

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ÇERÇEVELİ DUVAR
PANELLERİNİN DİYAGONALLI VE DİYAGONALSIZ
YATAY YÜK KAPASİTELERİ VE DAVRANIŞI**

Geldimurat ANNAGELDİYEV

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2009

ANKARA

Geldimurat ANNAGELDIYEV tarafından hazırlanan SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ÇERÇEVELİ DUVAR PANELLERİNE DİYAGONALLERİN KONMASI HALİNDE YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Yusuf DEMİREL

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Recep KANIT

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç. Yusuf DEMİREL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr.Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 20 / 05 / 2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Geldimurat ANNAGELDİYEV

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ÇERÇEVELİ DUVAR
PANELLERİNE DİYAGONALLERİN KONMASI HALİNDE YATAY
YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Geldimurat ANNAGELDİYEY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2009**

ÖZET

Bu çalışmada soğukta şekil verilmiş çelik çerçeveli duvar panellerine diyagonallerin konması halinde yatay yükler altındaki davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla 6 farklı modelde paneller üretilmiş ve yatay yük taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Aynı modeller bilgisayarda analiz edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Perde duvarların kapasiteleri profil kalınlığı, diyagonal ve kaplama kullanılıp kullanılmaması gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak irdelenmiştir. Bu parametreleri incelemek amacıyla, kaplamasız-diyagonal, kaplamalı-diyagonalsız ve kaplamalı-diyagonal perde duvarlar için kalınlık değişkeni olarak 1.2 mm ve 2.0 mm kalınlıktaki profiller kullanılarak deneyler yapılmıştır. Perde duvarların analitik çalışması ile yapılmış ve deneysel sonuçlar irdelenmiştir.

Yanal yük taşıma kapasitesi, kalınlık farkından dolayı %25, diyagonal etkisi ile %20-%25 oranında artmış olduğu, betopan kaplamalarının kaplamasız çerçeveye göre %500-%700 artış sağladığı yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.143
Anahtar Kelimeler : soğukta işlem görmüş çelik, kaplama, diyagonal, perde duvarlar.
Sayfa Adedi : 99
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Yusuf DEMİREL

**BEHAVIOUR OF WALL PANELS OF COLD-FORMED STEEL FRAME
WITH DIAGONALS UNDER LITERAL LOAD
(M.Sc. Thesis)**

Geldimurat ANNAGELDIYEV

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2009**

ABSTRACT

In this research, cold-formed steel structured wall panels added diagonals under the lateral loads. For this work, 6 different model panels produced and examined their capacity of lateral loading. Some computerized analysis are made for same models and compared with experimental results.

Betopan (cement board) is used as cover material on residence (house) type buildings generally. Capacity of screen walls changes depend on some parameters like profile thickness, usage of diagonals and cover materials.

To examine of these parameters, some experiments are made by using 1,2-2,0 mm of profiles as thickness variable, for uncovered-with diagonal, covered-without diagonal and covered-with diagonal screen walls.

This analytical working is made on screen walls and compared by experimentally results.

The lateral load capacity is increased up to 25% relative to thicknes, 20%-25% capacity in increased relative to diagonals and there also were learned that cementboard covering panels capacity is increased up to 500%-700% in comparison with uncovered panels.

Science Code : 911.1.143

Key Words : cold-formed steel, cover material, diagonal, screen walls

Page Number: 99

Adviser : Assist. Prof. Dr. Yusuf DEMİREL

TEŞEKKÜR

Tez Çalışması boyunca değerli öneri ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf DEMİREL'e teşekkür ederim.

Sevgi, sabır ve fedakârlığıyla bu günlere ulaşmamı sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili babam Allak ANNAGELDİYEV'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
3. SOĞUKTA İŞLEM GÖRMÜŞ ÇELİK YAPILAR.....	13
3.1. Dünyada ve Türkiye’de Çelik Yapılarının Yeri.....	13
3.2. Çeliğin Genel Özellikleri.....	15
3.3. Soğukta İşlem Görmüş Çeliklerin Özellikleri.....	18
3.4. Soğukta İşlem Görmüş Çeliklerin Üretimi.....	19
3.4.1. Sürekli şekil verme yöntemi.....	20
3.4.2. Pres kullanma yöntemi.....	23
3.5. Soğukta İşlem Görmüş Çelik Profiller.....	27
3.6. Birleştirme Elemanları ve Teknikleri.....	31
3.7. Tamamlayıcı Elemanlar.....	33
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
4.1. Deney Elemanlarının Üretilmesi	35

Sayfa

4.2. Deney Düzenekini Hazırlanması ve Ölçüm Düzeyi .	38
4.3. Deney Aşamaları ve Veri Değerlendirilmesi .	42
4.3.1. DKz 1.2 (Diyagonalı, Kaplamasız, Et Kalınlığı: 1.2 mm).	42
4.3.2. DKz 2.0(Diyagonalı Kaplamasız Et Kalınlığı 2.0 mm'lik Panel).	44
4.3.3. DzK 1.2 (Diyagonalsız, Kaplamalı, Et Kalınlığı: 1.2 mm).	50
4.3.4. DzK 2.0 (Diyagonalsız Kaplamalı Et Kalınlığı 2.0 mm'lik Panel)	53
4.3.5. DK 1.2 (Diyagonalı, Kaplamalı, Et Kalınlığı: 1.2 mm).	61
4.3.6. DK 2.0 (Diyagonalı Kaplamalı Et Kalınlığı 2.0 mm' lik Panel).	65
5. DEĞERLENDİRME	73
5.1. Yük Kapasitesi .	73
5.2. Süneklik.....	74
5.3. Rijitlik.....	76
5.4. Enerji Yutma Kapasitesi.....	77
5.5. Deney Elemanlarının Karşılaştırılması.....	77
6. SİSTEMİN ANALİTİK MODELLENMESİ VE ANALİZİ	81
6.1. Kullanılan Malzeme Bilgileri	81
6.2. Analitik Bilgisayar Modeli	82
6.2.1. Diyagonalı-kaplamasız çerçevenin analitik modeli.	84
6.2.2. Kaplamalı ve diyagonalsız çerçevenin analitik modeli.....	87
6.2.3. Kaplamalı ve diyagonalı çerçevenin analitik modeli.....	91
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Serrette (1997) Tarafından Yapılan Testlerdeki Nominal Kesme Değerleri.....	5
Çizelge 2.2. Serrette (1997) Tarafından Yapılan Testlerdeki Nominal Devirsel Kesme Değerleri.....	5
Çizelge 2.3. Duvar panellerin özellikleri Dubina (2008).....	12
Çizelge 3.1. Dünya Çelik Tüketimi (milyon ton).....	15
Çizelge 3.2. Demir ve çeşitli çelik malzemelerin özellikleri [5, s.296].....	17
Çizelge 3.3. Hafif çelik “gauge”, sınıflandırmasının, inch, Mil, milimetre karşılıkları.....	30
Çizelge 3.4. CABO ve ICBO standartlarına göre flanş boyutuna bağlı olarak minimum kullanılacak çelik kalınlığı ve dudak boyutu	30
Çizelge 4.1. Duvar panellerinde kullanılan profil ölçüleri.....	37
Çizelge 5.1. Deneysel sonuçlar ve analitik çözümlerin karşılaştırılması.....	94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tipik taşıyıcı duvar oluşturulması [7]	3
Şekil 2.2. OSB ve çelik birleşim detayı.	9
Şekil 3.1. Şerit veya levha çelikte gerilme-şekil değiştirme diyagramı (a) Keskin akma (b) Yavaş akma [s.30, 1]	19
Şekil 3.2. Sürekli şekil verme yöntemi ile profil elde etme aşamaları [AISI,2001]	22
Şekil 3.3. Şekillendirme yöntemlerine göre üretim kapasitesi-maliyet grafiği [40]...	26
Şekil 3.4. Profil üzerinde açılacak deliklerin maksimum kenar mesafeleri [NASFA, 2000]..	27
Şekil 3.5. Profil üzerinde açılacak deliklerin minimum kenar mesafeleri [NASFA, 2000].....	27
Şekil 3.6. Hafif çelik yapılarda kullanılan soğukta işlem görmüş çelik profiller [10].....	28
Şekil 3.7. C ve U profillerini oluşturan kısımlar [NASFA, 1996].....	29
Şekil 3.8. Çeşitli, soğuk şekillendirilmiş trapez levhalar (A), çelik levha ve şeritler (B), köşebent ve çeşitli bağlantı elemanları (C). [2, 10].	31
Şekil 3.9. Hafif çelik yapı sisteminde duvar katmanlarını gösteren kesit örneği[6].....	34
Şekil 4.1. Panel duvar ve deney düzeneği.	36
Şekil 4.3. Panel mesnetlendirilmesi.	42
Şekil 4.4. DKz1.2 Yük-Deformasyon grafiği.	44
Şekil 4.5. DKz 2.0 panelinin yük-deformasyon grafiği.	50
Şekil 4.6. DzK 1.2 panelinin yük-deformasyon grafiği.	53
Şekil 4.7. DzK 2.0 panelinin yük-deformasyon grafiği.	61

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. DK1.2 panelinin yük-deformasyon grafiği.	65
Şekil 4.9. DK 2.0 panelinin yük-deformasyon grafiği.	72
Şekil 5.1. Deneyi yapılan tüm panellerin yanal yük-deformasyon grafiği.	80
Şekil 6.1. Kesme duvarının serbest cisim diyagramı, (Bredel, 2003).	83
Şekil 6.2. Çelik çerçeve SAP2000 modeli (DKz1.2 ve DKz2.0 panelleri için).	84
Şekil 6.3. DKz1.2 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği.	85
Şekil 6.4. DKz2.0 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği.	86
Şekil 6.5. Çelik çerçeve SAP2000 modeli (DzK1.2 ve DzK2.0 panelleri için).	88
Şekil 6.6. DzK1.2 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği.	89
Şekil 6.7. DzK2.0 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği.	90
Şekil 6.8. Çelik çerçeve SAP2000 modeli (DK1.2 ve DK2.0 panelleri için)	91
Şekil 6.9. DzK1.2 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği.	92
Şekil 6.10. DK2.0 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Sürekli şekil verme makinesi	22
Resim 3.2. Sürekli şekil verme makinesindeki istasyonlar	23
Resim 3.3. Sürekli şekil verme yöntemi ile profil oluşumu	23
Resim 3.4. Pres makinesi	24
Resim 3.5. Pres kullanma yöntemi ile profil elde etme	25
Resim 4.1. Üretilen duvar panelin çerçevesi	37
Resim 4.2. Birleşim elemanı görünüşü	38
Resim 4.3. Yük uygulama düzeneği	39
Resim 4.4. LVDT aleti	40
Resim 4.5. Deney düzeneği	41
Resim 4.6. Alt profildeki kalkma ve buruşma	43
Resim 4.7. DKz 2,0 deney öncesi görünüşü	45
Resim 4.8. Kesilen vidanın ve kalkmanın gözlenmesi	46
Resim 4.9. 1.Mafsaldaki buruşma	46
Resim 4.10. Ön panel ve mafsaldaki buruşma	47
Resim 4.11. Deney düzeneğinin tepeden gözlemlenmesi	47
Resim 4.12. Diyagonal ve düşey bağlantı arası	48
Resim 4.13. DKz 2,0 panelinin deney sonrası görünüşü	49
Resim 4.14. Yükleme tarafındaki kalkma	51
Resim 4.15. DzK 2,0 panelinin deney öncesi görünüşü	54
Resim 4.16. Panelin 650 kg yük ve 37 mm deformasyondaki görünüşü	55

Resim	Sayfa
Resim 4.17. Panelin 1050 kg yük ve 84 mm deformasyondaki görünüşü.....	56
Resim 4.18. Panelin 1270 kg yük ve 166 mm deformasyondaki görünüşü.....	57
Resim 4.19. Panelin deformasyon yapması sonucu vidaların betopanı ezmesi.....	58
Resim 4.20. Alt başlıktaki vidaların betopanı ezmesi.....	59
Resim 4.21. DzK 2,0 panelinin deney sonrası görünüşü	60
Resim 4.22. Yük 805 kg, deformasyon 39 mm iken vidaların betopanı yırtması ve kopma anı	62
Resim 4.23. Yükleme yönündeki kalkma	63
Resim 4.24. DK 2,0 panelinin deney düzeneği	66
Resim 4.25. Alttaki vidaların kopmasının gözlemlenmesi	67
Resim 4.26. DK 2,0 panelinin alt U profilinde mafsalda oluşan buruşma.....	68
Resim 4.27. DK 2,0 panelinin alt U profili ile düşey U profilinin ayrılması.....	69
Resim 4.28. DK 2,0 panelinin alt U profilinden bir görünüş	69
Resim 4.29. DK 2,0 panelinin yandan görünüşü	70
Resim 4.30. DK 2,0 panelinin deney düzeneğinin yükleme sonu görünüşü.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
λ	Isı iletkenlik
α	Isı genleşme
σ	Kopma
ε	Kopma uzaması
H	Sertlik Brinell
v	Hız
d	Çubuk boyu
T	Periyot
F_y	Akma Gerilmesi
F_u	Çekme Gerilmesi
θ	Yükseklik ve genişlik arasındaki açı
λ_1	Eşdeğer diyagonal genişliğini hesaplamak için kullanılan katsayı
a	Eşdeğer diyagonal genişliği

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
CNC	Computerized Numerical Control (Nümerik Bilgisayar Kontrolü)
Efe	Çerçevenin elastisite modülü
Eme	Dolgu malzemesinin elastisite modülü
Hcol	Kolon yüksekliği
Hinf	Dolgu panel yüksekliği

Icol	Kolonun atalet momenti
LVDT	Linear Velocity Displacement Transducer
Linf	Dolgu panel uzunluğu
NASFA	The North American Steel Framing Alliance (Kuzey Amerika elik Karkas Yapı Birliği)
OSB	Orient Strand Board
rinf	Dolgu panelin diyagonal uzunluğu
tinf	Dolgu panel ve eşdeğer çubuk kalınlığı

1. GİRİŞ

18. – 19. Yüzyıllarda sanayi devrimiyle birlikte teknolojik ilerleme, üretimdeki artış ve maliyetlerdeki düşüş demir ve çeliğin yapılarda yaygın kullanımını sağlamıştır. Çeliğin yaygın kullanımı, 1850'lerden sonra büyük köprüler, istasyonlar ve gökdelenlerde başlamıştır.

Ülkemizde çelik yapı deyince akla gelenler; endüstriyel yapılar, köprüler ve gökdelenler idi. Ancak son yıllarda çelik yapılar ülkemizde de batı da olduğu gibi çok çeşitlenmiştir. Tek katlı villa tipi evler, dört beş katlı binalar, oteller, okullar, alışveriş merkezleri, hava alanı terminal binaları gibi örnekler, çelik yapılar olarak ülkemizde projelendirilip yapılmaktadırlar.

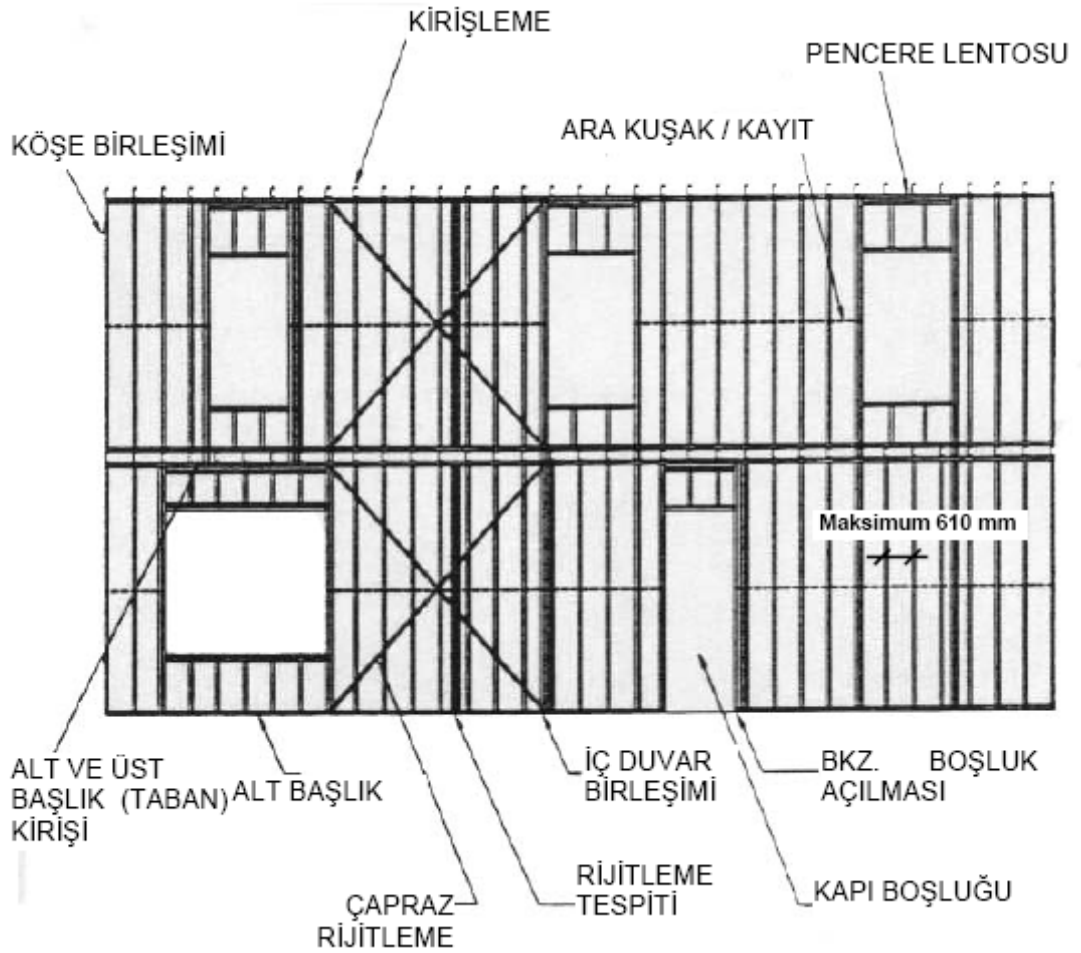
Günümüzde çelik yapı sektöründe kullanılan profiller üç çeşittir. Bunlardan ilki ve en yaygın kullanılan standart hadde profilleridir. İkincisi ise, hadde profillerinin mukavemet olarak yeterli gelmediği veya ekonomik olmadığı durumlarda tercih edilen, farklı kalınlıklarda levhaların kaynaklı veya civatalı olarak birleştirilmesiyle oluşturulan yapma kesitli elemanlardır. Üçüncüsü ise; bu konunun çalışması olan ve gün geçtikçe uygulama sahası genişleyen, ince cidarlı çelik saçlardan soğuk şekil verme yöntemi ile üretilen elemanlardır.

Bu çalışmada soğukta işlem görmüş çelik panel duvarların yatay yük kapasiteni araştırmak amacıyla kaplamalı-kaplamasız, farklı et kalınlıkları ve diyagonalli-diyagonalsız değişkenleri kullanılarak 6 adet deney yapılmıştır. SAP2000 (Structural Analysis Programing) programı kullanılarak analitik çözüm yapılmış, elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kullanılan bu paneller DKz1.2, DKz2.0, DzK1.2, DzK2.0, DK1.2, DK2.0 olarak isimlendirilmiştir. Burada kullanılan D harfi diyagonal, K harfi kaplamayı, z harfi ise diyagonal ve kaplamanın kullanılmadığını göstermektedir. İfadelerin sonunda yer alan 1,2 ve 2,0 et kalınlıklarını mm cinsinden göstermektedir. Kullanılan bütün panellerin genişliği 3,60 m, yüksekliği ise 2,40 m dir.

1. Panel: Diyagonalli – Kaplamasız (DKz1.2)
t=1,2 mm L=3,60 m H=2,40 m
2. Panel: Diyagonalli – Kaplamasız (DKz2.0)
t=2,0 mm L=3,60 m H=2,40 m
3. Panel: Diyagonalsiz – Kaplamalı (DzK1.2)
t=1,2 mm L=3,60 m H=2,40 m
4. Panel: Diyagonalsiz – Kaplamalı (DzK2.0)
t=2,0 mm L=3,60 m H=2,40 m
5. Panel: Diyagonalli – Kaplamalı (DK1.2)
t=1,2 mm L=3,60 m H=2,40 m
6. Panel: Diyagonalli – Kaplamalı (DK2.0)
t=2,0 mm L=3,60 m H=2,40 m

2. DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR



Şekil 2.1. Tipik taşıyıcı duvar oluşturulması [7]

Soğukta işlem görmüş çelik yapılarda taşıyıcı perde duvarlar (panel duvarlar) ve taşıyıcı özelliği olmayan bölme duvarlar olmak üzere iki tip duvar görülür. Taşıyıcı duvarlar çatı ve kat döşemelerinin diyaframlarının transferi ile deprem ve rüzgâr gibi yatay yükleri taşırlar. Taşıyıcı duvarlar çerçevelerinin kendisi yatay yük karşılamaz, ancak çaprazlama ve kaplama bu işi üstlenir.

Katlara uygulanan kesme kuvveti, taşıyıcı duvarın üst başlığı ile kaplama paneline veya çekmeye çalışan çaprazlama elemanına transfer edilir. Sonra alttaki panelden

ankraj bulonu yardımıyla zemine iletilir. Duvarlarda kesme kuvvetinden dolayı oluşan devrilme momentini, taşıyıcı duvar çerçevesinin son dikmelerinde meydana gelen moment çiftlerinin oluşması sayesinde karşılanır. Son dikmelerde oluşan çekme gerilmelerinin zemine veya bir diğer kata güvenli bir şekilde transferi için ankraj bulonları güçlü olmalıdır. Ayrıca kaldırma kuvveti ve alt başlıkta eğilme momentinden dolayı da ankraj bulonları son dikmelerde güçlü olmalıdır.

Daha önce perde duvarların performans etkileri birçok yazar tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmaları şu şekilde özetleyebiliriz:

Yapıda taşıyıcı duvarların kullanıldığı durumlarda, diyafram etkisiyle rüzgâr ve deprem kuvvetleri gibi kesme kuvvetleri bu duvarlarla karşılanır.

Kaplama malzemesi(alçı, kontrplak gibi) kullanılması kesme kapasitesini artırır.

Dikmeler arası mesafe azaldıkça, kesme dayanımı azalarak artar.

Dikme Kaynaklı veya vidalı birleşimler şartnameye uygun olarak yapılmalıdır [6]

Klipstein ve Tarphy, 1992'den sonra soğukta işlem görmüş çelik kesme panellerinin göçme mekanizmaları Serrette (1997) tarafından tanımlanmıştır. Dikmelerle kaplamayı birbirine bağlayan vida aralıklarının azalması taşıyıcı duvarın kesme kapasitesinde önemli bir artış olur. Sonuçlara göre kenar birleşim elemanlarının aralıkları azalttıkça kesme duvarların dayanımının arttığı aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir:

Çizelge 2.1. Serrette (1997) Tarafından Yapılan Testlerdeki Nominal Kesme Değerleri

Test No	Birleşim Eleman Aralığı (in.)	Nominal Kesme Kuvveti (lb/ft)	Kesme Dayanım Oranı
1A2/3	6/12	911	1,00
1D3/4	4/12	1412	1,55
1D5/6	3/12	1736	1,91
1D7/8	2/12	1912	2,10

Çizelge 2.2. Serrette (1997) Tarafından Yapılan Testlerdeki Nominal Devirsel Kesme Değerleri

Birleşim Eleman Aralığı (in.)	OSB Kesme Dayanım Oranı	Kontrplak Kesme Dayanım Oranı	Ortalama Devirsel Kesme Dayanım Oranı
6/12	1,00	1,00	1,00
4/12	1,30	1,27	1,28
3/12	1,82	1,87	1,84
2/12	2,42	2,08	2,25

Daha sonra Kawai, Kanno, Uno, Sakumoto (1999) tarafından Japonya'daki hafif çelik evlerin depreme karşı güvenlikleri için kat kayma açılarının sınırlandırılması önerilmiştir. Çelik çerçeveli evlerin tasarım metodları, sismik durum analizleri tarafından sismik dayanımın doğrudan değerlendirilmesi temel alınarak önerilmiştir. Çelik çerçeveli evler için güçlü bir depremde kat kayma açısının maksimum 1/50 radyan alınması önerilmiştir. Alçak binalarda depreme dayanıklı elemanların, nominal kesme yer değiştirmeleri maksimum kayma açısının 1/30 ile 1/50 radyanı

olarak belirtilmiştir. Ek olarak, evler için yer değiştirmenin onarım limiti kat açısının $1/60$ rad uygulanmasıyla sağlanır.

Sismik zemin hareketi altında, çatı ve kat seviyelerinde binanın kütlelerinin ivmesine etki eden yatay atalet kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetleri karşılamak için, taşıyıcı duvarlar çelik çaprazlamalar veya kaplamalar ile beraber kullanılmalıdır. Kat ve çatı seviyelerinde oluşan diyaframlarla, yatay yüklerin taşıyıcı duvarlara transferi gerçekleşir. Taşıyıcı duvar çerçevesini oluşturan dikmelerde göçme; kaplama ve dikmeler arasındaki vidaların kopması, çıkması ve kesilmesiyle, dikmelerin burkulmasıyla, başlıkların planda düzlemlerinden çıkması ile meydana gelir. [3]

Fülop ve Dubina güçlü depremlerde maksimum kat kayma açısının $1/50$ rad limit alınmasını önermişlerdir. Yazarlar tarafından 2004 yılında yapılmış olan deneylerde, OSB (ahşap yonga levha) kaplamalı perde duvarların göçme mekanizmalarını araştırmışlardır. Artan yükleme kapasitelerinin köşelerde kaldırma etkisi çok önemlidir. Üç OSB kaplaması perde duvar boyunca düşey olarak yerleştirilerek ve deformasyon boyunca rijit kütle dönmesi, perde duvarın iskeleti ve kaplama arasındaki deformasyon farklılıkları vidalarla birbirine uymalıdır. Bu yol vida ve OSB kaplaması arasında önem teşkil eder. Göçme anı, düşeyde vida dikmeden çıktığında, vida başlığıyla beraber çıktığında ve OSB kaplamasında göçme meydana geldiğinde oluşur.

Devirsel ve statik yüklemelerde taşıma kapasitelerinde farklılıklar görülür. Yapılan deneylerde statik yüklemelere göre, devirsel yüklemede %10 luk bir azalma görülür. Kat kayma açısını $1/300$ yapan minimum kuvvete izin verilebilir. Devirsel ve statik yüklemeler arasında ki değer farklılıklarında, ilk rijitlik önemsizdir, devirsel yüklemelerde OSB elemanlarının sünekliliğinde %10-25 azalma görülür.

Deneylerden çıkan önemli bir durum ise, kabul edilebilir zarar seviyesini tanımlamaktır. Yeni performans elemanları genel olarak 4 durum sonucuna dayanmaktadır.

- 1) İlk statik yükleme durumu altında servis yeteneği
- 2) Doğrudan etki eden deprem kuvvetlerini hafifletmesi, azaltması
- 3) Dizayn ve uygulama şartları altında ekonomik ömrü
- 4) Maksimum sayılan durumlar altında göçmeyi önlemek

Deneyler ve analitik çalışmalar sonucunda, taşıyıcı duvar panellerindeki kesme dayanımı, rijitliğe, yük taşıma kapasitesine ve yanal kuvvetlere karşı koyabilmesine bağlıdır.

Göçme, alt başlıkta ankraj bulonları bölgesinde başlar, bu yüzden köşe ve kenar detayları çok önemlidir. Kenar ve köşe bölgelerindeki ideal durum, alt başlıkta eğilme olmadan kaldırma kuvvetini direk olarak destek elemanına veya köşe dikmeden ankraj bulonuna geçirmesidir. Sistemin ilk rijitliği için, duvar panellerinin köşelerinin kuvvetlendirilmesi önemli bir etkidir.

Panelin yanal deformasyonları;

- 1) Levha materyalinin kesme deformasyonuna,
- 2) Kenarların kaldırma deformasyonlarına
- 3) Panel ve iskeletin arasındaki birleşimlerinin lineer olmayan deformasyonlarına bağlıdır.

Yazarlar, yük taşıma kapasitelerinin hesabı için hesaplama prosedürü türetmişlerdir, gözlemlere dayanarak panelleri hücre serisi gibi davrandığı kabul edilmiştir. Sonuç itibarıyla, birçok benzer kaplamalı paneller ile kaplanan uzun bir duvar, bu hücrelere toplanarak etki ettirilir ve yük taşıma kapasitesi her bir uzunlukta tanımlanabilir. Duvarın toplam kapasitesi, her bir uzunluğun kaplama kapasitesi toplanarak elde edilir. Açıklığa sahip panel duvar durumunda, açıklığın duvarın toplam alanına oranına bağlı olarak bir faktörle azaltılır. Genel bir yaklaşım olarak, duvarın yanal yer değiştirmesinde çerçevenin ve kaplamanın birleşim elemanlarının kaymasını ilişkilendirmektir. Bu yolda paneller artan deformasyonda analiz edilebilir ve ayrı olarak birleşim elemanlarının özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilir. Birleşim

elemanlarının sayısı fazla ise bilgisayarda çözüm uygundur. Deneysel olarak, başlangıçta lineer olmayan eğrilerin, panellerdeki elastik dizayn kapasitelerini tanımlamak için tek yoldur. Elastik limit dizaynındaki herhangi bir yaklaşım, kabul edilebilir deformasyonla, en yüksek ilgili kuvvete maruz bırakılan birleştirici grupla bağlantı kurmaktır. Esasen, panelin dizayn kapasitesi, kritik kuvvetten ziyade panelin dayanıklılığıyla ilişkilendirilir.

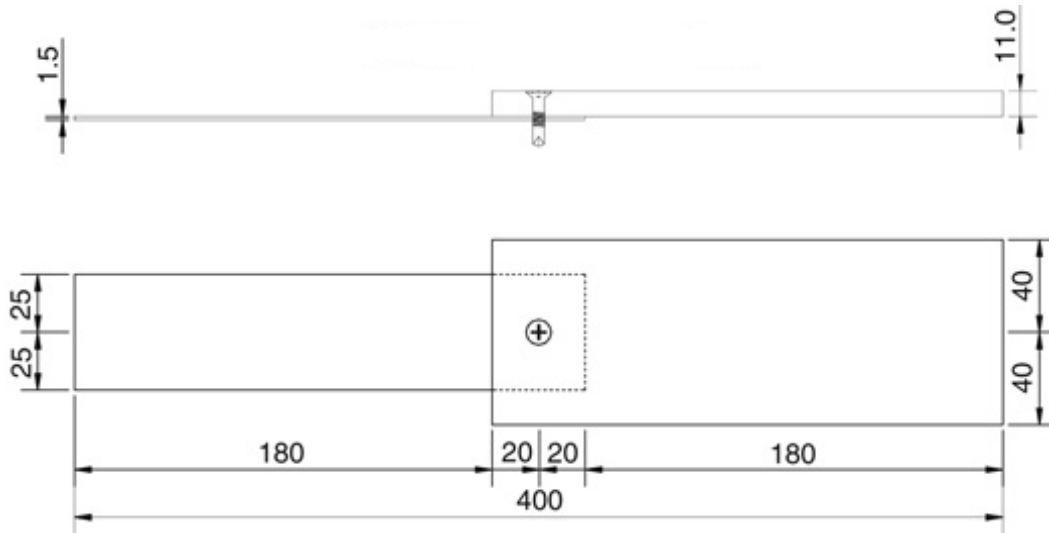
Tian, Wang ve Lue (2003) soğukta işlem görmüş çelik duvar panellerin şekil ve parçalarını tanımlamışlardır. Duvar paneller normalde üst-alt kirişlemeler, dikme, kuşak, birleşimlerden oluşur. Bu parçalar fabrikada üretilerek yerinde montaj yapılır.

Yazarlar taşıyıcı duvarların dikmelerini birbirine yatay plaklarla (desteklerle) bağlamanın kapasiteyi arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca duvarların, ses ve ısı ızalasyonu için alçı paneller ile kaplanmasının da kapasiteyi arttırdığını görmüşlerdir. Yapılan deneylerde, X çaprazların kapasiteye fazla bir katkısının olmadığı ancak sapmada fazlaca etken olduğu görülmüştür. Bu neticede, çaprazlama genişliği ne kadar fazla olursa deformasyon o kadar az olur ve duvar elemanlarının basınç dayanımına katkıda bulunur. Çerçeve elemanların basınç dayanımı çaprazlama ve desteklerin basınç dayanımına bağlıdır.

Sonuç olarak; kaplamalı taşıyıcı duvarlar, deprem ve rüzgârdan meydana gelen yanal kuvvetlere direnç göstermesine karşı, önemli kesme kapasitesine sahiptir. Vida aralığı azaldıkça, duvar kesme kapasitesi artar. Düz çerçevelerin rijitliği artar, fakat çerçevenin yanal yük kapasitesinde bir değişiklik olmaz, çünkü eksensel basınç kapasitesi son dikmelerin kapasitesine bağlıdır. X-çaprazlı panellerin yükseklik/genişlik oranı birim genişlikte yanal yük kapasitesinde değişikliğe sebep olur, fakat yükseklik/genişlik oranı artarsa, rijitlik azalır. Sabit boyutlarla bir kesme duvarının destek sayıları yanal kuvvet kapasitesini değiştirmez, fakat destek sayısı arttıkça yüzde olarak rijitlik artar. Kaplama ve X-çaprazlama beraber kullanıldığında nominal kesme kapasitesi ve rijitlik artar, aynı zamanda köşegen desteklerin ve son dikmelerin almış olduğu eksenel kuvvetler azalır. Alçı panel, açıklık kullanılması ve yatay kat diyafram performansı yanal yük taşıma kapasitesinde etkilidir.

Dubina (2008)'nın yaptığı araştırmada, bükme sac profillerle hazırlanmış hafif çelik duvar panellerinin yatay yükler altındaki kesme davranışları deneysel program ile incelenmiştir. Bu deney programında altı tip birebir ölçekli değişik giydirme cephele duvar panelleri kullanılmıştır. Her deney serisinde özdeş duvar panellerine tekil ve tekrarlı testler uygulanmıştır.

Panellerin ana çerçevesini soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlar oluşturmaktadır. Alt ve üst başlıkları U 154/1.5 , dikmeler C150/1.5 profillerdir. Başlık birleşimi deliği önceden açılmış ve kendi deliğini kendi açan SPEDEC SL4-F-4.8 × 16 (d = 4.8 mm) vidalarla sağlanmıştır.



Şekil 2.2. OSB ve çelik birleşim detayı

Model I ve Model II’de cephe kaplaması olarak dalgalı sac levha kullanılmıştır. Levhaların montajı, kenar dikmelere her dalga arasından, ara dikmelere iki dalgada bir 4.8 mm çaplı vidalarla yapılmıştır. Model I’de dalgalı levha tek yüzde uygulanırken, Model II’de dış yüzü dalgalı sac ile iç taraf ise alçı levha ile kaplanmıştır. Model III’de çerçeve 110x1.5 mm çaprazlamalar ile rijitleştirilmiş, Model IV’de 1 nolu modele ilave olarak 1,20 m genişliğinde kapı boşluğu açılmıştır.

Model V’de çerçevenin tek yüzü tamamen 3 adet OSB paneli düşey yerleştirilerek kaplanmış, Model VI’da 5 nolu modele 1,20 m genişliğinde kapı boşluğu açılmıştır.

Model I’de, deney sırasında önce modelin alt başlığında ve köşelerinde önemli deformasyonlar oluşmuş, salınım arttıkça kenar dikmelere bağlı kaplama uçlarında dönmeler meydana gelmiştir. Birleşimlerdeki bölgesel deformasyonların, özellikle dalgalı levhaların ek yerinde ve çevresinde yavaş yavaş arttığı belirlenmiş, ek yerlerindeki bu hasarlardan sonra da yakın bölgelerdeki levhaların yük taşımaya devam ettiği gözlenmiştir. Düşey bağlantılardaki gevşemeler, yük taşıma kapasitesinin azalmasına ve dikmelerde bölgesel deformasyonlara yol açmıştır.

Model II’de de kaplama malzemesinin davranışının Model I ile hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Köşelerdeki deformasyonlar, profil ucu bozulmalar, birleşimlerdeki deformasyonlar ve ek yerlerindeki yırtılmalar bu modelde de gözlenmiştir. Bu modelde alçı panellerin yıkılmadığı, ancak duvarda çok önemli hasar olmamakla beraber büyük deformasyonlar olabileceği de not edilmiştir. Alçı panellerin düşey kaymasından ve alçı panellerin ek yerlerindeki ardışık çatlaklardan dolayı yer değiştirmeler ve hasarlar tespit edilmiştir. Daha üst noktalarda vidalı birleşimlerin çevrelerinde, özellikle vida başını kurtardığı zaman, daha fazla yer değiştirdiği gözlenmiştir.

Model III’de çaprazlarda başlayan bükülmeleri alt başlıktaki bölgesel deformasyonlar takip etmiştir. Hasar köşe noktalarda yoğunlaşmıştır. Çaprazlarda önemli plastik davranışlardan ve köşelerdeki beklenmedik hasarlardan dolayı, sonuçların süneklilik ve kapasitesinin çaprazlarla rijitleştirilmiş panellerden beklendiği gibi yansıtılmadığı not edilmiştir.

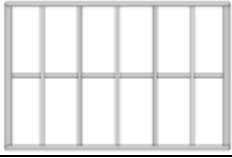
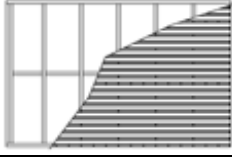
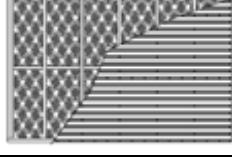
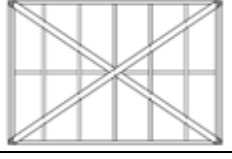
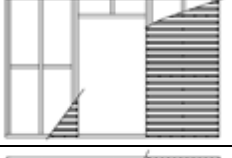
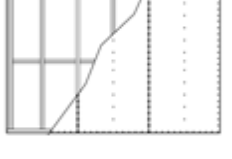
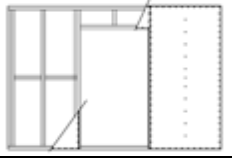
Model IV’ün yükleme sonrasındaki davranışı Model I ve II’ye çok benzemektedir. Köşelerde diğer iki modele göre çok daha güçlü eğilmeler, panel boşluğunun etrafındaki dikmelerin çevresinde deformasyonlar gözlenmiştir. Dalgalı levhadaki önemli yerel burkulmalar sebebiyle lento güçlü kesme etkisiyle karşılaşmıştır. Vidalı birleşimlerde birbirini izleyen deformasyonlar birleşimlerin birindeki ayrılmayla son

bulmuştur. Yük taşıma kapasitesinin azaldığı ve dalgalı levhanın dikmelerden ayrıldığı gözlenmiştir.

Model V’de farklı kaplama elemanı (OSB) kullanılması nedeniyle bozulma mekanizması dalgalı sac kaplamalı modellerden farklı olmuştur. İskelet ve panel arasındaki hareketi vidalı bağlantılar karşıladığı için rijit gövde dönmeleri olmuştur. Modelde bir düşey sıradaki vidaların dikmelerden gevşemesi ve OSB kenarlarında bozukluklar gözlenmiştir.

Model VI’da çekmeye çalışan köşelerde deformasyon, açıklıkların yanındaki dikmelerde daha az uzama ve lento bölgelerindeki OSB’de bölgesel ezilmeler gözlenmiştir. OSB panellerinin alt başlık ile vidalı birleşimlerinde önemli eğilmeler meydana gelmiş ve birleşim doğrultusunda ani çatlamalar, kırılmalarla devam etmiştir.

Çizelge 2.3. Duvar panellerin özellikleri Dubina (2008)

Model	Panel Türü	Açıklık	Dış Kaplama	İç Kaplama	Test Modeli Modeli	Test Sayısı
0		--	--	--	Tekil	1
I		--	Dalgalı sac levha	--	Tekrarlı Tekil	2 1
II		--	Dalgalı sac levha	Alçı kaplama	Tekrarlı Tekil	2 1
III		--	--	--	Tekrarlı Tekil	1 1
IV		Kapı	Dalgalı sac levha	--	Tekrarlı Tekil	2 1
V		--	10 mm OSB	--	Tekrarlı Tekil	1 1
VI		Kapı	10 mm OSB	--	Tekrarlı Tekil	1 1

Tekil ve tekrarlı yüklemelerin eğrileri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde tekrarlı yüklemelerde dayanımın %10 azaldığı tespit edilmiştir. Her duvar panelinde hasar çoğunlukla çerçeve ile kaplama levhasının birleştiği yerlerde yoğunlaşmıştır.

Birleşimin önemini vurgulamak amacıyla yine aynı üniversitenin hazırladığı testin birincisinde iki ince levhanın birleşimdeki, diğerinde ise biri ince diğeri kalın çerçeve

ile levhanın birleşimdeki birleşim elemanları test edilmiştir. Ortalama yük kayma eğrilerinden şiddetli yüklemedeki beklenen davranışları en azından tahmin edilebileceği ortaya çıkmıştır. Duvar panellerin davranışları birleşim özellikleriyle karakterize edilir.

Birleşimler süneklilik için çok önemlidir. Şiddetli yüklemelerde, panelin davranışı birleşim elemanlarındaki değişikliklere bağlıdır. Bu elemanların zarar görmesi tüm panelin sünekliliğinde azalmaya neden olacaktır. Hafif çelik yapı sisteminin sismik yükler karşısındaki durumu şu şekilde özetlenebilir: Duvar panelleri dalgalı levhalarla kaplandığı zaman hasar daha çok birleşim yerlerindeki birleşim elemanlarında yoğunlaşır. Birleşim elemanının çevresinde plastikleşmenin artması durumunda cephe kaplaması işlevini kaybeder ve değiştirilmesi gerekir. Birleşim yerindeki birleşim elemanlarındaki bozulmalar tüm paneldeki bozulmaya sebep olana kadar kademeli olarak artar.

Duvar panellerinin kesme mukavemeti de hem rijitlik hem de yük taşıma kapasitesinde önemlidir ve yanal yüklere karşı etkili olabilmektedir. Duvar panellerin desteklenmiş köşelerindeki bozulmaların sistemin ilk rijitliğinde önemli etkileri vardır ve geniş yatay hareketlere ve panelde zamansız bozulmalara sebep olabilir.

3. SOĞUKTA İŞLEM GÖRMÜŞ ÇELİK YAPILAR

3.1. Dünya’da ve Türkiye’de Çelik Yapıların Yeri

1998 verilerine göre Avrupa genelinde 170 milyon ton çeliğin %38 ‘i inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Çelik üretiminde dünyada 16. sırada yer alan Türkiye’ de ise büyük binalar ve endüstriyel yapılarda %5’ i geçmeyen yapısal çelik kullanımının konut üretiminde kullanım oranı %0.05’ e yakındır. Bu oran İngiltere’ de %54, İskandinav ülkelerinde %40, Fransa ve Almanya’da %30’ dur [12].

2003 yılı çelik sektörü yaklaşık % 7 büyüme ile 964 milyon ton olan dünya ham çelik üretimi, bir önceki yılda olduğu gibi, yine rekor seviyeye ulaşmış ve Çin, çelik endüstrisindeki %20'nin üzerindeki büyüme hızıyla dünya çeliğinin yaklaşık dörtte birini üretir duruma gelmiştir. Çin, bu üretiminin yanı sıra, 2003 yılında gerçekleştirdiği 30 milyon ton ithalat ile dünyanın en büyük çelik ithalatçısı konumundadır. Japonya'da otomotiv sektöründe canlılığın sürmesi ve Asya bölgesinin Irak Savaşı'na rağmen, Orta Doğu'daki çoğu çelik üreticisi iyi bir yıl geçirmiştir. 2004 yılında dünya ham çelik üretiminin 1 milyar tonu aşması beklenmektedir. Hindistan ekonomisinin ve çelik endüstrisinin, güçlü bir yükseliş sürecine gireceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 3.1. Dünya çelik tüketimi (milyon ton)

Ülkeler	2002	2003	Değişim(%)
Çin	221,2	257,0	16,2
ABD	102,9	99,3	-3,5
Japonya	71,7	73,7	2,8
Güney Kore	43,7	44,5	1,8
Almanya	34,2	34,1	-0,4
İtalya	30,2	31,5	4,3
Hindistan	29,0	31,0	6,9
Rusya	23,3	23,9	2,6
Tayvan	20,4	20,9	2,4
İspanya	19,3	19,3	0,0
Fransa	16,2	15,8	-2,5
Kanada	15,9	15,7	-1,3
Brezilya	16,5	15,6	-5,5
Meksika	13,9	14,2	2,2
Türkiye	12,3	13,2	7,7
Diğer Ülkeler	161,7	174,7	8,0
Dünya	831,3	884,3	6,4

Soğukta işlem görmüş bükme sac profillerden oluşturulmuş yapılar hafif çelik yapılar olarak adlandırılır. Profillerin düzenlenmesiyle döşeme ve duvar elemanları oluşturulur. A.B.D, Japonya ve Avustralya’ da yılda yaklaşık 500 bin konut soğukta bükülmüş ya da sıcak haddelenmiş profillerle inşa edilmektedir. Bu sistemi en çok kullanan ülke A.B.D’ dir. A.B.D’ de konut yapımı için kullanılan yapı malzemesinin taşınmasının kolay ve ucuz olması önem kazanmıştır. Önceleri yapının maliyetini düşürmek için, duvar / döşeme taşıyıcı sistemi, duvar / döşeme kaplaması ve çatı örtüsü maliyeti düşük ve taşınması kolay ahşaptan yapılmıştır. Bugüne gelindiğinde ahşabın daha yararlı yerlerde kullanılması ve çeliğin geri dönüşümlü bir malzeme olmasından dolayı A.B.D ‘ de hafif çelik sisteminin kullanımı artmıştır. Özellikle az

katlı binarlar bu sistemin kullanılması çok ekonomik olmaktadır. Bağlantıların çoğunun şantiyeye gitmeden fabrikada bitirilmiş olması, inşaat süresini çok kısaltmaktadır.

Ülkemizde ise 1999 depreminden sonra yeni arayışlar içine giren yapı sektörü yeni sayılabilecek bu sistemi kullanmaya başlamıştır. Ülkemizde Amerikan Standartları temel alınarak yapılmış olan ts 11372 numaralı 11372 numaralı “Çelik Yapılar- Hafif Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan- Hesap Kuralları” isimli standart kullanılmaktadır.

3.2. Çeliğin Genel Özellikleri

Mekanik olarak işlenebilen yani dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil alabilen demir alaşımlarına çelik denir. Çelik, ana bileşenleri demir ve karbon olan bir alaşımdır. Çeliğin yapısında %16-20 oranında karbon bulunur. Manganez, silisyum, fosfor ve kükürt çeliğin yapısında bulunan diğer elementlerdir. Çelik homojen ve izotrop bir yapıya sahip olmasında dolayı her yönde ve noktada aynı özelliği gösterir.

Çizelge 3.2. Demir ve çeşitli çelik malzemelerin özellikleri [5]

	Bileşim %	Fiziksel Özellikleri				Mekanik özellikleri		
		Δ gr/c m ³	Erime C°	Isı iletkenlik λ kcal/mhC °	Isı genleşme $\alpha \cdot 10^{-6}$ cm/cmC°	σ Kopm a N/m m ²	ϵ kopm a uzama sı	Sertlik Brinell H N/mm ²
Demir	0,2 C	7,80	1530	61-50	12	300- 350	0,12- 0,15	830
Çelik	0,3-0,6 C	7,85	1400	35	15,1	400- 480	0,25- 0,28	990- 1240
Sert Çelik	0,6-1,7 C	7,89	1300	40	15	650- 750	0,14- 0,18	1920- 2200

Çeliğin diğer yapı malzemelerine göre bazı avantajları şunlardır :

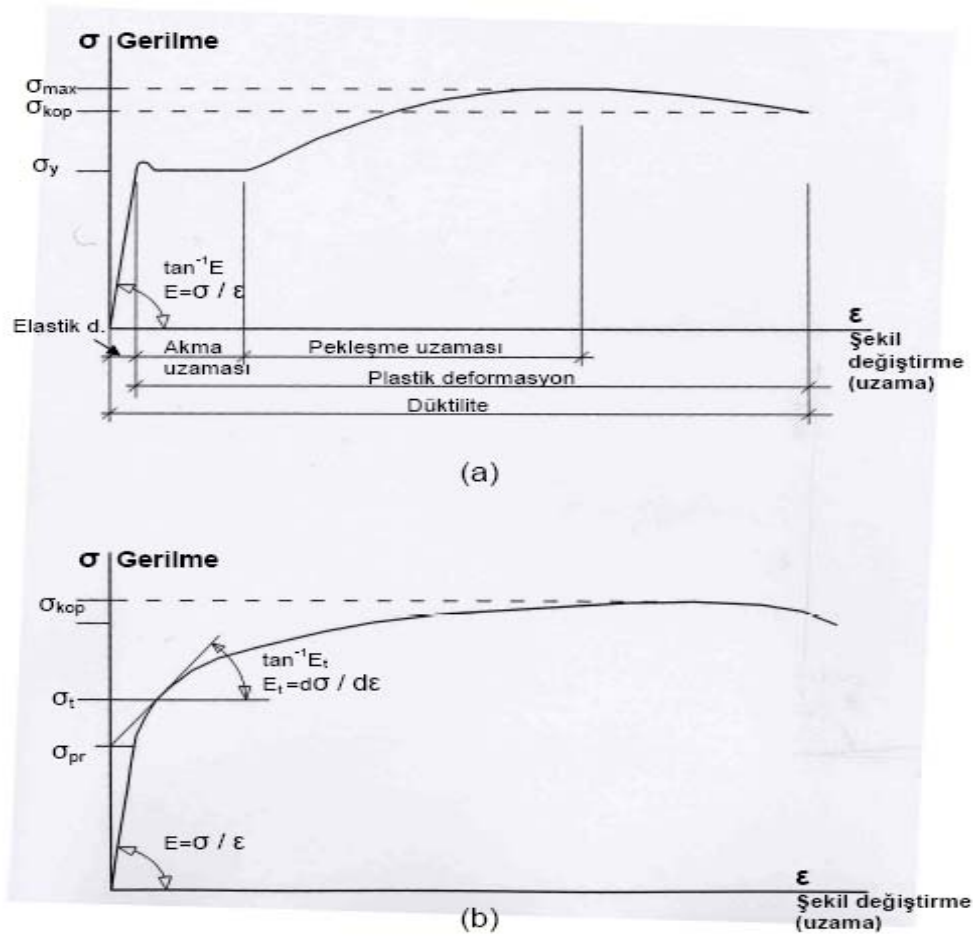
- Yüksek dayanımlı olup, öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçüktür; dolayısıyla, yapının tümsel ağırlığı azalmaktadır.
- Elastisite modülü, diğer yapı malzemelerinininki ile karşılaştırıldığında, çok yüksektir. Bu nedenle, stabilite sorunlarına, dinamik yüklere, titreşimlere uygun bir davranış göstermekte ve sehim problemi olan taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında daha ekonomik kesitler elde edilmektedir.
- Çekme dayanımı basınç dayanımına eşit, hatta burkulma olayı düşünülürse daha yüksektir. Bu niteliği, çeliğe mimari açıdan tasarımı özellik gösteren yapılarda bir avantaj sağlamaktadır.

- Sünek olduğu için büyük bir Şekil değiştirme kapasitesi bulunmakta, dolayısıyla, beklenmeyen olağan dıŐı yk durumlarında, çürük zeminlerde oluŐabilecek oturmalarda ve deprem bölgelerinde çok önem kazanmaktadır.
- Taşıyıcı elemanların atölyelerde iŐlenmeleri, inşaatın montaj aşamasında hava koŐullarından fazla etkilenmemesine neden olmakta ve dolayısıyla yapım süresi kısalmaktadır.
- Değiştirme ve takviye olanağı çok kolay olduğu için, elemanlar skldklerinde yeniden az bir kayıpla, veya yeniden kullanılmaları önceden planlanmış ise hiç kayıpsız, kullanılabilir. Hatta yapının tümüyle sklp baŐka bir yere taşınması olanağı vardır. Restorasyona açıktır ve diğer tür yapıların restorasyonunda da pek çok olanaklar sunar.
- Elemanlar yerlerine monte edildiklerinde iŐletme yükü ile çalıŐabildiklerinden, yapım süresinin kısalmakta ve iyi bir planlama ile de az iskeleli inşaat mümkün olmaktadır.
- elik dünyanın en çok ve tam olarak geri dönüŐtürülen malzemesidir. elik hurda %100 çeliğe dönüŐür ve doğru yapılsa kalite ve güvenirlik kaybı olmaz.
- Mimari açıdan elik yapı tasarımı estetik ve yaratıcılığa açıktır. Kolon sayısı en aza indirilebilir; kiriŐ boyutları betonarmeye göre düşük olduğundan, geniş açıklıklara karşın döŐemeler incedir. Aynı yapı yüksekliği için daha fazla kat yapılabileceği gibi, temiz kat yüksekliği de daha fazladır. Döşeme i hacimleri boŐ olduğundan bu boŐluk, tüm tesisatı geçirmek için kullanılır ve böylece kullanılabilir kat yüksekliğinden kayıp olmaz.
- elik taŐıyıcılı yapı yüksek kaliteli endüstriyel bir üründür. Taşıyıcı sistemin tüm parçaları fabrika ortamında üretilir ve endüstriyel kalite güvencesi içerir. Şantiye üretimleri ve tüm uygulamaları da benzer Şekilde kontrol edilir.

- Dönüşümlü bir malzeme olması ve inşaat sırasında zararlı atıkların bulunmaması ve kuru yöntemlerle yapılması, küçük şantiye alanlarıyla ve hızlı temiz bir inşaatın gerçekleştirilebilmesi nedenleriyle çevreye zarar vermeyen bir malzeme konumundadır. Çelik yapı söküldüğü zaman bile geriye atık malzeme bırakmaz. [Yardımcı, 2005]

3.3. Soğukta İşlem Görmüş Çeliklerin Özellikleri

Soğukta işlem görmüş çelik elemanlar, rulo halindeki sac levhalardan kesilmiş çelik şeritlerin, bant boyunca silindirler arasından çekilmesi ya da presler ile bükülerek profil hale getirilmesi işlemiyle üretilir.



Şekil 3.1. Şerit veya levha çelikte gerilme-şekil değiştirme diyagramı. (a) Keskin akma (b) Yavaş akma [1]

Şekil 3.1 (a)'da görüldüğü üzere gerilme değeri akma değerine (σ_y) ulaşınca kadar doğrusal elastik davranış gösterir. Bu aralıkta gerilme ortadan kalktığında malzeme ilk boyutuna geri gelir. Gerilmenin orantılı olduğu bu bölgede bir orantılık sabiti mevcuttur ve elastiklik modülü (E) olarak adlandırılır. Elastik deformasyonlar Hooke kanunu ile formüle edilmişlerdir: [5] $E = \sigma / \epsilon$

Akma gerilmesinin aşılmasının ardından malzemede akma ve plastik davranış görülür. Plastik deformasyonda malzeme iç yapısında atomlar arasında bağlar kopmuş, ancak komşu atomlar yeni bağlar ile ilişki kurmuşlardır. Bu ilişki sağlanabildiği sürece malzeme bütünlüğünü korumaya devam eder. Gerilme maksimuma ulaştığında (σ_{max}) yeni bağlar kurulamaz ve kopma gerçekleşir. Şekil 3.1 (a)'da görüldüğü üzere, keskin akmanın gerçekleştiği diyagramda, akma noktası, gerilmenin bir plato oluşturduğu aşamadır. Yumuşak akan çeliğin, akma dayanımı ise, orantılılığın bittiği gerilme değerinden (σ_{pr}) başlayan grafiğin büküldüğü kısımdır [1].

Mukavemetinin burkulma tarafından belirlenen elemanlarda, sadece akma noktası değil, elastiklik modülü (E) ve tanjant modülü (E_t) de belirleyicidir.

Şekil 3.1 (b) görüldüğü gibi, herhangi bir gerilme değerinde, (σ) tanjant modülü (E_t), diyagram eğrisine çizilen teğet ile tanımlanır. Keskin akan çelikte, akma noktasına kadar $E_t = E$ 'dir. Fakat yumuşak akan çelikte, orantılılık sınırına (σ_{pr}) kadar $E_t = E$ 'dir. Bu sınır aşıldıktan sonra başlangıçtaki elastiklik modülüne göre hızlı bir şekilde düşme görülür.

3.4. Soğukta İşlem Görmüş Çeliklerin Üretimi

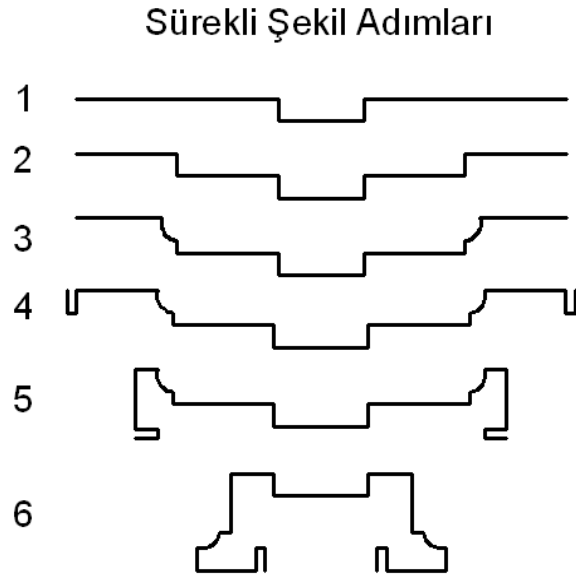
Hafif çelik sistemlerde kullanılan çelik malzemenin üretimi, fabrikalarda, endüstriyel standartlara göre seri olarak yapılır. Ergimiş çelik, üretim bandında silindir veya presleme yöntemi ile levha ya da rulo sac haline dönüştürülür. Üretim sırasında uygulanan silindir veya presleme işlemi, çeliğin kristal yapısındaki boşlukları nispeten ortadan kaldırdığı için çelik malzemenin homojenlik, izotropluk ve dayanım özelliklerine katkıda bulunur. Bu aşamadan sonra levha veya rulo sac halindeki çelik

uygun boyutlarda kesilir. Kesilmiş çelik levha, pres kalıp, silindir kalıp veya bükme işlemi ile profillendirilir. Şantiye alanında kesme işlemini en azda tutmak için profiller, üretim esnasında uygun boyutlarda kesilir. Üretici firmanın ayrıntılı bir kesim listesinin bulunması, şantiye süresinin kısılmasına yardımcı olur. Daha çok pano elemanlı sistemler veya hücresel sistemlerde profiller, projeye göre üretim aşamasında kesildikleri için şantiyede ayrıca kesme işlemi yapılmasına gerek duyulmaz. Çelik, levha halindeyken galvanizleme işlemine tabi tutulabildiği gibi uygun profillendirilmiş ve kesme Çizelgesuna göre boyutlandırılmış elemanlar şeklinde de galvanizlenebilir.

3.4.1. Sürekli şekil verme yöntemi

Bu yöntemde sac şeridi çeşitli kademelerde adım adım şekillendirilerek önceden belirlenen profil formunu alır. Sacın geçtiği adımların her birine “pas” veya “istasyon” denir. Sacın geçeceği istasyon sayısı profilin kesit şeklinin karışıklığına bağlıdır. Çok kıvrımlı olan profillerin oluşturulması için gerekli olan istasyon sayısı daha fazladır.

Sürekli şekil verme yönteminin en önemli özelliği üretimin çok seri biçimde yapılabilmesidir. Diğer bir önemli özelliği de önceden galvenizlenmiş olan levhanın kaplamasına hasar vermeden şekillendirilebilmesidir [4].



Şekil 3.2. Sürekli şekil verme yöntemi ile profil elde etme aşamaları [1]



Resim 3.1. Sürekli şekil verme makinesi



Resim 3.2. Sürekli şekil verme makinesindeki istasyonlar



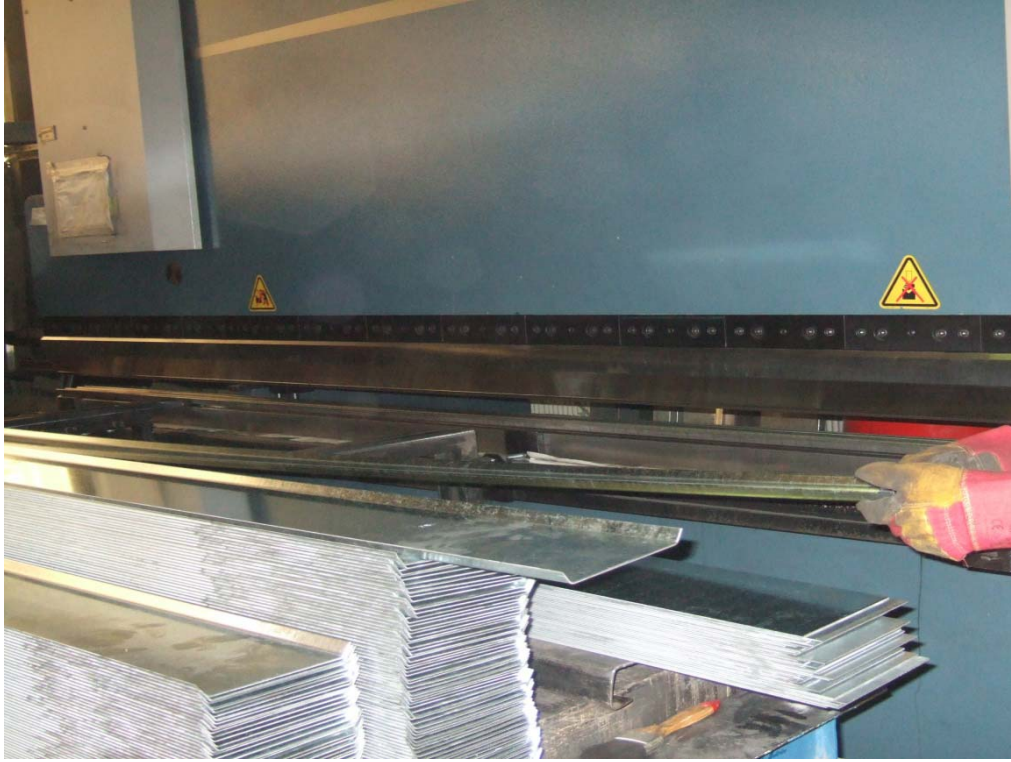
Resim 3.3. Sürekli şekil verme yöntemi ile profil oluşumu

3.4.2. Pres kullanma yöntemi

Pres kullanma yönteminde profilin kesitindeki her köşe bir pres darbesiyle oluşturulur. Kesitin karmaşıklığına göre pres yatağının şekli de değişir. Bu yöntem ile daha basit ve 3-3,5 m boyundaki kısa profiller üretilse de 8 m uzunluğa kadar profil üreten presler de vardır. Ancak bu presler, fazla yer kaplaması, maliyetli olması ve de diğer sisteme göre seri üretime olanak sağlamaması gibi nedenlerle pek tercih edilmemektedir [11].

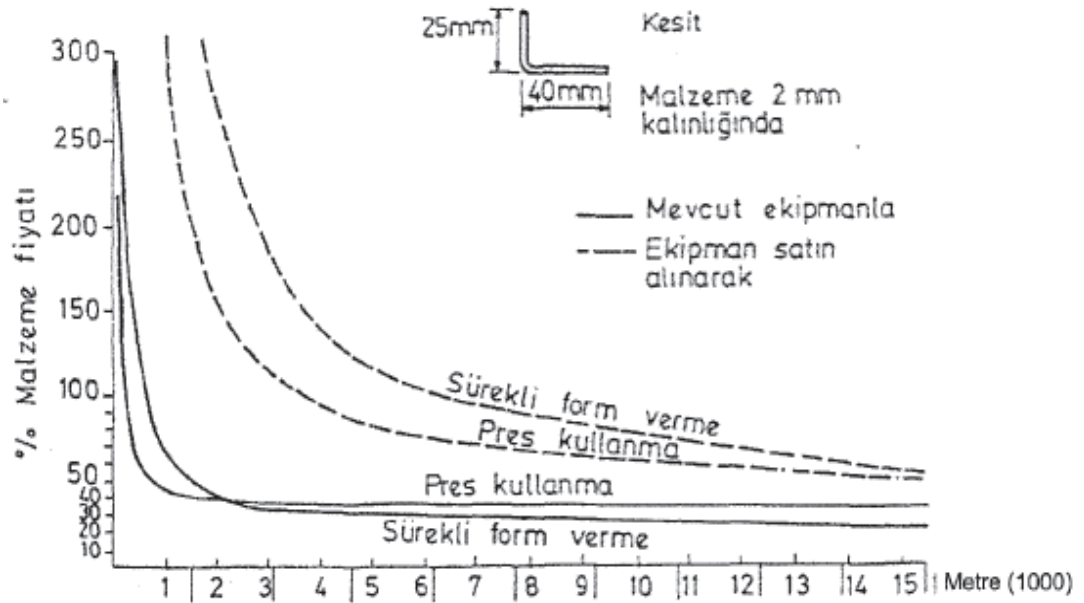


Resim 3.4. Pres makinesi



Resim 3.5. Pres kullanma yöntemi ile profil elde etme

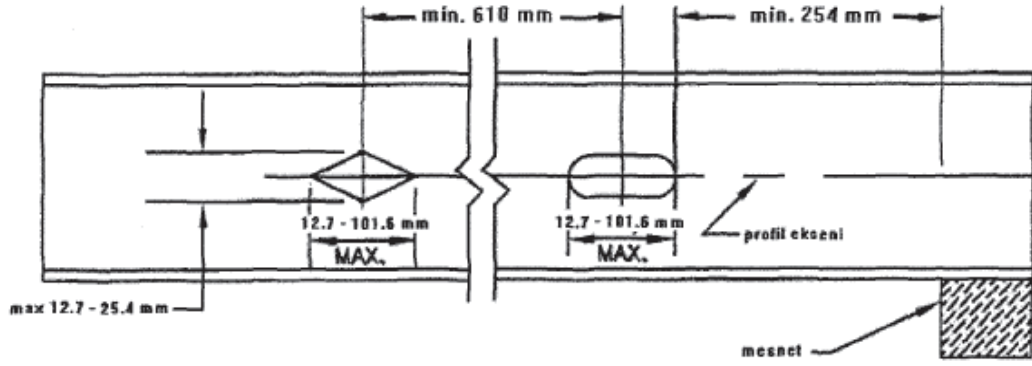
Bu iki şekil verme yönteminin hangisinin daha uygun olduğunu belirleyen en önemli etken maliyettir. Çok miktarda ve hızlı üretim isteyen durumlarda sürekli şekil verme yöntemini kullanmak daha uygundur. Ayrıca presli üretimin mevcut tesislerde gerçekleştirilebilmesi maliyetin artmasını da engelleyecektir. Şekil 2.3’den anlaşılacağı gibi mevcut tesislerde pres kullanma 1000 ile 2500 m’lik üretim kapasitesinde daha ekonomiktir. Eğer yeni tesis kurulacaksa 10000 ile 20000 m’lik üretim kapasitelerinde ekonomiktir [11].



Şekil 3.3. Şekillendirme yöntemlerine göre üretim kapasitesi-maliyet grafiği [40]

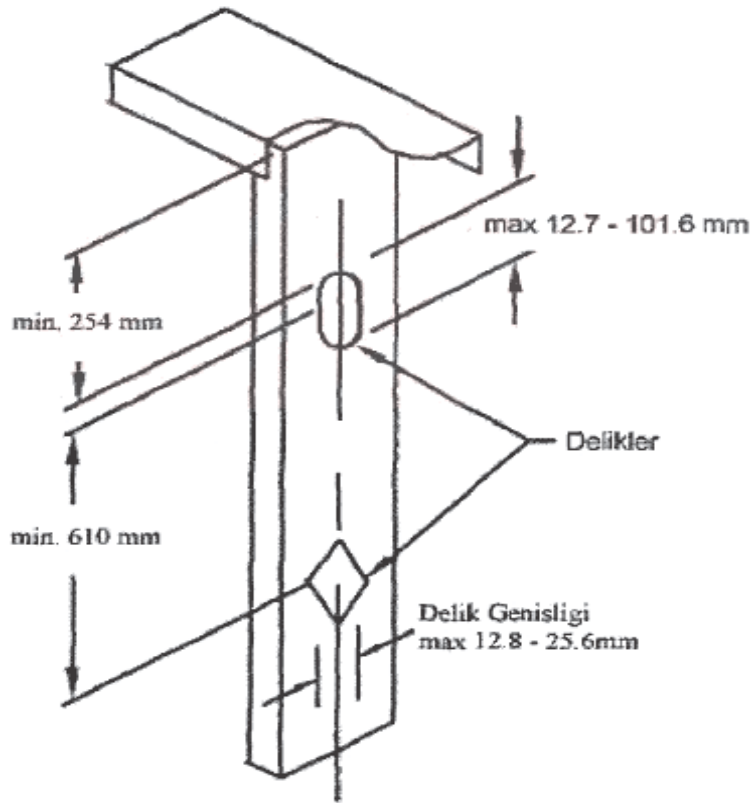
Profillerin soğuk şekillendirme öncesinde üretim projesinde öngörülen profil ölçüleri ve gerekli boşlukların yerleri CNC tezgahlarının bilgisayarlarına aktarılır. Bu da ürün ve zaman kaybını önemli ölçüde önler [8].

Soğukta işlem görmüş çelik profillerin ekseni üzerinde olmak şartıyla delikler açılır. Bu boşlukların NASFA'ya (Kuzey Amerika Çelik Karkas Yapı Birliği) göre maksimum boyutları ve olması gereken mesafeleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 de gösterilmiştir. Malzemenin ince olması nedeniyle delik çevresi çelik plaka ile çevrelenerek güçlendirilir.



Şekil 3.4. Profil üzerinde açılacak deliklerin maksimum kenar mesafeleri

[2]

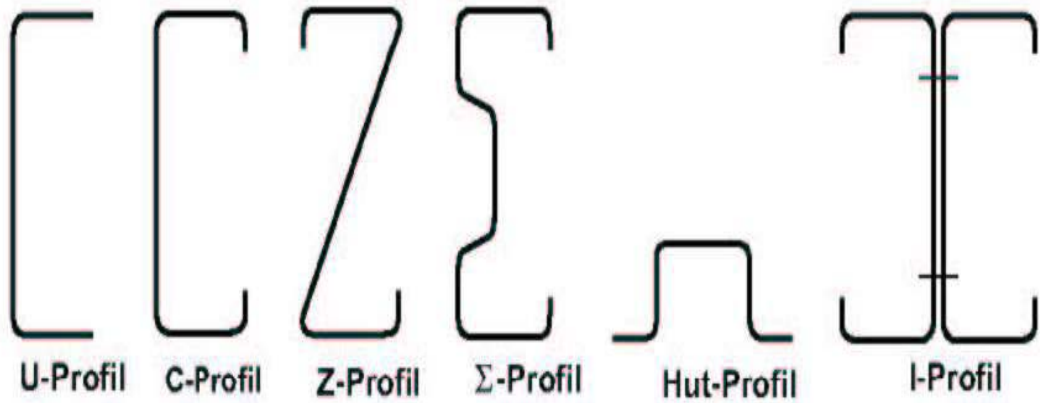


Şekil 3.5. Profil üzerinde açılacak deliklerin minimum kenar mesafeleri

[2]

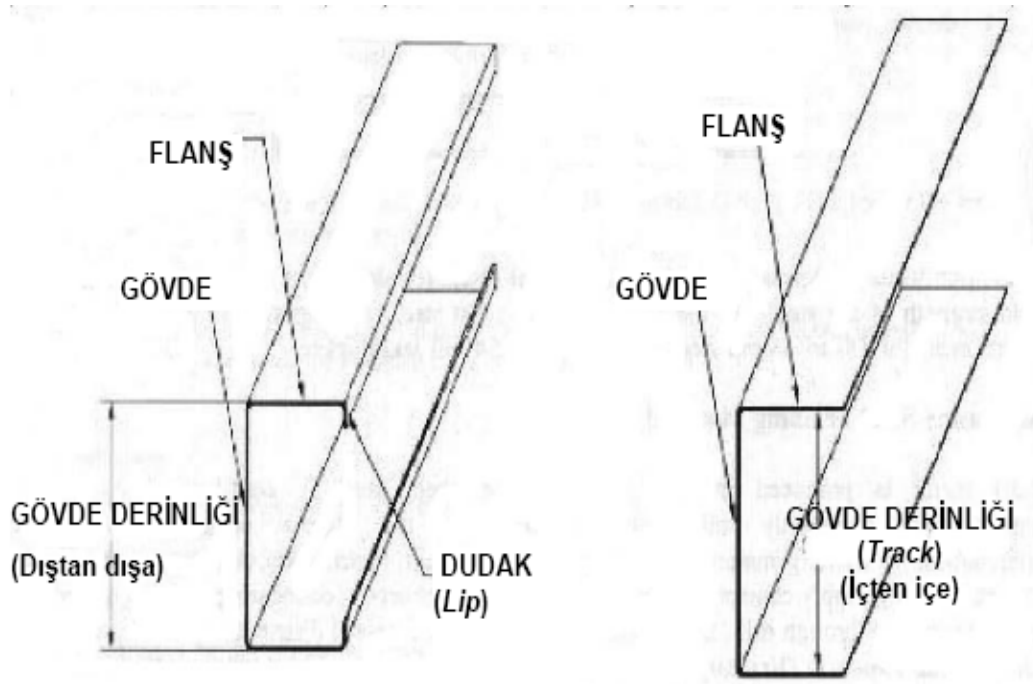
3.5. Soğukta İşlem Görmüş Çelik Profiller

Hafif çelik sistemlerde kullanılan profiller, biçimlerine göre isimlendirilirler. C, U ve Σ çoğunlukla olmak üzere çeşitli biçimlerde soğuk şekillendirilmiş profiller kullanılır. C profiller dikme, başlık kirişi veya açıklık kirişi (döşemelerde kirişleme) olarak kullanılırken U (track) profiller düşey yükleri transfer eden elemanlarda (dikmelerde) kullanılmazlar. Hafif çelik üreticileri ahşap boyutlarına benzer ölçülerde profil Çizelgeleri hazırlar. Bu Çizelgelerde, standart hazırlanmış profillerin karşısında, kesme uzunluklarına göre profillerin taşıma, moment kapasiteleri gösterilir. Projelendirmede bu çizelgelerdeki elemanlardan yararlanılır. Her üreticinin profil çizelgeleri farklı olabilir.



Şekil 3.6. Hafif çelik yapılarda kullanılan soğukta işlem görmüş çelik profiller [10]

Hafif çelik yapıda sıklıkla kullanılan C profiller flanş (başlık) (flange), gövde (web), ve dudak (lip) kısımlarından oluşur ve ölçülendirilmeleri flanşların dışından dışınadır. U (track) profiller ise sadece flanş ve gövde kısımlarından oluşup, ölçülendirilmeleri flanşların içinden içinedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. C ve U profillerini oluşturan kısımlar [9]

Soğuk şekillendirme ile 12 m uzunluğa kadar imal edilebilen U ve C profillerde, gövde boyutu çeşitli kalınlıklarda olmak üzere 100 mm ile 275 mm arasında olabilir. Flanş boyutu da genellikle 50 mm ile 80 mm arasında değişir.

Amerika, Kanada ve İngiltere gibi ülkelerde kullanılan inch, feet, gibi ölçü birimlerinin, hesaplar sırasında virgülden sonraki rakamların karışıklık yaratması sebebi ile flanş, gövde ve dudak boyutları gerçek boyutun 100 katı ile ifade edilir. Profil kalınlığı ise, 1000 katı ile, “Mil” adı verilerek ifade edilir. Örneğin gövde boyu 5,5 inch, flanş genişliği 1,62 inch ve kalınlığı 0.054 inch olan bir profil 550-162-54 Mil olarak ifade edilir. Ayrıca elemanın kullanacağı açıklıklar için çelik kalınlıkları, Amerikan soğuk şekillendirilmiş çelik üreticileri tarafından “Gauge”olarak sınıflandırılır. Buna göre kullanılan minimum kalınlıklar Çizelge 3.3’deki gibidir.

Çizelge 3.3. Hafif çelik “gauge”, sınıflandırmasının, inch, Mil, milimetre karşılıkları

Gauge	inch	Mil	milimetre
25 gauge	0.0179	18 mil	0,45 mm
22 gauge	0.0269”	27 mil	0,68 mm
20 gauge	0.0329”	33 mil	0,83 mm
18 gauge	0.0428”	43 mil	1,09 mm
16 gauge	0.0538”	54 mil	1,37 mm
14 gauge	0.0677”	68 mil	1,72 mm
12 gauge	0.0966”	97 mil	2,46 mm
10 gauge	0.1180”	118 mil	2,99 mm

Çizelge 3.4. CABO ve ICBO standartlarına göre flanş boyutuna bağlı olarak minimum kullanılabilecek çelik kalınlığı ve dudak boyutu

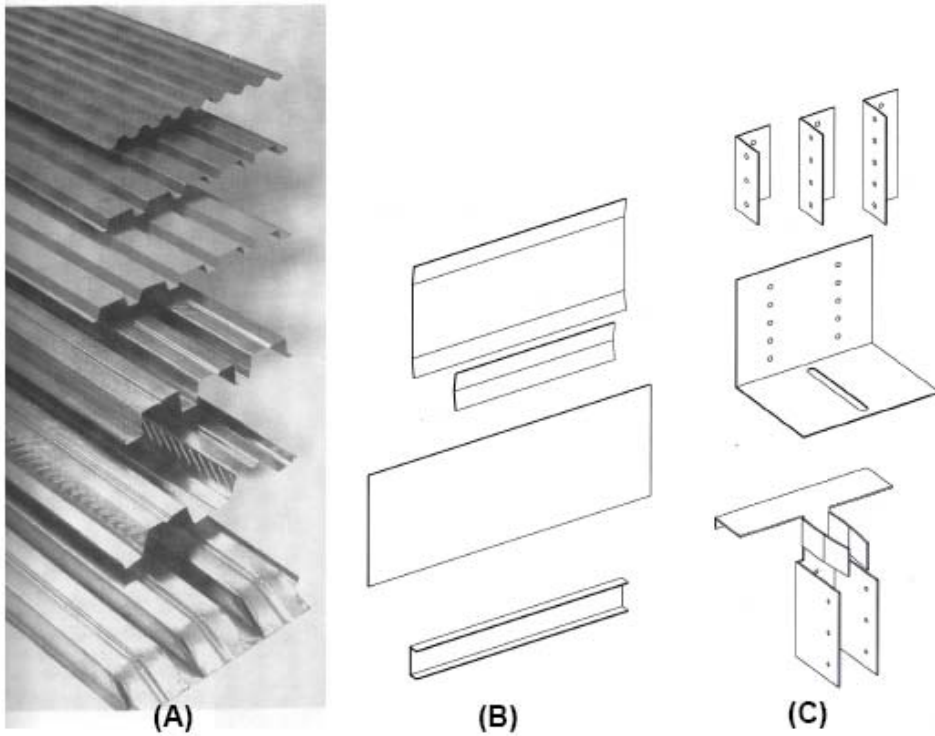
Çelik kalınlığı	Flanş genişliği (inch)	Dudak genişliği (inch)
0,0179”- 0,0329 inch	1,125” inch	0,1875” inch
Tüm kalınlıklar	1,375” inch	0,375” inch
Tüm kalınlıklar	1,625” inch	0,500” inch
Tüm kalınlıklar	2,000” inch	0,625” inch
Tüm kalınlıklar	2,500” inch	0,625” inch

Alman Dast-Richtlinie 016 ve (Avrupa Birliği’nde kullanılan) Eurocode3 Standartları’nda, hafif çelik eleman olarak taşıyıcı sistemde kullanılabilecek çelik kalınlığı; minimum 1 mm olmak üzere 1 mm ile 2,5 mm arasında belirlenmiştir. Standartlar, 0,6 mm ile 1 mm arasında cidar kalınlıkları olan profillerin taşıyıcı olmayan bölücü duvarlarda (akustikprofile) veya bölücü elemanlarda kullanılmalarına izin vermiştir [4].

Hafif çelik çerçevelerin çaprazlamalar ile dikme veya kirişlerin birleşim noktalarında, bağlantı yüzeyini artırmak amacıyla çelik levhalar kullanılabilir. Bu levhalar, kullanılan profillerden ince olmayacak şekilde boyutlandırılırlar. Bağlantı

noktalarının rijitliğini artırmak için kullanılan köşebentler, çelik levhalardan oluşturulurlar (Şekil 3.8 (C)). Çelik şeritler ise, çaprazlamalar şeklinde veya dikmeler, kirişlemeler arasında kuşaklamalar şeklinde kullanılır (Şekil 3.8 (B)).

Trapez levhalar, profillerin aksine doğrusal değil yüzeysel elemanlardır. Profiller gibi çelik sac ve levhaların soğuk şekillendirilmesi ile oluşturulurlar (Şekil 3.8. (A)). Ağırlıklı olarak döşeme kuruluşunda kullanılırlar.



Şekil 3.8. Çeşitli, soğuk şekillendirilmiş trapez levhalar (A), çelik levha ve şeritler (B), köşebent ve çeşitli bağlantı elemanları (C) [2, 10].

3.6. Birleştirme Elemanları ve Teknikleri

Hafif çelik sistemler birçok profilin birleşmesinden meydana geldiği için birleştirme teknikleri yapının genel mukavemeti, inşaat süresi ve yapı maliyeti gibi konularda sistemi etkiler.

Vidalar

Hafif çelik yapıların montajında kendinden delme özelliği olan vidalar (Self-Drilling Screws) kullanılır. Bir vidanın delebileceği malzeme kalınlığı vidanın ucundaki kesici kısmın uzunluğuna bağlıdır. Vida başları, farklı amaçlarda kullanılmak üzere çok çeşitli olara küretilirler. Çeliğin yine çelik ile tespitinde düz başlı vidalar kullanılırken, kaplama malzemelerinin birbirine ya da kaplama malzemesinin çeliğe tespitinde konik başlı vidalar tercih edilir. Bazı vidalar çok amaçlı olarak kullanılabilir.

Bulonlar

Hafif çelik sistemlerde bulonlu bağlantılar genellikle hafif çelik elemanların, beton veya diğer çelik elemanlar ile birleşimlerinde kullanılır [AISI, 1993]. Bunun dışında hafif çelik elemanların hafif çelik elemanlara bağlantısında da pek yaygın olmamakla birlikte kullanılmaktadır. Bulonlar ile bağlantı, hafif çelik elemanlarda önceden hazırlanmış deliklerden bulonların geçirilmesi ve diğer ucuna somun takılıp bir anahtarla sıkıştırılması ile gerçekleştirilir. Hafif çelik elemanlar üzerine açılan bulon delikleri, bulon çapından biraz daha geniş olmalıdır.

Kaynak

Kaynak, hafif çelik sistemlerde vida ve bulonlardan sonra en çok kullanılan bağlantı çeşitidir. Elektrik arkı ile elde edilen yüksek ısı aracılığıyla çelik elemanların bağlantı noktalarında eriyerek birbirine kaynaması sağlanır. Elde edilen bağlantı vida ve bulonlara göre daha rijittir. Ancak, kaynak sırasında galvaniz kaplamalarının zarar

görmesi, şantiye şartlarında kontrolünün zor olması, ağır kaynak makinesinin taşınma güçlüğü, dezavantajlarıdır [3]. Ayrıca vida ve bulonlar ile yapılan montaja göre daha fazla zaman alır ve sökülmesi ve değiştirilmesi güçtür.

Perçin

Perçin ile montaj, hafif çelik profiller üzerinde önceden açılan deliklere yerleştirilen sert alüminyum veya yumuşak çelik alışımlı perçinlerin ezilmesi ile gerçekleştirilir. Özel tabancalar vasıtası ile perçin içinden kopuncaya kadar çekilen perçin pimi , perçini ezerek sıkıştırır ve böylece montaj gerçekleştirilmiş olur. Perçin ile montajda, elemanların sonradan birbirinden ayrılması, ancak perçinin kesilmesi ile mümkündür [AISI, 1993]. Kendinden delme özelliği olan vidalarla kıyaslandığında, perçinler ile montaj, perçin yuvası için önceden delme gerektirdiğinden, daha yavaştır. Ayrıca, kopan ve atılan perçin pimi malzeme kaybına neden olur.

Ankraj Bulonları

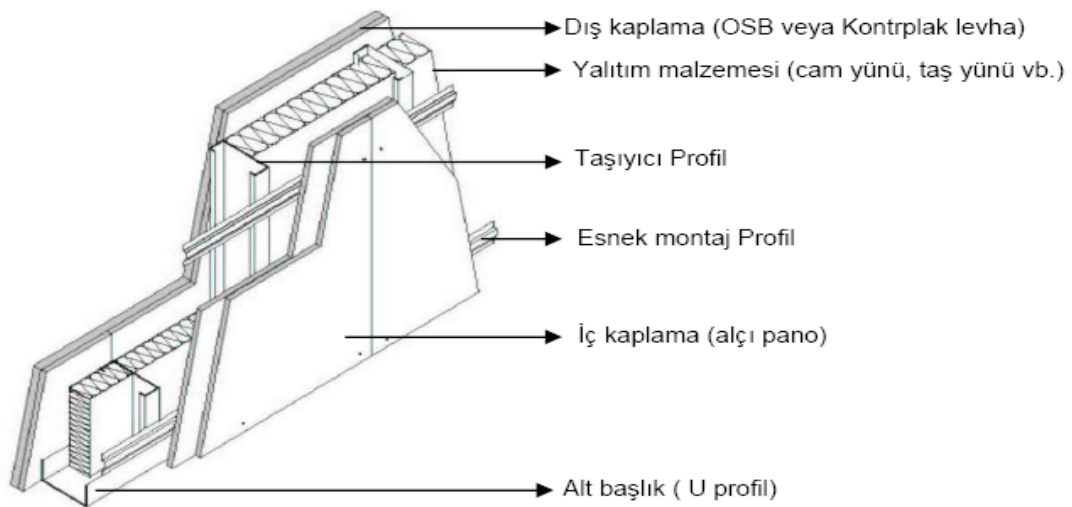
Soğukta işlem görmüş çelik yapı sistemlerinde, duvarlar temellere ankrajlar ile monte edilirler. Kullanılan ankrajın, betonarme olarak inşa edilen temelin içine giren kısmının boyu en az 10 inch (25,5 cm) olmalıdır. Temel içinde, boyunun en az üçte bir uzunluğunda, büküm oluşturmali ve bu noktalardan betonarme donatısına bağlanmalıdır. Ankraj çubuklarının çapı minimum 0,5 inch (12,5 mm) olmalıdır. Bunun dışında, temele ankre edilen özel elemanlar da vardır. Bu elemanlar ile dikmelerin de temele bağlanabilmeleri sağlanır [1].

Hafif çelik strüktüre özel bu elemanların teknik özellikleri ve montaj şartları üretici firmalarca belirtilmiştir. Ayrıca kimyasal dübeller kullanılarak da tespit yapılabilir. Kimyasal dübel kullanılarak yapılan montajlarda delme derinliğinin en az 4,5 inch (11,5 cm) ve çubuk uzunluğunun en az 0,5 inch (12,5 mm) olması gerekir. Farklı karışımlardan oluşan kimyasal dübel yerleştirildikten sonra, 38 0C sıcaklıkta 12 saat ve 5 0C sıcaklıkta 72 saat sonra beton içinde tam bir aderans oluşturur [7].

Bütün bu teknikler elektrikli, gazlı, patlamalı el aletleri kullanılarak belirli bir inşaat hızı ve kalitesi yakalanmaya çalışılır. Bunlardan baksa bir yeni geliştirilen teknik ise; birleşecek iki elemanın levhasını birbirine bükerek perçinlemek. Bu teknik ilave malzeme kullanımını da azaltmaktadır. Bir birleştirme noktası için 8-10 tespit gerekebilir. Binlerce birleşme noktasına kullanılacak ilave bağlantı parçaları ve vidalar binaya ağırlık eklemektedir. Kaynak, punta kaynağı olarak uygulanır. Ancak işlem sırasında zehirli gaz çıkışı dikkate alınmalıdır.

3.7. Tamamlayıcı Elemanlar

Hafif çelik yapı sistemlerinin konstrüktif kuruluşunda, kaplama elemanları, çeşitli yalıtım ve bitirme malzemeleri tamamlayıcı olarak kullanılırlar. Taşıyıcı çerçeve ve döşeme yüzeyleri genellikle kontrplak (plywood), OSB (Orient Strand Board) veya alçı levhalardan oluşturulur. Alçı levhalar; 120, 122 veya 125 cm eninde, 200cm ile 400 cm arasındaki boylarda, 9,5, 12,5, 15 ve 18 mm kalınlıklarda üretilir. OSB levhalar ve kontrplak (plywood) levhalar ise; 120x240cm, 120x360cm, 122x244cm, 122x366cm, 125x250cm, 170x220cm ve 180x220cm gibi farklı boyutlarda; 10mm ile 15 mm arasındaki çeşitli kalınlıklardadır. Bunların dışında farklı kalınlık ve boyutlarda da yapay ahşap levhalar üretilebilir.



Şekil 3.9. Hafif çelik yapı sisteminde duvar katmanlarını gösteren kesit örneği [6]

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Soğukta işlem görmüş çelik çerçeveli duvar panellerinin yanal kuvvet altındaki davranışını incelemek amacıyla deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada deneyi yapılan panel duvar elemanları ve deney aletinin boyutları Şekil 4.1 de verilmiştir.

Deneyde 6 adet panel kullanılmıştır. Kullanılan bu paneller DKz1,2, DKz2,0, DzK1,2, DzK2,0, DK1,2, DK2,0 olarak isimlendirilmişlerdir. Burada kullanılan D harfi diyagonal, K harfi kaplamayı, z harfi ise diyagonal ve kaplamanın kullanılmadığını göstermektedir. İfadelerin sonunda yer alan 1,2 ve 2,0 et kalınlıklarını mm cinsinden göstermektedir. Kullanılan bütün panellerin genişliği 3,60 m, yüksekliği ise 2,40 m dir.

1)Panel: Diyagonalı – Kaplamasız (DKz1,2)

t=1,2 mm L=3,60 m H=2,40 m

2)Panel: Diyagonalı – Kaplamasız (DKz2,0)

t=2,0 mm L=3,60 m H=2,40 m

3)Panel: Diyagonalsız – Kaplamalı (DzK1,2)

t=1,2 mm L=3,60 m H=2,40 m

4)Panel: Diyagonalsız – Kaplamalı (DzK2,0)

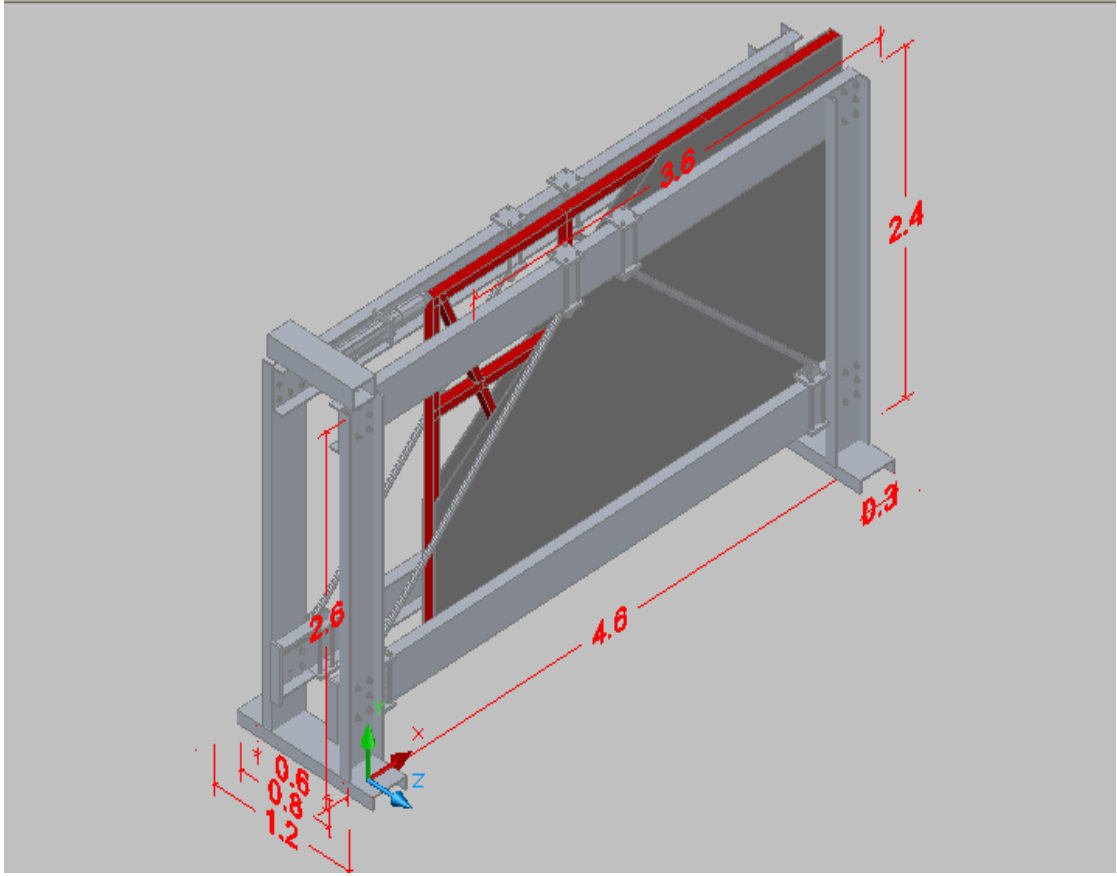
t=2,0 mm L=3,60 m H=2,40 m

5)Panel: Diyagonalı – Kaplamalı (DK1,2)

t=1,2 mm L=3,60 m H=2,40 m

6)Panel: Diyagonalı – Kaplamalı (DK2,0)

t=2,0 mm L=3,60 m H=2,40 m



Şekil 4.1. Panel duvar ve deney düzeneği

Deneyde, yükleme düzeneği olarak load cell ve en küçük iki yönlü krika birbirlerine adapörlerle birleştirilerek, deney düzeneğine mesnetlendirilmiştir. Bir plaka yardımıyla yanal kuvvetin panel sol üst noktasından uygulanması sağlanmıştır.

4.1 Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deneyi yapılan duvar panellerin çerçeve elemanları soğukta işlem görmüş çelik dikme (C) ve başlık (U) profillerinden fabrikada üretilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Duvar panellerinde kullanılan profil ölçüleri

	Gövde(mm)	Flanş (mm)	Lip (mm)	Kalınlık (mm)
Dikme	80,4	53	15	1,2-2,0
Başlık	83,3	63	0	1,2-2,0



Resim 4.1. Üretilen duvar panelin çerçevesi

Kaplamalı duvar panelleri için 3600x2400 mm ölçülerinde kaplama malzemesi olan betopan yaptırılmıştır. Profillerin birbirlerine ve kaplamalı duvar panellerinde betopanın profil elemanlarına birleşimi, kendiliğinden delme özelliği olan vidalarla yapılmıştır. (Resim 4.2)



Resim 4.2. Birleşim elemanı görünüşü

Üretilen duvar panelleri bir nakliye aracı yardımıyla deneyin yapılacağı yapı mekaniği laboratuvarına getirilmiştir. Fabrikadan nakliye aracına yükleme işlemi forklift yardımıyla yapılmıştır.

4.2. Deney Düzenekinin Hazırlanması ve Ölçüm Düzenekği

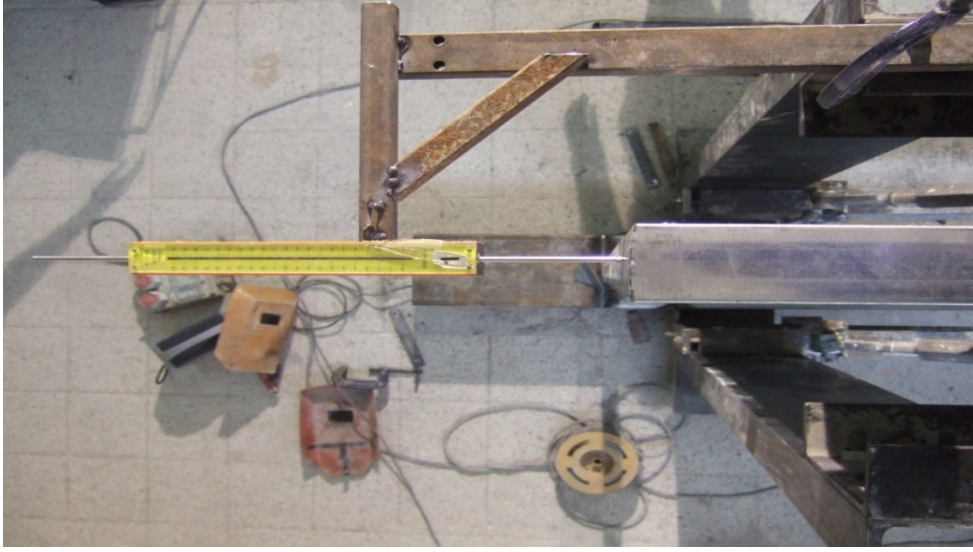
Deneyde, yükleme düzenekği olarak load cell ve en küçük iki yönlü krika birbirlerine adaptörlerle birleştirilerek, deney düzenekğine mesnetlendirilmiştir. Bir plaka yardımıyla yanal kuvvetin panel sol üst noktasından uygulanması sağlanmıştır.

(Resim 4.3.)



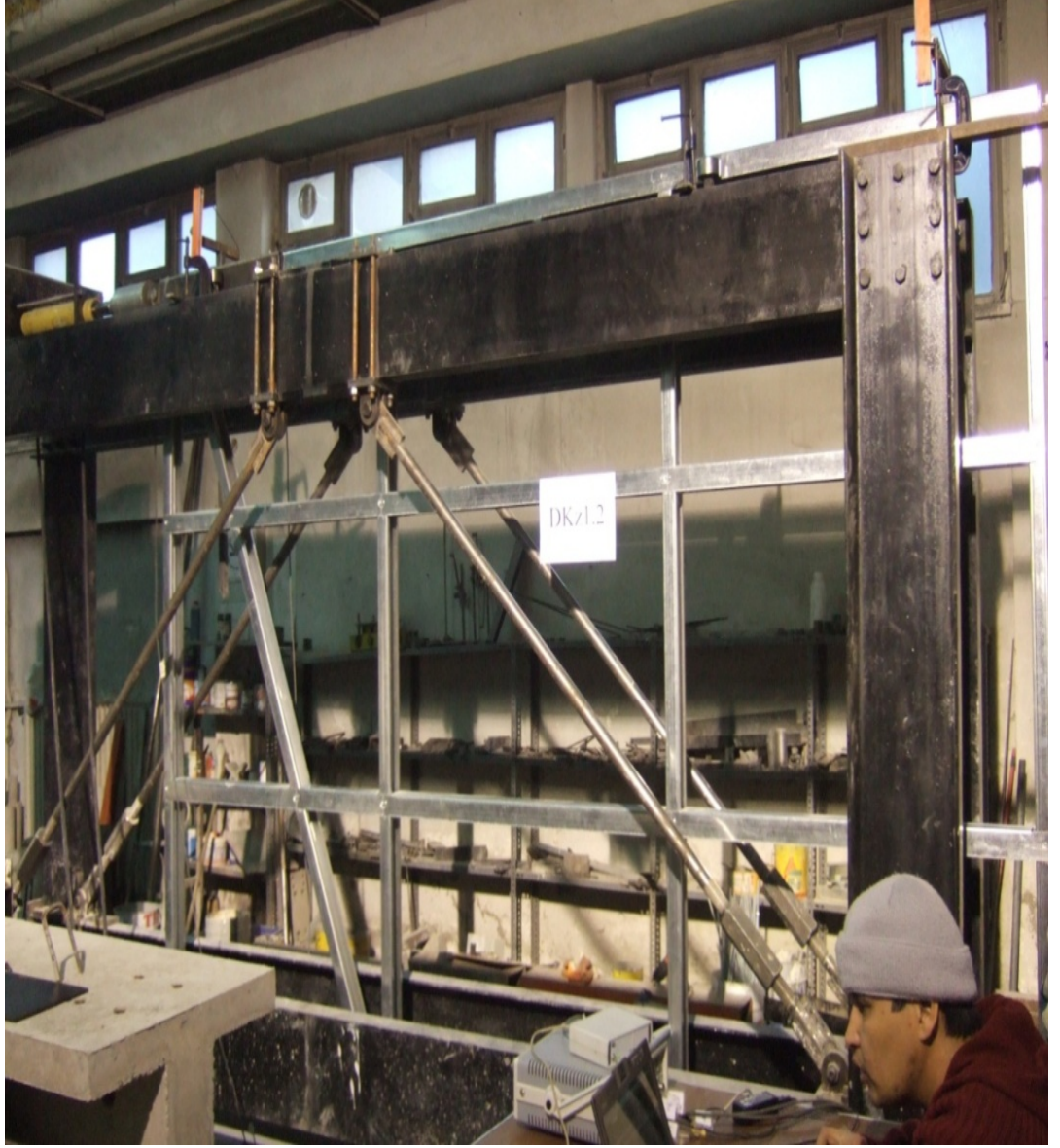
Resim 4.3. Yük uygulama düzeneği

Uygulanan yanal yük sonucunda panelde meydana gelen deformasyonlar 4 adet LVDT aleti (Resim 4.4.) ile llmtr. Kat deformasyonunu len LVDT 20 cm kapasiteye sahip olup, diğer LVDT'ler 10 cm kapasiteye sahiptir.

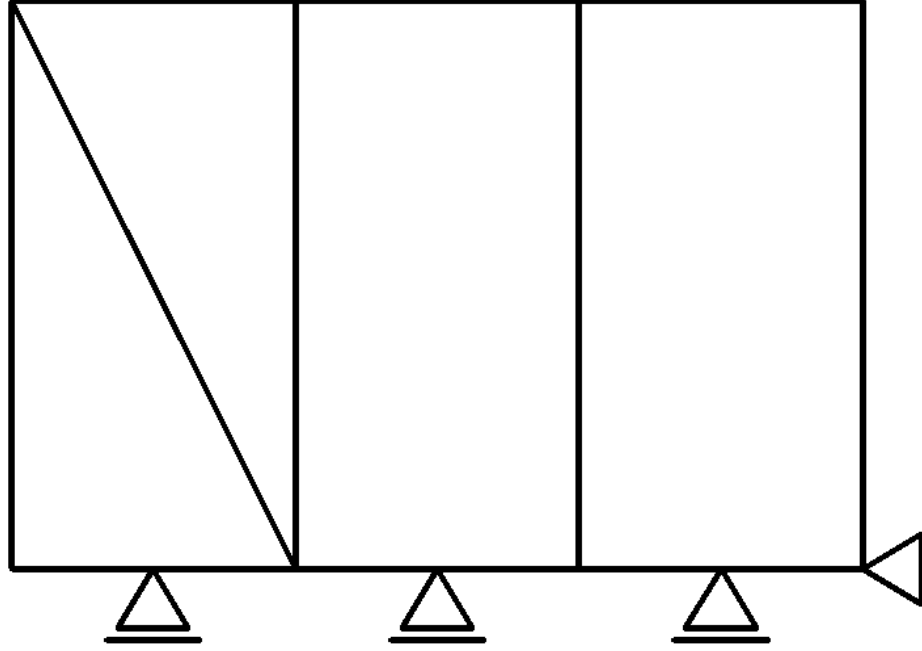


Resim 4.4. LVDT aleti

Deney aletinin hazırlanmasına başlanmadan önce yük hücresi ve kriko boyutları hesaplanarak duvar panellerinin deney aletine yerleşim planı belirlenmiştir. Panelin mesnetlendirilebilmesi için gerekli olan deney düzeneğinden ekleme ve çıkarma işlemleri yapılmıştır. Panel elemanları deney düzeneğine yerleştirilmiş (Resim 4.5.) ve mesnetlendirilmiştir. (Şekil 4.3.)



Resim 4.5. Deney düzeneği



Şekil 4.3. Panel mesnetlendirilmesi

Daha sonra gerekli işlemler yapılarak deney düzeneği ve panel hazırlanmıştır. Son olarak LVDT aletleri yerleştirilerek deney düzeneği hazırlanmıştır.

4.3. Deney Aşamaları ve Değerlendirilmesi

4.3.1. DKz 1.2 (Diyagonalı, Kaplamasız, Et Kalınlığı: 1,2 mm)

Yüklemeye başlandıktan sonra yatay deformasyonun 41 mm olduğu durumda bir ses duyuldu. Bu esnada yük 120 kg'dan 100 kg'a düştü. Alttaki profille ilk düşey profili birleştiren 4 vidadan 2 tanesi koptu. Ayrıca alt U profilde buruşmalar görüldü.

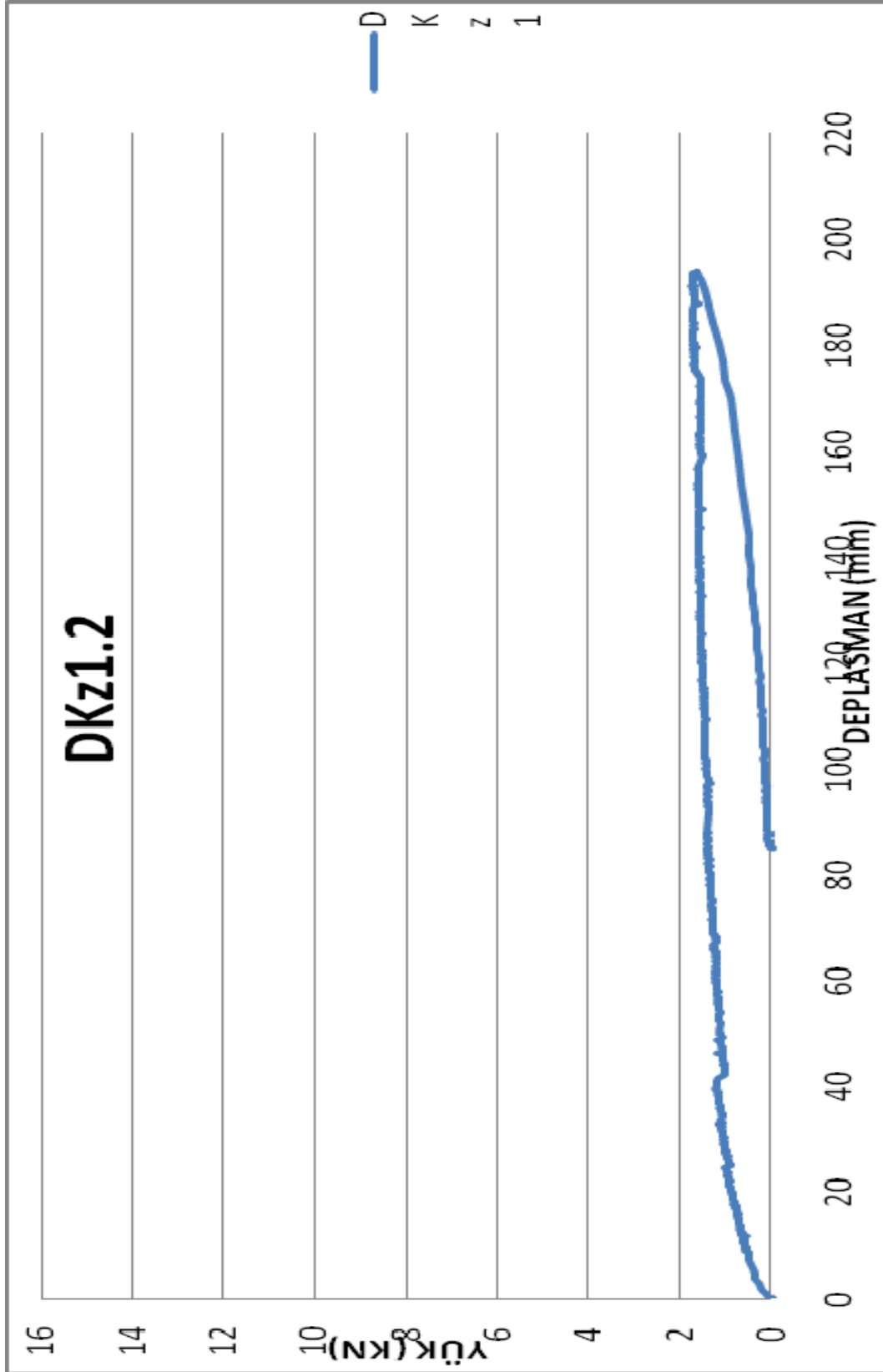
(Resim 4.6.)



Resim 4.6 Alt profildeki kalkma ve buruşma

Yatay deformasyonun 170 mm ve yükün 152 kg olduğu durumda alt profildeki buruşmaların arttığı görüldü. Ayrıca yükleme tarafındaki kalkmanın 81 mm olduğu ölçüldü.

Yatay deformasyonu ölçen LVDT'nin kapasitesinin dolması nedeniyle yükleme sona erdirildi ve yük boşaltımına başlandı. Deney süresince sistemin yüklendiği maksimum yük 176 kg olmuştur. Deney sonrası kalıcı deformasyonun ise 85 mm olduğu görüldü. (Şekil 4.3.)



Şekil 4.4. DKz 1.2 Yük-Deformasyon grafiği

4.3.2. DKz 2.0 (Diyagonalı, Kaplamasız, Et Kalınlığı 2.0 mm'lik Panel)



Resim 4.7. DKz 2.0 deney öncesi görünüşü

Yatayda 73 mm deformasyon yaparken diyagonalin olduğu çerçevede 30 mm civarında kalkma meydana gelmiştir. Yine aynı gözün alt bağlantısının olduğu yerde alt U profil ve alt U profil kollarında buruşmalar meydana gelmiştir. Alt profilde diyagonalin geldiği yerde herhangi bir deformasyon söz konusu değildir.

Bir yerden ses gelmesi üzerine yapılan incelemede, ilk gözde en altın bir üstündeki barda kullanılmış olan tek vida ve alttaki profille ilk düşey profili birleştiren 4 adet vidadan birinin kopmuş olduğu görülmüştür. Buruşma ise belirgin derecede artmış olarak saptanmıştır. Profilin kalkması ise 73 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 4.8. Kesilen vidanın ve kalkmanın gözlenmesi



Resim 4.9. 1. Mafsaldaki buruşma



Resim 4.10. Ön panel ve mafsalındaki buruşma

Profilin birinci ile 2.bölümünün birleştiği üst uçta da buruşmalar tepeden bakıldığında görülmüştür.(Resim 4.11)



Resim 4.11. Deney düzeneğinin tepeden gözlemlenmesi

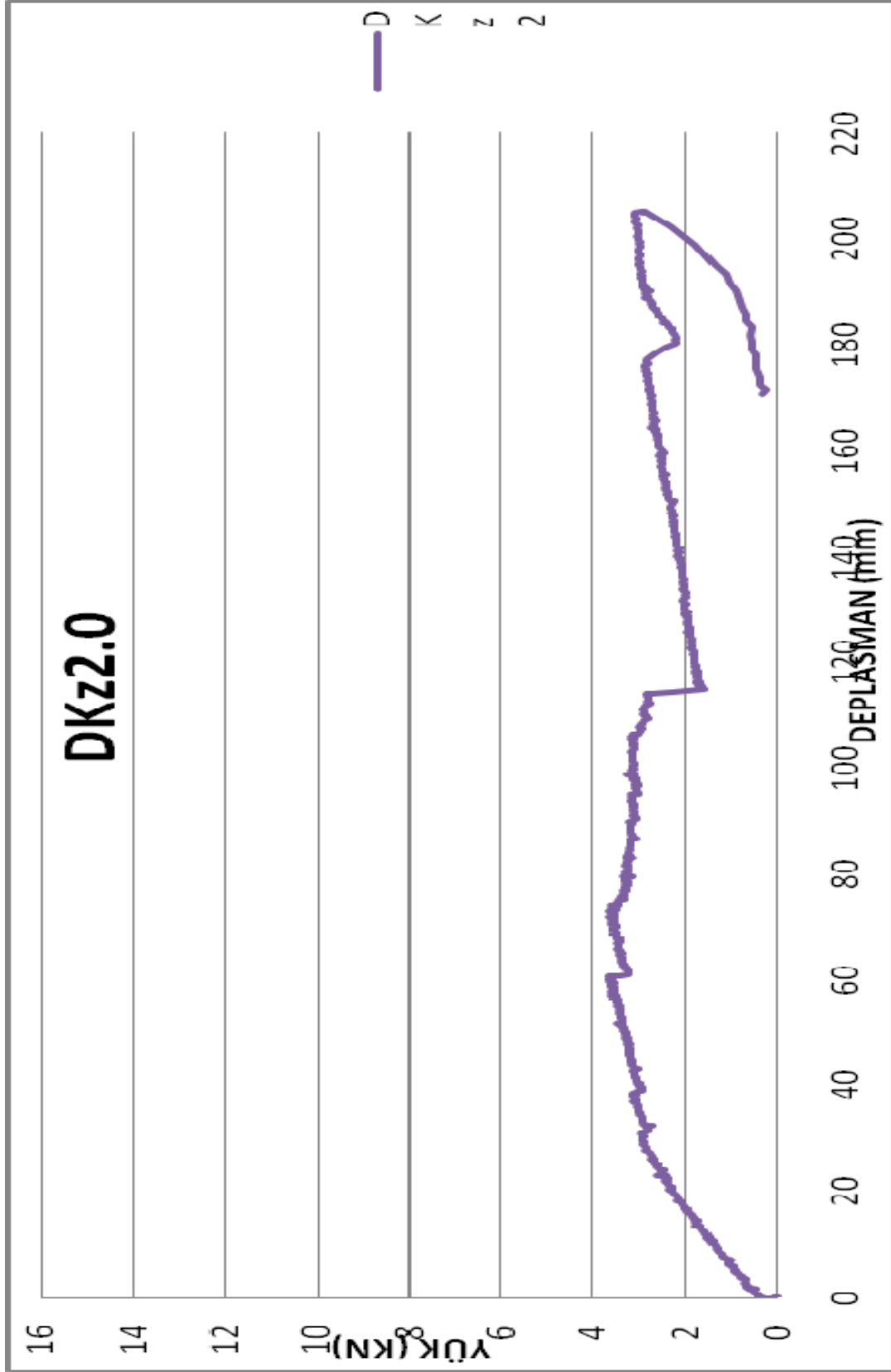
Ayrıca diyagonal ile düşey bağlantı arasında alt U profilde genişleme gözlemler sonucunda belirlenmiştir.(Resim 4.12)



Resim 4.12. Diyagonal ve düşey bağlantı arası



Resim 4.13. DKz 2.0 panelinin deney sonrası görünüşü



Şekil 4.5. DKz 2.0 panelinin yük-deformasyon grafiği

4.3.3. DzK 1.2 (Diyagonalsiz, Kaplamalı, Et Kalınlığı: 1.2 mm)

Yüklemeye başlandıktan sonra yatay deformasyonun 47 mm, yükün ise 370 kg'a çıktığı esnada bir kütleme sesi duyuldu. Yükleme tarafındaki ilk panelin arka yüzünde bulunan 6 vidanın tamamı betopandan ayrıldı. Ön taraftaki, ilk gözdeki betopanda ise ortadaki 4 vida betopandan ayrıldı.

Yatay deformasyonun 177 mm olduğu durumda, yükün ani bir şekilde 830 kg'dan 625 kg'a düştüğü izlendi. Yükleme tarafındaki ilk düşey U profilin alttan ilk vidası, önlü arkalı betopanı çizerek betopandan ayrıldı. Ayrıca alt U profilin, altındaki ilk bulonu ilk betopan arasında yaklaşık 15 cm kalkma oluştu. (Resim 4.14.)

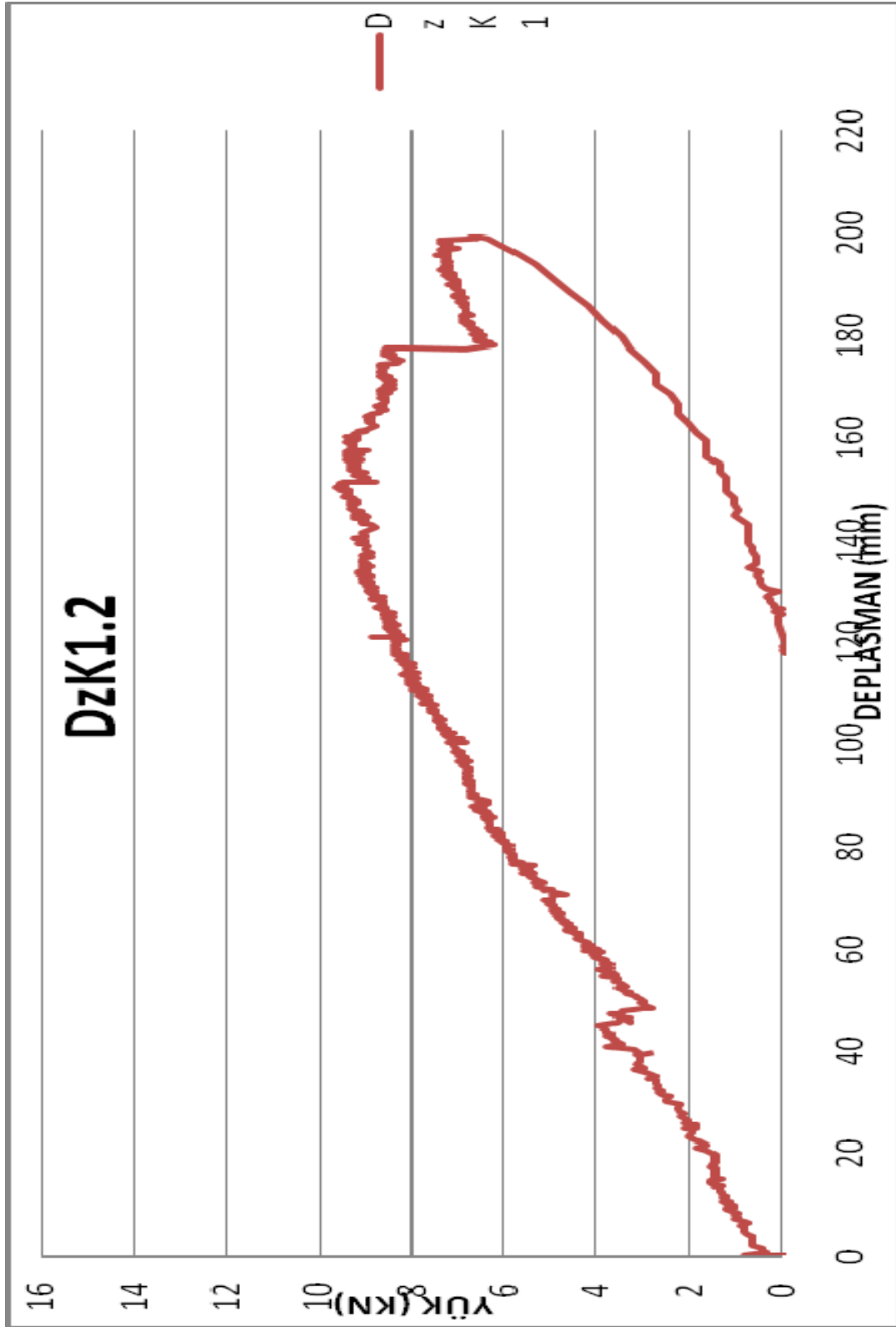


Resim 4.14. Yükleme tarafındaki kalkma

Yatay deformasyonun 204 mm'ye ulaştığı anda LVDT kapasitesini doldurduğundan dolayı yükleme durdurulmuş ve yük boşaltımına başlanmıştır. Son durumda betopanla, U profil arasındaki tüm vidaların başlarının betopana gömüldüğü görüldü. Yükleme tarafındaki ön ve arkadaki iki panelin tüm vidaları, betopanı sıyrarak

ayrıldı. Ayrıca üst profilin bağlandığı vidalardan 6 numaralı vida önde ve arkada betopanı patlattı. 1 ve 2 numaralı vidalar ise betopan içerisine battı.

Deney sırasında sistemin taşıyabildiği maksimum yanal kuvvetin 965 kg olduğu izlendi. Yük boşaltımı sonrasında kalıcı deformasyonun ise 118 mm olduğu görüldü. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. DZK 1.2 panelinin yük-deformasyon grafiği

4.3.4 DzK 2.0 (Diyagonalsiz, Kaplamalı, Et Kalınlığı 2.0 mm'lik Panel)



Resim 4.15. DzK 2.0 panelinin deney öncesi görünüşü

Deneyimize başlarken sıfırlama yapılmadığı için yüklemeye başladıktan çok kısa bir süre sonra pompa boşaltılıp deneye tekrar başlanmıştır. Deformasyonlar, yatayda 29 mm düşeyde ise 33 mm iken yük 670 kg ölçülmüştür. Bu sırada ön cephede yük tarafından ilk panelin rijit hareketi sonucu en üst son vida koptu. İlk panel ise yaklaşık olarak 7 mm kadar diğer panele göre aşağıya düştü.



Resim 4.16. Panelin 650 kg yük ve 37 mm deformasyondaki görünüşü

Yük 650 kg, yatay deformasyon 37 mm, düşey deformasyon 43 mm iken, yük tarafından ilk panellerde önde 2. ve 4.vidalar paneli koparttılar, 3. vida ise paneli delerek panelden dışarı çıktı. Arka tarafta ise yine ilk paneldeki 2,3,4, ve 5.vidalar paneli kırarak serbest kaldılar (Resim 4.19).



Resim 4.17. Panelin 1050 kg yük ve 84 mm deformasyondaki görünüşü

Daha sonra ise arka cephedeki ilk panelin ilk vida betopanı parçalayarak serbest kaldı.

Yük 1050 kg, yatay deformasyon 84 mm ve düşey deformasyon 100 mm olduğunda düşey deformasyonu ölçen LVDT aletinin kapasitesi bittiği için güncelleme yapıldı ve deneye devam edildi.

Yük 1300 kg a ulaştığında yataydaki deformasyon 136 mm ve düşeydeki deformasyon 163 mm iken genel bir gözlem yapılmaya ihtiyaç duyuldu. Gözlem sonucu yük tarafından takılan ilk kulaklıklılı somunun olduğu yerde büyük bir deformasyon olduğu gözlemlendi. Ölçüm sonucu yaklaşık olarak 130 mm civarında panelin alt kısmının yukarı kalktığı belirlendi (Resim 4.20).



Resim 4.18. Panelin 1270 kg yük ve 166 mm deformasyondaki görünüşü

Yük 1270 kg iken yataydaki deformasyon 166 mm düşeydeki deformasyon ise 204 mm ölçülmesiyle birlikte düşeydeki LVDT kapasitesi dolduğu için tekrar güncelleme yapıldı. Bu güncel hemen ardından yük tarafındaki düşey profilin en alt vidaları betopanın içerisine yırtarak girdi (Resim 4.18).



Resim 4.19. Panelin deformasyon yapması sonucu vidaların betopanı ezmesi

Daha sonraki gözlemde ise düşey U profilin en alttan 2. vidalarının da betopanı ezerek içeri girdiği gözlemlendi (Resim 4.19).



Resim 4.20. Alt başlıktaki vidaların betopanı yırtarak sıyrılması

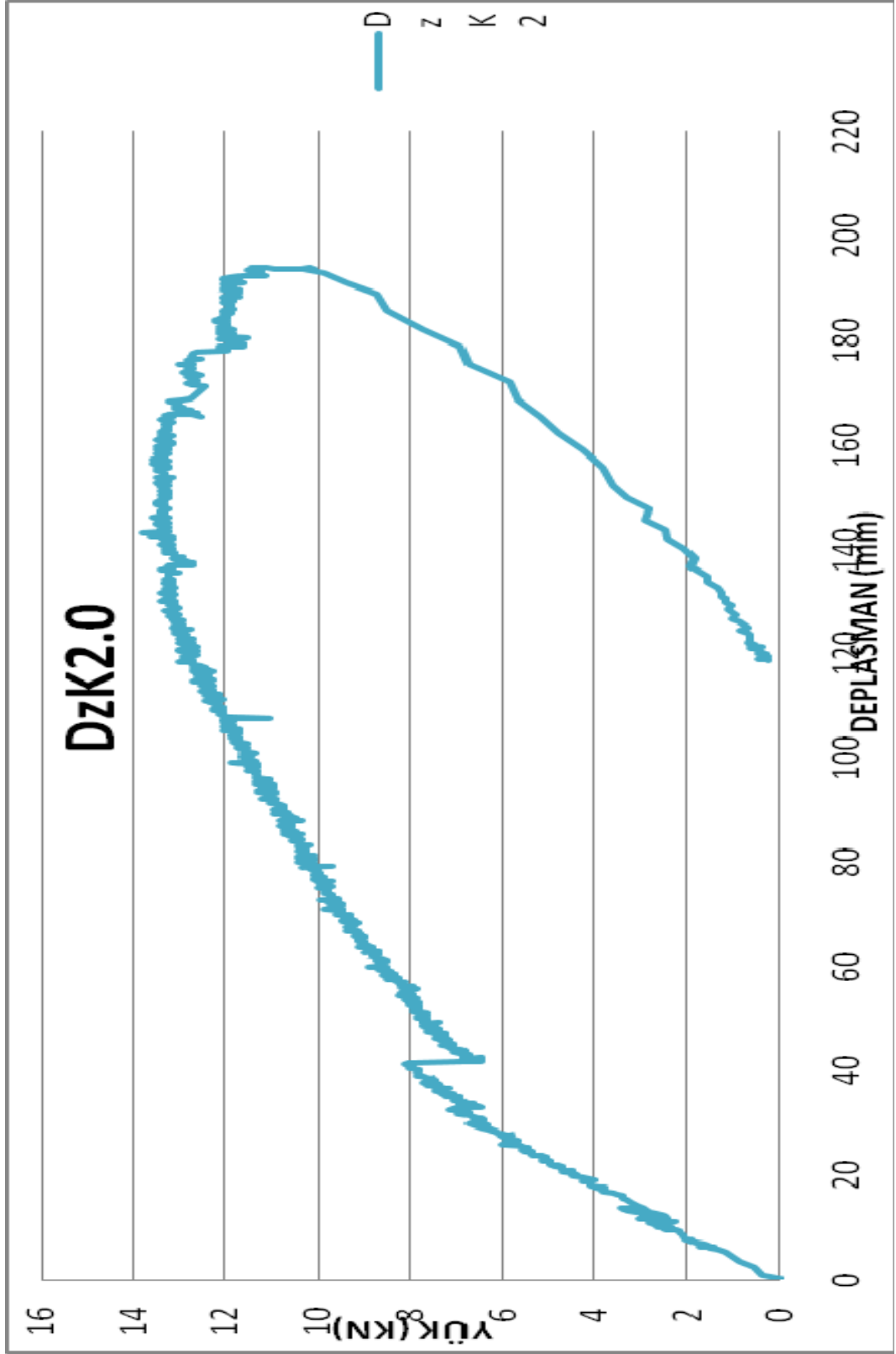
Yük 1100 kg, yatay deformasyon 192 mm, düşey deformasyon ise 243 mm iken orta panelin 5. vidası paneli patlatarak serbest kaldı.

Yük 1120 kg yatay deformasyon 194 mm ve düşey deformasyon 250 mm değerlerindeyken ilk panel üst tarafındaki vidalar paneli delerek serbest kaldılar.

Yatay deformasyon 193 mm ve düşey deformasyon 246 mm değerlerindeyken yük 1005 kg idi. Krikonun kapasitesinin bitmesi nedeniyle yük boşaltımına gitmeye karar verildi. Sonuçta yük boşaltımı sonrası yük 0, düşeyde kalıcı deformasyon 114 mm olarak belirlenmiştir. Düşey deformasyon da ise değerimiz 194 görünse de, LVDT ucu serbest kaldığı için kesin bir değeri belirlenemedi.



Resim 4.21. DzK 2.0 panelinin deney sonrası görünüşü



Şekil 4.7. DzK 2.0 panelinin yük-deformasyon grafiği

4.3.5. DK 1,2 (Diyagonalli, Kaplamalı, Et Kalınlığı: 1,2 mm)

Yatay deformasyonun 15 mm, yükün ise 450 kg olduğu durumda görünürde herhangi bir deformasyon ya da vida kopması izlenmemiştir. Yükleme devamında yük 650 kg'a çıkmış, düşeydeki deformasyon bu süre içerisinde 9 mm daha artarak 26 mm ye gelmiştir. Daha sonra düşeydeki deformasyonu ölçen LVDT aleti güncellenmiş ve 31.7 mm'ye getirilmiştir.

Yatay deformasyonun 24 mm ve yükün 660 kg olduğu sırada bir ses duyulmuş ve yükün 590 kg'a düştüğü izlenmiştir. Panelde inceleme yapıldığında bu sesin; alt profile bağlantı kısmından geldiği anlaşılmıştır. Diyagonalli ilk gözün alt tarafında bulunan tüm vidaların betopanı yırtarak çatlak oluşumunu başlattığı görülmüştür (Resim 4.22).



Resim 4.22. Yük 805 kg, deformasyon 39 mm iken vidaların betopanı yırtması

Yatay deformasyonun 39 mm ve yükün 805 kg'a çıktığı sırada yükün aniden 690 kg'a düştüğü görüldü. Alt tarafta çatlak oluşturan vidaların hepsi betopandan ayrıldı. Ayrılan 6 vidanın 5 tanesi betopanı yırttı, diğer vida ise betopanın içine gömülerek

betopandan ayrıldı. Arka yüzde oluşan bu davranış ön yüzde de kendini gösterdi. Ön yüzdeki dört adet vidanın betopanı yırtarak ayrıldığı belirlenmiştir.

Yatay deformasyon 91 mm ve yük 900 kg değerindeyken, arka cephedeki 2. panel ile alt U profilin birleşimi için kullanılan 6 vidadan 3.sü betopandan kafasını sıyırmış, 4.cüsü ise paneli yırtmıştır. Ayrıca 2. panelin altındaki U profilde 30 mm civarında kalkma oluşmuştur. Benzer bir davranış yükün 950 kg ve deformasyonun 112 mm olduğu sırada ön cephede görülmüş, bu kez ortadaki 2 vida paneli yırtarak betopandan ayrılmıştır.

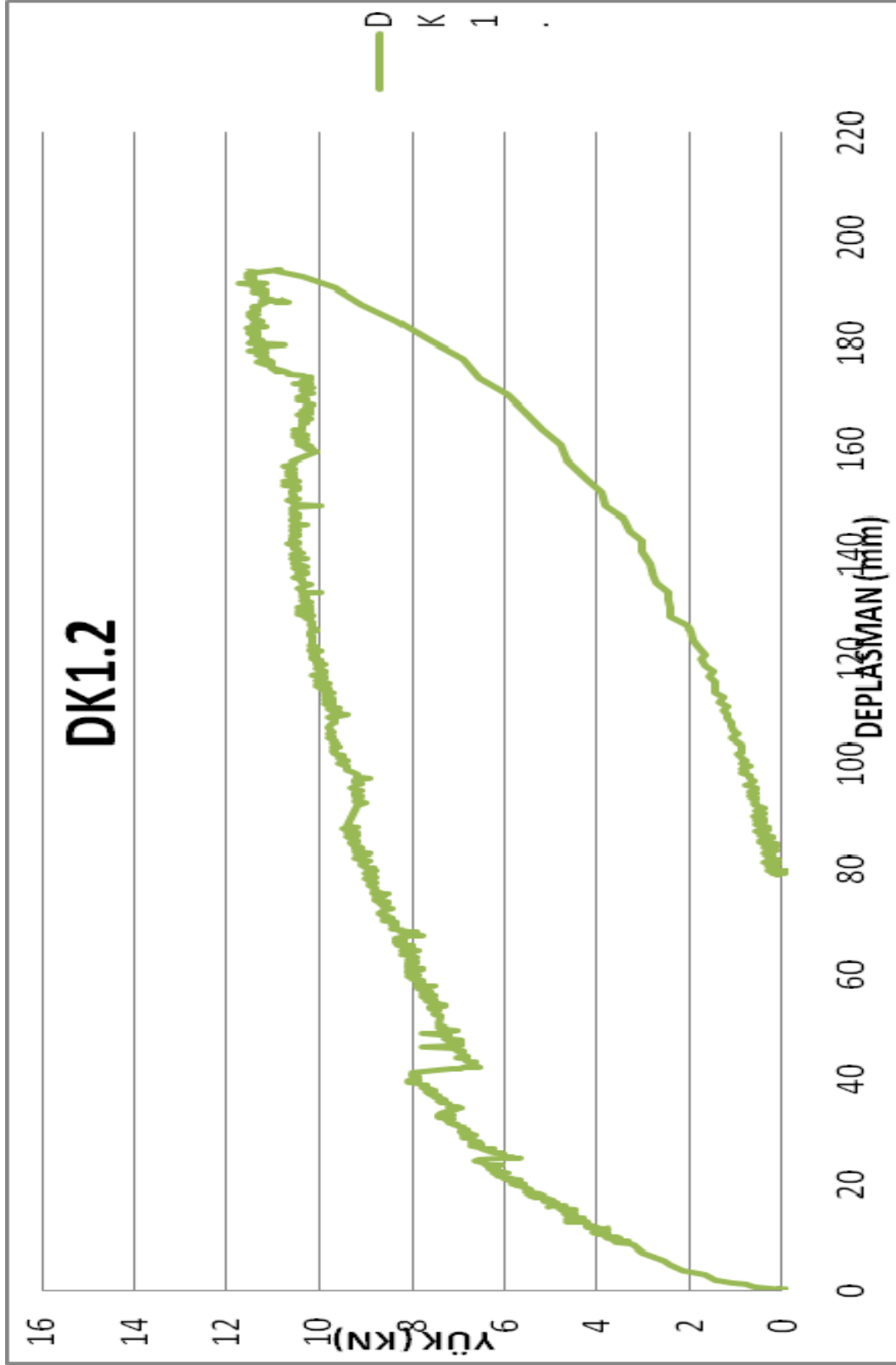
Yatay deformasyon 179 mm ve yük 1050 kg olduğu sırada U profili tutan ön ve arka taraftaki ikişer vida, betopanı ezerek betopanın içine doğru gömüldü. Ayrıca ön taraf ikinci betopandaki 6 tane vidanın hepsi betopanı kırarak ayrıldı. Arka tarafta ise ortadaki 4 vida betopandan ayrılmış durumdadır.



Resim 4.23. Yükleme yönündeki kalkma

Yatay deformasyon 199 mm'ye ulaştığında LVDT'nin kapasitesi bittiği için yükleme durdurulmuş ve yük boşaltımına geçilmiştir.

Deney süresince panelin karşılayabildiği maksimum yükün 1174 kg olduğu izlenmiştir. Ayrıca yük boşaltımından sonra sistemin 79 mm kalıcı yatay deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. DK1.2 panelinin yük-deformasyon grafiği

4.3.6. DK 2,0 (Diyagonalli, Kaplamalı, Et Kalınlığı 2,0 mm' lik Panel)



Resim 4.24. DK 2.0 panelinin deney düzeneği

Yatay deformasyon 44 mm iken düşeydeki deformasyon 43 mm ölçülmüştür.. Yük değeri ise 1250 kg ölçülmüştür. Gözlem sonucu yükün uygulandığı tarafta 2 ve 4. alçıpan vidaları betopanı kopararak dışarı çıkmış olduğu belirlenmiştir.Ön taraftaki betopan da ise yük tarafından 2. vida ise betopanı kopararak serbest kaldığı belirlenmiştir.

Deneyin devamında yük yine 1250 kg iken yatay deformasyon 63 mm düşey deformasyon ise 64 mm dir. Yük tarafındaki 2 numaralı kulaklı somun kendini kurtardığı, ses gelince anlaşılmıştır. Yük tarafında ön tarafın ilk betopanının en altındaki 1. betopan vidası serbest kaldığı da belirlenmiştir.

Yükün 1350 kg değerine ulaştığında, yatay deformasyon 77 mm iken düşey deformasyon ise 84 mm değerindedir. Yükleme tarafındaki ön cephedeki ilk betopan, alt taraftaki betopan vidalarından 3 ve 4 numaralı olanlar serbest kalmışlardır. Daha önceden 1 ve 2. yırtılmıştı.



Resim 4.25. Alttaki vidaların betopanı kopardığının gözlemlenmesi

Düşeydeki deformasyon 101 mm ye ulaştığında LVDT güncellenmesi gerekmektedir. Yük değeri 1250 kg ve yataydaki deformasyon ise 89 mm dir. Güncelleme sonrası 108,2 mm değeri ile devam edilecektir. Devam eden yükleme sonrasında güncellemeden sonra 3 adet vida kopma sesi duyulmuştur. Alt çelik profilde bağlantı noktalarından 2. kulaklı somun tamamen serbest kalmıştır.



Resim 4.26. DK 2.0 panelinin alt U profilinde mafsalda oluşan buruşma

Yatay deformasyon 119 mm ve düşey deformasyon ise 130 mm iken yük 1250 kg dan 639 kg a düşmüştür. Dikkat çekileceği üzere panel yük taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını kaybetmiştir. Yük düşmesi bu panelin yük kapasitesinin yaklaşık %48 ine tekabül etmektedir. Bu sıradaki gözlemde Alt U profil ile yükün uygulandığı taraftaki en alt, önde ve arkada olmak üzere, 4'er den 8 vida kesilerek iki U profil birbirinden ayrılmıştır. Böylelikle ilk panelin hem düşeyi hem de en alt yatayı serbest kalmıştır.



Resim 4.27. DK 2.0 panelinin alt profili ile düşey profilinin ayrılması



Resim 4.28. DK 2.0 panelinin alt U profilinden bir görünüş



Resim 4.29. DK 2.0 panelinin ve yükleme düzeyinin yandan görünüşü

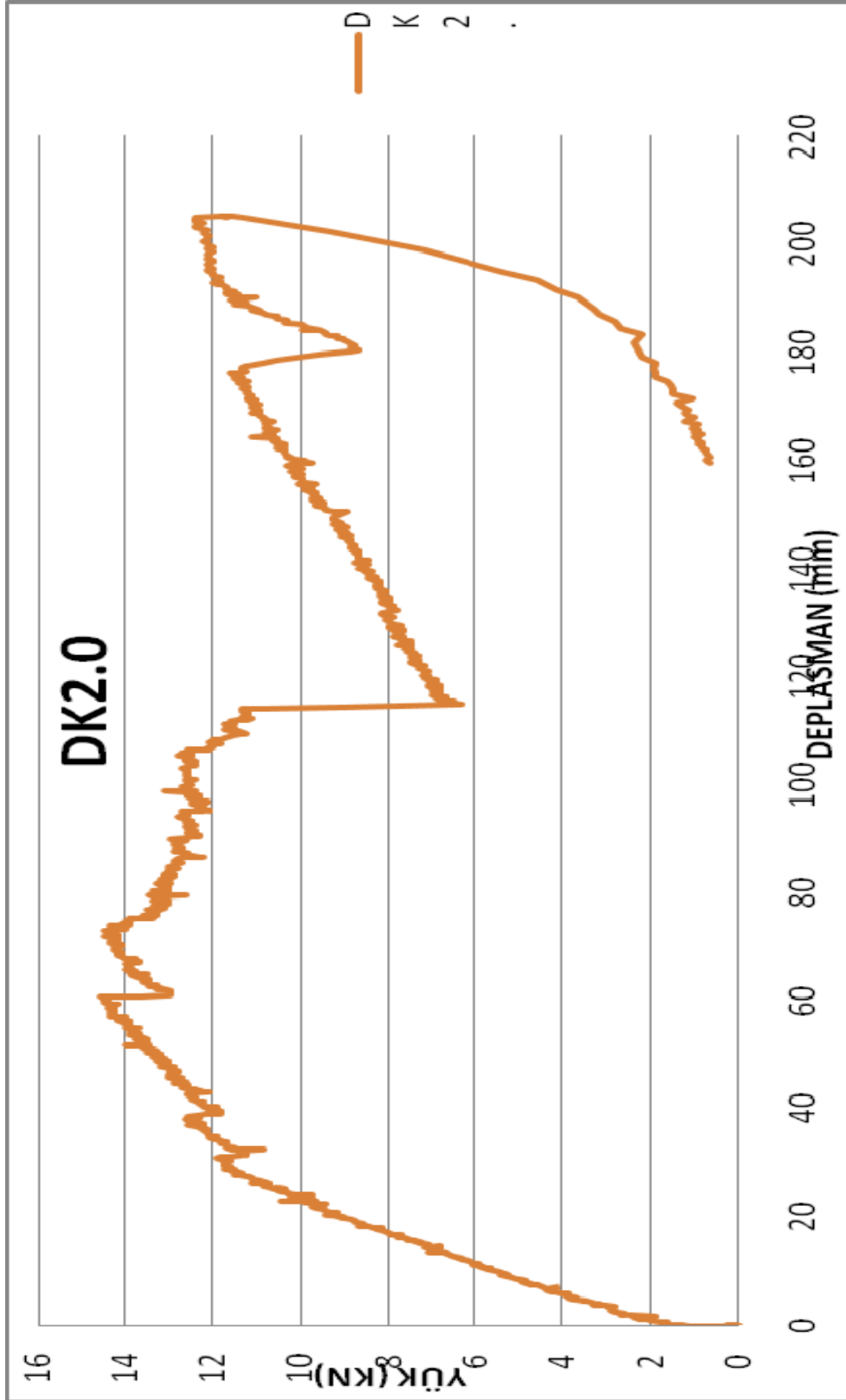
Yük 900 kg yatayda oluşan deformasyon 155 mm ve düşeydeki deformasyon 182 mm değerlerindeyken, yük tarafından sol ön vidalardan 2,4 ve 5. betopan vidaları ile yine aynı yerdeki arka panelin tüm alt betopan vidaları serbest kalmıştır.

Devam edilen yüklemeyle yük 980 kg ve yataydaki deformasyon 164 mm iken düşey deformasyonu ölçen LVDT 200 mm değerine ulaştığı için tekrar güncellemeye ihtiyaç duyulmuş ve güncelleme yapılmıştır. Güncelleme sonrasındaki okunan değer - 3 mm dir ve bu değer göz önünde bulundurulacaktır.

Yatay deformasyon 203 mm ye ulaştığından yataydaki deformasyonu ölçen LVDT aletinin kapasitesi dolduğu için yük indirimine başlanmıştır.



Resim 4.30. DK 2.0 panelinin deney düzeneğinin yükleme sonu görünüşü



Şekil 4.9. DK 2.0 panelinin yük-deformasyon grafiği

5. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde deney verilerinin işlenmesi ve değerlendirilmesi ele alınmıştır. Soğukta işlem görmüş çelik çerçeveli duvar panellerinin farklı et kalınlıkları, diyagonal ve diyagonalsız, kaplamalı ve kaplamasız durumlarda duvar panellerinin amaçlanan ideal davranış ve dayanım tanımlanmaktadır. Yük kapasitesi, süneklik, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi konularında irdelenmesi ve davranışlarının karşılaştırılması bu bölümde incelenmiştir.

5.1 Yük Kapasitesi

Yapılan deneysel çalışmalarda maksimum yük kapasiteleri, DKz1.2 panelinde 176 kgf, DKz2.0 panelinde 380 kgf, DzK1.2 panelinde 965 kgf, DzK2.0 panelinde 1005 kgf, DK1.2 panelinde 1174 kgf ve DK2.0 panelinde 1250 kgf olarak belirlenmiştir.

Et kalınlığının değişmesi sonucunda, diyagonal ve kaplamasız panellerde (DKz) yük kapasitesi 176 kgf'dan 380 kgf'a; diyagonalsız ve kaplamalı panellerde (DzK) 965 kgf'dan 1005 kgf'a ve diyagonal ve kaplamalı panellerde 1174 kgf'dan 1250 kgf'a çıkmıştır.

Yalnızca maksimum yük kapasitelerine bakıldığında, et kalınlığının kaplamasız panellerde yük kapasitesini %110 oranında etkisi bulunmaktadır. Kaplamasız panellerin maksimum yük kapasitesi kaplamalılara göre daha az olmuştur.

Diyagonal kullanılması durumunda, et kalınlığı 1.2 mm ve kaplamalı panellerde yük kapasitesi 965 kgf'dan 1174 kgf'e et kalınlığı 2 mm ve kaplamalı panellerde 1005 kgf'dan 1250 kgf'a çıkmıştır.

Soğukta işlem görmüş çelik çerçeveli panellerde diyagonal kullanılması durumunda yatay yük kapasitesinde fazla bir artışa sebep olmadığı görülmüştür.

Kaplama kullanılması durumunda, et kalınlığı 1.2 mm ve diyagonalli panellerde yük kapasitesi 176 kgf'den 1174 kgf'e, et kalınlığı 2.0 mm ve diyagonallerde ise 380 kgf'den 1250 kgf'e çıkmıştır.

Duvar panellerinde kaplama kullanılması durumunda yatay yük kapasitesinde çok %600 lere varan bir artış meydana gelmiştir. Bu da et kalınlığını arttırmak veya diyagonal olarak profil eklenmektense, panellerde kaplama kullanılmasının daha iyi davranışa etkili olduğu görülmüştür.

5.2 Süneklik

Soğukta işlem görmüş çelik çerçeveli duvar panellerinin tasarımında sünekliğin sağlanması zorunlu bir koşuldur. Süneklik, yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan elemanın veya kesitin büyük deformasyon yapabilme özelliği olarak tanımlanabilir. Yatay yük-deformasyon grafiğinde maksimum kuvvetin %85inin eğrinin iniş düştüğü ana kadarki deformasyon miktarı panellerin sünekliliklerini belirler

Yatay yük – deformasyon grafiklerinden elde edilen süneklik değerleri, DKz1.2 panelinde 153 mm, DKz2.0 panelinde 203 mm, DzK1.2 panelinde 198 mm, Dzk2.0 panelinde 185 mm, DK1.2 panelinde 188 mm ve DK2.0 panelinde 204 mm olarak bulunmuştur.

Deney elemanlarında akma tam olarak oluşmadığı için, maksimum yük kapasitesine tekabül edecek akma deformasyonunun, maksimum yükün %85'ine karşı gelen deformasyona oranı grafiklerin yorumu sonucu elde edilmiştir. İlk eğimin değiştiği noktayı yük kapasitesinin değişimi veya akma olarak kabul edersek bu yükün %85'ine tekabül eden yük düşüşüne karşı gelen deformasyonda bununla karşılaştırılabilir. Bu durumda;

-DK2.0 panelinde; tepe noktası 11,8 kN – 32 mm'dir. Tepe noktası yükün %85'ine karşı gelen deformasyon ise 117 mm'dir. Bu durumda süneklilik oranı: $117/32=3,66$ elde edilir.

-DKz2.0 panelinde; tepe noktası 3,1 kN – 30 mm'dir. Tepe noktası yükün %85'ine karşı gelen deformasyon ise 115 mm'dir. Bu durumda süneklilik oranı: $115/30=3,83$ elde edilir.

-DzK1.2 panelinde; tepe noktası 4,0 kN – 47 mm'dir. Tepe noktası yükün %85'ine karşı gelen deformasyon deney boyunca gelişmemiştir. Bu nedenle maksimum deformasyon alınmıştır. 198 mm. Bu durumda süneklilik oranı: $198/47=4,21$ elde edilir. Gerçek sünekliliği 4,21'den büyüktür.

-DzK2.0 panelinde; tepe noktası 8,0 kN – 43 mm'dir. Tepe noktası yükün %85'ine karşı gelen deformasyon deney boyunca gelişmemiştir. Bu nedenle maksimum deformasyon alınmıştır. 192 mm. Bu durumda süneklilik oranı: $192/43=4,47$ elde edilir. Gerçek sünekliliği 4,47'den büyüktür.

-DK1.2 panelinde; tepe noktası 8,0 kN – 42 mm'dir. Tepe noktası yükün %85'ine karşı gelen deformasyon deney boyunca gelişmemiştir. Bu nedenle maksimum deformasyon alınmıştır. 193 mm. Bu durumda süneklilik oranı: $193/42=4,60$ elde edilir. Gerçek sünekliliği 4,60'dan büyüktür.

-DKz1.2 panelinde; tepe noktası 1,1 kN – 41 mm'dir. Tepe noktası yükün %85'ine karşı gelen deformasyon deney boyunca gelişmemiştir. Bu nedenle maksimum deformasyon alınmıştır. 194 mm. Bu durumda süneklilik oranı: $194/41=4,73$ elde edilir. Gerçek sünekliliği 4,73'ten büyüktür.

Tüm bulunan sünekliliklerin değerlendirilmesi birlikte yapılırsa, DK2.0 panelinde süneklilik oranı 3,66, DKz2.0 panelinde 3,83 olmuştur. Deney panellerinde deney aşamasınca maksimum yükün %85'ine inilmemiştir. Bu nedenle DzK1.2, DzK2.0,

DK1.2 ve DKz1.2 panellerinde süneklilik 4,5'in üzerinde olduğu yorumu yapılabilmektedir.

5.3 Rijitlik

Deney elemanlarının rijitlik değişimleri yük-deplasman grafiklerinin eğiminden elde edilmiştir. Rijitlik yük-deplasman grafiğindeki çevrimin çıkış kolunun eğiminden elde edilmiştir. Bu eğim çevriminin çıkış kolunun tırmanmaya başladığı bölge ile tepedeki çıkma bölgesi arasında kalan nispeten doğrusal olan bölgenin eğimidir. Bulunan eğim o çevrimin rijitliğini vermektedir.

Yatay yük – deformasyon grafiklerinden DKz1.2 panelinin eğimi 0.06 KN/mm, DKz2.0 panelinin eğimi 0.08 KN/mm, DzK1.2 panelinin eğimi 0.07 KN/mm, DzK2.0 panelinin eğimi 0.18 KN/mm, DK1.2 panelinin eğimi 0.2 KN/mm ve DK2.0 panelinin eğimi 0.38 KN/mm olarak bulunmuştur.

Bu durumda en rijit davranışı DK2.0 panelinde elde edilmiştir. Bu deney elemanı hem 2.0 kalınlığında, hem diyagonalli hemde panellidir. Bu nedenle en rijit davranışı vermesi doğaldır.

DKz1.2, DKz2.0 ve DzK1.2 elemanlarında rijitlikler %6-%8 arasındadır. Bu panellerde rijitlik oranları aynı kabulü ile yorumlama yapılırsa, 1,2 mm kalınlığında profiller yapılmış diyagonalli ve kaplamasız olarak ve 2,0 mm kalınlığında profilden yapılmış diyagonalli elemanlar kullanılarak. 1,2 mm kalınlığında profillerden yapılmış diyagonalsiz kaplamalı elemanların rijitlikleri aynıdır. Yorumlamada bakıldığında DzK1.2 elemanının başlangıç rijitliği kaplamasızlarla aynı olmasına rağmen deneyin ileri aşamalarında rijitlikte bir değişim olmadan 9 kN'a kadarki yüklemeye kadar ulaşmıştır.

5.4 Enerji Yutma Kapasitesi

Deney elemanlarının enerji tüketimleri yük-deplasman grafiklerinden elde edilmiştir. Elemanların yük-deplasman eğrilerindeki çevrimlerin yük sıfır eksenine arasında kalan alanların toplamı o panelin enerji yutma kapasitesini göstermektedir.

Yatay yük – deformasyon grafiklerinin alanları, DKz1.2 panelinde 75 KNxmm, DKz2.0 panelinde 246 KNxmm, DzK1.2 panelinde 920 KNxmm, DzK2.0 panelinde 1440 KNxmm, DK1.2 panelinde 715 KNxmm ve DK2.0 panelinde 985 KNxmm olarak bulunmuştur.

Enerji yutmaları incelendiğinde DKz1.2 paneli ve DKz2.0 paneli enerji yutum kapasitesi diğer panellere göre çok düşük olarak bulunmuştur.

5.5 Deney Elemanlarının Karşılaştırılması

Yapılan deneylerde, et kalınlığının değişmesi sonucunda, diyagonal ve kaplamasız panellerde yük kapasitesi 176 kgf'dan 380 kgf'a; diyagonalsız ve kaplamalı panellerde 965 kgf'dan 1005 kgf'a ve diyagonal ve kaplamalı panellerde 1174 kgf'dan 1250 kgf'a çıkmıştır.

Et kalınlığının artması sonucunda kaplama kullanılan panellerde yük kapasitesi % 5 oranında, kaplama kullanıldığında %215 oranında artış göstermiştir.

Diyagonal kullanılması durumunda, et kalınlığı 1,2 mm ve kaplamalı panellerde yük kapasitesi 965 kgf'dan 1174 kgf'e, et kalınlığı 2 mm ve kaplamalı panellerde 1005 kgf'dan 1250 kgf'a çıkmıştır.

Yapılan deneylerde diyagonal kullanılması durumunda yük kapasitesinde % 20-%25 oranında bir artış gözlenmiştir.

Kaplama kullanılması durumunda, et kalınlığı 1,2 mm ve diyagonalli panellerde yuk kapasitesi 176 kgf'den 1174 kgf'e, et kalınlığı 2,0 mm ve diyagonallerde ise 380 kgf'den 1250 kgf'e çıkmıştır.

Yapılan deneylerde kaplama kullanılması durumunda yük kapasitesi %33-%67 oranında artış gösterdiği gözlenmiştir.

Et kalınlığının 1,2 mm'den 2,0 mm'ye çıkması durumu göstermektedir ki, panellerin yatay yük kapasitesini artırmak içinbu değişkeni kullanmak gereksiz ve ekonomik değildir. Panellerin yatay yük kapasitesini artıran en önemli değişken kaplama olmuştur.

Et kalınlığının 1,2 mm'den 2,0 mm'ye çıkması durumunda rijitlik, diyagonalli-kaplamasız (DKz) panellerde %33, diyagonalli-kaplamalı (DK) panellerde %190 civarında, diyagonalsiz-kaplamalı (DzK) panellerde ise rijitlik %250 civarında artış göstermiştir.

Diyagonal kullanılması durumunda rijitlik , et kalınlığı 1,2 mm ve kaplamalı panellerde (K1.2) % 285 civarında, et kalınlığı 2,0 mm ve kaplamalı panellerde ise (K2.0) %540 civarında artış göstermiştir.

Kaplama kullanılması durumunda rijitlik, et kalınlığı 1,2 mm ve diyagonalli panellerde (D1.2) %333 civarında, et kalınlığı 2,0 mm ve diyagonalli panellerde ise (D2.0) %475 civarında artış göstermiştir.

Et kalınlığının 1,2 mm'den 2,0 mm'ye çıkması durumunda enerji yutma kapasitesi, diyagonalli-kaplamasız (DKz) panellerde %328, diyagonalli-kaplamalı (DK) panellerde %140 civarında, diyagonalsiz-kaplamalı (DzK) panellerde ise enerji yutma kapasitesi %160 civarında artış göstermiştir.

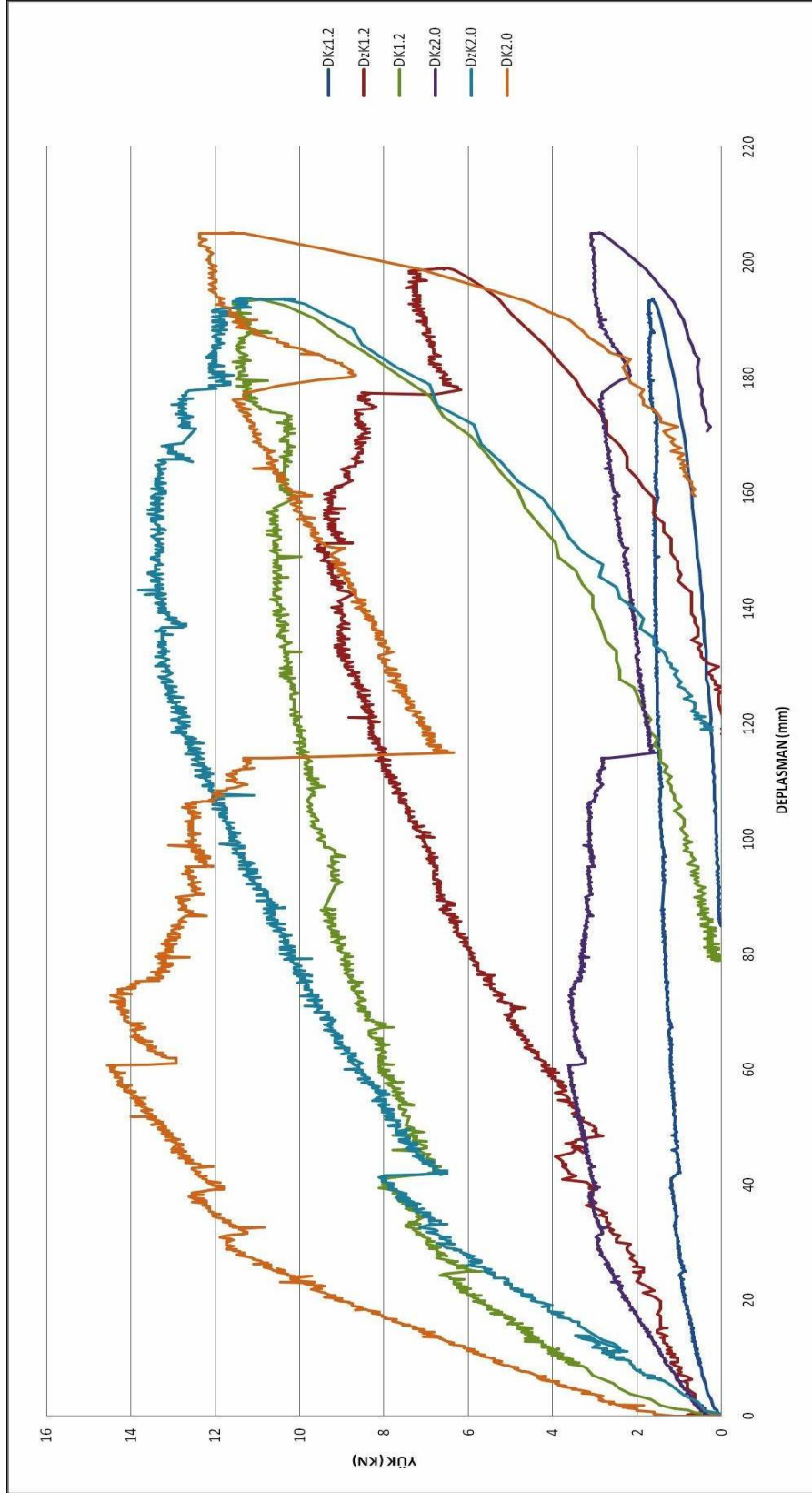
Tüm bulunan sünekliliklerin değerlendirilmesi birlikte yapılırsa, DK2.0 panelinde süneklilik oranı 3,66, DKz2.0 panelinde 3,83 olmuştur. Deney panellerinde deney aşamasınca maksimum yükün %85'ine inilmemiştir. Bu nedenle DzK1.2, DzK2.0,

DK1.2 ve DKz1.2 panellerinde süneklilik 4,5'in üzerinde olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Diyagonal kullanılması durumunda enerji yutma kapasitesi , et kalınlığı 1,2 mm ve kaplamalı panellerde (K1.2) % 30 civarında, et kalınlığı 2,0 mm ve kaplamalı panellerde ise (K2.0) %46 civarında azalma göstermiştir.

Kaplama kullanılması durumunda enerji yutma kapasitesi, et kalınlığı 1,2 mm ve diyagonalli panellerde (D1.2) %950 civarında, et kalınlığı 2,0 mm ve diyagonalli panellerde ise (D2.0) %400 civarında artış göstermiştir.

Yapılan deneylerle ilgili yanal yük-deformasyon Şekil 6.1'de grafiksel olarak birlikte incelenmiştir.



Şekil 5.1. Deneyi yapılan tüm panellerin yanal yük-deplasman grafiği

6. SİSTEMİN ANALİTİK MODELLENMESİ VE ANALİZİ

6.1 Kullanılan Malzeme Bilgileri

Çelik

Soğukta işlem görmüş çelik, büyük galvanizlenmiş halka şeklinde kıvrılmış saçlar halinde ve yeterli genişlikte çıkartılır ve bu şekilde şekil verilerek kullanılmaya hazır hale gelir. (Şekil 5.1)

Minimum Akma Gerilmesi: $F_y = 228 \text{ Mpa}$

Minimum Çekme Gerilmesi: $F_u = 310 \text{ Mpa}$

Bütün soğukta işlem görmüş çelik kapasiteleri AISI 2001 yönetmeliğine göre hesaplanmıştır.

Betopan

Betopan özelliklerine bağlı olarak dayanım, çok yönlülük ve homojen olarak yapılarda kullanılabilir. Kalınlık, yoğunluk, panel boyutları, yüzey dokusu, rijitlik ve dayanım gibi faktörlere bağlı olarak istenilen şekillerde üretimi gerçekleştirilebilir.

Betopan yapılarda genel olarak, ıslak hacimlerde kullanılır.

Kullanılan betopanın özellikleri şunlardır:

Yoğunluk: 1300 kg/m^3

Elastisite modülü (dik eğilmede) $= 4500 \text{ Mpa}$

Yüzeye dik eğilme dayanımı $= 9 \text{ Mpa}$

Yüzeye dik çekme dayanımı $= 0.5 \text{ Mpa}$

Yüzeye paralel çekme dayanımı $= 4 \text{ Mpa}$

Yüzeye paralel basınç dayanımı $= 15 \text{ Mpa}$

Eğilme mukavemeti $= 1.8 \text{ Mpa}$

6.2 Analitik Bilgisayar Modeli

3600x2400 mm boyutlarında çerçeve SAP2000 yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

Modelleme sırasında su adımlar takip edilmiştir:

-Duvar panellerinin ölçülerine göre akslar tanımlanmıştır.

-Kullanılacak olan soğukta işlem görmüş çelik malzemesi seçilmiştir.

-Tanımlanmış olan aks boyutlarında çerçeve elemanları girilmiştir. Sistem girilen çerçeve elemanına bağlı olarak düğüm noktasını otomatik olarak oluşturmaktadır.

-Girilen çerçeve elemanlarında birleşim noktaları olan kenarlar uçlarında mometler serbest bırakılmıştır.

-Alt başlık profillerinin orta noktalarına kayıcı mesnet ve sağ alt düğüm noktasına sabit mesnet tanımlanmıştır.

-Kaplama duvar panelleri için, FEMA 356 standartına göre betopan malzemesi eşdeğer diyagonal çubuklara dönüştürülerek işlem yapılmıştır.

-Yük durumu olarak, ölü yük tanımlanmış ve analiz tipi olarak lineer analiz seçilmiştir.

-Çerçevenin bütün dikme profillerinde, diagonelli duvar panelleri için diagonellerde de burkulma boy oranları tanımlanmıştır.

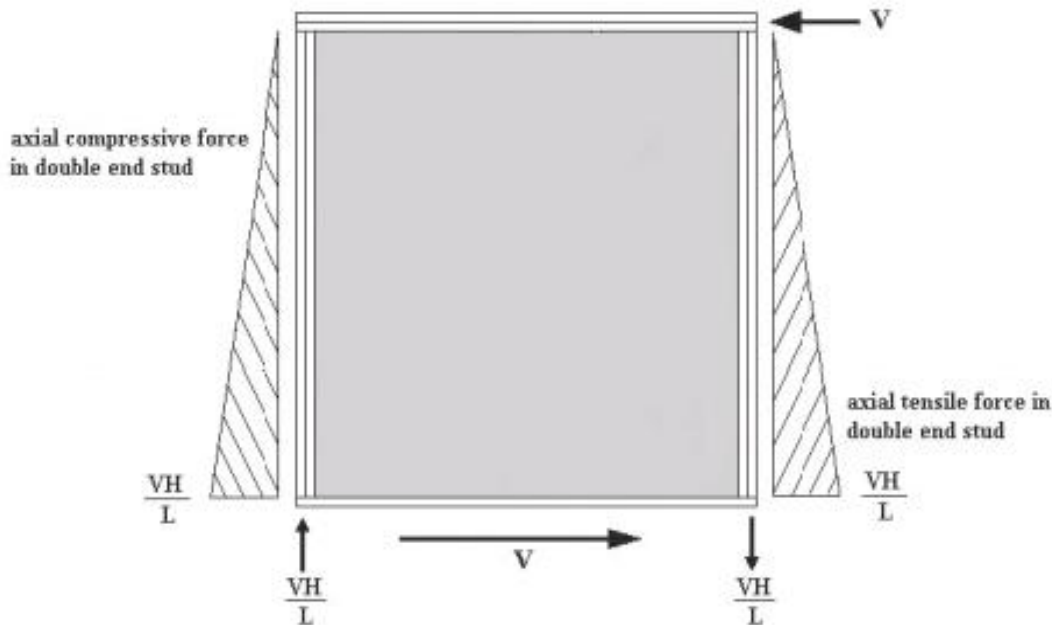
-Duvar panelinin, panele dik yöndeki ötelenmesini engellemek amacıyla XZ planında analiz seçeneği tanımlanmıştır.

-Yükleme sol üst başlıktan yapılmıştır.

-Kaplamasız panellerde, sistem analiz edildikten sonra dikme ve başlıklardan biri akma gerilmesine ulaşıncaya kadar veya tanımlanmış olan burkulma boy oranlarına erişilinceye kadar yükleme artırılarak devam etmiştir. Bu şekilde, sistemin yanal yük kapasitesi bulunur. Bu noktadan sonra, sistem hızla deformasyon yaparak göçme meydana gelir.

-Kaplmalı panellerde ise tanımlanan eşdeğer diagonal çubukta meydana gelen göçme yüküne ve ya daha öncesinde çerçeve elemanlarından her hangi birisinde meydana gelebilecek olan akma veya burkula yüküne kadar yanal kuvvet artırılmıştır.

-Bütün yükleme adımlarında yük-deformasyon grafiği elde edilerek, göçme sonucunda sisteme ait yük-deformasyon grafiği bulunmuş olur.



Şekil 6.1. Kesme duvarının serbest cisim diyagramı.

6.2.1 Diyagonalli-kaplamasız çerçevenin analitik modeli

Kalınlığı farklı olan iki ayrı model analiz edilmiştir.

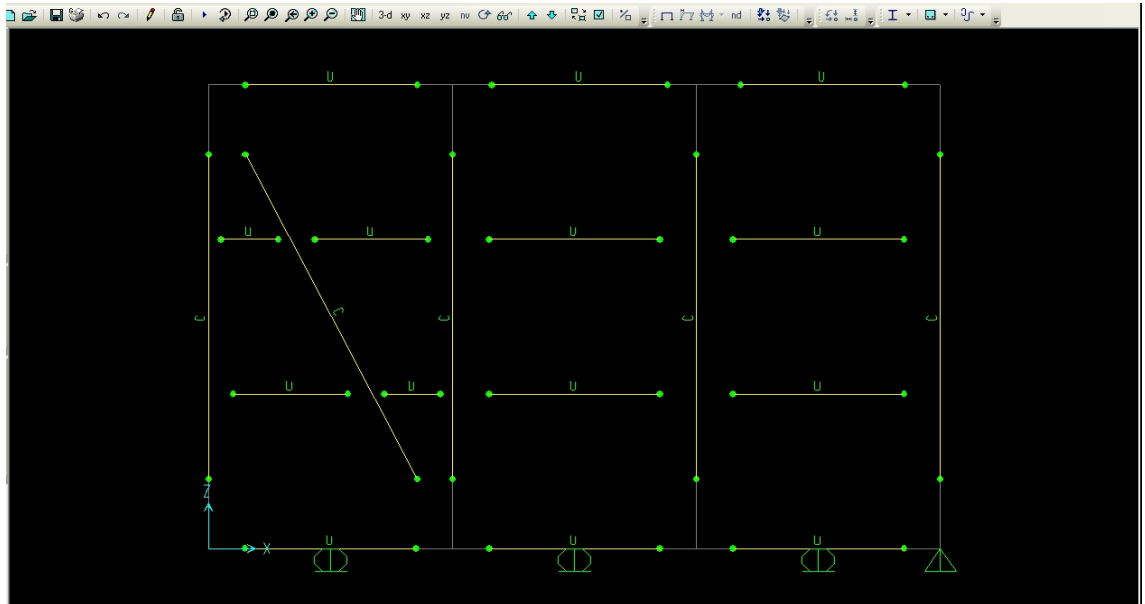
DKz1.2 (diyagonalli kaplamasız 1.2 mm profil kalınlığına sahip) panel için modellemede kullanılan sistem bilgisi aşağıdadır.

Boyut: 3600x2400 mm

Vida noktaları: dikme ve başlık birleşim noktalarında

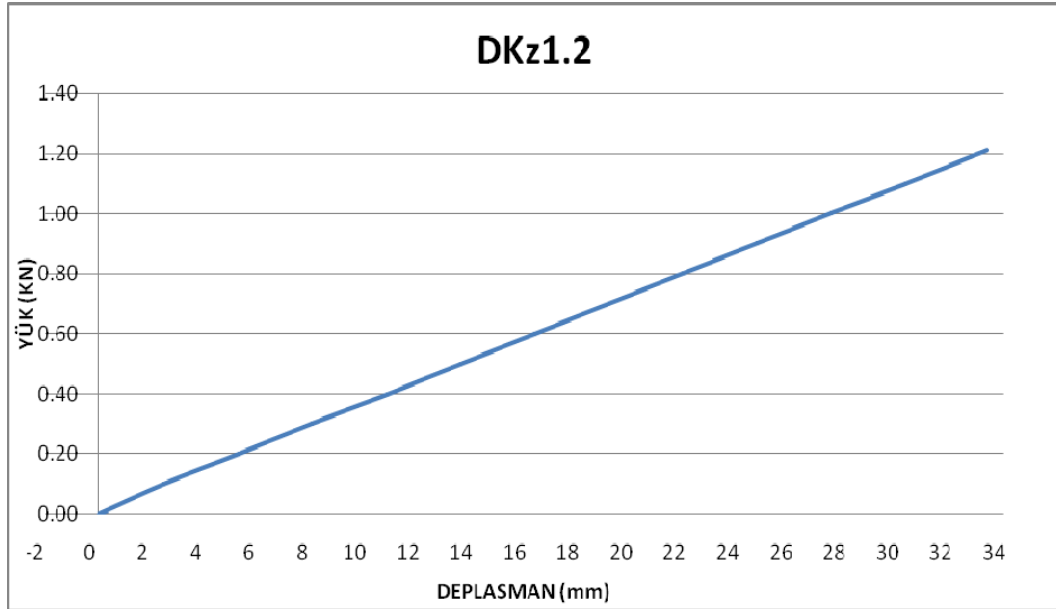
Düğüm noktası sayısı: 18

Çerçeve eleman sayısı: 19



Şekil 6.2. Çelik çerçeve SAP2000 modeli (DKz1,2 ve DKz2,0 panelleri için)

Yanal kuvvet sol üst başlıktan uygulanmaya başlanmıştır. İlk çerçeve elemanında akma başlayıncaya kadar veya diyagonal ve dikmelerden herhangi birinde burkulma meydana gelene kadar, yanal kuvvet artırılarak uygulanmaya devam edilmiştir. Çerçeve profillerinin akmasından çok önce alt başlıktaki elemanlarda çok hızlı bir şekilde burkulma meydana gelmiştir. Bu artışın sonucunda da, alt-orta U profil elemanında burkulma meydana gelerek sistem göçmüştür.



Şekil 6.3. DKz1.2 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği

DKz2 (diyagonalli kaplamasız 2 mm profil kalınlığına sahip) panel için modellemede kullanılan sistem bilgisi aşağıdadır.

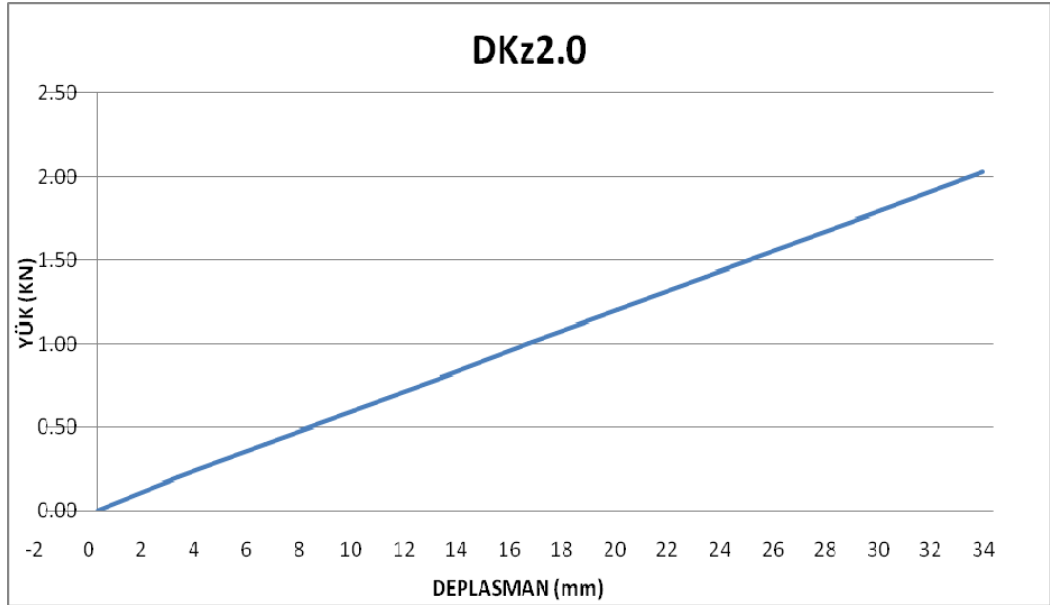
Boyut: 3600x2400 mm

Vida noktaları: dikme ve başlık birleşim noktalarında

Düğüm noktası sayısı: 18

Çerçeve eleman sayısı: 19

Bu panelde de DKz1,2 panelinde olduğu gibi yüklemeler 0'dan başlayarak uygulanmış ve aynı göçme şartları aranmıştır. Yüklemelerin sonucunda da, alt-orta U profilde burkulmadan dolayı göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.4. DKz2,0 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği

6.2.2 Kaplamalı ve diyagonalsız çerçevenin analitik modeli

Kalınlığı farklı olan iki ayrı model analiz edilmiştir.

Modellemeye başlamadan önce, betopan malzemesi FEMA 356 standardına göre, eşdeğer diyagonal çubuğa dönüştürülmüştür.

$$\lambda_I = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$a = 0.175 (\lambda_I h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

Bu formüllere göre betopan yerine kullanılacak olan eşdeğer diyagonal çubuğun genişliği (a) 65,36 cm olarak bulunmuştur. Eşdeğer diyagonal çubuğu sadece basınç altında çalıştırarak ve moment alması engellenerek deneye uygun bir model oluşturulmaya çalışılmıştır.

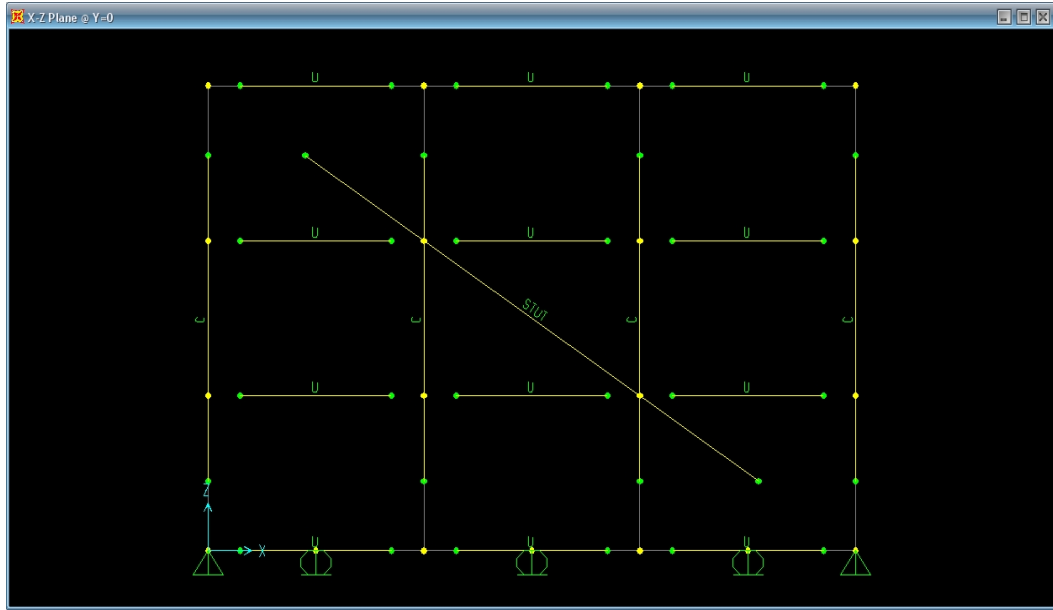
DzK1.2 (diyagonalsız kaplamalı 1,2 mm profil kalınlığına sahip) panel için modellemede kullanılan sistem bilgisi aşağıdadır.

Boyut: 3600x2400 mm

Vida noktaları: dikme ve başlık birleşim noktalarında

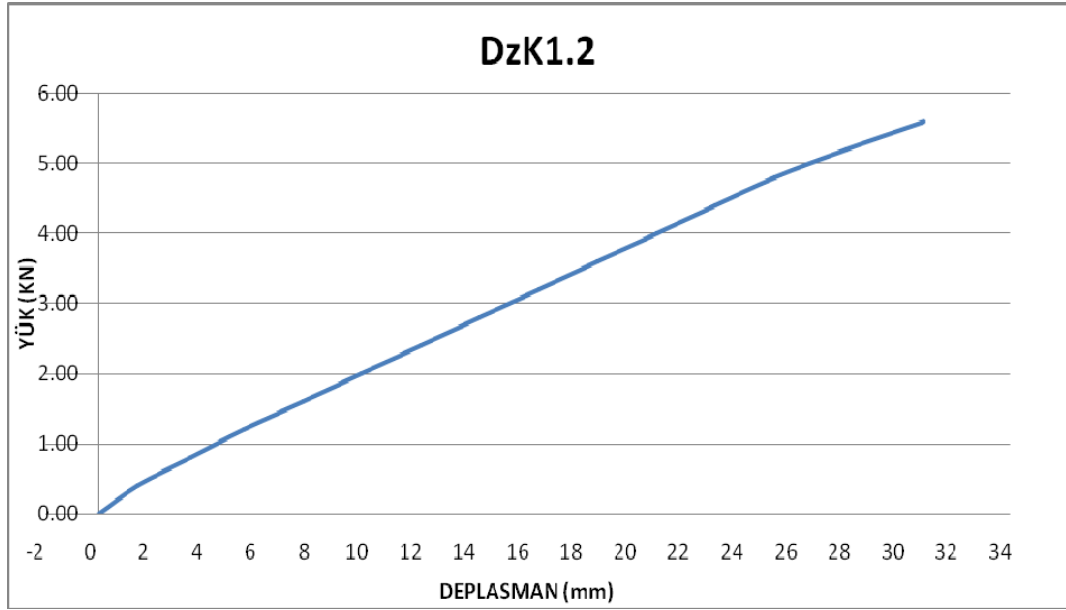
Düğüm noktası sayısı: 16

Çerçeve eleman sayısı: 17



Şekil 6.5. Çelik çerçeve SAP2000 modeli (DzK1,2 ve DzK2,0 panelleri için)

Yanal kuvvet sol üst başlıktan uygulanmaya başlanmıştır. İlk çerçeve elemanında akma başlayıncaya kadar veya eşdeğer diyagonal çubukta ve dikmelerden herhangi birinde burkulma meydana gelene kadar, yanal kuvvet artırılarak uygulanmaya devam edilmiştir. Eşdeğer diyagonal çubukta uygulanan kuvvetler neticesinde burkulma meydana gelerek göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.6. DzK1,2 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği

DzK2 (diyagonalsız kaplamalı 2 mm profil kalınlığına sahip) panel için modellemede kullanılan sistem bilgisi aşağıdadır.

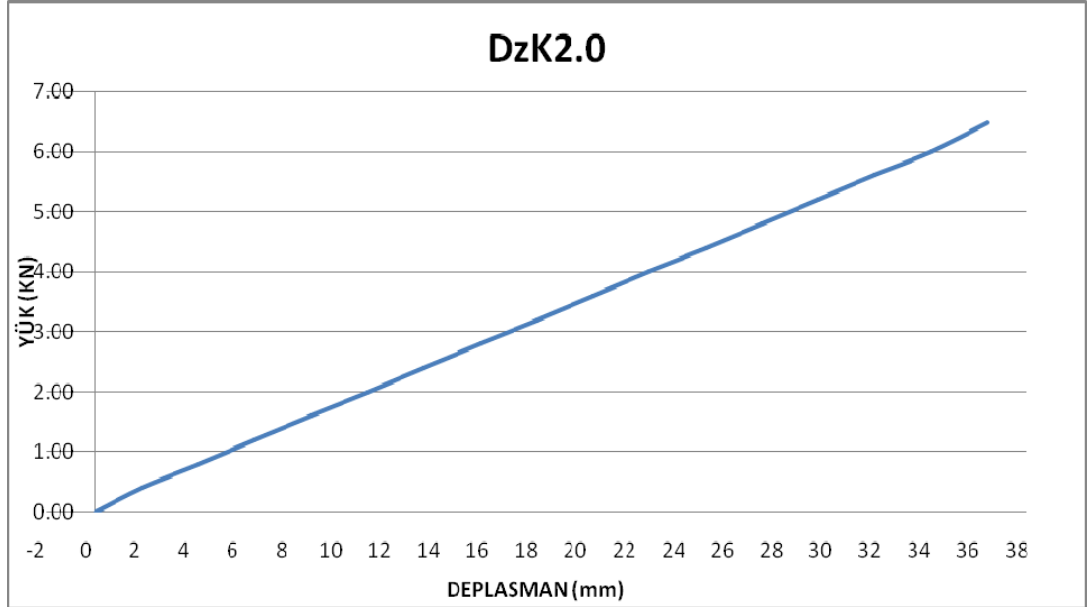
Boyut: 3600x2400 mm

Vida noktaları: dikme ve başlık birleşim noktalarında

Düğüm noktası sayısı: 16

Çerçeve eleman sayısı: 17

Bu panelde de DzK1.2 panelinde olduğu gibi yüklemeler 0'dan başlayarak uygulanmış ve aynı göçme şartları aranmıştır. Yüklemelerin sonucunda da, eşdeğer diyagonal çubukta burkulmadan dolayı göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.7. DzK2,0 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği

6.2.3 Kaplamalı ve diyagonalalli çerçevenin analitik modeli

Kalınlığı farklı olan iki ayrı model analiz edilmiştir.

Daha önce bulunan eşdeğer diagonal çubuk genişliğiyle birlikte C profil diyagonalde birlikte modellenmiştir.

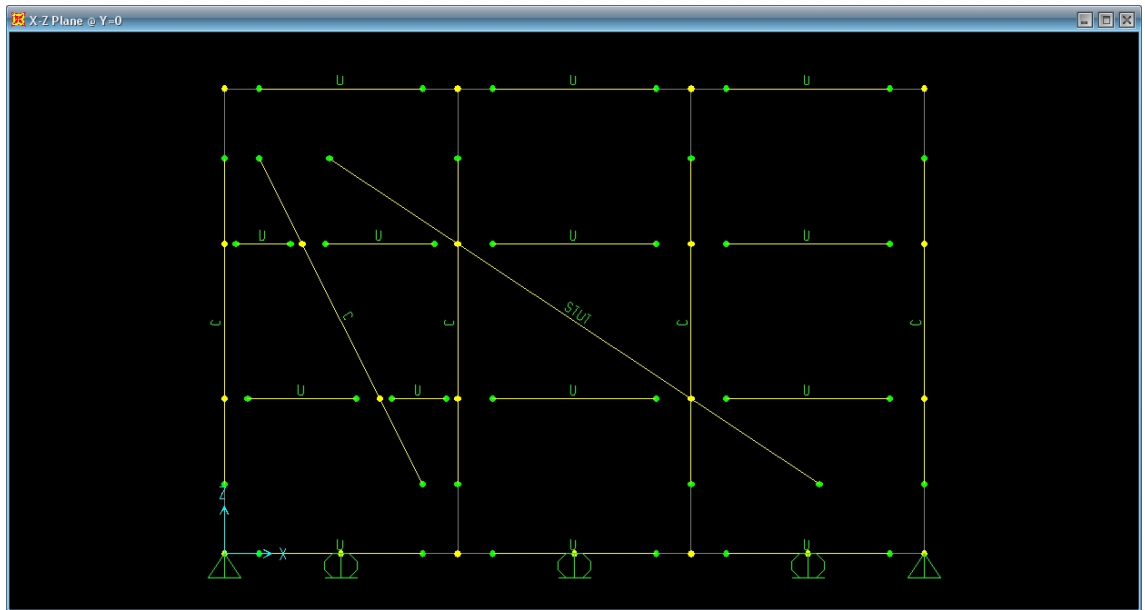
DK1.2 (diyagonalalli kaplamalı 1,2 mm profil kalınlığına sahip) panel için modellemede kullanılan sistem bilgisi aşağıdadır.

Boyut: 3600x2400 mm

Vida noktaları: dikme ve başlık birleşim noktalarında

Düğüm noktası sayısı: 18

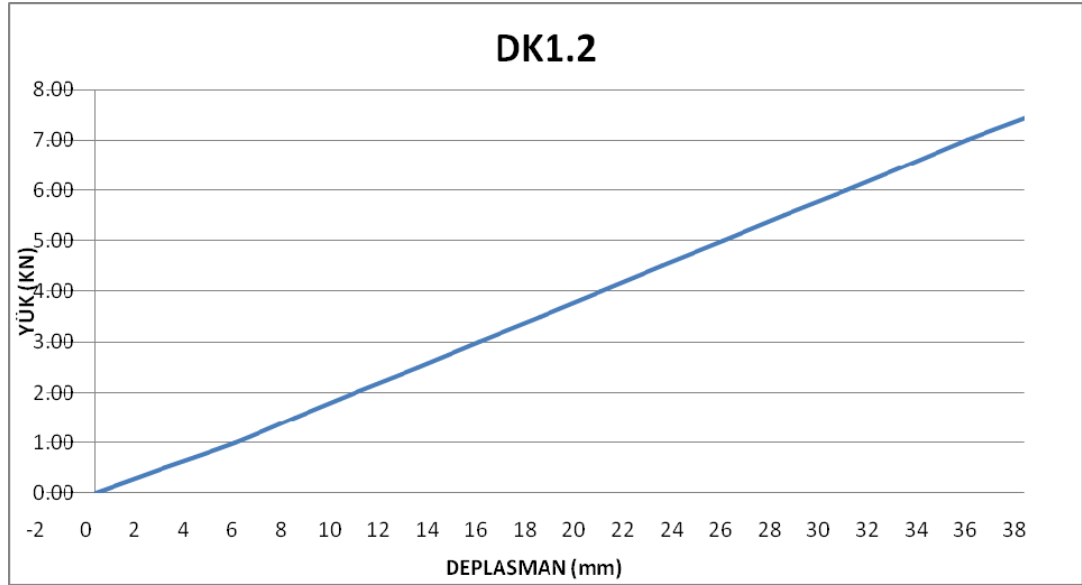
Çerçeve eleman sayısı: 20



Şekil 6.8. Çelik çerçeve SAP2000 modeli (DK1,2 ve DK2,0 panelleri için)

Yanal kuvvet sol üst başlıktan uygulanmaya başlanmıştır. İlk çerçeve elemanında akma başlayıncaya kadar, eşdeğer diyagonal çubukta veya C profil diyagonal çubukta ve dikmelerden herhangi birinde burkulma meydana gelene kadar, yanal kuvvet artırılarak uygulanmaya devam edilmiştir. Eşdeğer diyagonal çubukta

uygulanan kuvvetler neticesinde burkulma meydana gelerek göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.9. DZK1,2 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği

DK2 (diyagonalı kaplamalı 2 mm profil kalınlığına sahip) panel için modellemede kullanılan sistem bilgisi aşağıdadır.

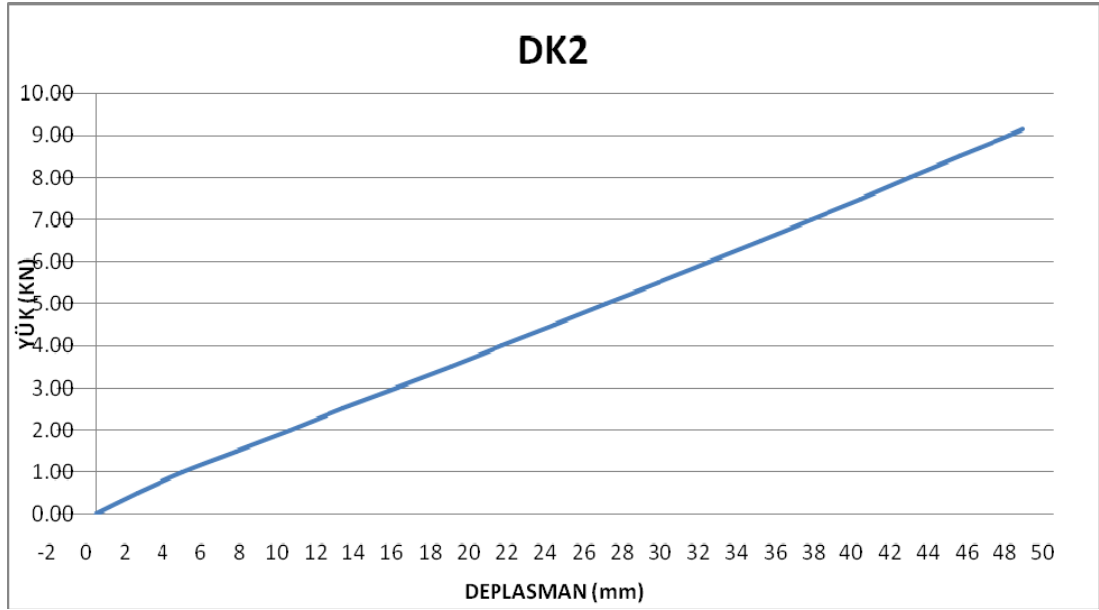
Boyut: 3600x2400 mm

Vida noktaları: dikme ve başlık birleşim noktalarında

Düğüm noktası sayısı: 18

Çerçeve eleman sayısı: 20

Bu panelde de DK1,2 panelinde olduğu gibi yüklemeler 0'dan başlayarak uygulanmış ve aynı göçme şartları aranmıştır. Yüklemelerin sonucunda da, eşdeğer diyagonal çubukta burkulmadan dolayı göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.10. DK2.0 panelinin yanal kuvvet-deformasyon grafiği

Analitik çözümler, modellenemeyen birleşim noktalarının dayanamından, kaplamanın davranışından vs. gibi nedenlerden dolayı deneysel çalışma ile birebir aynı değeri vermemiştir. Deney aşaması tam olarak modellenemediğinden dolayı da deneysel çalışma ve analitik çözüm sonuçları aynı değeri vermemiştir. Çizelge 5.1 de deneysel sonuçların ve analitik çözümlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Deneysel sonuçlar ve analitik çözümlerin karşılaştırılması

		Deneysel Sonuçlar		Analitik Çözümler	
		P (kgf)	δ (mm)	P (kgf)	δ (mm)
1	DKz1.2	176	85	121	33.4
2	DKz2.0	380	73	203	31.6
3	DzK1.2	965	118	550	30.8
4	DzK2.0	1005	194	820	36.4
5	DK1.2	1174	79	1800	38.2
6	DK2.0	1250	119	2400	48.4

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Soğukta işlem görmüş çelik, hafif bir malzeme oluşu, hazır elemanlar üretilmesine elverişli olması, süratli bir biçimde yapı üretimine olanak sağlaması gibi nedenlerle tercih edilen bir malzemedir. Ülkemizde, aylık 50.000 m² üretim kapasitesine sahip firmalar bulunmaktadır. Fakat, ülkemizde bu yapı sistemi türü fazla yaygınlık kazanmadığından dolayı, bu firmalar daha çok yurt dışına ihracat yapmaktadırlar.

Soğukta işlem görmüş konut türü yapılarda duvarlar, taşıyıcı olmayan duvarlar ve taşıyıcı panel duvarlar olarak ikiye ayrılır. Taşıyıcı duvarlar yaygın olarak dış yüzeylerinden kaplama malzemesi türleriyle kaplanarak veya diagonaller kullanılarak oluşturulur. Bu duvarlar ciddi yatay yük taşıma kapasitesine sahip perde duvar davranışı gösterdiği düşünüerek hesaplanırlar. Perde duvarların yatay yük taşıma kapasiteleri kullanılan malzemenin kalınlığı, diyagonal ve kaplama kullanılıp kullanılmaması gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir.

Soğukta işlem görmüş yapı sistemlerinin taşıyıcı perde duvarlarının, oluşturulmasında kullanılan diyagonalin ve kaplama malzemesinin davranışa olan katkısını incelemek amacıyla 6 farklı panel deneyi yapılmıştır. Diyagonal panelin, diyagonal panelde göre daha fazla yük taşıdığı ve enerji tükettiği, bunun neticesinde sünekliğin diyagonal kullanılmasıyla arttığı gözlenmiştir. Diyagonalin yük taşıma kapasitesine yaklaşık %20-25 oranında katkı sağladığını ve kalıcı deformasyonların ise diyagonal panelde daha düşük olduğu görülmüştür. Profil kalınlıklarına göre bir karşılaştırma yapılırsa, et kalınlığının dayanımını yaklaşık olarak %25 civarında artırdığı izlenmiştir. Benzer şekilde profil kalınlığının artmasıyla rijitlik de artmış, buna karşın kalıcı deformasyonun azaldığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada, soğukta işlem görmüş çelik panellerde kaplama kullanılarak elde edilecek olan panel duvarların sistemde kesme kuvvetini diyagonallere göre büyük oranda karşıladığı görülmüştür.

Soğukta işlem görmüş çelik yapı sistemlerinin taşıyıcı elemanlarının kurgulanması sırasında, perde duvarların yapı içerisinde oluşturulması ve yapımı önemlidir. Bu yüzden perde duvarlar, bu tür yapı sistemlerinde dikkate alınmalıdır.

Bundan sonraki çalışmalarda, değişken sayıları artırılarak daha kapsamlı bir araştırma yapılması önerilir. Ayrıca panel mesnetlerinin alt profilin ortası yerine düşey profillerin geldiği yerlerden yapılması durumunda davranışın düzeleceği kanaatine varılmıştır. Ancak, bu tür bir deneylerin deneysel olarak yapılacak bir çalışma ile desteklenmesi şarttır.

Profillerin birleşmesinde kullanılan 4'lü vidaların kesme davranışı olumsuz etki ettikleri tespit edilmiştir. Bu profillerin birleşim noktalarında et kalınlıkları daha kalın vidaların kullanılmasında davranışın iyileştirilmesi için gerçeklik bulunmaktadır.

Profiller ile kaplama arasındaki bağlantılar için kullanılan vidaların, yatay yük etkisi altında kalacak yapılar için arttırılmasında önem vardır.

KAYNAKLAR

1. AISI, “North American Specification for Design of Cold-Formed Steel Structural Members”, *AISI*, Teknik Şartnamesi, Washington DC.:30, 40-54, (2001).
2. Allen E., “Fundamentals of Building Construction Materials and Methods”, *John Willey & Sons Inc.*, 23-51, New York, (1999).
3. Ellis, J., “Connection for Cold-Formed Steel Construction”, Framework, Kasım-Aralık 2005, *SFA Yayını*, Washington DC, 33-35, (2005).
4. Erenman, Ö., Mungan, İ., Mert, İ., “Villa İnşası İçin Alternatif Yapı Sistemleri Karşılaştırmalı İncelemesi”, Araştırma Raporu, *Mimar Sinan Üniversitesi*, Sanayi-i Nefise Vakfı, 26-44, (2000).
5. Eriç, M., “Yapı Fiziği ve Malzemesi”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 32-41, (1994).
6. Fröhlich, B., “Schulenburg, S., der. Metal Architecture Design and Construction”, *Birkhäuser DBZ -Publishers for Architecture*, Berlin, 55-78, (2003).
7. Lorre, E.N., “Residential Steel Framing Construction Guide”, *Technical Publications*, Las Vegas, Nevada, 14-39, (1994).
8. Mufti,J., *Hafif Çelik Yapıların Projelendirme ve Üretimi Konulu Görüşmeler*, İstanbul, 54-62, (2001).

9. NASFA, “Builder’s Steel Stud Guide”, NASFA, ***Teknik Yayını***, Washington DC, 20-48, (1996).
10. Stahl İ. Z., ***Häuser in Stahl-Leichtbauweise***, Dusseldorf, 22-27, (2002).
11. Uzgider, E., Arda, T.S., “Soğukta İşlem Görmüş İnce Cidarlı Elemanlar”, ***İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası***, İstanbul, 18-26, (1989).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ANNAGELDİYEY, Geldimurat
Uyruğu : TÜRKMENİSTAN
Doğum tarihi ve yeri : 14.05.1979 Garabekevül
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 555 275 18 24
e-mail : geldimurat@yahoo.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Erciyes Üniversitesi /Müh. Fak., İnşaat Bölümü	2003
Ön lisans	Erciyes Üniversitesi/ MYO, İnşaat Bölümü	1999
Lise	Dokuzuncu Orta Mektep, Türkmenistan	1996

Yabancı Dil

Türkçe, Rusça, İngilizce

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol