bir döngü şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 5.16 Veri Toplama Kutusu

VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

Yükleme



Şekil 5.17 Veri Toplama Sistemi

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE HESAPLAMALARI

6.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney, test etmek üzere hazırlanan soğukta şekillendirilmiş elemanlardan oluşan çerçeve duvara X eksenini doğrultusunda, 25 kN itme kapasiteli Actuator'ın, çerçeve en üst noktasından (3730 mm) yatay kuvvet uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Deney, yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Deney sırasında belirli aralıklarda çerçeve duvarının davranışı gözlenmiş, meydana gelen değişiklikler not alınmış ve resimlendirilmiştir. Bu resimler Ek A'da verilmiştir. Çerçeve duvarına 21.55 kN'luk yatay yük uygulandığında, kayma duvarı 12.51 mm deplasman yapmış, çapraz elemanı akmaya ulaşmış, dikme başlık birleşiminde vida başları kesilerek kopmuş, düzlem dışı hareketi ölçmek için yerleştirilen yer değiştirme ölçerlerin kapasiteleri aşılmıştır. Aşılan kapasiteler CDP-50'dir. Ayrıca, deplasman 12.51 mm'ye ulaştığında çerçeve duvarında ani düzlem dışı hareket meydana gelmiş ve deney tamamlanmıştır.

Kontrol odasından alınan sonuçlar, Excel Programına aktarılmış ve sistemin kuvvet - yer değiştirme, kuvvet - şekil değiştirme diyagramları hazırlanmıştır. Bu grafikler Ek B'de verilmiştir. Şekil B.13'de sistemin z eksenini doğrultusundaki düzlem dışı hareketin diyagramı çizilmiştir. Şekil B.14'de sistemin y eksenini doğrultusundaki yatay hareketinin diyagramı çizilmiştir. Şekil B.16'da ise sistemin y eksenini etrafındaki dönmesi çizilmiştir.

Deney sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasman değerleriyle E564 Uluslararası Amerikan Standardı'na göre hesaplamalar yapılmıştır ve yapılan bu itme statik test sonucunda çerçeve duvarının kayma rijitliği hesaplanmıştır.

6.2 Deney Sonuçları

Tablo 6.1 Deney sırasında kayma panelinde gözlenen değişiklikler

Şekil No	Kayma Panelinde Oluşan Değişiklikler
Şekil A.1	Basınca çalışan çapraz elemanı burkulması
Şekil A.2	Basınca çalışan çapraz elemanı burkulması
Şekil A.3	Alt başlık U profilinde meydana gelen yerel burkulma
Şekil A.4	Alt başlık U profilinde meydana gelen yerel burkulma
Şekil A.5	5.Dikme ve üst başlık birleşimindeki vida başının kesilip, kopması
Şekil A.6	6.Dikme ve alt başlık birleşimindeki vida başının kesilip, kopması

6.3 Hesaplamalar

6.3.1 Kapsam

Bu çalışma, rijit bir temel üzerine oturtulmuş ve rijit desteğin karşı ucu boyunca ve buna paralel bir doğrultuda duvar yüzeyi içinde uygulanan bir yüke sahip bir çerçeveli duvarın sembolik bir parçasının kayma kapasitesini hesaplama metotlarını açıklamaktadır. Amaç, rijit bir destek üzerinde kayma duvarı olarak kullanılacak her türlü yapısal hafif çerçeve duvar şekli için kayma dayanımını ve direncini belirlemektir [10].

Sınırlamalar: Bu çalışmalar kaplamalı kayma kapasitesi sınıflandırmasına baz teşkil etmesi veya elastik temel üzerinde duvarın yüklenmesi ile sonuçlanacak birleşik elastiklik ile kaymayı hesaplamada kullanılma amacı taşımamaktadır [10].

Kaplama varyasyonları etkileri diğer değişkenleri sabit tutarak bulunmaktadır. Çerçeve şeklinde ve sınır koşullarında izin verilen değişiklikler, duvar kayma

kapasitesine kaplama iştirakiyle ilgili çalışmaların karşılaştırması için test tertibinin tam olarak belgelendirilmesi gerekmektedir [10].

6.3.2 Tanımlamalar [10]

Germe (racking): Kayma duvarlarına uygulandığında, duvar çerçevesinin duvar uzunluğuna paralel uygulanan yüzey içi bir kuvvetin eylemi altında dikdörtgenden eşkenar dörtgene dönüşme eğilimine bağlıdır.

Kayma duvarı: Yatay yapı yüklerini yatay kayma ve devirici bir moment olarak temele aktarmak için destek /diyafram duvar olarak davranış gösteren yapısal alt parça.

Uplift: Yüklenmiş sınır ucunda test aleti tarafından ölçülen düşey yer değiştirme.

Semboller [10]:

a = Sabitlenmiş kayma duvarının yüksekliği.

b = Sabitlenmiş kayma duvarının genişliği.

$c = \sqrt{a^2 - b^2}$ diyagonalin ilk uzunluğu.

δ = Diyagonal uzaması.

Δ = Test aletinin ölçtüğü duvarın en üstündeki toplam yatay yer değiştirme, Bu değer, panel dönmesi, ötelenmesi ve kaymasına bağlı etkileri içermektedir.

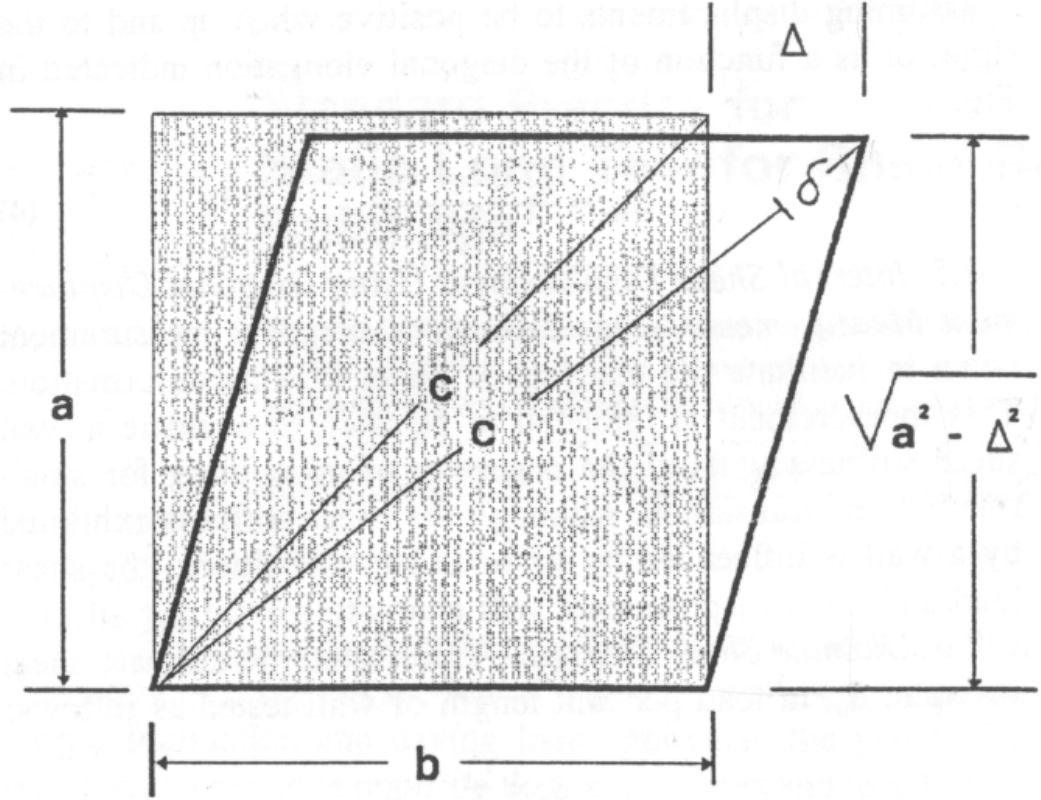
G' = Global kayma rijitliği, duvarın dönme ve ötelenme yer değiştirmeleri ile ara duvar kayma yer değiştirmelerini içermektedir.

G'_{int} = Parçanın iç kayma dayanımı, hesaplamada yalnızca duvarın kayma yer değiştirmesini içermektedir.

P = Duvarın üst sınırında seçilmiş referans yer değiştirmesinde etkiyen yük.

P_u = Enine kesit ölçüsünü kaydedecek kadar uzun süre tutulan en yüksek yük derecesi.

S_U = Parçanın nihai kayma direnci.



Şekil 6.1 Yatay Ölçüm [10]

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$a = 3050\text{mm}$$

$$b = 3650\text{mm}$$

$$(3050)^2 + (3650)^2 = c^2$$

$$\underline{\underline{c = 4756.57\text{mm}}}$$

$$\Delta = 12.51\text{mm}$$

$$(c + \delta)^2 = (b + \Delta)^2 + (a^2 - \Delta^2)$$

$$(4756.57 + \delta)^2 = (3650 + 12.51)^2 + (3050^2 - 12.51^2)$$

$$\underline{\underline{\delta = 9.59\text{mm}}}$$

Testten toplanan bilgiler germe dayanımını, direncini yer değıştirme sınırlarında tanımlanmış ve nihai yük kapasitesini hesaplamaya olanak tanımıştır.

Kayma rijitliği global bir değır olarak hesaplanmışsa (G'), duvarın dönüş veya ötelenmesini içermektedir, ya da her ikisini kapsamaktadır. Bu hesaplama, test sınır koşulları değırlerinin yapıdakine benzer olması ve amacın duvar performansının son parça dahilinde toplam bir hesaplama sağlanması istenmesinden dolayıdır.

Global kayma rijitliği G' aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$G' = \frac{P}{\Delta} * \frac{a}{b} \quad (6.1)$$

Bu ifade lineer şekilde değışmektedir. Ancak, duvar germe testleri, özellikle dayanım ve direncin çivili bağlantılar tarafından kontrol edildiğı duvarlarda hemen hemen tümüyle non-lineerdir. Bundan dolayı, Δ ya da P 'nin değırleri kabul edilebilir bir performans derecesinde, bir performans yükünde ya da sapmasında seçilmelidir. Seçilebilecek referans yükü $0.33*P_u$ olabilir. Diğer referans yük dereceleri ya da net duvar sapmaları da kullanılabilir. Eğer ilk seçilen referans yük derecesinden doğan şekil değıştirmeler kabul edilebilir sınırların üzerindeyse, kabul edilen sapma sınırına ulaşmak için indirgenmiş bir referans yük derecesi seçilir [10].

Nihai Kayma Dayanımı: Nihai kayma dayanımı S_u , birim uzunluk başına yük olarak aşağıdaki gibi belirlenir;

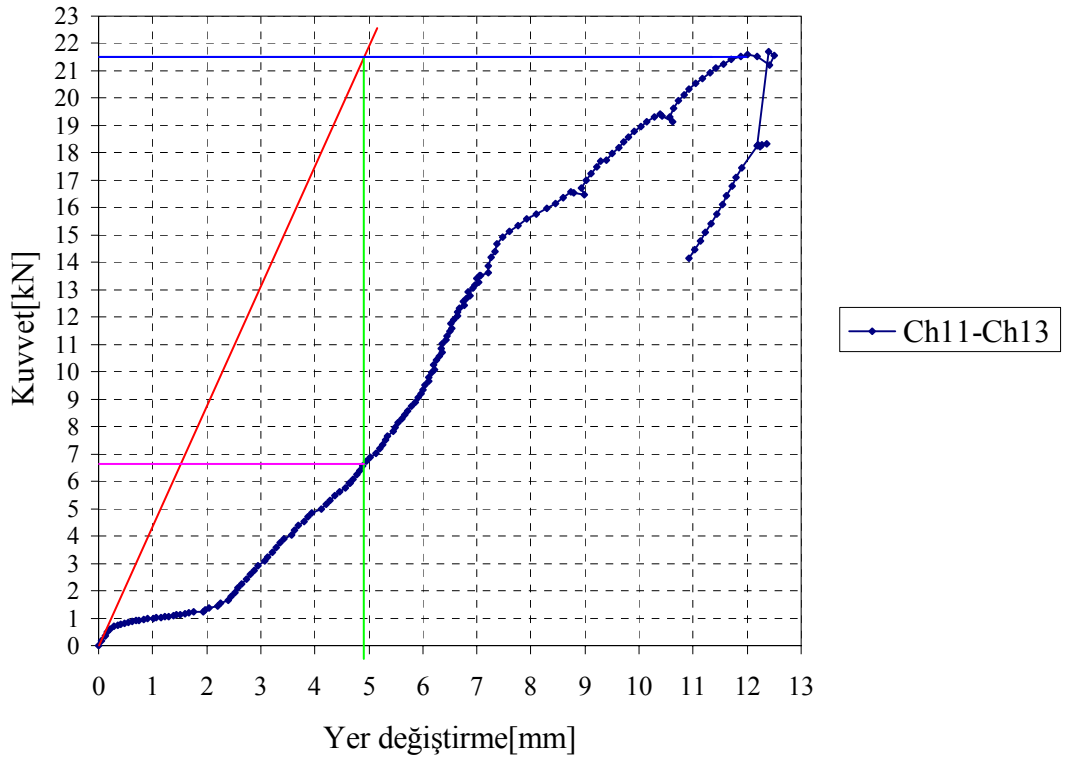
$$S_u = \frac{P_u}{b} \quad (6.2)$$

$$S_u = \frac{P_u}{b} = \frac{21.55}{3650} = 0.00590 \text{ kN/mm}$$

Tablo 6.2 X-Çaprazlı Çerçeve Duvarı Deney Sonucu

Çapraz eni ve kalınlığı (mm)	Çapraz plakasındaki (vida sayısı)	Duvar boyutu (m)	Kayma dayanımı (kN/mm)
70x1.5	10	3.05x3.65	0.00590

6.3.3 Deney Sonucunda Elde Edilen Kuvvet-Yer Değiştirme Eğrisinin Değerlendirilmesi



Şekil 6.2 Kuvvet-Yer değiştirme Diyagramı

Başlangıç noktasından ilk sapmaya kadar olan kısım lineer-elastik kabul edilirse deney sonucunda elde edilen 21.55 kN'a karşı gelen yer değiştirmenin 4.9 mm olduğu görülür. Aynı yer değiştirmeye karşı gelen lineer olmayan gerçek davranış sonucu bulunan kuvvet değeri 6.9 kN olmaktadır.

$$P_{ult} = 21.55 \text{ kN} \longrightarrow \Delta_{elastik} = 4.9 \text{ mm} \longrightarrow P_{ger} = 6.9 \text{ kN}$$

Kayma Rijitliği:

$$G'_e = \frac{P_{ult}}{\Delta e} * \frac{a}{b} = \frac{21.55}{4.9} * \frac{3050}{3650} = 3.67 \text{ kN/mm}$$

$$G'_{ger} = \frac{P_{ger}}{\Delta e} * \frac{a}{b} = \frac{6.9}{4.9} * \frac{3050}{3650} = 1.17 \text{ kN/mm}$$

7. KURAMSAL ÇALIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde soğukta şekil verilmiş çaprazlı çelik çerçeve duvarın, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, deneysel çalışmadaki gibi bir yükleme altında davranışı incelenmiştir. Sistem, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan SAP2000 Programı'nda modellenip, çubuk elemanlardan oluşan düzlem çerçeve olarak tanımlanıp, lineer analiz yöntemi kullanılarak çözüm yapılmıştır.

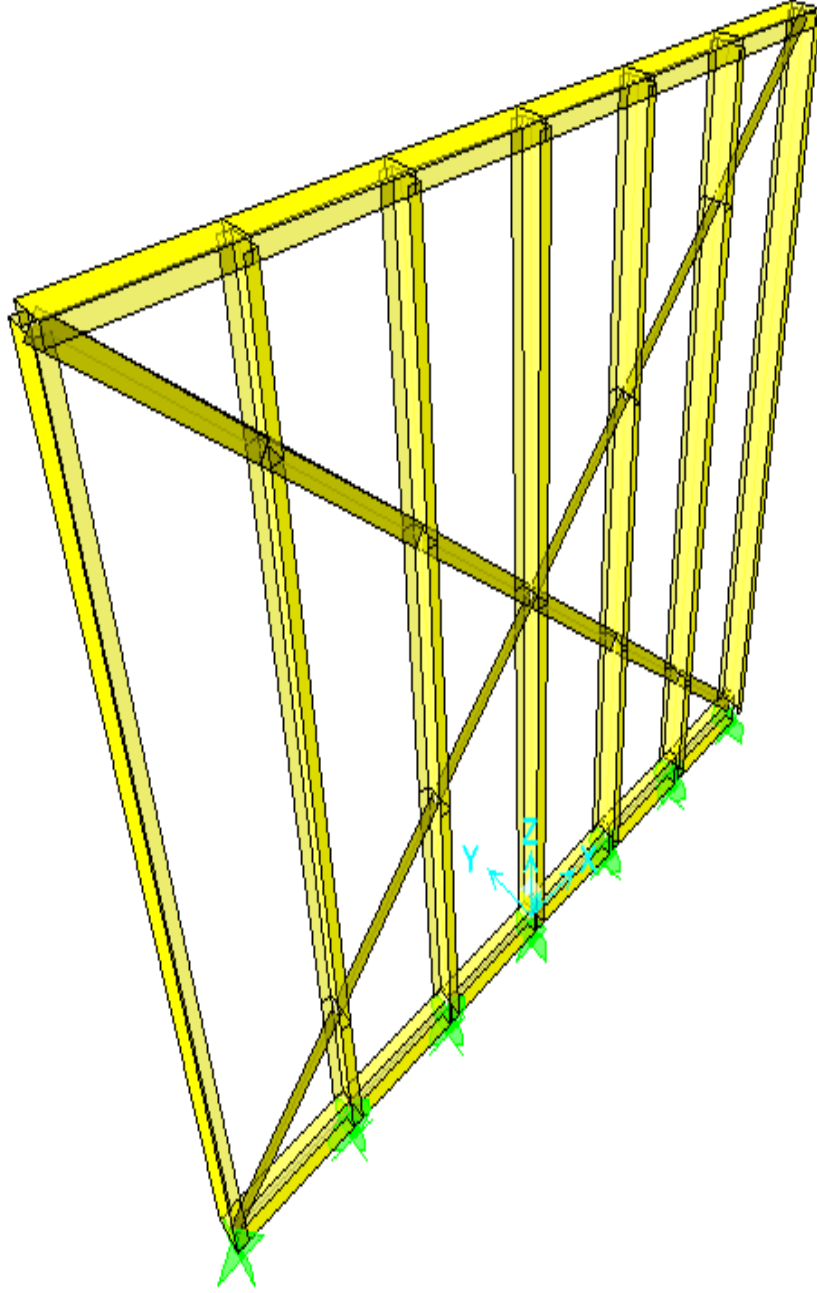
7.1 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

Soğukta şekil verilmiş çelik elemanlardan oluşan çaprazlı çelik çerçeve duvarının sonlu eleman modeli oluşturulurken SAP2000 (Structural Analysis Program, V.8.0) programı kullanılmıştır.

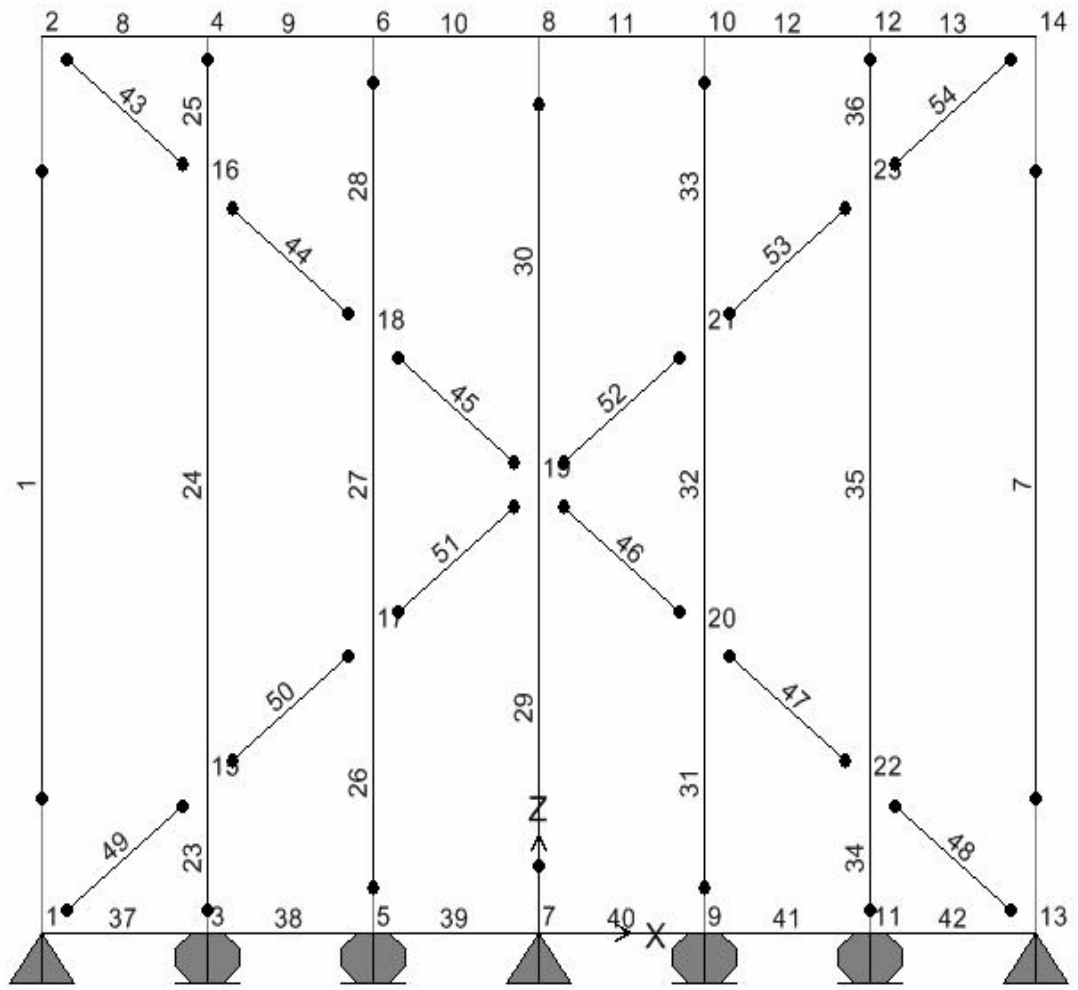
Programda ilk önce model olarak çaprazlı çerçeve seçilmiş ve çerçevenin boyutları girilmiştir. Daha sonra bu çerçeve elemanlarını oluşturan profillerin kesit özellikleri ve malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Bu çerçeve duvarının üç boyutlu görünüşüne bakılarak kesitlerin yerel eksende yönleri ayarlanmıştır. Deney sistemine uygun bir şekilde kesitlerin yönleri düzeltilmiştir. Sistemin mesnet koşulları ve çelik elemanların serbestlikleri verilmiştir. Daha sonra çerçeve duvarına uygulanacak yatay yük tanımlanmıştır. Bu yükün, deneyde çerçeve duvarına yatay olarak uygulanan yüke uygun bir şekilde olması sağlanmıştır. Yani, deney sonucunda elde edilen 21.55 kN'luk yatay yük, modellemede bu kuvvetin sisteme eşit yayılabilmesi için çelik çerçeve duvarının üst başlığının düğüm noktalarına 3.1 kN'luk yük olarak ayarlanmıştır. Bu şekilde model oluşturulduktan sonra, çelik düzlem çerçeve analiz edilmiştir.

Şekil 7.1'de çaprazlı çelik çerçevenin 3 boyutlu görünüşü gösterilmektedir. Şekil 7.2'de sistemin düğüm noktaları numaraları ve eleman numaraları, Şekil 7.3'de sisteme uygulanan kuvvet gösterilmiştir.

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de sistemin analiz sonucunda elde edilen deformasyon şekilleri gösterilmiştir.



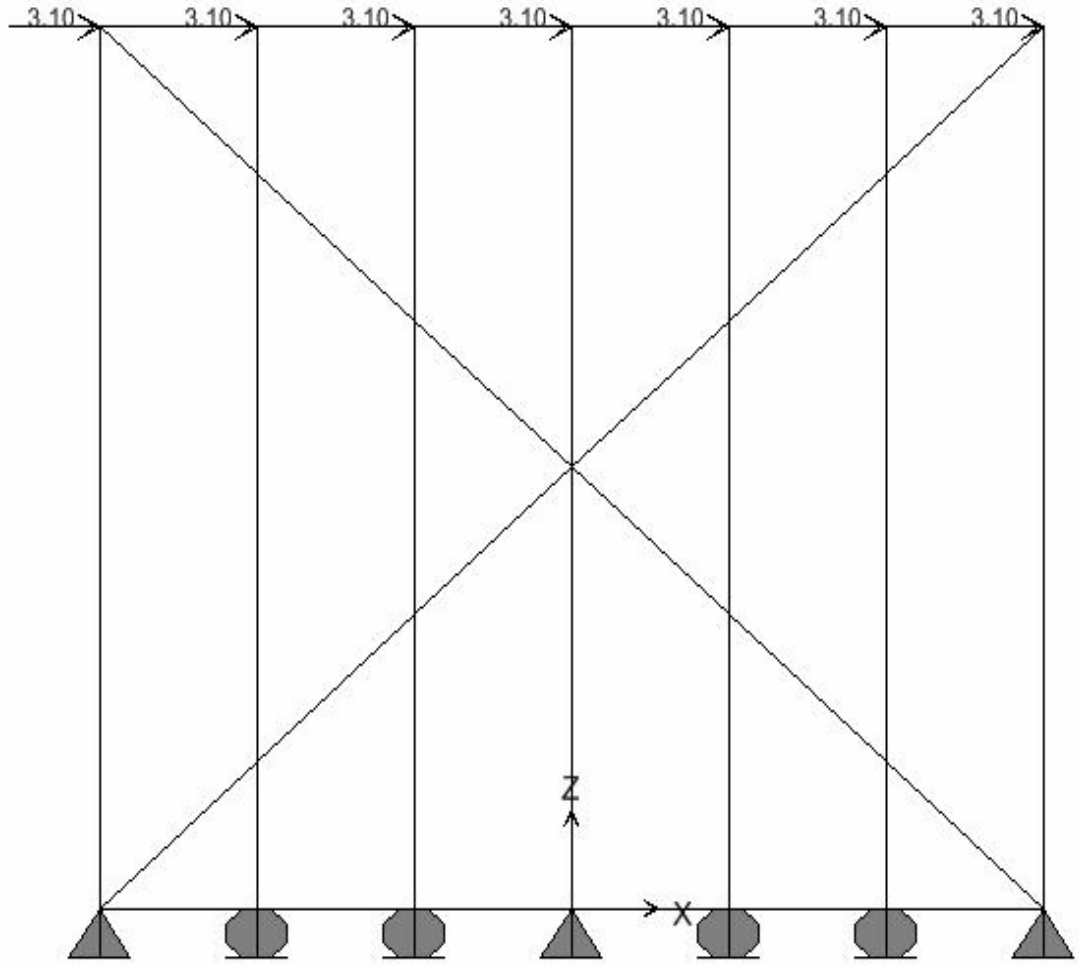
Şekil 7.1 Çerçeve Duvarının 3 Boyutlu Görünüşü



Şekil 7.2 Çerçeve Duvarının Düğüm Noktası Numaraları ve Eleman Numaraları

Tablo 7.1 Sap2000 Program Çıktısı (düğüm noktası yer değıştirmeleri)

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000011	0.000000
2	DEAD	LinStatic	0.445809	0.000000	0.036343	0.000000	0.000785	0.000000
3	DEAD	LinStatic	0.000035	0.000000	0.000000	0.000000	-1.825E-06	0.000000
4	DEAD	LinStatic	0.451687	0.000000	0.000972	0.000000	0.000277	0.000000
5	DEAD	LinStatic	0.000024	0.000000	0.000000	0.000000	3.170E-07	0.000000
6	DEAD	LinStatic	0.455250	0.000000	-0.000926	0.000000	-0.000054	0.000000
7	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-9.559E-08	0.000000
8	DEAD	LinStatic	0.456441	0.000000	-0.000262	0.000000	9.988E-06	0.000000
9	DEAD	LinStatic	0.000024	0.000000	0.000000	0.000000	2.621E-07	0.000000
10	DEAD	LinStatic	0.455252	0.000000	0.000368	0.000000	-0.000054	0.000000
11	DEAD	LinStatic	0.000035	0.000000	0.000000	0.000000	-1.492E-06	0.000000
12	DEAD	LinStatic	0.451691	0.000000	-0.001556	0.000000	0.000280	0.000000
13	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	8.777E-06	0.000000
14	DEAD	LinStatic	0.445815	0.000000	-0.036776	0.000000	0.000767	0.000000
15	DEAD	LinStatic	0.068730	0.000000	0.000241	0.000000	0.001045	0.000000
16	DEAD	LinStatic	0.347716	0.000000	0.000927	0.000000	0.001487	0.000000
17	DEAD	LinStatic	0.138909	0.000000	-0.000471	0.000000	0.001007	0.000000
18	DEAD	LinStatic	0.276604	0.000000	-0.000792	0.000000	0.001072	0.000000
19	DEAD	LinStatic	0.207858	0.000000	-0.000179	0.000000	0.000642	0.000000
20	DEAD	LinStatic	0.138872	0.000000	0.000188	0.000000	0.001007	0.000000
21	DEAD	LinStatic	0.276677	0.000000	0.000324	0.000000	0.001073	0.000000
22	DEAD	LinStatic	0.068699	0.000000	-0.000397	0.000000	0.001044	0.000000
23	DEAD	LinStatic	0.347835	0.000000	-0.001473	0.000000	0.001488	0.000000



Şekil 7.3 Çerçeve Duvarına Uygulanan Kuvvetin Gösterimi

7.2 Çalışmanın Sonuçları

Yapılan bu yaklaşık modellemede, deneysel çalışmanın sonuçları ile karşılaştırma yapılabilmesi açısından yer değiştirmelere bakılmıştır.

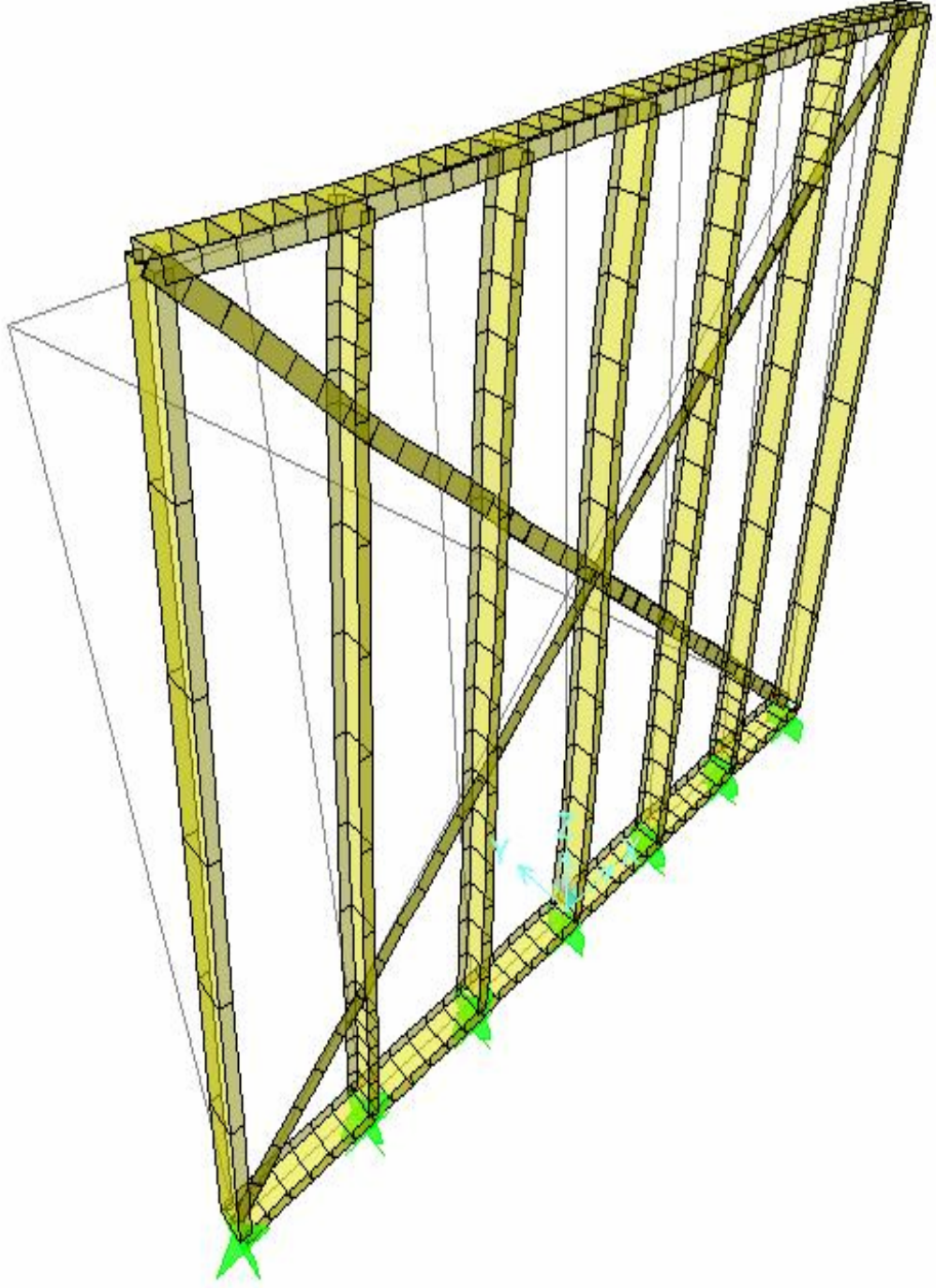
SAP2000 programı kullanılarak yapılan lineer çözüm sonucu elde edilen yer değiştirmeler Tablo 7.1’de verilmiştir. Çaprazlı çelik çerçeve modelinin analizi sonucu maksimum yer değiştirme 4.5 mm olarak elde edilmiştir.

Sonlu eleman yöntemi ile yapılan modelleme ile deney sonuçları ancak yer değiştirmeler cinsinden ve yüklemenin lineer-elastik sınırlar içerisinde kaldığı düşünülen bölge için yapılmıştır. Bu bölgede deney sonuçları ile model sonuçları oldukça yakın yer değiştirme değerleri vermiştir.

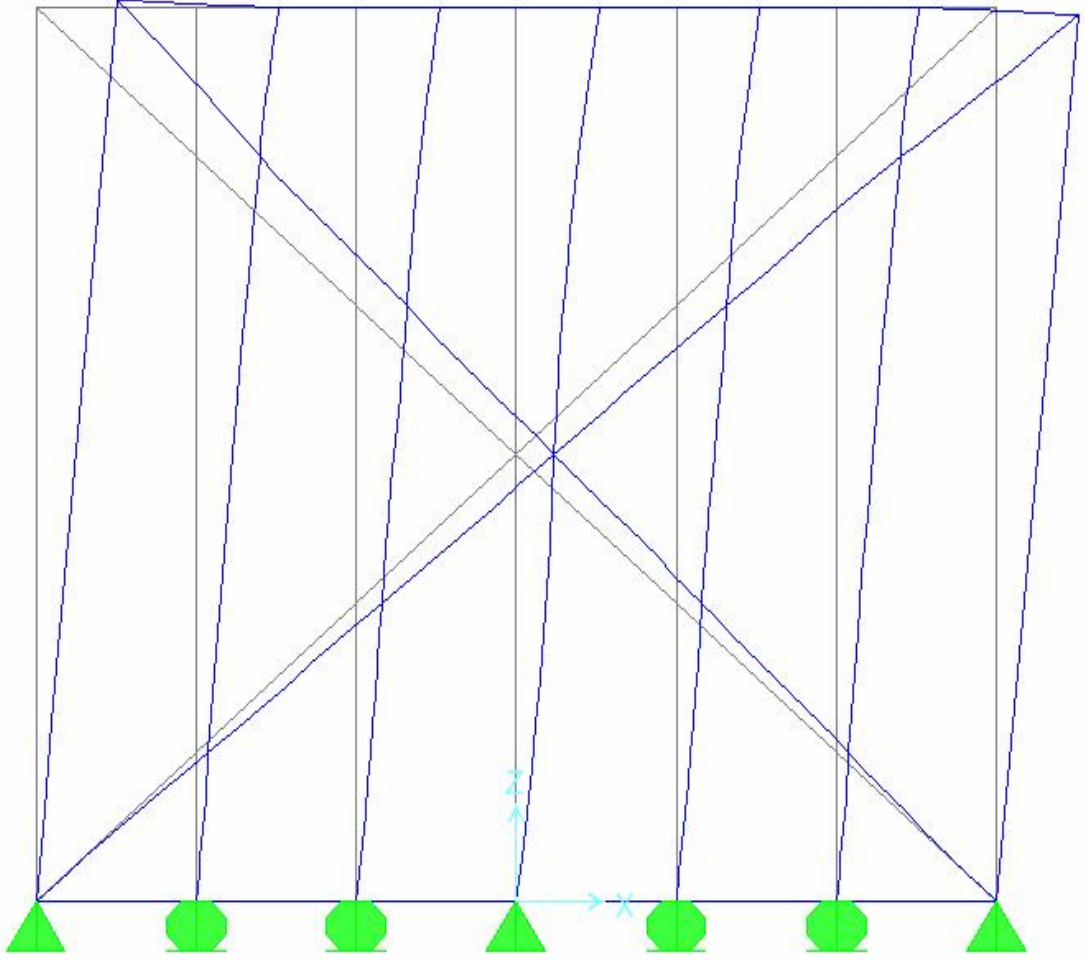
Deneysel çalışma sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme diyagramı değerlendirildiğinde, başlangıçtan itibaren ilk sapmaya kadar olan kısım elastik–lineer kabul edildi. Bu bölgedeki eğime göre tespit edilen yer değiştirmenin 4.9 mm olduğu ve bu sonucun, oluşturulan modelin analizi sonucu elde edilen değere (4.5mm) yakın olduğu görülmüştür.

Ayrıca, çaprazlı çerçeve duvarı Akşan şirketi tarafından STRAP programıyla modellenmiş ve yapılan lineer analiz sonucunda maksimum yer değiştirmenin 4.2mm olduğu tespit edilmiştir.

Bu iki farklı programda (SAP2000 ve STRAP) yapılan modellemenin statik lineer analiz sonuçlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 7.4 Çerçeve Duvarın Analiz Sonucu 3 Boyutlu Deformasyon Şekli



Şekil 7.5 Çerçeve Duvarın Analiz Sonucu Deformasyon Şekli

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada soğukta şekil verilmiş çelik elemanlarla oluşturulan çaprazlı çerçeve duvarı deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır.

Bölüm 5 ve 6’da açıklanan deneysel ve teorik çalışma ve Bölüm 7’de açıklanan kuramsal çalışmalar ile şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deney sırasında basınca çalışan çapraz elemanın burkulduğu görülmüştür.
- Çerçeve duvarının alt başlığında (AK-CS15415) yerel burkulmalar oluşmuştur.
- Üst başlıkta da (AK-CS15415) yerel burkulmalar olduğu gözlenmiştir.
- 5. Dikme ve üst başlık birleşimindeki vida başı kesilip, kopmuştur.
- 6. Dikme ve alt başlık birleşimindeki vida başı kesilip, kopmuştur.
- Sistemde ani düzlem dışı hareket oluşmuş, düzlem dışı hareketi ölçmek için yerleştirilen yer değiştirme ölçerlerin kapasiteleri aşılmıştır.
- Deney sonucunda çaprazlı çelik çerçeveye 21.55 kN yatay yük uygulanmış ve 12.51 mm deplasman oluşmuştur. Çekmeye çalışan çapraz elemanı akmaya ulaşmıştır.
- Deney sonucunda elde edilen verilerle çizilen kuvvet-yer değiştirme diyagramı değerlendirilmiş ve başlangıç noktasından itibaren ilk sapmaya kadar olan kısım lineer-elastik sınır kabul edilmiş, 21.55 kN kuvvete karşı gelen yer değiştirmenin 4.9 mm olduğu görülmüştür. Aynı yer değiştirmeye karşı gelen lineer olmayan davranış sonucu bulunan kuvvet değeri 6.9 kN olmaktadır.
- Deney sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasman değerleriyle E564 Uluslararası Amerikan Standardı’na göre hesaplamalar yapılmıştır ve yapılan bu itme statik test sonucunda çerçeve duvarının global kayma rijitliği 1.17 kN/mm ve nihai kayma dayanımı 0.00590 kN/mm olarak hesaplanmıştır.

- Sonlu eleman yöntemi ile yapılan modelleme ile deney sonuçları ancak yer değiştirmeler cinsinden ve yüklemenin lineer-elastik sınırlar içerisinde kaldığı düşünülen bölge için yapılmıştır. Bu bölgede deney sonuçları ile model sonuçları oldukça yakın yer değiştirme değerleri vermiştir.
- SAP2000 programı ile oluşturulan düzlem çaprazlı çelik çerçeve duvarı modelinin statik lineer çözümü sonucunda bulunan yer değiştirme değeri 4.5 mm'dir. Modelleme sonucunda bulunan bu değer, deney sonucunda yüklemenin lineer elastik sınırlar içerisinde kaldığı düşünülen bölgedeki yer değiştirme değerine (4.9 mm) yakındır.

8.1 İleriki Çalışmalar için Öneriler

- Yapılan deneysel çalışmada düzlem dışı hareket meydana gelmiş, bunu önlemek ve yükleme düzlemi dışında yer değiştirmeleri sınırlandırmak üzere çerçeve duvarı daha iyi bir şekilde desteklenebilir.
- Yapılan bu deneysel çalışmada çerçeve boyutları 3.05 m x 3.65 m olup, bu boyutlar Shear Wall Design Guide'da belirtildiği üzere 1.22 m x 2.44 m veya 2.44 m x 2.44 m seçilebilir. Böylece deney sistemi hazırlanırken daha rahat çalışma imkanı sağlanabilir ve daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
- Bu deneysel çalışmada çaprazlı çerçeve duvarında yükleme sırasında yerel burkulmalar gözlenmiş olup, daha sonraki çalışmalarda bu önlenmeye çalışılmalıdır.
- Bu deneyde çerçeve duvarı tek taraflı çapraz elemanlarından oluşuyordu. Deney sırasında bu çapraz elemanlarının deformasyonu gözlemlenmiştir. Bundan sonraki yapılan çalışmalarda duvarın her iki yüzeyine simetrik olarak atılan çaprazlardan oluşan çerçeve duvarı test edilebilir. Böylece yanal burkulmalar önlenir.
- Ayrıca duvar bitimlerinde, yani çerçeve duvarını oluşturan ilk ve son dikmelerde sırt sırta iki dikme kullanılabilir.

KAYNAKLAR

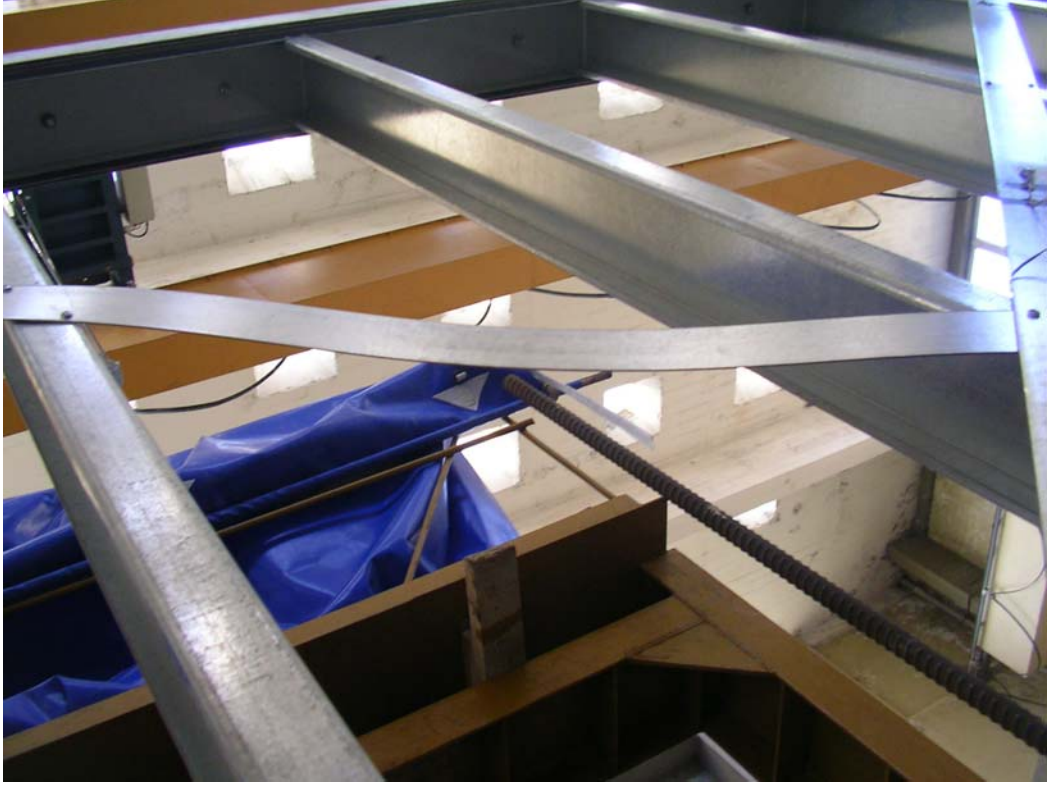
- [1] **YEM, TUCSA**, İ.T.Ü. 2001. Yapısal Çelik ve Mimari Tasarım Seminer Bildirileri, İstanbul.
- [2] **Anonim**, 2000. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Demir –Çelik Sanayi Özel İhtisas Komisyon Raporu.
- [3] **Uzgider, E. ve Arda, S.**, 1989. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlar, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [4] **Yu, Wei-Wen**, 2000. Cold-Formed Steel Design, Wiley & Sons , Inc.,New York.
- [5] **Balcı, E.**, 2003. Betonarme ve Çelik Hafif Taşıyıcılı Yapı Sistemlerinin Kaba Yapım Aşamasında Maliyetlerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Odabaşı, Y.**, 2001. Çelik Yapı Sistemlerinin Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası Şubesi, YEM Yayınları, İstanbul.
- [7] **Akşan A.Ş.** Kataloğu.
- [8] **Specification for the Design of Cold-Formed Steel Members**, 1996. American Iron and Steel Institute, Washington.
- [9] **LaBoube, R.A.**, June 2000. Behaviour of Screw Connections, Light Gauge Steel Engineers Association- Research Reports.
- [10] **E564 An Amerian National Standard**, 2001.
- [11] **Shear Wall Design Guide**, 1998.
- [12] **Computers and Structures Inc.**, 2002. SAP2000 Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, Berkeley, California.
- [13] **TS 11372, Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan –Hesap Kuralları**, 1994. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [14] **İleri, S.**, 2003. Cold Formed Steel Framing In Residential Housings, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Morgan K. and Sorhouet**, 2002. Performance of Cold-Formed Shear Walls, Santa Clara University.

EKLER

EK A: Deney sırasında sistemde gözlenen deformasyonların resimleri.

EK B: Deney sonrasında elde edilen verilerle çizilen diyagramlar.

EK A



Şekil A.1 Basınca Çalışan Çapraz Elemanı Burkulması



Şekil A.2 Basınca Çalışan Çapraz Elemanı Burkulması



Şekil A.3 Alt Başlık U Profilinin Yerel Burkulması



Şekil A.4 Alt Başlık U Profilinde Meydana Gelen Yerel Burkulma

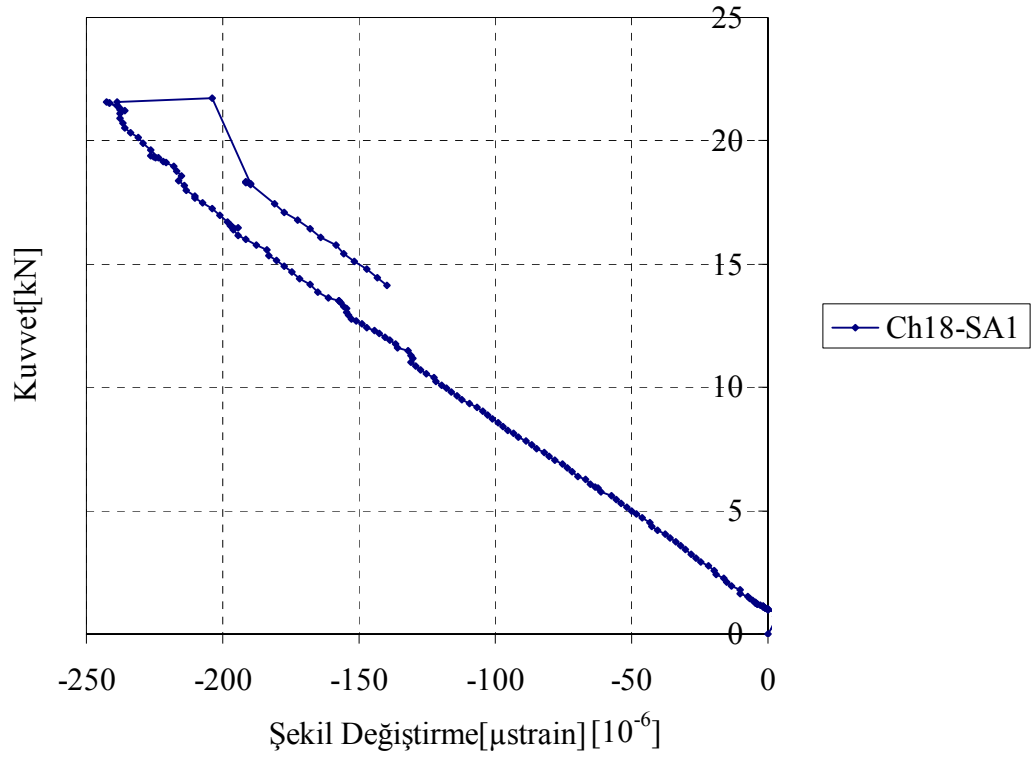


Şekil A.5 Üst Başlık ve 5. Dikme Birleşimindeki Vida Başının Kopması

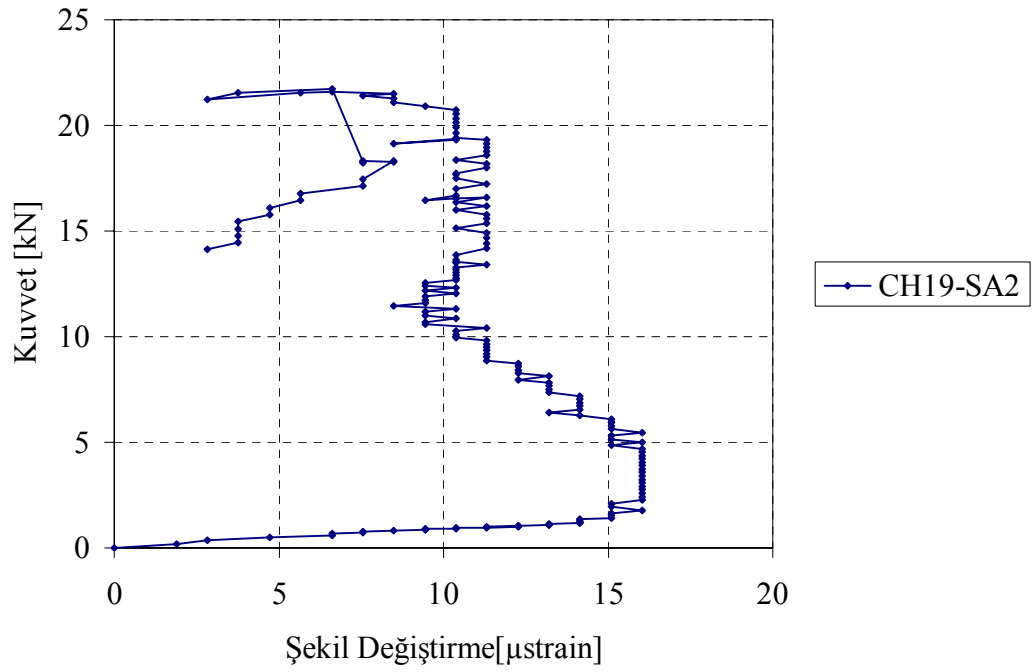


Şekil A.6 Alt Başlık ve 6. Dikme Birleşimindeki Vida Başının Kopması

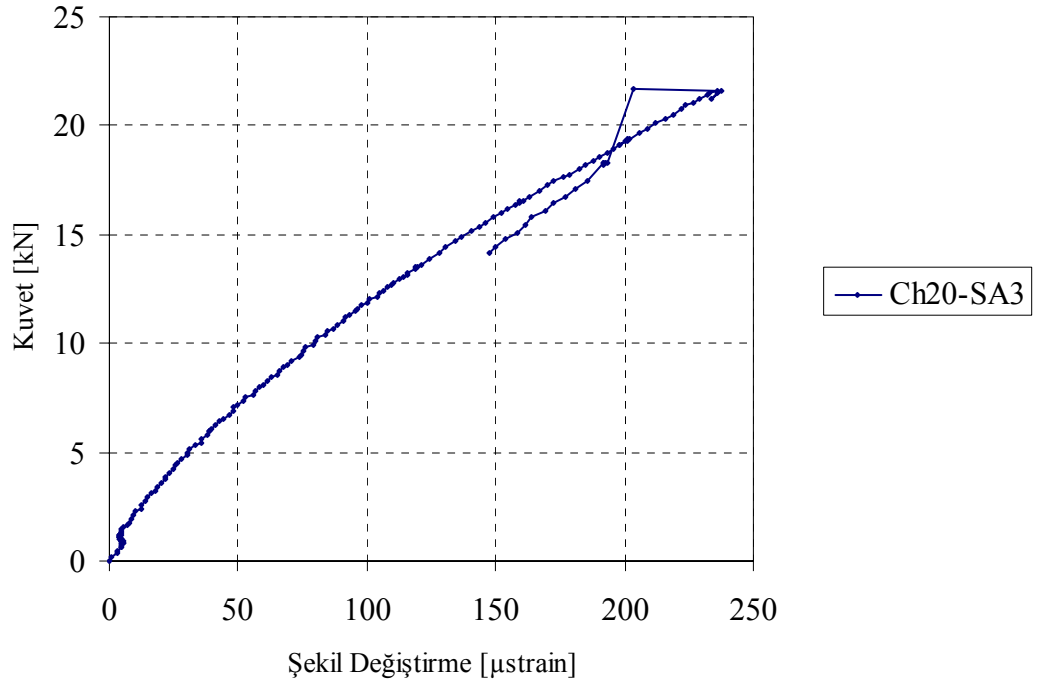
EK B



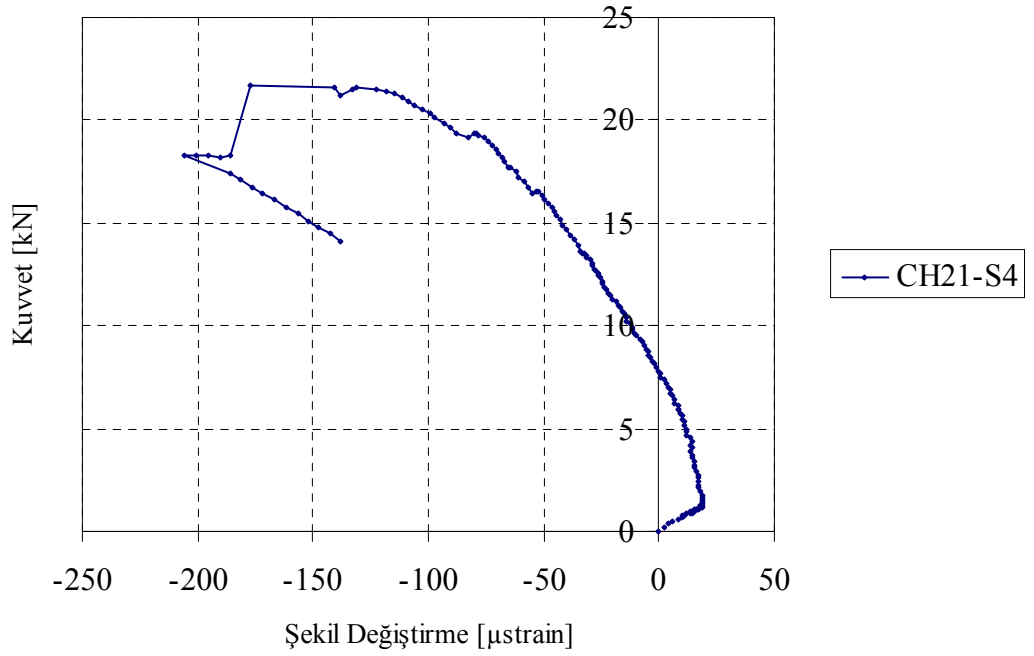
Şekil B.1 1.Dikme Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



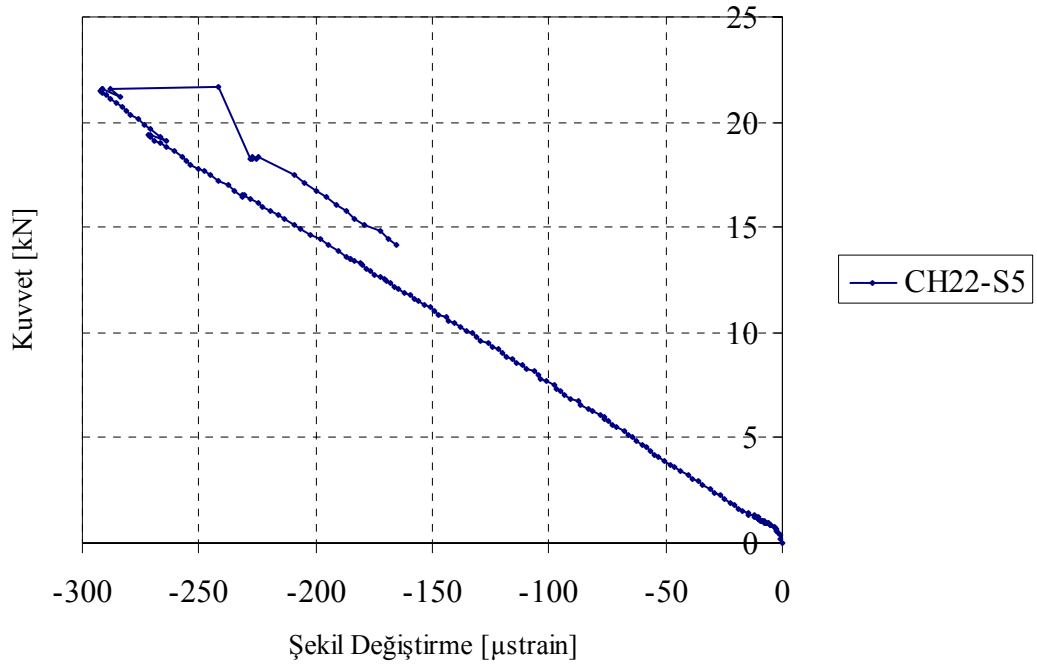
Şekil B.2 1.Dikme Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



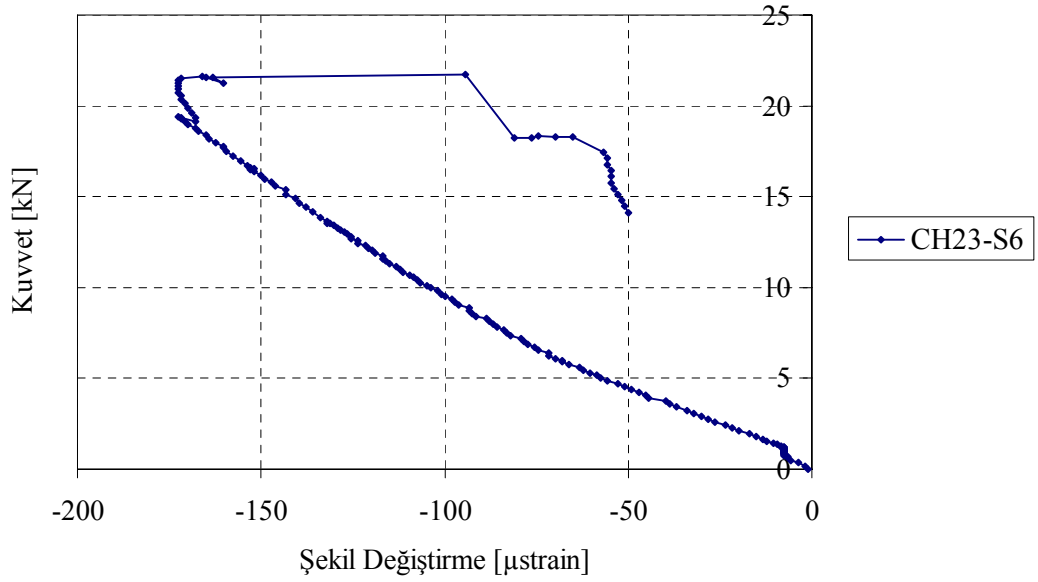
Şekil B.3 1.Dikme Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



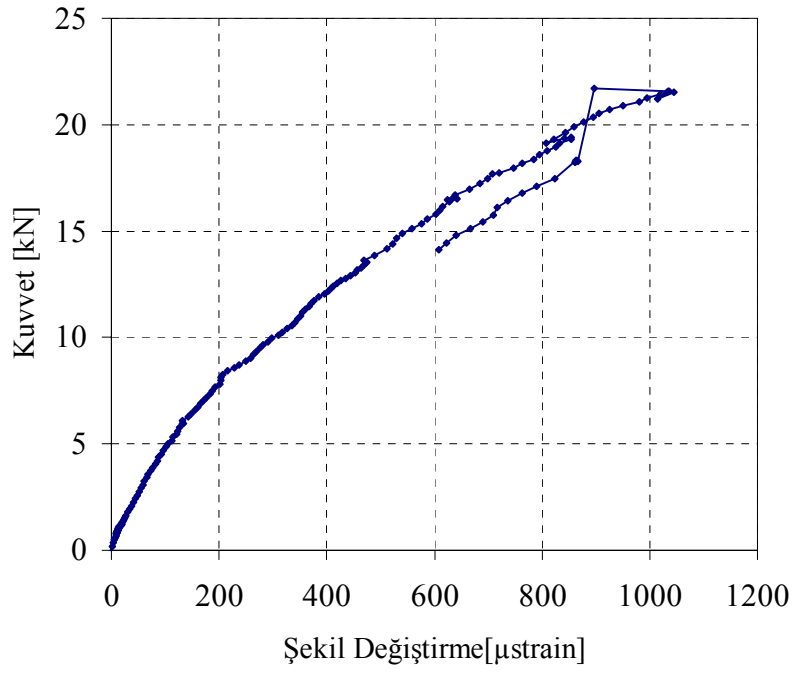
Şekil B.4 7.Dikme Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



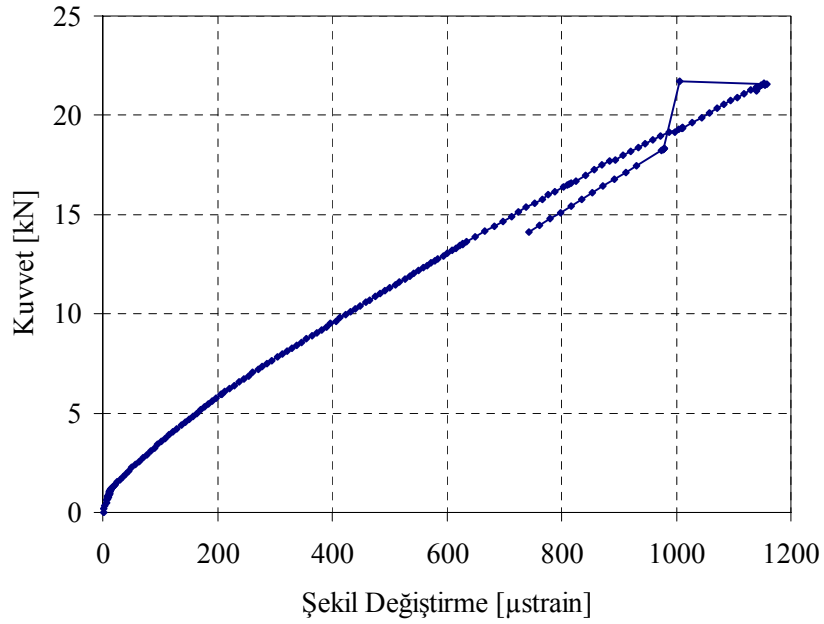
Şekil B.5 7.Dikme Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



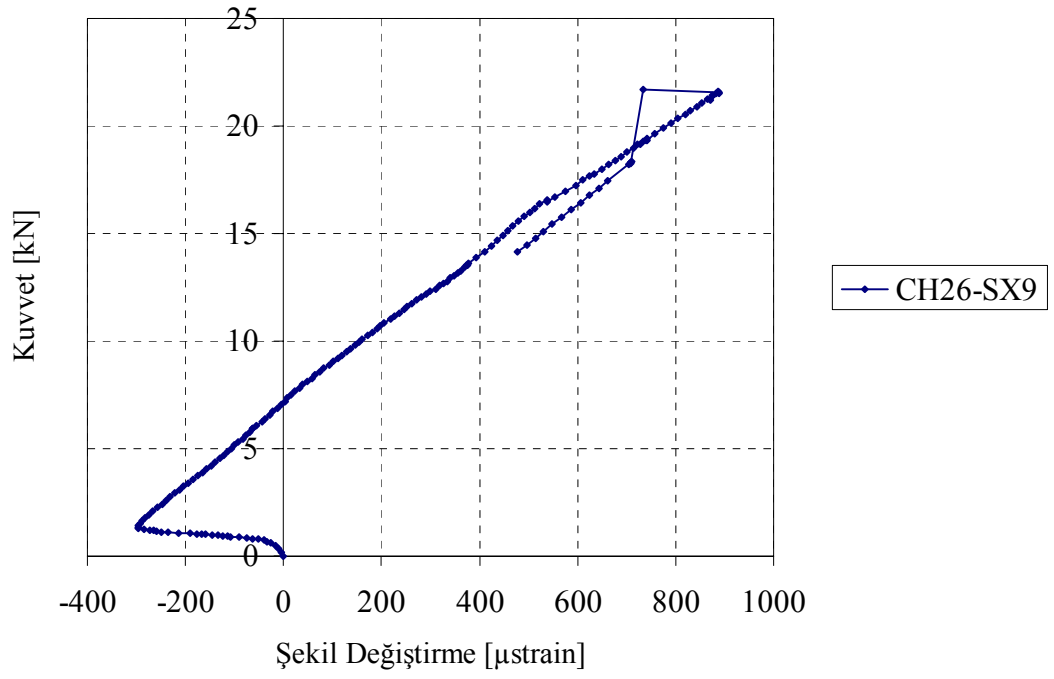
Şekil B.6 7.Dikme Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



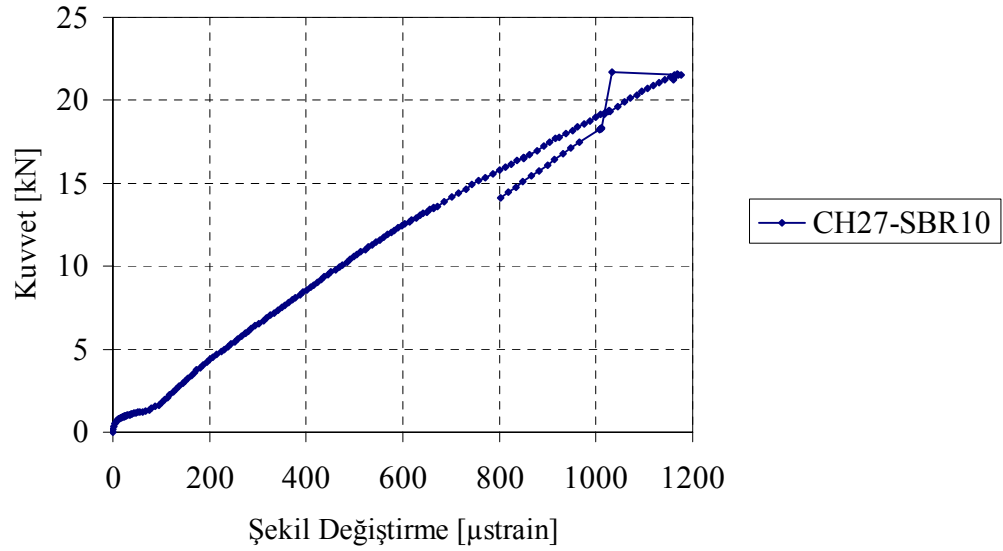
Şekil B.7 Çapraz Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



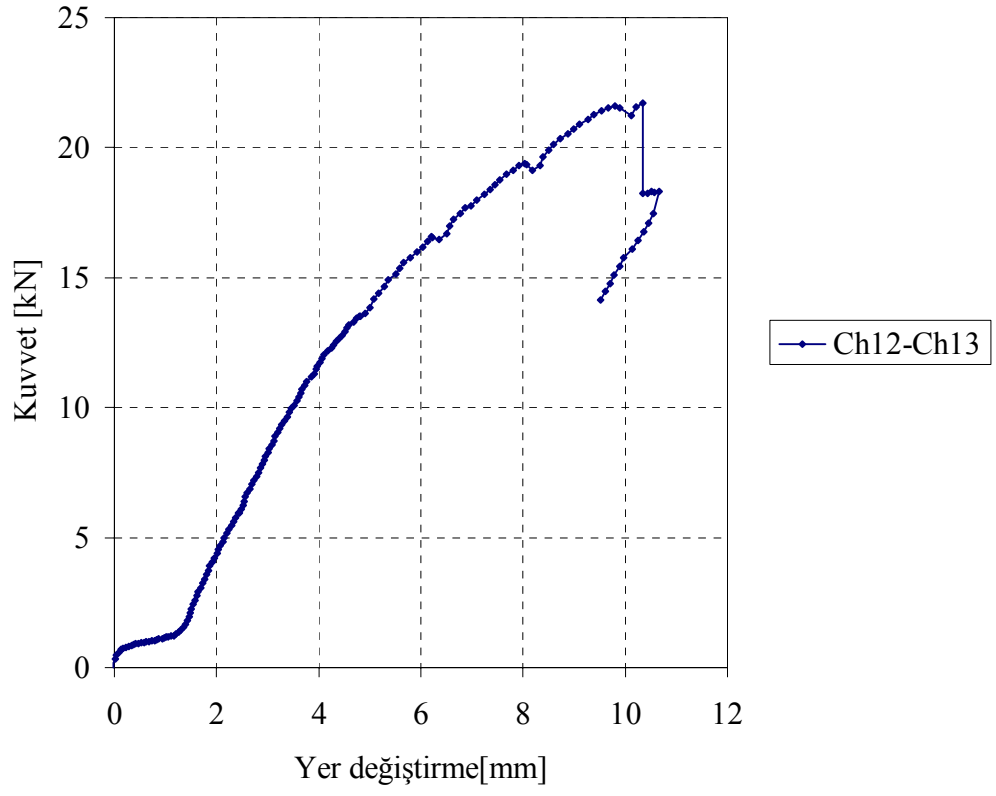
Şekil B.8 Çapraz Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



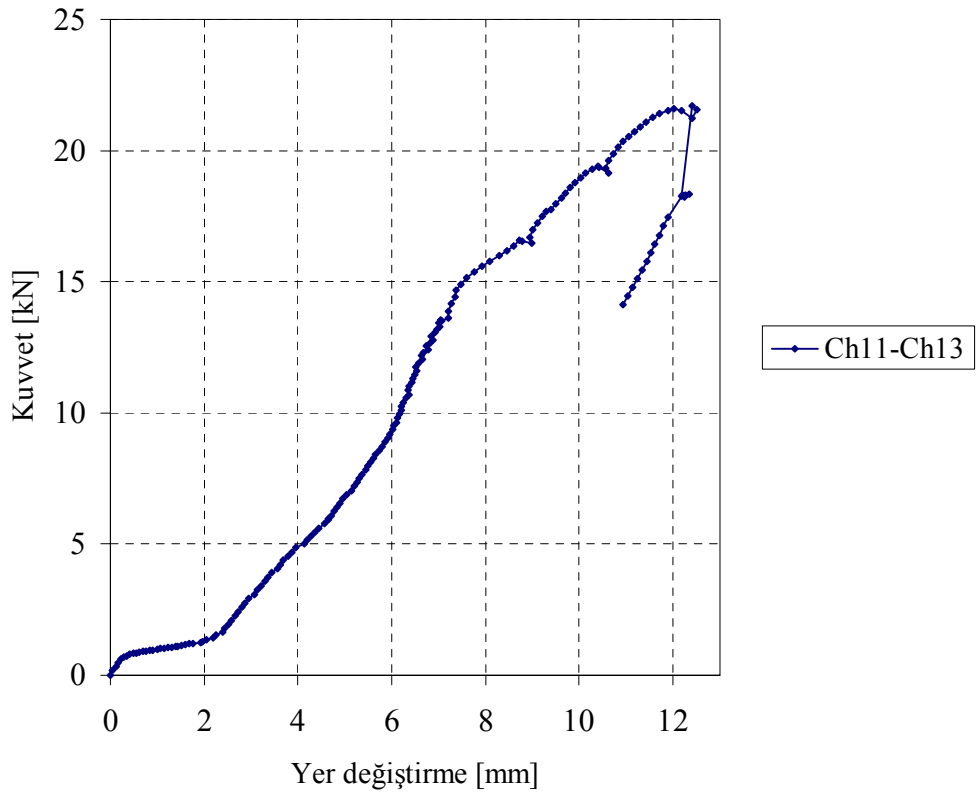
Şekil B.9 Çapraz Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



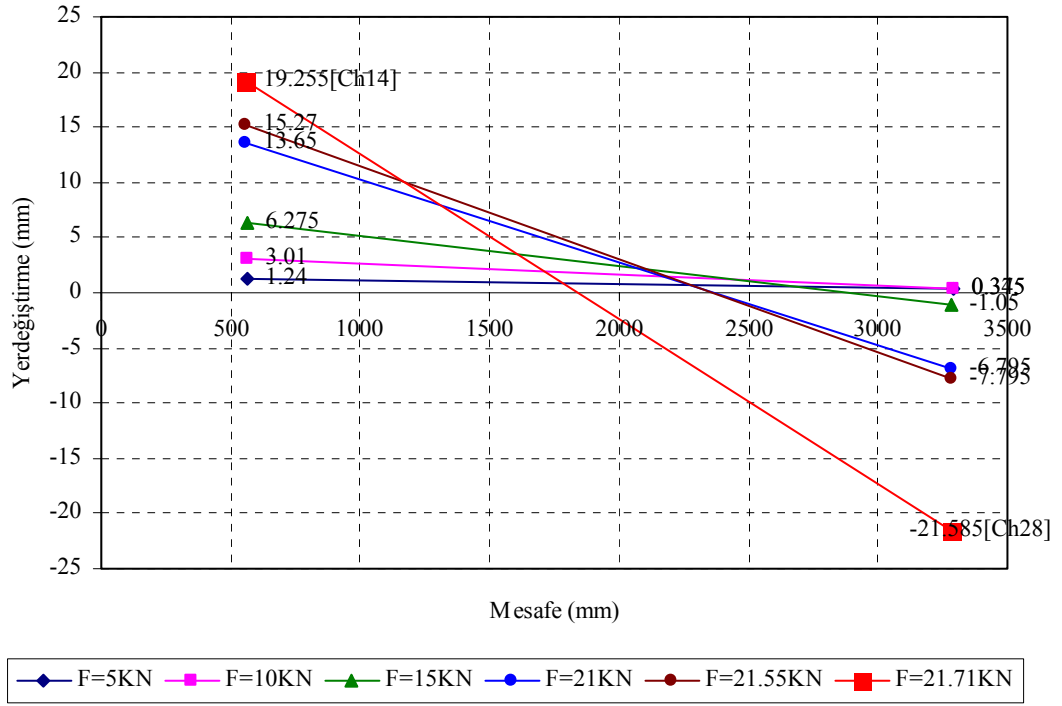
Şekil B.10 Çapraz Üzerindeki Kuvvet-Şekil Değişirme Diyagramı



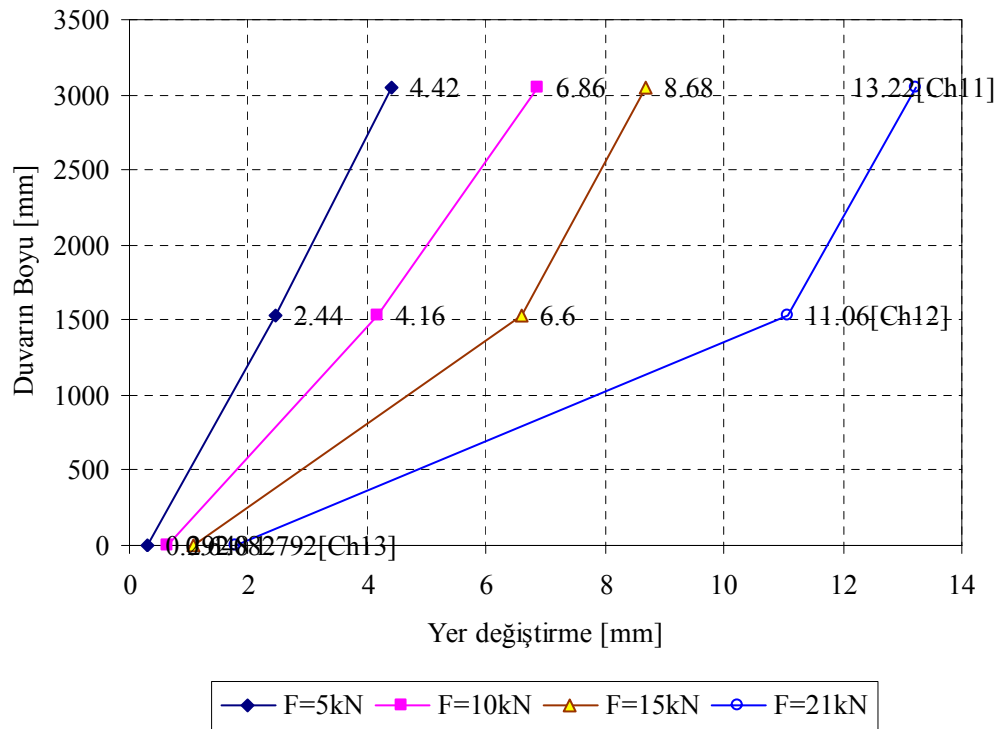
şekil B.11 Yatay Hareketi Gösteren Kuvvet-Yer Değiştirme Diyagramı



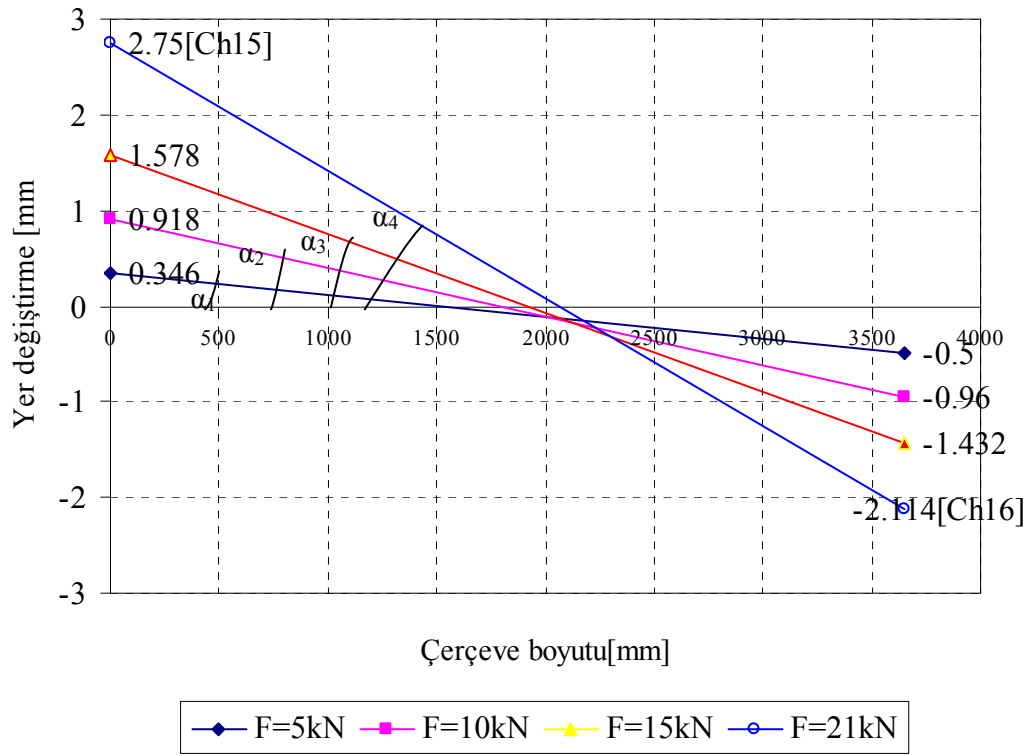
şekil B.12 Yatay Hareketi Gösteren Kuvvet-Yer Değiştirme Diyagramı



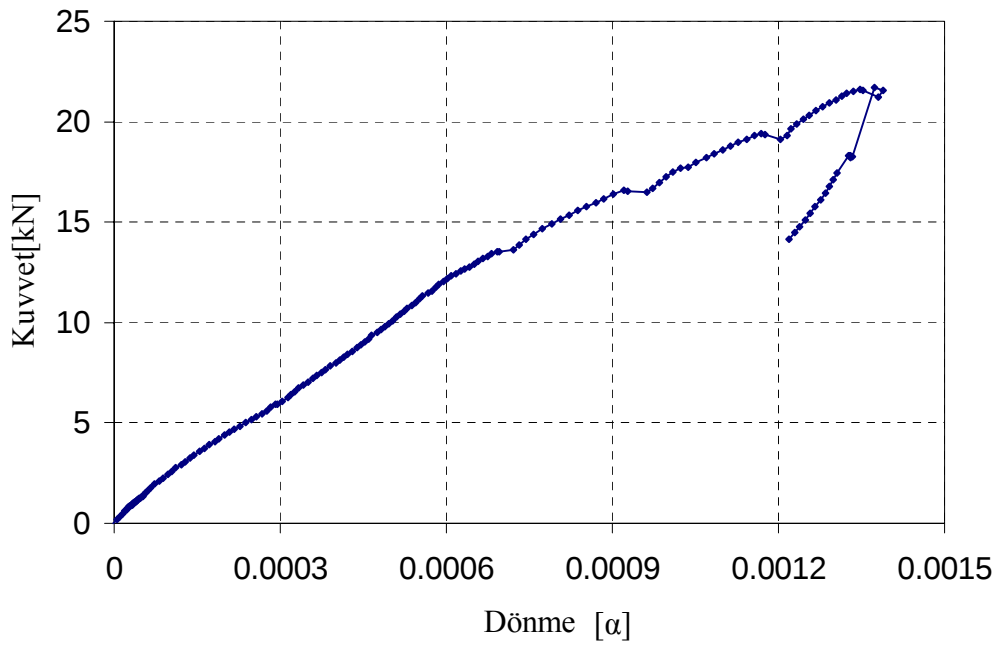
Şekil B.13 Sistemin Düzlem Dışı Hareketi



Şekil B.14 Sistemin Yatay Hareketi



Şekil B.15 Sistemde Dönme için Yerleştirilen Yer değişirme Ölçerlerin Sonuçlarının Diyagramı



Şekil B.16 Sistemin Dönmesi

ÖZGEÇMİŞ

Ayşe Berna BÜYÜKŞİŞLİ, 1975 yılında Gaziantep’te doğdu. Ortaöğrenimini Gaziantep Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1993 yılında Gaziantep Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programı’na girdi. 1995’de bölüm birincisi olarak İnşaat Programını bitirdi. Bir süre özel bir mimarlık şirketinde çalıştıktan sonra İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2001’de İnşaat Mühendisliği Bölümünü burslu ve bölüm ikincisi olarak tamamladıktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne bağlı Yapı Mühendisliği, Yapı Mekaniği Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004’de Yüksek Lisans Tezini vererek Yüksek İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu.