

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇOK PARÇALI HAFİF ÇELİK KOLONLARIN
MERKEZİ YÜKLEME ALTINDA DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hasan ATASARAL

MART 2009

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇOK PARÇALI HAFİF ÇELİK KOLONLARIN
MERKEZİ YÜKLEME ALTINDA DAVRANIŞI**

İnş. Müh. Hasan ATASARAL

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.02.2009
Tezin Savunma Tarihi : 02.03.2009**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Selim PUL

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Metin HÜSEM

Jüri Üyesi : Yrd.Doç. Dr. Hamdullah Çuvalcı

Enstitü Müdürü : Prof Dr. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Soğuk Şekillendirilmiş Çok Parçalı Hafif Çelik Kolonların Merkezi Yükleme Altında Davranışı” konulu bu çalışmayı bana önererek, diğer önemli görevlerine rağmen, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim Pul'a en içten şükranlarımı ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Çalışmalarım sırasında yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm başta Sayın Prof. Dr. Metin Hüsem olmak üzere bölüm arkadaşlarımdan İnş. Müh. Ömer Soley'e, Arş. Gör. Selçuk E. Görkem'e ve Arş. Gör. Mehmet Emin Arslan'a samimi teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Hasan ATASARAL

Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Demir-Çelik Malzemenin Tarihçesi ve Üretimi.....	2
1.2.1. Demir-Çelik Malzemenin Tarihçesi.....	2
1.2.2. Çelik Üretimi.....	2
1.2.2.1. Deoksidasyon.....	3
1.2.2.2. Kükürtten Arındırma ve Sülfür Oluşumu.....	3
1.2.2.3. Çeliğin Dökümü ve Katılaştırılması.....	3
1.3. Çelik Malzemenin Özellikleri.....	4
1.3.1. Çeliğin Önemli Mühendislik Özellikleri.....	5
1.3.2. Çeliğin Fiziksel Özellikleri.....	6
1.3.3. Çeliğin Diğer Yapı Malzemelerine Göre Üstün ve Zayıf Yanları.....	7
1.4. Demir-Çelik Kullanılarak Gerçekleştirilen İlk Uygulama Örnekleri.....	8
1.5. Hafif Çelik Yapılar.....	11
1.5.1. Tarihçe.....	11
1.5.2. Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profiller ve Üretim Teknikleri.....	12
1.5.2.1. Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profillerin Kullanıldıkları Yerler.....	12
1.5.2.1.1. Yapı Sistemlerinin Ana Taşıyıcı Elemanları.....	12
1.5.2.1.2. Çatı ve Yan Duvar Kaplamaları.....	14
1.5.3. Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profillerin Üretimi.....	15
1.5.4. Hafif Çelik Profillerin Yapı Elemanlarında Kullanımı.....	17
1.5.4.1. Temeller.....	17
1.5.4.2. Döşemeler.....	18

1.5.4.2.1.	Zemin Kat Döşemesi.....	18
1.5.4.2.2.	Ara Kat Döşemesi.....	21
1.5.4.2.3.	Konsol.....	22
1.5.4.3.	Duvarlar.....	23
1.5.4.3.1.	Taşıyıcı Duvar Oluşturulması.....	24
1.5.4.3.2.	Perde Duvar Oluşturulması.....	27
1.5.5.	Hafif Çelik Yapılarda Korozyon-Yangın Etkisi ve Çerçeve Sistemin Özellikleri.....	29
1.5.5.1	Korozyon Etkisi.....	29
1.5.5.2.	Yangın Etkisi.....	30
1.5.5.3.	Hafif Çelik Çerçeve Sistemin Özellikleri.....	31
1.6.	İlgili Türk Standardında (Ts11372) Hafif Çelik Profiller.....	35
1.6.1.	TS 11372; Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları	35
1.6.1.1.	Standartta Kullanılan Tarifler.....	35
1.6.1.1.1.	Rijitleştirilmiş Düzlem Şekilli Basınç Elemanı.....	35
1.6.1.1.2.	Rijitleştirilmemiş Düzlem Şekilli Basınç Elemanı.....	35
1.6.1.1.3.	Çok Rijitleştirilmiş Düzlem Şekilli Basınç Elemanı.....	36
1.6.2.	Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Elemanlar.....	37
1.6.2.1.	Sınır Gerilme.....	37
1.6.2.1.2.	Eğilmeli-Burulmalı Burkulma Etkisinin Olmadığı Kesitler.....	37
1.7.	Yerel Burkulma.....	38
1.8.	Soğuk Şekillendirilmiş Profiller Üzerinde Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar.....	39
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	51
2.1.	Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profillerle Üretilen Kolonlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneysel ve Teorik Çalışmalar.....	51
2.2.	Deney Kolonlarının Özellikleri.....	51
2.3.	Kolonların Deneye Hazırlanması.....	56
2.4.	Kolonların Merkezi Yükleme Altındaki Davranışları.....	59
2.4.1.	Deney Düzeneği ve Deneylerin Gerçekleştirilmesi.....	59
2.5.	Bulgular.....	65
2.5.1.	TS-11372 [1]'ye Göre Hesap.....	72

2.6.	İrdeleme.....	76
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
4.	KAYNAKLAR.....	81
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profillerin yapılarda kullanımı ile ilgili çalışmaların II. Dünya Savaşı sonrasında, özellikle ABD, Japonya, Almanya ve İskandinav ülkelerinde başladığı bilinmektedir. Klasik çelik profillerin yanı sıra, hafif çelik profillerin de yapılarda ve diğer alanlarda kullanılması günümüzde daha da yaygınlaşmaktadır. Hafif çelik yapılara ilişkin ilk uygulamalar 1950'li yılların sonlarında Almanya'da yapılabilmiş ve hafif çelik çerçeve sistemin bugünkü halini alması 1980'li yılları bulmuştur. Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan soğuk şekillendirilmiş profiller ülkemizde ise ancak son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Bu profillerle daha çok, kat sayısı az olan konut türü yapılar gerçekleştirilmekte ve çok yönlü önemli bir ekonomi elde edilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, hafif çelik profillerin ve bu profillerle gerçekleştirilen yapıların tanıtımının yapılmasından sonra bu profillerle oluşturulan düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde merkezi yükleme deneyleri yaparak sonuçları karşılaştırmaktır.

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma toplam dört bölümden oluşmaktadır Birinci bölüm genel bilgilerin verildiği bölüm olup, bu bölümde giriş, çalışmanın amacı ve kapsamı tanıtılmakta, hafif çelik yapılar hakkında genel bilgiler sunulmakta ve daha önce gerçekleştirilmiş bazı araştırmalar özetlenmektedir. İkinci bölümde, çalışma konusuna uygun olarak soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profillerle oluşturulan çok parçalı kolonlar üzerinde gerçekleştirilen merkezi yükleme deneyleri ve bu deneylerden elde edilen bulgular verilip gerekli irdelemeler yapılmaktadır. Çalışmanın tümünden çıkarılabilecek sonuç ve öneriler üçüncü bölümde özetlenmekte ve bu bölümü de dördüncü bölüm olan kaynaklar dizini izlemektedir.

Elde edilen sonuçlar, soğuk şekillendirme yöntemiyle üretilmiş hafif çelik profiller kullanılarak elde edilen çok parçalı kolon tasarımının az katlı konut türü yapılar için uygun olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler :Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profiller, Hafif Çelik Yapılar, Çok Parçalı Çelik Kolonlar, Merkezi Yükleme Deneyi

SUMMARY

Behavior of Cold Formed Built-up Steel Columns Under Axial Loading

Studies about cold-formed steel profiles for construction is known to embark firstly after the WWII among countries such as USA, Japan, Germany and Scandinavian countries. Besides conventional steel profiles, light gauge steel profiles are spreadingly used in construction and other fields as well. Light gauge steel profiles are firstly used in Germany after 1950s and it has taken a thirty-year of experience to introduce the system of light gauge steel frame to be successful. These cold formed steel profiles used abundantly in developed countries are started to be used in our country in last decades and using these, mostly, low-rise buildings such as houses (one or two floors) are built and it brings in an allaround income.

The primary aim of the study is to introduce cold formed steel profiles and the buildings which are designed with them, then compare the results by making axial loading experiments on vertical structural members.

The study involves four chapters. First chapter informs about the general idea of the study and involves introduction, the aim and scope of the study and gives brief information about light gauge steel structures, in addition summarizes the published studies. Second chapter tells about the axial loading experiments carried on built-up members which are made with cold formed steel and then results of these. All findings and results are put forward in the third chapter. Lastly in the fourth chapter there is works cited page.

Finally, results gained at the end of the study reveals that the design of built-up members which are made with cold formed steel profiles are suitable for low-rise buildings.

Key Words: Cold Formed Steel Profiles, Light Gauge structures, Built-up Steel Columns, Axial Loading Test

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Kalıplara dökülmekte olan sıvı çelik4
Şekil 2.	Yumuşak çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....6
Şekil 3.	Coalbrookdale köprüsü.....8
Şekil 4.	Schleisen köprüsü.....9
Şekil 5.	Londra'daki Crystal Palace binası.....9
Şekil 6.	St.Louis-1850 (ilk çelik iskeletli gökdelen).....10
Şekil 7.	ChaoTianMen köprüsü – Çin (1932).....10
Şekil 8.	İlk hafif çelik yapı sistemi.....12
Şekil 9.	Yaygın olarak kullanılan hafif çelik profiller ve elemanları.....13
Şekil 10.	Çatı kaplaması ve yan duvar kaplaması en kesit şekilleri15
Şekil 11.	Roll-Forming işlemi.....16
Şekil 12.	Pano ve çerçeve eleman halinde yerleştirilen sistem..... 16
Şekil 13.	Bodrum katı, perde temel duvarı.....17
Şekil 14.	Bodrum katı, perde temel duvarı ve hafif çelik taşıyıcı duvarlar altında sömel düzenlenmesi.....18
Şekil 15.	Bodrum katlı binada zemin kat döşemesi.....19
Şekil 16.	Zemin kat döşemesi ve döşeme kirişleme örneği.....19
Şekil 17.	Su basman hatılına dik doğrultuda kirişlemenin oturtulması.....20
Şekil 18.	Su basman hatılına paralel doğrultuda kirişlemenin oturtulması.....20
Şekil 19.	Ara kat döşemesi kirişlemeleri.....21
Şekil 20.	C profil takozla desteklenen kirişleme.....22
Şekil 21.	Taşıyıcı duvara oturan konsol.....22
Şekil 22.	Duvar konstrüksiyonu.....23
Şekil 23.	Dikmelerin iç ve dış yüzeyden kaplanması.....24
Şekil 24.	Tipik taşıyıcı duvar oluşturulması örneği.....25
Şekil 25.	Dikmelerin burkulmaya karşı kuşak ve kayıtlarıyla desteklenmesi.....25
Şekil 26.	Duvar Detayı26
Şekil 27.	Çapraz kuşaklama27
Şekil 28.	Perde duvar çaprazlaması kesiti28

Şekil 29.	Korozyon Etkisi.....	29
Şekil 30.	Korozyondan Koruma.....	30
Şekil 31.	Hafif çelik profilde yangın etkisi.....	31
Şekil 32.	Kullanım çeşitliliği açısından soğuk şekillendirilmiş profiller.....	31
Şekil 33.	Profil kesimi esnasında lazer yansıtıcılar.....	32
Şekil 34.	Galvanizli sac şekillendirilmesi.....	33
Şekil 35.	Dış etkenlere karşı kaplama ile koruma.....	33
Şekil 36.	Tipik bir hafif çelik yapı iskeleti.....	34
Şekil 37.	Rijitleştirilmiş, rijitleştirilmemiş ve çok rijitleştirilmiş basınç elemanları.....	36
Şekil 38.	Çaprazlı hafif çelik çerçeve duvarı.....	40
Şekil 39.	Hafif çelik elemanlardan oluşan çok parçalı I kesit.....	40
Şekil 40.	Lazer kaynaklı birleşim.....	41
Şekil 41.	DSM’de yaygın olarak kullanılan profiller.....	41
Şekil 42.	Eksenel yüklü soğuk şekillendirilmiş bileşik C kesit.....	42
Şekil 43.	Yerel burkulma etkisinde kalan kısa “C” profili.....	43
Şekil 44.	Soğuk şekillendirilmiş profillerden oluşturulan panel.....	43
Şekil 45.	Farklı geometrideki profillerin deneye tabi tutulması.....	44
Şekil 46.	Alçı plakla kaplı soğuk şekillendirilmiş profillerle oluşturulmuş duvar.....	45
Şekil 47.	Boşluklu profillerin deney sonrası görünümü.....	45
Şekil 48.	Paletli rak sisteminin birleşim bölgeleri.....	46
Şekil 49.	Eğilme etkisindeki kiriş-kolon birleşimi.....	46
Şekil 50.	Hafif çelik profillerle oluşturulan çerçeve sistem.....	47
Şekil 51.	Hafif çelik profillerle oluşturulan kafes sistem.....	48
Şekil 52.	Sırt sırta verilmiş “C” profilleri.....	48
Şekil 53.	Kesme kuvveti etkisinde kalan hafif çelik profiller.....	49
Şekil 54.	Hafif çelik çatı makasının deneyi.....	49
Şekil 55.	Yerel burkulma etkisindeki deney numunesi.....	50
Şekil 56.	Mekanik perçinli kafes sistem.....	50
Şekil 57.	Kolon üretiminde kullanılan hafif çelik profillerin kesiti.....	52
Şekil 58.	Deney kolonlarının ölçüleri.....	52
Şekil 59.	Deney kolonlarının kesitleri ve montaj ölçüleri.....	53
Şekil 60.	Bağlantı lamalarının ve vidaların gösterimi.....	54
Şekil 61.	Deney numunelerinden bazıları.....	54
Şekil 62.	Boşluklu bağlantı levhalarının gösterimi ve detayları.....	55

Şekil 63.	Kolon başlıklarının yapılması için kurulan düzenek.....	56
Şekil 64.	Başlık dökümünden görüntü ve donatı.....	57
Şekil 65.	Çok parçalı hafif çelik kolonların deney öncesi görünüşleri.....	58
Şekil 66.	Yükleme sistemi (6000 kN kapasiteli).....	59
Şekil 67.	Kolon uçlarına yerleştirilen küresel mafsal mesnetler.....	60
Şekil 68.	Çok kanallı veri kayıt sistemi.....	61
Şekil 69.	Deneylerde kullanılan LPDT'lerden bir görünüm.....	61
Şekil 70.	Deney sisteminin şematik görünümü.....	62
Şekil 71.	LPDT'lerin deney kolonuna yerleşimi.....	63
Şekil 72.	Veri toplama sisteminin deney sırasındaki ekranı.....	64
Şekil 73.	Kolonların deneylerden sonraki görünüşleri.....	64
Şekil 74.	LSC-1 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	65
Şekil 75.	LSC-2 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	66
Şekil 76.	LSC-3 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	67
Şekil 77.	LSC-4 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	68
Şekil 78.	LSC-5 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	69
Şekil 79.	LSC-6 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	70
Şekil 80.	LSC-7 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	71
Şekil 81.	Kolon kesitlerinin atalet momentleri, atalet yarıçapları ve alanları.....	72
Şekil 82.	Bütünleşik levhalı kolonlarda levha düşey şeridinde burkulmalar.....	78

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Hafif çelik “gauge” sınıflandırmasının inch, mil ve milimetre karşılıkları.....14
Tablo 2.	Kolon üretiminde kullanılan galvanizli sacın mekanik ve kimyasal Özellikleri.....51
Tablo 3.	Kolon başlıklarında kullanılan beton (harç) bileşimi.....57
Tablo 4.	Kolonların deneysel ve teorik kapasiteleri.....76
Tablo 5.	Kolonların çelik ağırlıkları ve montajda kullanılan vida adedi.....79

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller kullanılarak üretilen yapılar, 1980'li yıllardan itibaren özellikle ABD, Japonya ve Kanada'da yaygınlık kazanmaya başlamıştır. İnşaat süresini ve işçiliği azaltması, geri dönüşümlü ve depreme karşı emniyetli olması sebebiyle tercih edilen soğukta şekillendirilmiş çelik profillerle inşa edilen yapılar, Türkiye'de 1999 Adapazarı depreminden sonra yaygınlık kazanmıştır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller üzerinde yapılan çalışmalar 1930'lu yıllarda başlamış olmasına rağmen Türkiye'de konuyla ilgili yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Özellikle ABD ve Japonya'da yoğun olarak sürdürülen çalışmalar, gelişen teknolojiyle beraber profillerin kullanım alanını genişletmiştir.

1.1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden oluşan çok parçalı kolonlara aksenal yükleme yapılarak kolonların yük taşıma kapasiteleri deneysel ve teorik olarak hesaplanmıştır.

“ Soğuk Şekillendirilmiş Çok Parçalı Hafif Çelik Kolonların Merkezi Yükleme Altında Davranışı ” başlıklı tez kapsamında soğuk şekillendirilmiş elemanlarla ilgili bilgi verilmiş, kullanıldıkları yerler, bu elemanların kullanım alanları ve bu elemanların yapıya sağladığı yararlar belirtilmiştir. Daha sonra soğuk şekillendirilmiş elemanlarla oluşan çok parçalı kolon üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, bulgular ve hafif çelik yapılarla ilgili standart olan TS-11372 [1]'ye göre hesaplanan teorik yük kapasitesi açıklanmıştır.

1.2. Demir-Çelik Malzemenin Tarihçesi ve Üretimi

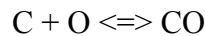
1.2.1. Demir-Çelik Malzemenin Tarihçesi

Demirin bilinen tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Mısır'daki piramitlerde büyük taşların birleştirilmesinde demir çubukların kullanıldığı bugün bilimsel olarak belirtilmektedir. Çin'de M.Ö. 2700 yıllarında Shen Nung ilk defa demiri filizlerinden elde etmiştir. Bu sebeplerle tarih öncesi devirlerden olan maden devri, demir devri olarak da adlandırılmıştır [2].

Zamanla demire alaşım elementleri de katılarak, endüstri devrimi ile başlayan teknolojik gelişme ile bir demir-karbon alaşımı olan çelik malzemenin günümüzdeki kullanım şekillerine ulaşabilmesi sağlanmıştır. 1850'lerde Bessemer'in kullandığı pnömatik sistemlerle, dökme demire, saflığını bozan maddeleri yakmak amacıyla verilen sıcak hava, yaklaşık 20 dakikalık bir sürede demirin çeliğe dönüştürülmesini sağlamış ve böylece seri çelik üretimine geçilebilmesinin yolu açılmıştır. Çeliğin yaygın olarak kullanılmaya başlaması da 18.yy'ın ortalarına rastlamaktadır.

1.2.2. Çelik Üretimi

Ham demirin içyapısında yüksek miktarda karbon, fosfor ve silisyum bulunduğundan ham demir ne haddelenebilmekte ne de çekiçle dövülerek şekil verilebilmektedir. İşlenebilirliği sağlamak için sözü edilen maddelere, özellikle de karbona, ait miktarların azaltılması gerekmektedir. Çelik üretiminde bu maddeler 'Isıl İşlem' olarak adlandırılan bir yöntem kılınılarak kireç ilavesi ile oluşturulan bazik cüruf ile bağlanır. Isıl işlem sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucunda karbon azalmakta ve burumda oluşan karbonmonoksitin (CO) büyük bir kısmı gaz halinde uçmaktadır. Isıl işlem için gereken oksijen havadan, saf oksijen üflenerek veya oksijenin bağlı bulunduğu demir filizinden ve miktarı az da olsa hurda demirinden temin edilmektedir. [3]



1.2.2.1. Deoksidasyon

Deoksidasyon işlemi sırasında, artan oksijen veya oksijen bileşiklerinin miktarı her seferinde alüminyum ve silisyum gibi maddeler katılarak azaltılır. Böylece ısı işlem sırasında bileşimde bağıl durumda bulunan oksijenin çözülerek serbest kalması sağlanmaktadır [3].

1.2.2.2. Kükürttten Arındırma ve Sülfid Oluşumu

Düşük oranlardaki kükürt miktarı (%0,02 - %0,05) ile çeliğin sert olmasında önemli etkisi olan mangansülfitlerinin oluşması için gerekmektedir. Bu nedenle soda, magnezyum veya kalsiyumkarbit eklenerek ham demir kükürttten arındırılmaktadır [3].

1.2.2.3. Çeliğin Dökümü ve Katılaştırılması

Çeliğin üretim aşamasında iki çeşit döküm yöntemi kullanılmaktadır. Birine 'Kalıplara Döküm', diğerine ise 'Sürekli Döküm' adı verilmektedir. Kalıplara döküm işleminde çelik katı eriği belirli kalıplara yukarıdan akıtılmak suretiyle dökülmektedir (Şekil 1). Akışkan haldeki çelik her bir kalıba yukarıdan, kalıbı tamamen dolduracak şekilde dökülmektedir. Sürekli döküm işleminde ise sıvı haldeki çelik soğutulmuş bir bakır kalıba aktarılmaktadır. Sıvı haldeki çelik sürekli aşağıya doğru dökülmeye devam ederken çelik aşağıya çökertilmektedir [3]. Çelik üretimi sırasında gerçekleştirilen karbon oranı ayarlama işlemleriyle çelikler genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

- Yumuşak çelik (% 0,2-0,3 karbon ihtiva eden)
- Orta sert çelik (%0,3-0,85 karbon ihtiva eden)
- Sert çelik (% 0,8'den daha fazla karbon ihtiva eden)

Karbon oranının % 1'in üzerine çıkması sertlikte daha fazla bir artışa sebep olmaz. Bunun yanında, sanayideki çeşitli ihtiyaçlara göre farklı özelliklerde olması istenen alaşımli çelikler de yaygın olarak üretilmektedir.



Şekil 1. Kalıplara dökülmekte olan çelik katı eriği

1.3. Çelik Malzemenin Özellikleri

Çelik, ferrit, hematit, limonit gibi demir cevherinden elde edilen demirin içindeki karbon oranının ayarlanmasıyla elde edilmektedir. Saf haldeki demir cevheri doğada bulunmaz, oksit, hidroksit veya karbonat halinde diğer maddelerle karışık olarak bulunmaktadır. Karışımda karbon, kükürt, fosfor, arsen, bakır, silisyum gibi bazı zararlı maddeler mevcuttur. Bu zararlı maddelerin belli bir yüzdeye ulaştırılması için bazı ilaveler gerekmektedir. Bu ilaveler krom, bakır, manganez, silisyumdur. Karbon miktarının çelik üstündeki etkisi büyüktür. Eğer karbon miktarı 17/1000'den büyük olursa çelik işlenmesi zorlaşmaktadır. Fosfor çeliğin kırılmasına ve gevrek olmasına neden olur. %2 fosfor içeren çelik cam gibi kırılkan olmaktadır. Kükürt ise yüksek sıcaklığa maruz kaldığında çeliğin kırılkanlığına sebep olmaktadır. Çeliğin elde edilişi sırasında ilave edilen maddelerden krom, manganez ve silisyum dayanımı arttırmaktadır [4].

Yapı çeliği ahşap ve betonarmeye oranla çok daha homojen bir malzemedir, ayrıca dayanımı da daha büyüktür. Elastisite modülü ahşapta 10000 MPa iken çelikte 210000 MPa'dır. Yani ahşabın 21 katı, betonarmenin 10 katıdır. Bu nedenle daha az malzeme kullanılarak daha büyük açıklıklar geçilebilmektedir [5].

Yapı çeliğinin özgül ağırlığı bünyesindeki karbon miktarına göre değişir. Çeliğin erime sıcaklığı 1400°C dir ve bu özelliği çelik çerçeveli yapılarda yangına karşı önlemler alınmasını gerektirir. Yangın etkisi malzeme yapısı üzerinde fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki şekilde etkisini görmektedir. Isısal deformasyon ve erime fiziksel değişimin

sonucudur. Erime, sıcaklığın artışı sonucu malzemenin katı halden akıcı hale geçmesi durumudur [4].

Kuvvet etkisi ile denge konumundaki malzemede çeşitli bozulmalar meydana gelebilmektedir. Çelik elemanlara uygulanan yükler de, çeliğin içyapısı üzerinde çeşitli deformasyonlara neden olmaktadır. Çeliğe uygulanan mekanik etkiler, kristal sistemler arasında önce elastik ve plastik deformasyonlar oluşturmakta, sonra da bu deformasyonların meydana getirdiği kayma alanı içinde bir noktada çeliğin kopmasına neden olmaktadır. Gerilme değeri akma gerilmesi değerine ulaştığında malzemede büyük plastik deformasyonlar oluşmaktadır. Bu nedenle çelikte emniyet gerilmeleri akma sınırına göre belirlenmektedir [4].

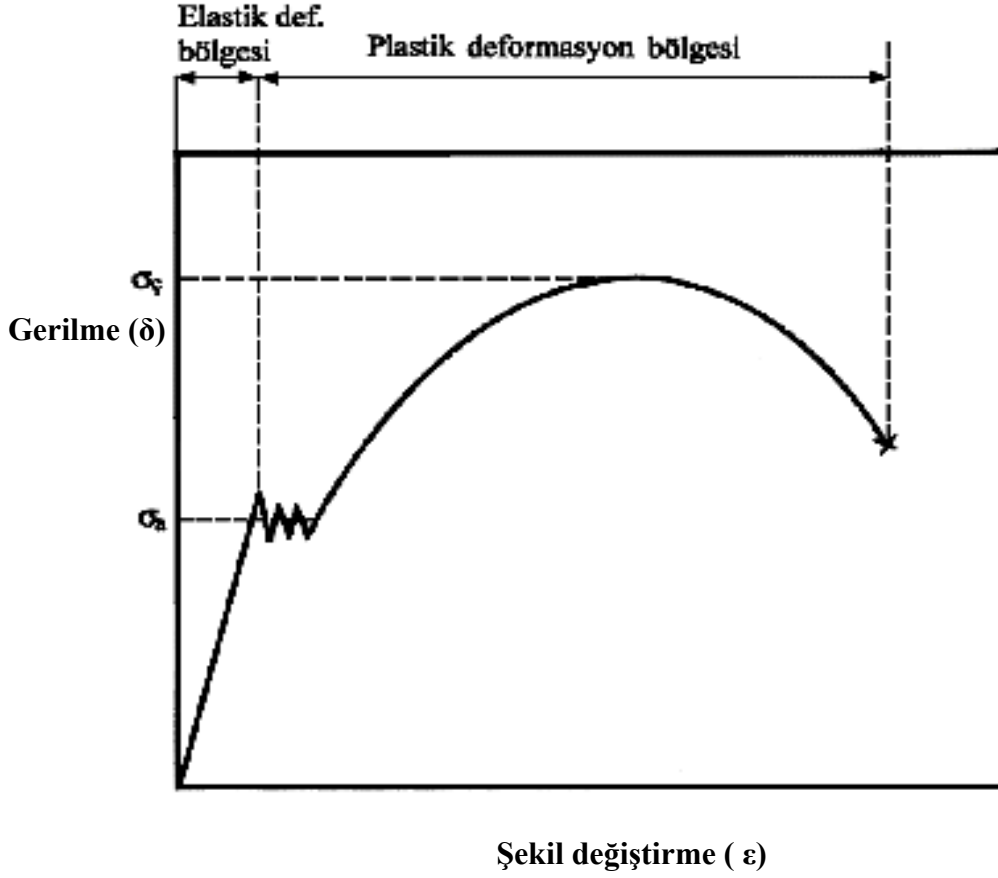
Çelik yapıların elastik tasarım yöntemleri ile boyutlandırılmasında, yönetmeliklerde belirtilmiş olan güvenlik katsayıları kullanılarak elde edilen emniyet gerilmesi değerleri esas alınmaktadır. Plastik tasarım yöntemleri ile boyutlandırılmasında ise, akma gerilmesinin üstündeki saklı dayanımdan yararlanılır ve taşıyıcı elemanlarda, plastik bölgede en büyük gerilme değerinin akma gerilmesini aşmaması ve şekil değiştirmelerin de, pekleşme bölgesine ulaşmaması kontrol edilmektedir.

1.3.1. Çeliğin Önemli Mühendislik Özellikleri:

Aşağıda yumuşak çeliğin tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmektedir (Şekil 2). Bu diyagramdan elde edilen bazı mekanik özellikleri ve diğer mühendislik özelliklerinin ise genel olarak;

- 1) Akma dayanımı
- 2) Çekme dayanımı
- 3) Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi
- 4) Elastisite modülü ve teğet modülü
- 5) Süneklik (malzemede kopmadan önce oluşacak deformasyon kapasitesi)
- 6) Kaynaklanabilme özelliği
- 7) Yorulma mukavemeti
- 8) Sertlik

şeklinde olduğu bilinmektedir [6].



Şekil 2. Yumuşak çeliğin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

1.3.2. Çeliğin Fiziksel Özellikleri

- Özgül Ağırlık

Çeliğin özgül ağırlığı bünyesindeki karbon miktarına göre değişmektedir. Sert çeliğin özgül ağırlığı $7,89 \text{ gr/cm}^3$ iken, normal çeliğin ki ise $7,85 \text{ gr/cm}^3$ tür [7].

- Ergime Sıcaklığı

Katı bir cismin birim kütesini sıcaklığı arttırmak yoluyla sıvı hale getirmek için verilmesi gereken ısı miktarı olarak tanımlanan erime sıcaklığı, çelik için yangına karşı önlem almak açısından önemli bir özelliktir [7].

- Isıl İletkenliği

Çeliğin ısı iletkenliği $35 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ dir. Bu katsayı ne kadar küçükse, ısı kaybı o oranda az ve ısı geçirimsizliği bakımından o kadar iyi durumdadır [7].

- Isıl Genleşme

Sıcaklık farkı etkisi ile bir cismin hacminde meydana gelen artış veya azalmadır.

Çelik için; $\alpha = 0,0111 \times 10^{-3} \text{ cm} / \text{cm}^\circ \text{C}$ dir [7].

- Elektrik İletkenliği

Çelik diğer metaller gibi serbest veya sabit elektronlardan kurulu, homojen ve yoğun dokulu kristal sistem sayesinde ısı, ses ve elektriği iyi iletme özelliğine sahiptir.

Çeliğin elektrik iletkenliği 14 Mho/m/mm^2 dir [7].

1.3.3. Çeliğin Diğer Yapı Malzemelerine Göre Üstün ve Zayıf Yanları

Üstün yanları;

- Homojen ve izotrop bir malzemedir. Üretimi sıkı ve sürekli denetim altında olduğundan güvenlidir.

- Yüksek dayanımlı bir malzemedir, öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçüktür, hafif bir malzemedir.

- Çeliğin elastiklik modülü diğer yapı malzemelerine kıyasla çok yüksektir. (Betonarmeye göre 11 kat). Bu da stabilite sorunlarına, dinamik yüklere, titreşimlere uygun davranış anlamını taşımaktadır

- Çelik, sünek bir malzemedir. Büyük bir şekil değiştirebilme kabiliyeti vardır. (Betonarmeye göre 18 kat daha fazla). Bu, beklenmeyen olağan dışı yük durumlarında çok etkili bir niteliktir. Deprem enerjisini yutma kapasitesi daha yüksektir.

- Çekme ve basınç dayanımları eşittir. Bu nedenle çekme dayanımı daha düşük malzemelerle yapılamayan sistemler için iyi bir çözümdür [8].

Zayıf yanları;

- Su veya kimyasal madde ile teması durumunda elemanlarda korozyon (kesit kaybı, paslanma) olur. Bu nedenle periyodik olarak boya bakımı yapılması gereklidir.

- Ses ve ısı açısından çok iyi bir iletkenidir. Bu nedenle yapıya uygulanacak yalıtım zayıf kalmaktadır. Çok iyi bir yalıtım durumunda ise izolasyon maliyetleri çok yükselmektedir.

- Yanıcı özelliği yoktur fakat ısının yükselmesi durumunda dayanımında ve elastik modülünde hızla bir düşüş olmaktadır. İyi bir ısı iletkeni olduğu düşünülürse ısı nedeniyle dayanımı zayıflayan bölgeler hızla büyümektedir [8].

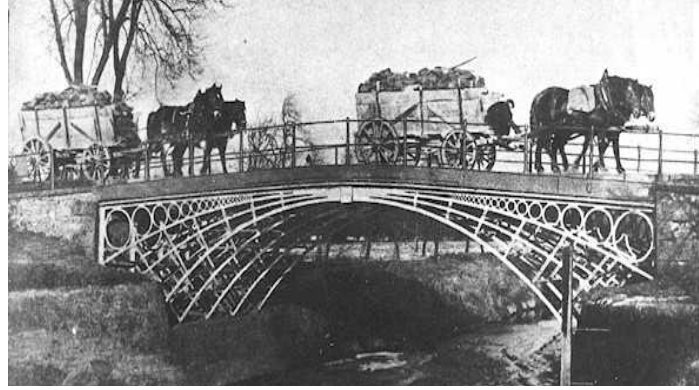
1.4. Demir-Çelik Kullanılarak Gerçekleştirilen İlk Uygulama Örnekleri

Kullanılan ilk malzeme külçe galindeki dökme demiridir (font). Font kullanılarak inşa edilen ilk köprü 1778 de İngiltere’de Coalbrookdale kasabası civarında, Severn Nehri üzerindeki köprüdür. Açıklığı 31m olan bu köprü bugün hala kullanılmaktadır (Şekil 3).



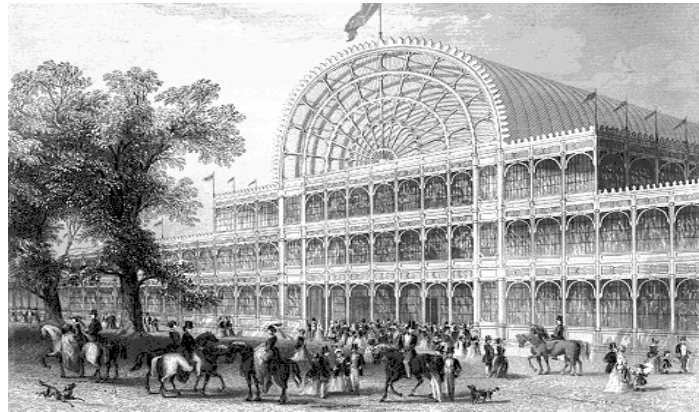
Şekil 3. Coalbrookdale köprüsü

Avrupa kıtasının ikinci en eski font köprüsü ise Almanya’nın Schlesien bölgesinde, Striegauer Nehri üzerinde 1796 da inşa edilen köprüdür (Şekil 4). Kargir gibi fontun da basınç dayanımının yüksek olmasına karşın çekme dayanımı daha az olduğundan, bu ilk köprüler ile bunlardan sonra font kullanılarak inşa edilen diğer köprüler, kemer tarzında yapılmıştır. Çekme dayanımı çok yüksek olan ve mühendislere yeni olanaklar sağlayan dövme çeliğin, daha sonra da dökme çeliğin yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmasıyla font kemer köprülerin dönemi 19. yüzyılın son çeyreğinde kapanmıştır [3].



Şekil 4. Schleisen köprüsü

Çeliğin binalarda kullanımından önce köprülerin yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, büyük açıklıklı mekanların inşa edilmesi açısından kilometre taşı, Londra'daki "Crystal Palace" binası olmuştur (Şekil 5). Joseph Paxton tarafından 1851'de yapılan bu fuar binası, 70.000 m² 'lik alan üzerinde 4 ay gibi bir sürede bitirilmesi, hafifliği ve kısa sürede inşa edilmesiyle çeliğin sadece köprülerde değil yapı alanında da yaygınlaşacağını habercisi olmuştur [3].



Şekil 5. Londra'daki Crystal Palace binası

Zamanla çeliğin konut yapılarında bir veya iki katlı olarak kullanımı yaygınlaşmış, çok katlı yapıların üretimine geçiş sağlanmıştır (Şekil 6). Ancak ilk dönemlerde üretilen bir veya iki katlı çelik iskeletli konutların en önemli sorunu, dış yüzey konstrüksiyonların basit metal levhalardan oluşmuş olması sebebiyle sıcak bölgelerde soğutmanın, soğuk bölgelerde ise ısıtmanın zor oluşuydu.



Şekil 6. St. Louis-1850 (ilk çelik iskeletli gökdelen)

Çelik, deprem yükleri karşısında gösterdiği davranış incelendikten sonra çok katlı yapıların yapımında kullanılan bir malzeme olmuştur. Bina iskeletlerinin çelik çerçevelerle oluşturulmaya başlanması, çelikle yatay ve düşey olarak rahatlıkla kullanılabilen yapı elemanlarının güvenle oluşturulması, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı yüksek dayanımı sayesinde çelik yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

20. yüzyılın başından itibaren kullanılmaya başlanan kaynaklı bileşimler ise yapı piyasasında yeni bir çelik konstrüksiyon üretiminin oluşturulmasını sağladı (Şekil 7). 2. Dünya Savaşından sonra kaynaklı bileşimler köprülerde de kullanılmaya başlandı. Günümüzde kaynaklı olarak çelik atölyelerinde üretilen parçaların, şantiyelerde montaj birleşimleriyle birleştirilmek suretiyle oluşturulan yapılar, modern çelik konstrüksiyon anlayışının temelini oluşturur.



Şekil 7. ChaoTianMen köprüsü – Çin (1932)

1.5. Hafif Çelik Yapılar

1.5.1. Tarihçe

Hafif çelik çerçeve sistem, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden oluşan taşıyıcı bir sistemdir. Sac çelik malzemesinin roll-forming (döndürerek şekillendirme) makinelerinde çekilmesi ile oluşturulan profiller (CFS cold-formed steel profiles / soğuk şekillendirilmiş çelik profiller) yapı endüstrisine otomotiv, tren ve uçak endüstrilerinden taşınmıştır [9].

Soğuk şekillendirilmiş profiller ilk olarak iç mekanda kullanılan bölücü eleman sistemlerinde ve hafif olması sebebi ile çatı sistemlerinde (mertek vb.) kullanılmıştır. Daha sonraları ise bu malzeme endüstri yapıları ve rekreasyon alanlarındaki basit yapı ve üst örtü sistemlerinde özellikle Amerika’da yaygın olarak kullanılmıştır. İlk teknik çalışmalarına 1930’lu yıllarda yine Amerika’da başlanan soğuk şekillendirilmiş çelik profiller ile ilgili ilk standartların geliştirilmesi (AISI tarafından) 1946 yılına kadar sürmüştür. Malzemenin farklı yapısal özellikleri bu çalışmaların uzamasına ve yapı sektörüne de oldukça geç girmesine neden olmuştur. Dolu gövde çelik profiller yapı sektörüne 1850 endüstri devriminden sonra girmiştir (Crystal Palace, Eiffel Kulesi, İngiltere’de çelik konstrüksiyon sıra evler). Çelik malzeme kullanımı özellikle dünya savaşları sonrası kaynak sıkıntısı ve hızlı üretim süreç gerekliliği nedeni ile konut yapımında yükselen bir grafik izlemiştir. II. Dünya savaşı sonrasında Almanya, Japonya, İngiltere ve A.B.D gibi ülkelerde başlayan, yapılarda çelik konstrüksiyon kullanımı artarak günümüze kadar gelmiştir. Bugün yapılarda çelik kullanımı oranları İngiltere’de %54, İskandinav ülkelerinde %40, Almanya ve Fransa’da ise %30’un üzerindedir [9].

II. Dünya savaşı sonrası hafif çelik yapılar ile ilgili çalışmalar özellikle Japonya, Almanya ve İskandinav ülkelerinde artmıştır. Fakat ilk hafif uygulama denemeleri 1950’li yılların sonlarında Almanya’da yapılabilmiş (Şekil 8) ve hafif çelik çerçeve sistemin bugünkü halini alması 1980’li yılları bulmuştur. Hafif çelik çerçeve sistem “Balloon Frame” adı verilen ve Amerika’da tek ev yapımında 1832’den beri kullanılan ahşap iskelet yapım sistemi ile benzerlik göstermektedir. Amerika’da endüstrileşen bu yapım sisteminde tüm taşıyıcı eleman kesitleri (5/10 cm) aynıdır. Bu elemanlar belirli aralıklarla tekrar edilerek ve belirli noktalarda birbirlerine yatay elemanlar ve özel yapım çiviler yardımıyla bağlanarak taşıyıcı duvar ve döşemeleri oluştururlar. İskelete dıştan ahşap lambriler

tutturarak, sistemin dış kaplaması oluşturulur. Hafif çelik iskelet sistem kurulma sistemi olarak ahşap sistemle aynıdır, açıklık bırakılması, çatı kurulması ve duvar kaplamaları da benzer şekillerde yapılmaktadır [9].



Şekil 8. İlk hafif çelik yapı sistemi

1.5.2 Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profiller ve Üretim Teknikleri

1.5.2.1. Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profillerin Kullanıldıkları Yerler

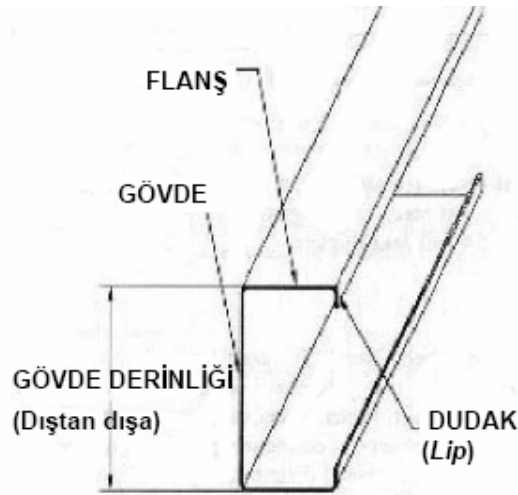
Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik elemanlar iki grupta toplanabilir:

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

1.5.2.1.1. Yapı Sistemlerinin Ana Taşıyıcı Elemanları

Şekil 9 'da yapıların ana taşıyıcı sistemlerinde kullanılan bazı ince cidarlı kesitler görülmektedir. En çok kullanılanlar U, C, Z ve Σ (epsilon) şeklindeki genel kesitlerdir. Bu kesitlerin tipleri ve elemanları Şekil 9 da verilmektedir. Ancak bu profillerin şekil ve ölçüleri üreticiden üreticiye küçük farklılıklar da göstermektedir. Bu nedenle üretici firmalar kendi profilleri için hazırladıkları profil tablolarını uygulamacıya sunmaktadırlar.

Genel olarak, soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı ana taşıyıcı elemanların yüksekliği, 50 mm ile 300 mm arasında; et kalınlıkları ise 2 mm ile 6 mm arasında değişmektedir. Bu kesitler, üç veya dört katlı yapıların ana taşıyıcı sistemlerinin birinci derecede yük taşıyan elemanları olarak kullanılır. Örneğin başlık kirişleri, açıklık kirişleri ve dikmelerde (kolonlarda) C profili kullanılırken, U profilleri dikmelerde tercih edilmemektedir [10].



Şekil 9. Yaygın olarak kullanılan hafif çelik profiller ve elemanları

ABD, 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 (bkz. Şekil 9) gerçek boyutun 100 katı ile ifade edilmektedir. Profil kalınlığı ise, 1000 katı ile, “Mil” adı verilerek ifade edilmektedir. 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 edilmektedir. Ayrıca elemanın kullanacağı açıklıklar için çelik kalınlıkları, Amerikan soğuk şekillendirilmiş çelik üreticileri tarafından “Gauge” (Tablo 1) olarak sınıflandırılmaktadır [10].

Tablo 1. Hafif çelik “gauge” sınıflandırmasının inch, mil ve milimetre karşılıkları [10]

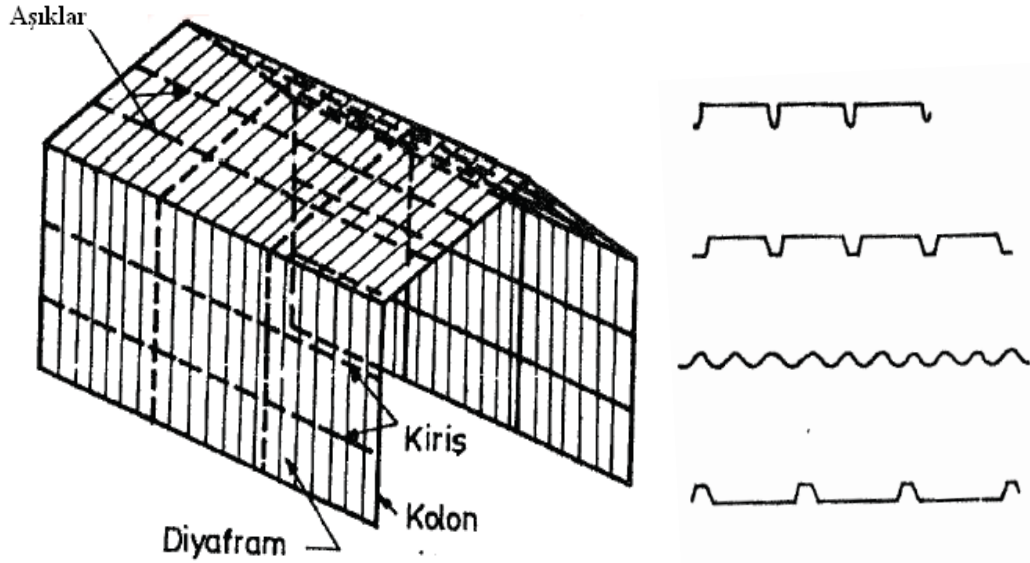
Gauge	inch	Mil	milimetre
25 gauge	0.0179"	18 mil	0,45 mm
22 gauge	0.0269"	27 mil	0,68 mm
20 gauge	0.0329"	33 mil	0,83 mm
18 gauge	0.0428"	43 mil	1,09 mm
16 gauge	0.0538"	54 mil	1,37 mm
14 gauge	0.0677"	68 mil	1,72 mm
12 gauge	0.0966"	97 mil	2,46 mm
10 gauge	0.1180"	118 mil	2,99 mm

1.5.2.1.2. Çatı ve Yan Duvar Kaplamaları

Bu taşıyıcı elemanlar iki amaçla kullanılmaktadırlar:

a) Çatı kaplaması veya yan duvar kaplaması olarak aşık veya kuşaklar arasında, düzlemlerine dik etkiyen rüzgar veya kar yükü ve ölü yükleri; basit kiriş, sürekli kiriş gibi statik sistemlerle taşıyıp, ayrıca yapının içini dış ortamdan ayırmaktadırlar. Bunlar 0,3 mm' den 1,20 mm'ye kadar değişen kalınlıklarda alüminyum alaşım malzemededen; galvanizlenmiş veya darbeye dayanıklı fırın boyayla boyanmış çelik malzemededen çeşitli en kesit şekillerinde (Şekil 10) üretilmektedirler [11].

b) Çatı ve yan duvar paneli olarak kendi düzlemleri içinde kesme kuvveti taşıyarak yan duvar çaprazı veya çatı düzlemi çaprazı görevini görürler. Böyle bir yük taşıma kapasitesine sahip olabilmeleri için; yan duvar veya çatı düzlemi aşıklarıyla, ana taşıyıcı çerçeve üst başlığına kesme kuvveti taşıma kapasitesi olan özel saç vidalarıyla bağlanmaları gerekir [11].

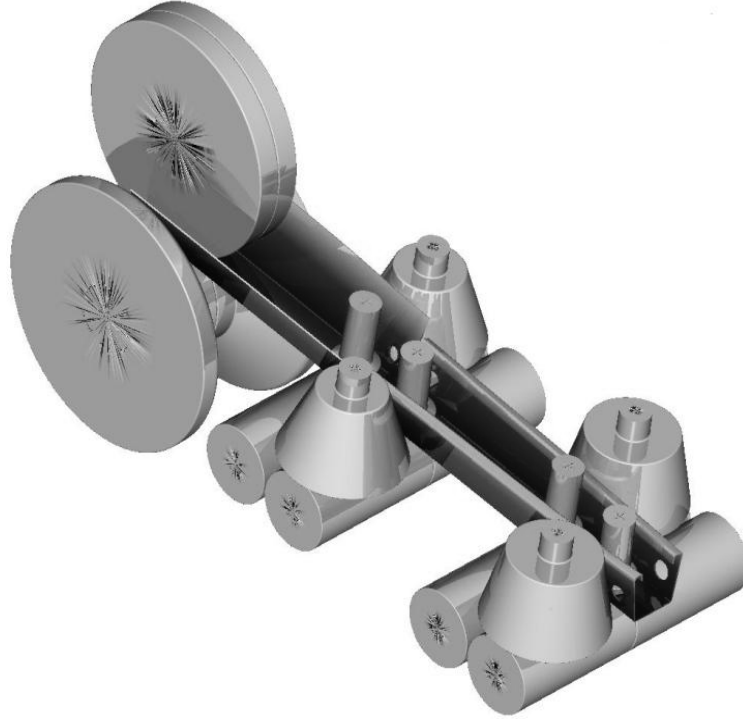


Şekil 10. Çatı kaplaması ve yan duvar kaplaması en kesit şekilleri [12]

1.5.3. Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profillerin Üretimi

Hafif çelik sistemlerde kullanılan çelik malzemenin üretimi, fabrikalarda, endüstriyel standartlara göre seri olarak yapılmaktadır. Ergimiş çelik, üretim bandında silindir veya presleme yöntemi ile levha ya da rulo sac haline dönüştürülmektedir. Üretim sırasında uygulanan silindir veya presleme işlemi, çeliğin kristal yapısındaki boşlukları nispeten ortadan kaldırdığı için çelik malzemenin homojenlik, izotrop ve dayanım özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Bu aşamadan sonra levha veya rulo sac halindeki çelik uygun boyutlarda kesilmektedir. Kesilmiş levha çelik, pres kalıp, silindir kalıp veya bükme işlemi (soğuk şekillendirme yöntemi, roll-forming) ile profillendirilmektedir (Şekil 11).

Şantiye alanında kesme işlemini en azda tutmak için profiller, üretim esnasında uygun boyutlarda kesilmektedir. Üretici firmanın ayrıntılı bir kesim listesinin bulunması, şantiye süresinin kısalmasına yardımcı olmaktadır. Daha çok pano elemanlı sistemler veya hücreli sistemlerde profiller, projeye göre üretim aşamasında kesildikleri için şantiyede ayrıca kesme işlemi yapılmasına gerek duyulmamaktadır (Şekil 12). Çelik, levha halindeyken galvanizleme işlemine tabi tutulabildiği gibi uygun profillendirilmiş ve kesme tablosuna göre boyutlandırılmış elemanlar şeklinde de galvanizlenmektedir.



Şekil 11. Roll-Form işlemi [13].

Pano elemanlı sistemler veya hücresel sistemlerde olduğu gibi, hafif çelik elemanlar, tüm şekillendirme, kesme, delme ve prefabrikasyona göre boyutlandırma işlemlerinin ardından galvanizlendiği takdirde, sonradan kesme veya delme yapılmasına ihtiyaç duyulmadığından çinko kaplamanın zarar görmesi engellenmiş olmaktadır [14].



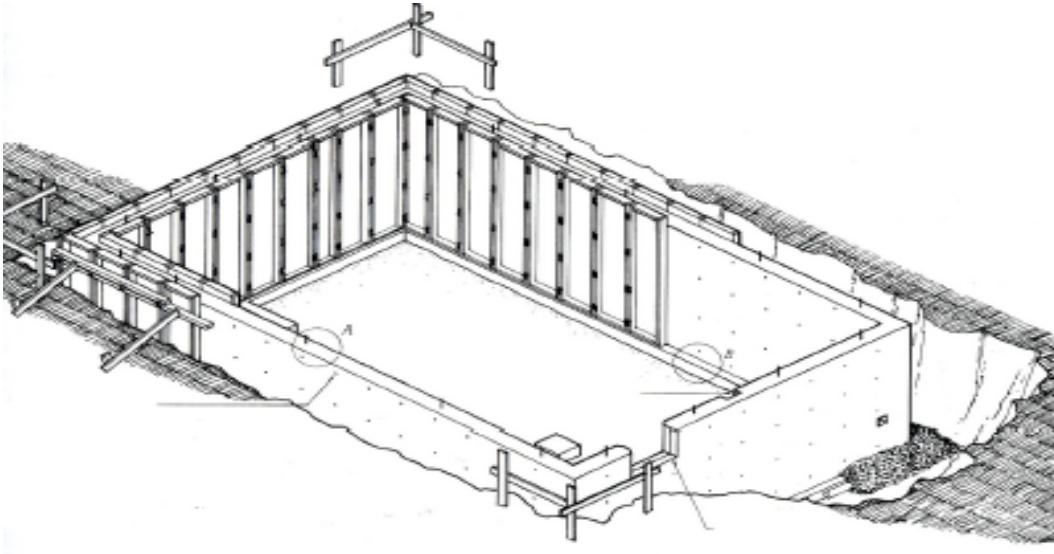
Şekil 12. Pano ve çerçeve eleman halinde yerleştirilen sistem [14]

1.5.4. Hafif Çelik Profillerin Yapı Elemanlarında Kullanımı

1.5.4.1. Temeller

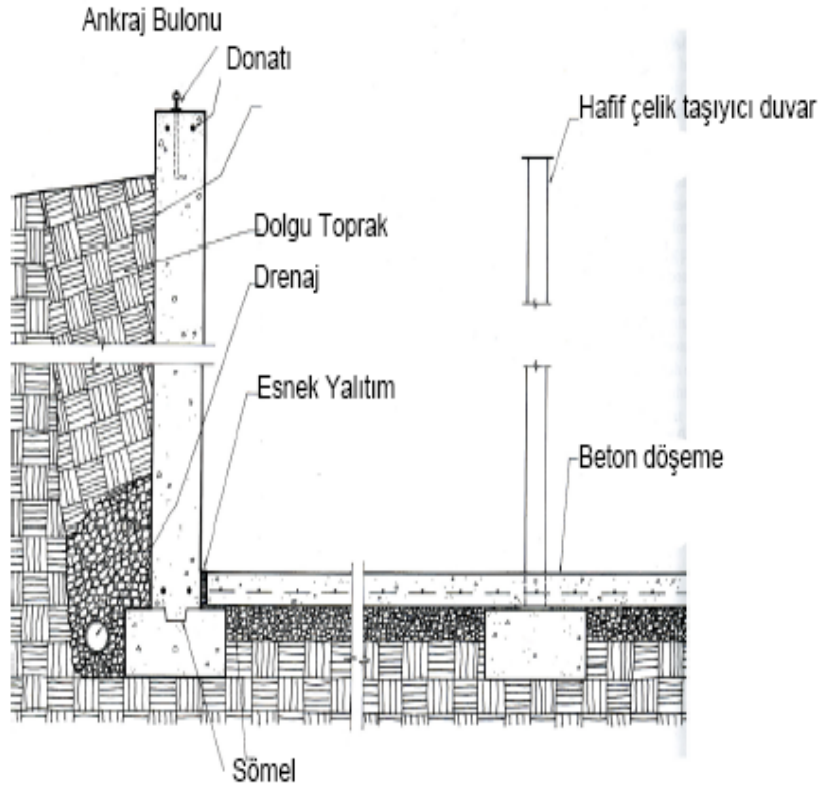
Hafif çelik iskeletli yapıların temelleri genellikle betonarme temel olarak düzenlenmektedirler. Hafif çelik yapıların öz ağırlığı, diğer taşıyıcı sistemlerin öz ağırlıklarına kıyasla daha hafif olduğundan temel boyutları da daha küçük boyutlandırılmaktadırlar.

Kullanılan hafif çelik taşıyıcı sistemin altındaki temel sistemi mütemadi (sürekli) olarak inşa edilir. Bodrum katı olması durumunda ise dış temel duvarı betonarme perde duvar (Şekil 13) olarak boyutlandırılmaktadırlar. Betonarme temel duvarlarının yanı sıra beton bloklar da temel de kullanılabilir. Ancak beton blok kullanılması durumunda radye temel kullanımı tercih edilmelidir.



Şekil 13. Bodrum katı, perde temel duvarı [12]

Bodrum katı yapılması durumunda zemin kat döşemesi, ekonomik ve hafif olması açısından, hafif çelikten yapılabilir. Eğer zemin kat döşemesi, hafif çelik olarak oluşturulacaksa; betonarme su basman hatlı, temel duvarı ve sömeller (Şekil 14), dış duvarlar altında sürekli olarak düzenlenirler [14].



Şekil 14. Bodrum katı, perde temel duvarı ve hafif çelik taşıyıcı duvarlar altında sömel düzenlenmesi [12]

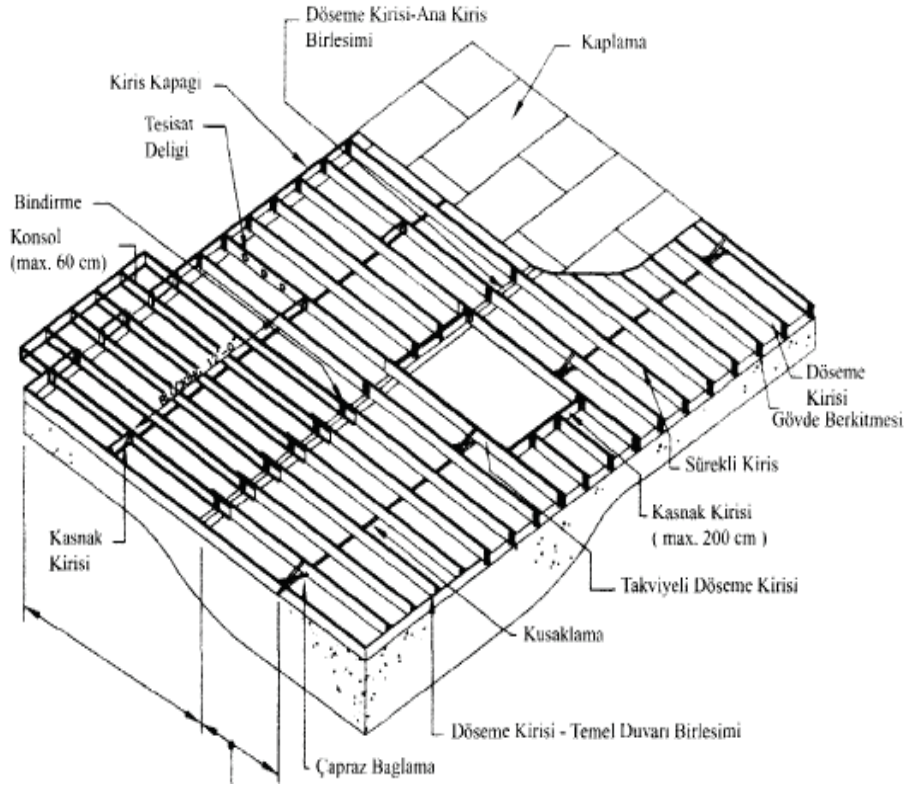
1.5.4.2. Döşemeler

NAFSA (Kuzey Amerika Çelik Birliği)'nin standartlarına göre [15] hafif çelik taşıyıcı sistem ile inşa edilen konutlar en fazla bir bodrum ve iki kattan oluşabilirler. Döşeme kirişlerine (Şekil 15) dik doğrultuda bina boyu en fazla 18 m, döşeme kirişlerine paralel doğrultuda bina genişliği ise en fazla 11 m' dir.

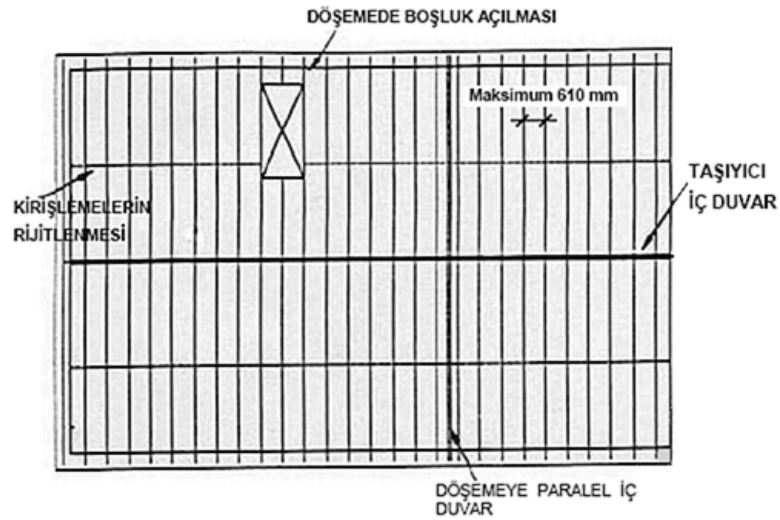
1.5.4.2.1. Zemin Kat Döşemesi

Eğer zemin kat döşemesi (Şekil 16), hafif çelik olarak oluşturulacaksa; betonarme su basman hatılı, temel duvarı ve sömeller, dış duvarlar altında sürekli olarak düzenlenirler. Hafif çelik zemin döşemesi altında bir boşluk kalacağı için, hafif çelik taşıyıcı iç duvarlar, döşeme tarafından tek başına taşınamaz. Bu amaçla taşıyıcı iç duvarların altında da sürekli olarak bir betonarme temel düzenlenebilir. Bununla birlikte, taşıyıcı iç duvarların altında bir betonarme temelin yapılmasına ihtiyaç göstermeyecek

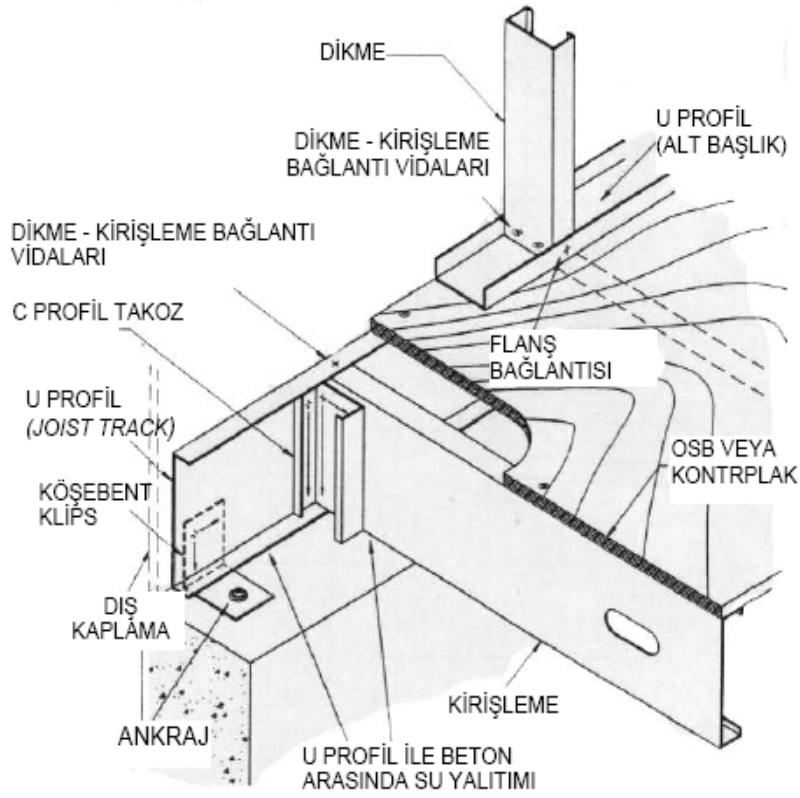
çözümler, sıklıkla uygulanmaktadır. Bu çözümlerden birisi, taşıyıcı iç duvarların, dış betonarme temel duvarlarına mesnetlenen sıcak hadde çelik kiriş üzerine oturtulmasıdır (Şekil 17-Şekil 18) [14].



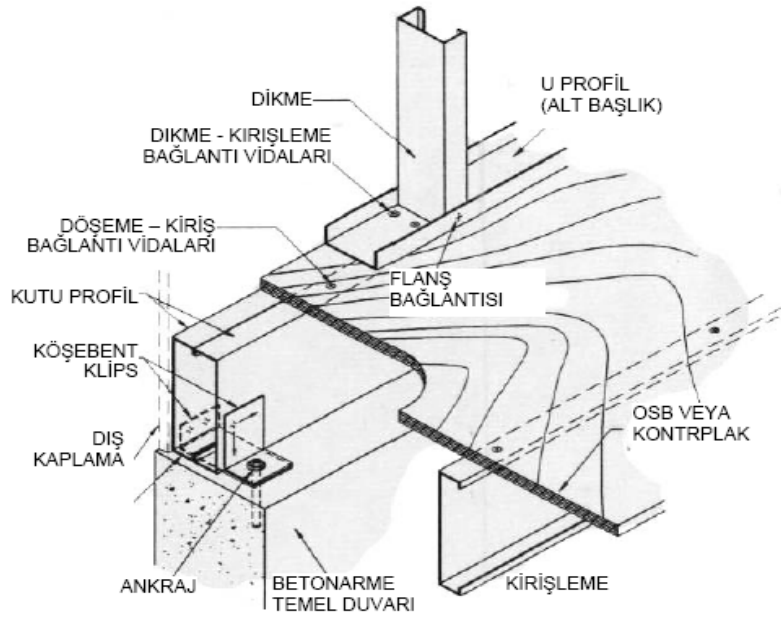
Şekil 15. Bodrum katlı binada zemin kat döşemesi [12]



Şekil 16. Zemin kat döşemesi ve döşeme kirişleme örneği [12]



Şekil 17. Su basman hatılına dik doğrultuda kirişlemenin oturtulması [12]

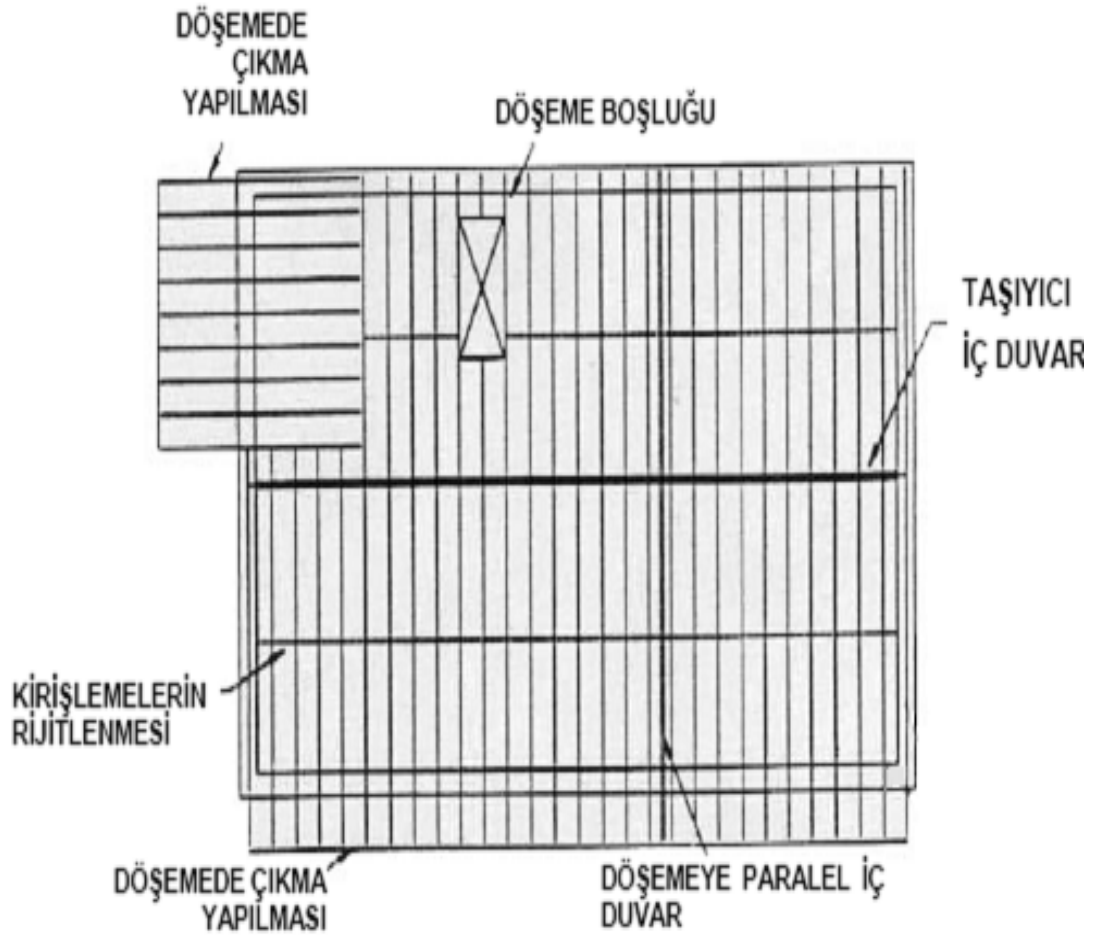


Şekil 18. Su basman hatılına paralel doğrultuda kirişlemenin oturtulması [12]

Zemin katta hafif çelik döşeme kuruluşu alternatifleri dışında, zemin kat döşemesi betonarme olarak da oluşturulabilir. Zemin katta duvarlar bu betonarme döşeme üzerine oturtulur.

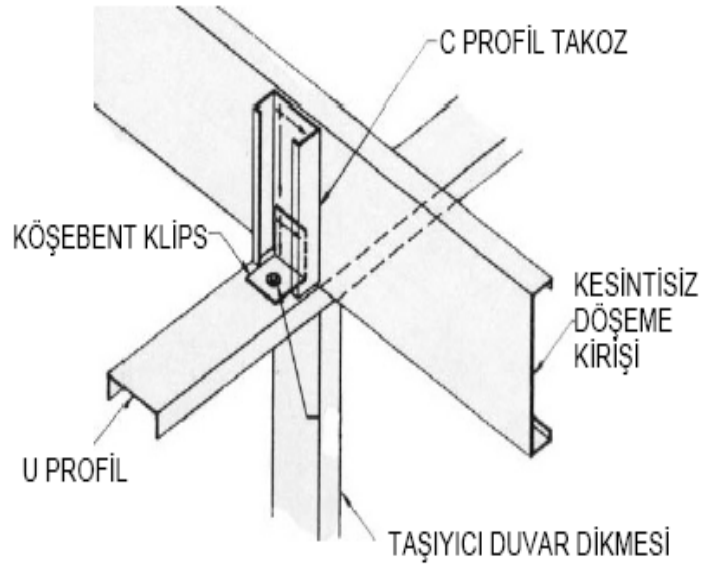
1.5.4.2.2. Ara Kat Döşemesi

Hafif çelik yapının ara kat döşemesi de, zemin kat döşemesi gibidir (Şekil 19). Ara katta, kirişlemelerin boyutlandırılması ve düzenlenmesi zemin kat döşeme kirişlemelerinde olduğu gibidir [14].



Şekil 19. Ara kat döşemesi kirişlemeleri [14]

Kirişlemeler mutlaka dikmeler ile aynı ekseninde olmalıdır. Dışta taşıyıcı duvara dik doğrultuda kirişleme yapılırken, taşıyıcı duvar üzerine yerleştirilen U profil ile birbirine bağlanır ve C profil takoz ile desteklenmektedir (Şekil 20) [10].

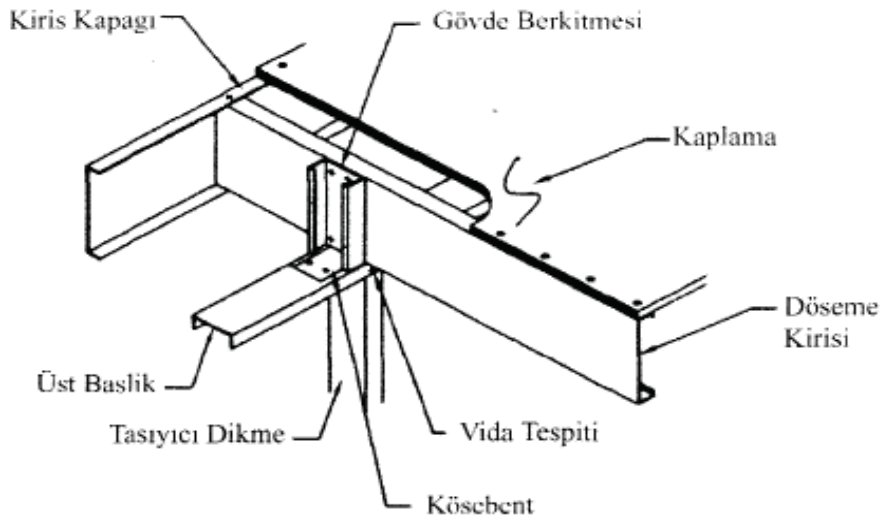


Şekil 20. C profil takozla desteklenen kirişleme [12]

Taşıyıcı duvara paralel doğrultuda ise, son kirişleme taşıyıcı duvarın üzerine oturur. Duvar üzerine oturan kirişleme ile bir önceki kiriş birbirine destek kirişleri yardımı ile bağlanır. Destek kirişleri de döşemede uygulanan kirişleme aralıkları ile düzenlenir [14].

1.5.4.2.3. Konsol

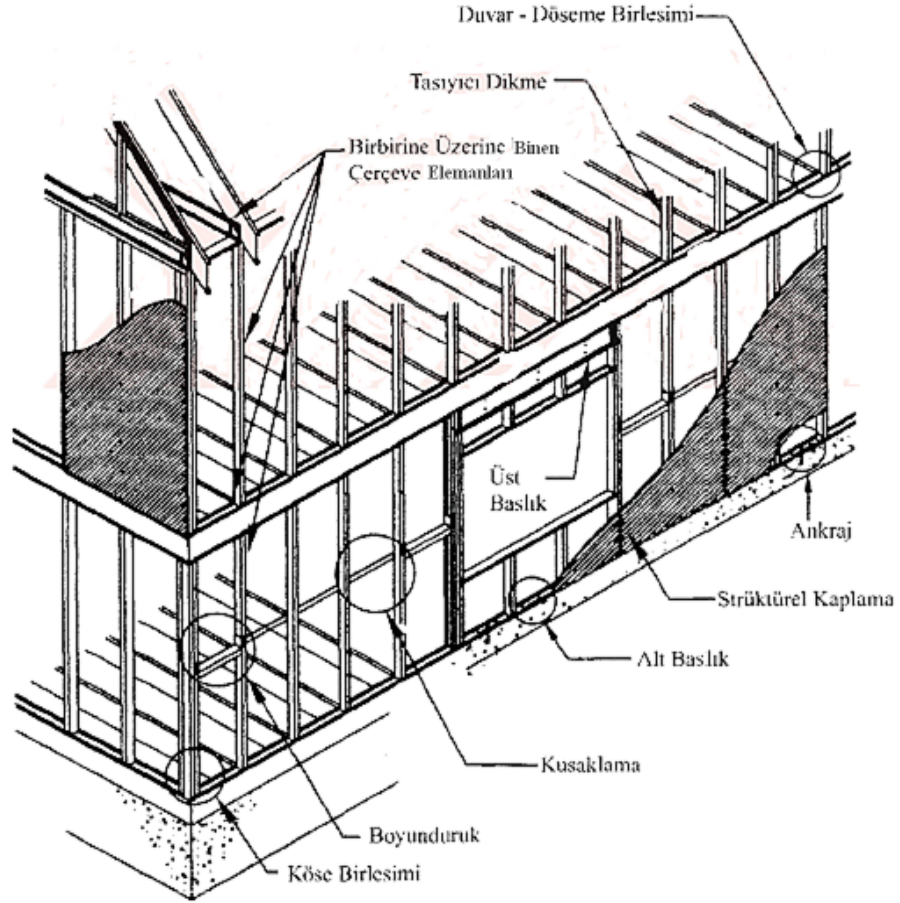
Döşeme kirişlerinin maximum 610 mm uzatılması ile konsol oluşturulmaktadır (Şekil 21) [10].



Şekil 21. Taşıyıcı duvara oturan konsol [12]

1.5.4.3. Duvarlar

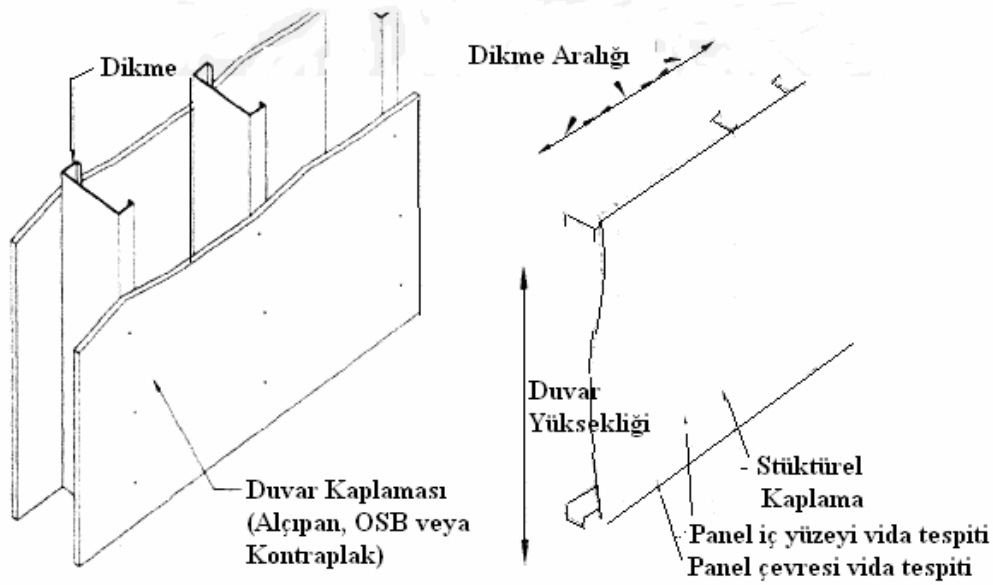
Duvarları oluşturan malzemeler ve bu malzemelerin kullanılmasıyla oluşan kalınlıkları göz önüne alarak duvarları iç ve dış duvarlar olarak ikiye ayrılabilir (Şekil 22).



Şekil 22. Duvar konstrüksiyonu [12]

İç ve dış duvarlar yapının düşey taşıyıcılarını oluşturur. Düşey ve yatay yüklerde yeterli mukavemeti ve stabiliteyi sağlar. Mekanlarda mahremiyet ve konfor sağlanacak şekilde ses konumu oluşturur. Duvarlar yangının yayılmasını önlemeli, duvar kaplamaları taşıyıcı çeliği yangından korumalıdır. Duvar kesiti yapı sağlığı ve mekanlarda ki insan sağlığına uygun tasarlanmalı, yapının ihtiyacı olan tesisat için uygun yer bırakılmalıdır. Dış duvarlar ayrıca iç mekanları atmosfer şartlarından korumalıdır [16].

Dış duvarlar sistemi, hava boşluğu bırakılmadan kaplamanın doğrudan yerleştirilmesi veya duvarın dış tarafında hava boşluğu bırakılması şeklinde uygulanabilmektedir. Hava boşluğu bırakılmadan yapılacak uygulamalar, ısı yalıtım sistemi içerisinde su birikmesini teşkil ederek çelik profillerin korozyon etkisinde kalmasına neden olabilmektedir. Dış duvarlarda ısı, ses, buhar ve su yalıtımına dikkat edilmelidir [5]. Dış duvarlar iç tarafında alçı panel, dış tarafında da ortam koşullarına dayanıklı kaplama ve aralarındaki yalıtım malzemesinden oluşmaktadır (Şekil 23).

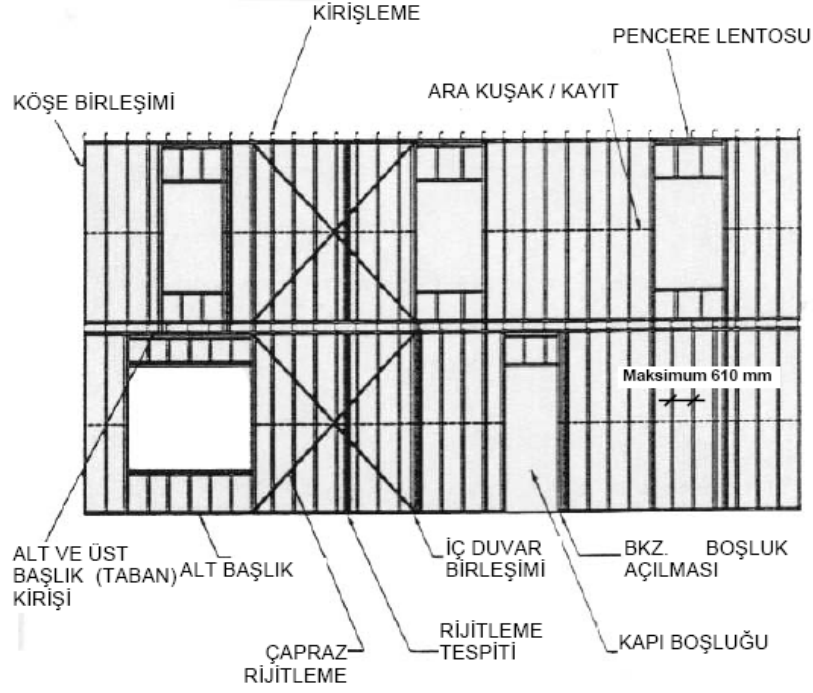


Şekil 23. Dikmelerin iç ve dış yüzeyden kaplanması [12]

Soğuk şekillendirilmiş profillere alçı panellerin monte edilmesiyle iç duvarlar oluşturulmakta, kullanım yerlerine göre kalınlık, su geçirimsizlik ve yangına daha uzun süre dayanım gibi özellikleri olan alçı panellerin arasında yine kullanım yerlerine göre su ve ısı yalıtımı bulunmaktadır [5].

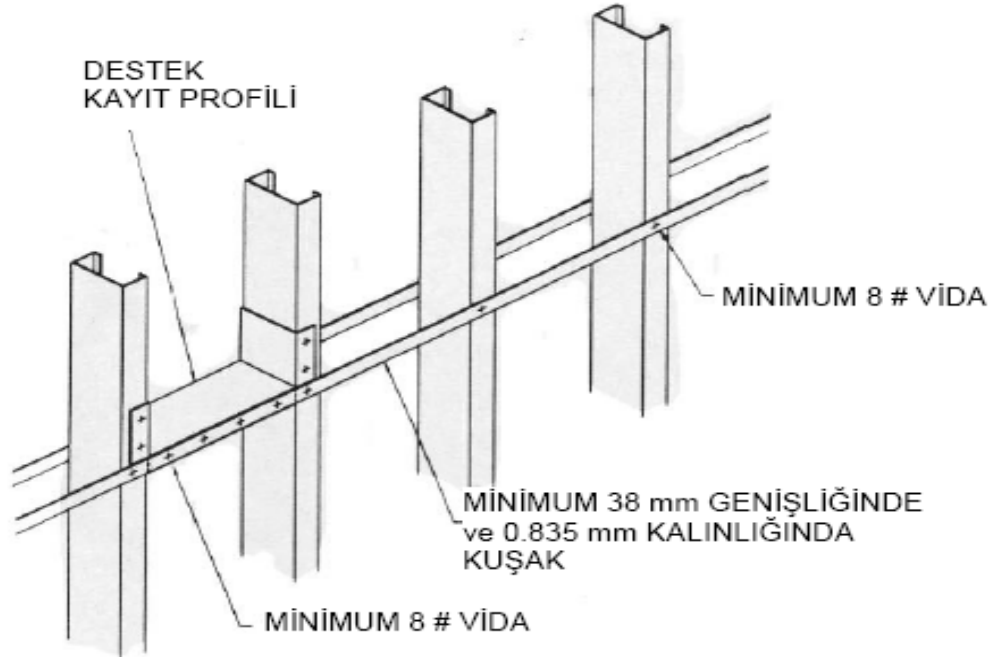
1.5.4.3.1. Taşıyıcı Duvar Oluşturulması

Taşıyıcı duvarlar (Şekil 24), gövde genişlikleri minimum 90 mm olan C profil dikmelerin, maksimum 610 mm aralıklarla alt ve üst başlıklara rijit bağlantılarıyla oluşturulmaktadır [15].



Şekil 24. Tipik taşıyıcı duvar oluşturulması örneği [12]

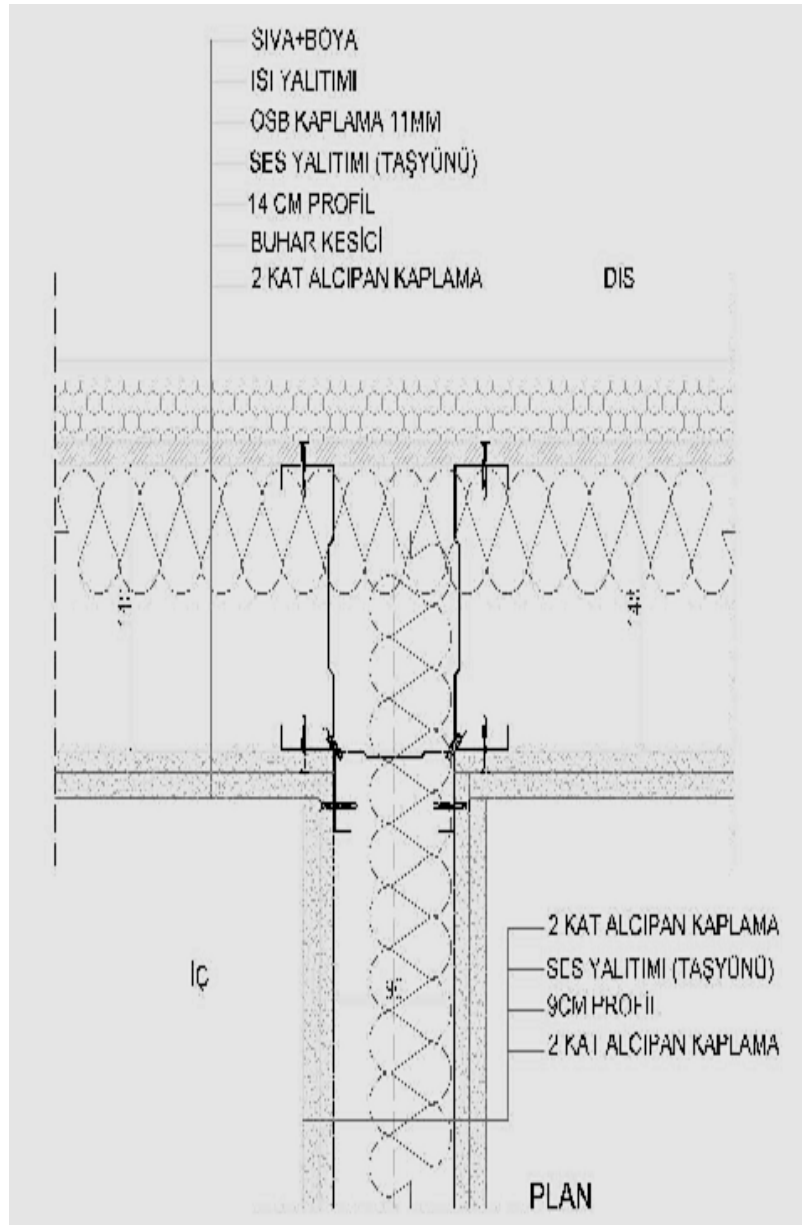
]Dikmeler düşey yükler altında burkulma etkisine maruz kalabileceğinden ara kuşaklar (Şekil 25) ve çapraz bağlantılarla rijitlenirler.



Şekil 25. Dikmelerin burkulmaya karşı kuşak ve kayıtlarıyla desteklenmesi [12]

Duvarlar, dikme yüksekliğinin 240 cm'e kadar olduğu durumlarda kayıtlar ortaya gelecek şekilde ile rijitlenebilir. Dikmelerin 240 cm'den daha uzun olduğu durumlarda, duvarlar dikmelerin üçte bir oranına gelecek şekilde kayıtlar veya kuşaklar ile rijitleştirilmektedir [10].

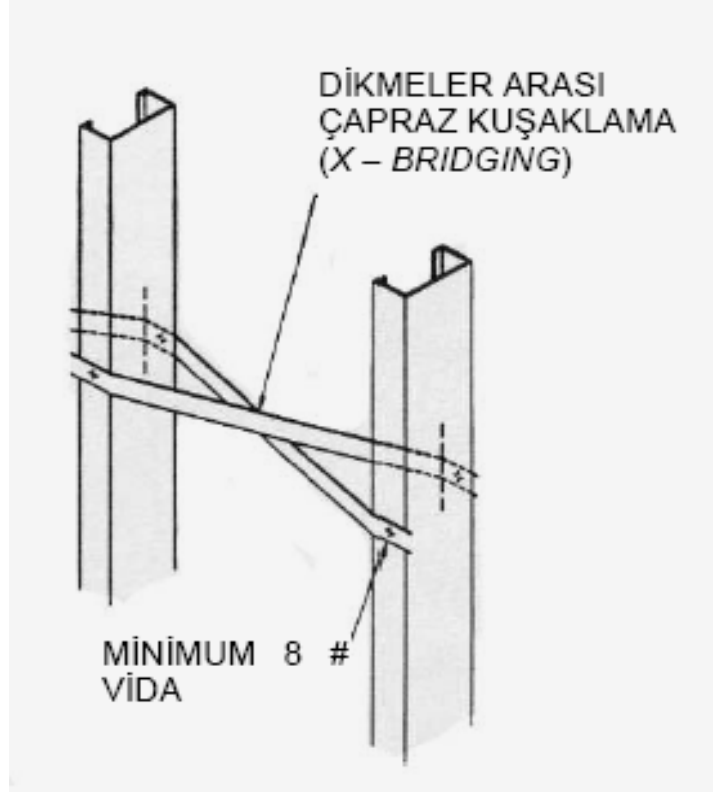
Kuşaklama ve boyunduruk gibi elemanların yanı sıra, dikmelerin yanal yüklere karşı rijitliğini arttırmak için, iç ve dış kaplama malzemeleri de sisteme destek vermektedir (Şekil 26).



Şekil 26. Duvar Detayı [17]

1.5.4.3.2. Perde Duvar Oluşturulması

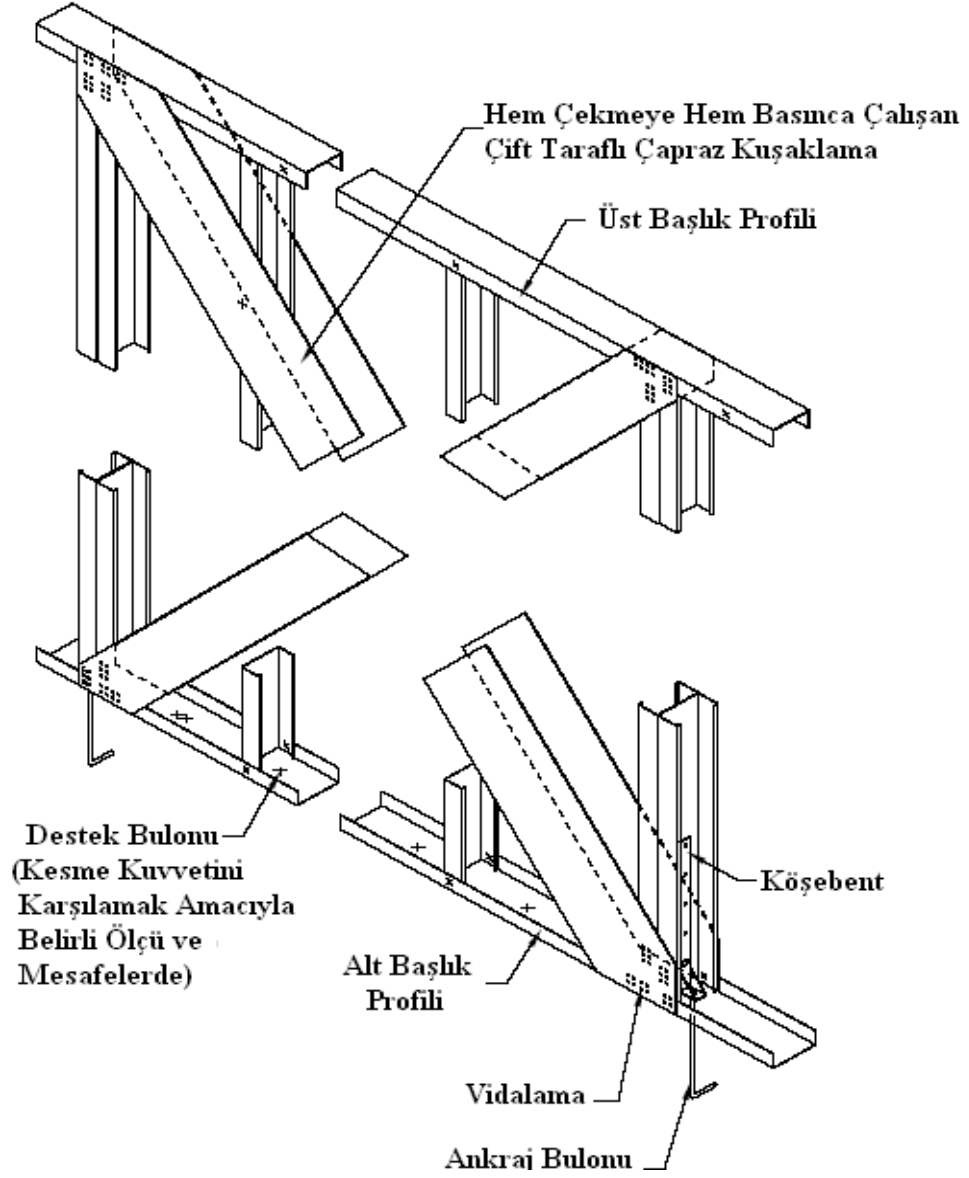
Yatay yükler yapıda yatayda ötelenmelere ve düşeyde çekme gerilmelerine neden olur. Bu yüklerle karşı çerçevelerin rijitliğinin artırılması gerekir. Düşey yüklerin dikmelerde yarattığı burulma etkisine karşı yapılan kuşaklar nispeten de olsa bu yüklerin karşılanmasında yardımcı olur.



Şekil 27. Çapraz kuşaklama [12]

Dikmeler arasında oluşturulacak çapraz kuşaklamalarla, dikmelerin etkinliği artırılır (bkz. şekil 27). Yatay yüklerle karşı daha etkin bir strüktür oluşturmak için taşıyıcı çerçeve, çaprazlamalar ile çelik perde duvar veya kafes kiriş/ makas haline getirilir [18].

Perde duvarlar (şekil 28), mümkün olduğunca kapı veya pencere boşluklarıyla zayıflatılmamalıdır. Pencere ve kapı arasındaki perde duvarın uzunluğu minimum 130 cm olmalıdır. Kaplama panoları, dayandıkları hafif çelik elemanın flanşları ile en az 1,25 inch (32 mm) genişliğinde yaslanma yüzeyi oluşturmalıdır [10].



Şekil 28. Perde duvar çaprazlaması kesiti [12]

1.5.5. Hafif Çelik Yapılarda Korozyon-Yangın Etkisi ve Çerçeve Sistemin Özellikleri

1.5.5.1. Korozyon Etkisi

Hafif çelik taşıyıcı sistemlerde kullanılan çelik saç kesiti ince olduğundan (kullanıma göre 0.6 mm' den başlayarak) korozyon etkisi, hafif çelik taşıyıcılarda daha çok zarar vermektedir (Şekil 29). Bükme profil imalatında kullanılan çelik saç malzemenin korozyondan korunması için genel olarak daldırma galvaniz tekniği kullanılmaktadır.



Şekil 29. Korozyon Etkisi

Fabrikada yapılan işlemler sonucunda standart kalite garantisi elde edilir. Montaj sonrasında ise, ek yerlerinde bozulabilecek koruma düzeltilmelidir. Korumanın yanı sıra korozyon ortamının da tanımlanması, mümkünse ortadan kaldırılması gerekmektedir. Aksi takdirde yapının narin olan taşıyıcı sistemi zarar görür.

Korozyonun önlenmesi aşamasında duvar ve döşeme kesitinde kondenzasyon oluşumu önlenmelidir. Isı yalıtımı ve nem direnci katmanları doğru hesaplanmalı ve nem sürükleyici hava için geçiş yeri bırakılmalıdır (Şekil 30).



Şekil 30. Korozyondan Koruma

Hafif taşıyıcılı çelik yapılarda korozyondan korunma stratejisi:

- * Yapının servis ömrünün belirlenmesi
- * Karşılaşılacak korozyon ortamının belirlenmesi
- * Taşıyıcıların korozyondan etkilenme yoğunluğunun belirlenmesi
- * Korozyondan korunma metodunun belirlenmesi [19].

1.5.5.2 Yangın Etkisi

Hafif çelik yapılarda kullanılan profiller ince saçtan imal edildikleri için yangından ciddi şekilde korunmalıdır. Yangından korunma projelendirme aşamasında başlar. Elemanlardaki sıcaklığın 450°C 'yi aşması halinde önce uzama etkisi ile çelik taşıyıcılığını kaydeder (Şekil 31). Sıcaklığın taşıyıcı profillerden uzak tutulabilmesi için mantolama yapılmalıdır. Mantolama için kullanılan malzemeler yanma sırasında zehirli gazlar veya aşırı duman çıkartmamalıdır. Taşıyıcı sistemin yangından korunması için iç kaplamalarda alçı levha kullanılarak sağlanabilmektedir. Ayrıca galvanizli saçların yangın sırasında zehirli gaz çıkarttığı göz ardı edilmemelidir [19].



Şekil 31. Hafif çelik profilde yangın etkisi

1.5.5.3. Hafif Çelik Çerçeve Sistemin Özellikleri

Hafif çelik çerçeve sisteminin uygulamada tercih edilmesini sağlayan üstün yanları aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır [9].

- Hafif çelikte kullanılan soğuk şekillendirilmiş profiller homojen, izotrop, yüksek rijitlik, yüksek duktilite özellikleri gösterir. Sürekli denetlenerek üretildiği için tüm profil kesitlerinde eleman özellikleri aynıdır (Şekil 32).

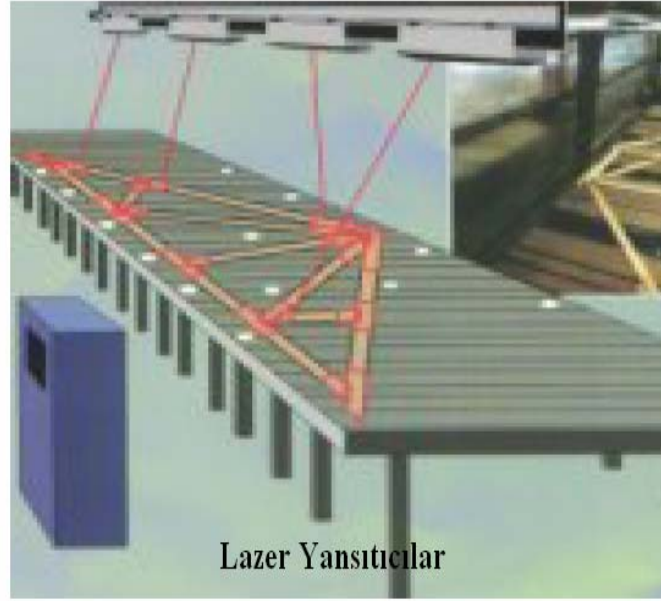


Şekil 32. Kullanım çeşitliliği açısından soğuk şekillendirilmiş profiller

- Yüksek dayanımı nedeni ile hafif çeliğin öz ağırlığının taşıdığı yükün, yararlı yüke oranı çok küçüktür.

- İnce cidarlı çelik strüktür, diğer yapı türlerine oranla hafif olduğu için (betonarme strüktüre oranla 10 kat daha hafiftir). Depremden diğer strüktürlere oranla daha az etkilenir. Kötü zemin koşullarında da uygulanabilen hafif ve sağlam bir sistemdir.

- Ön üretimli çelik yapı sistemlerinde insan insiyatifi yok denecek kadar azdır. Profiller şartnamelere uygun saçtan, bilgisayar denetiminde tasarlanıp üretilebiliyorsa ve montaj işlemiş tekniğine uygun yapıyorsa yapı doğru şekillenir ve güvenlidir (Şekil 33).



Şekil 33. Profil kesimi esnasında lazer yansıtıcılar

- Hızlı ve kolay montajı sağlanan sistemin yapım süresi önceden bilinebilmektedir. Hava şartlarına bağlı olmaksızın her iklimde sürekli inşa edilebilen bir yapı sistemidir.

- Uygulamada herhangi bir kalıp kullanımı gerektirmediği için ölü malzeme maliyeti yoktur. Uygulaması kuru bir sistemdir, şantiye alanında atık bırakmaz.

- Ön üretim sırasında tesisat delikleri açılabilirdiği için elektrik, sıhhi tesisat ve kalorifer tesisatı işlerinde kırma, dökme yoktur. Dolayısıyla daha küçük işgücü ve hız söz konusudur. Servis elemanlarının yerlerinin tasarım sonrasında değiştirilmesi zorluk arz edebilir (Şekil 34).



Şekil 34. Galvanizli sac şekillendirilmesi

- Hafif olan sistem hızla az işgücü ile taşınıp kurulabilir. Gerekli olduğu şekilde tasarlanmış ise gerektiğinde sökülüp tekrar farklı bir yerde kurulabilir.
- Çoklu üretim ve prefabrikasyona uygundur, paket halinde hazırlanabilen yapı birimleri kolaylıkla saklanabilir, endüstri ürünü gibi paket halinde satılıp denizaşırı ülkelere bile taşınabilir.
- Yapı sistemi doğru bir şekilde yalıtıldığında tüm iklim şartlarına uyabilen bir yapı oluşturulmaktadır (Şekil 35).



Şekil 35. Dış etkenlere karşı kaplama ile koruma

- Sistem elemanları zaman içinde betonarme, ahşap sistemler gibi çalışan ve şekil değiştiren malzemelerden oluşmadığı için, doğru şekilde yalıtıldığında nemli ortamlarda yapısal değişiklik göstermez. Böcek ve benzeri haşere oluşumuna yol açmaz.

- İnşa edileceği ortama göre galvanizleme veya antipas boyama teknikleri ile kaplanan sistem elemanlarında paslanma sorunu görülmez.

- Galvanizleme yoluyla sağlanan korozyon direnci sistemin uzun ömürlü olmasını sağlar.

- Çeliğin ısı iletkenliği oldukça yüksek olduğundan, bu malzemenin ısı ve yangın için yalıtım önlemleri ile korunması zorunludur.

- Hafif çelik çerçeve sistem farklı elemanlar ile desteklenmez ise en çok üç kata kadar taşıyıcılığı olan bir sistemdir. Üç katın üzerinde yapı yapılmaz (Şekil 36).

- Çelik geri dönüşümlü bir malzemedir, doğaya zarar vermez.



Şekil 36. Tipik bir hafif çelik yapı iskeleti

- Seri üretimi sağlanan malzeme betonarme ve benzeri yapı sistemleri ile maliyet açısından yarışabilmektedir, fakat sistemin belli kurallara göre şekillenmesi ve üretilen profiller ile oluşturulabilecek sistem boyutlarının belirli olması, tasarımcıyı sistem kuralları ile kısıtlamaktadır.

Bu özelliklerinin yanı sıra hafif çelik profiller kullanılarak üretilen yapı sistemleri için aşağıda belirtilen alternatifler de mevcuttur [9];

- Standart profil ebatlarına göre 3 kata kadar çeşitli mimari tasarımların mühendislik ve yapı projelendirme işlerini yapmak ve uygulamak.
- Var olan farklı yapı sistemlerine (betonarme, çelik, ahşap vb.) hafif çelik çerçeve sistem ile ekler yapmak.
- Restorasyon projelerinde destekleyici olarak ve iç mekan tasarımlarında hafif çelik çerçeve sistem kullanmak.
- Farklı yapıların çatı sistemlerinde ve çatı katı eklemelerinde hafif olması nedeni ile hafif çelik çerçeve sistem kullanmak.
- Soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden üst örtü, küpeşte, parmaklık ve bina aksesuar tasarımı yapmak.

1.6. İlgili Türk Standardında (TS 11372) Hafif Çelik Profiller

1.6.1. TS 11372; Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları [1]

1.6.1.1. Standartta Kullanılan Tarifler

1.6.1.1.1. Rijitleştirilmiş Düzlem Şekilli Basınç Elemanı

Rijitleştirilmiş düzlem şekilli basınç elemanı, kendi düzlemi içinde etkiyen üniform basınç gerilmesi altındaki; gerilme doğrultusuna paralel kenarları bir gövde levhası, flanş, bir kenar rijitleştirici, bir ara rijitleştirici veya benzerince rijitleştirilmiş düzlem şekilli bir elemandır (Şekil 37'de R ile işaretli olanlar).

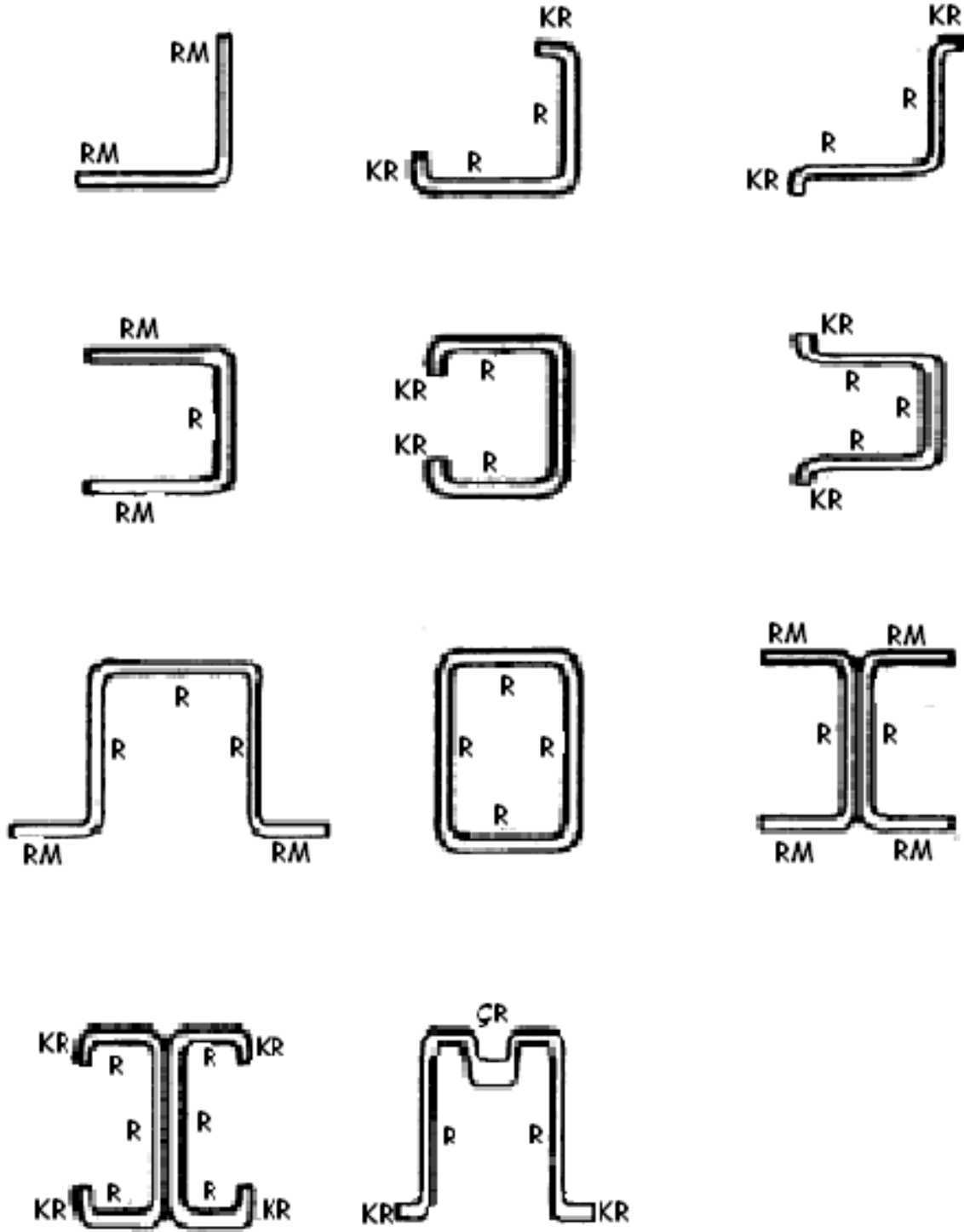
1.6.1.1.2 Rijitleştirilmemiş Düzlem Şekilli Basınç Elemanı

Rijitleştirilmemiş düzlem şekilli basınç elemanı, kendi düzlemi içinde etkiyen üniform basınç gerilmesi altındaki; gerilme doğrultusuna paralel sadece bir kenarı, rijitleştirilmiş düzlem şekilli elemandır (Şekil 37'de RM ile işaretli olanlar).

1.6.1.1.3 Çok Rijitleştirilmiş Düzlem Şekilli Basınç Elemanı

Çok rijitleştirilmiş düzlem şekilli basınç elemanı, kendi düzlemleri içinde etkiyen üniform basınç gerilmesi doğrultusuna paralel olmak üzere, iki kenarında mevcut gövde

levhaları veya kenar rijitleştiricilere (Şekil 37’de KR ile işaretli olanlar) ek olarak; ara rijitleştiricileri de olan, düzlem şekilli basınç elemanlarıdır (Şekil 37’de ÇR ile işaretli olanlar).



Şekil 37. Rijitleştirilmiş, rijitleştirilmemiş ve çok rijitleştirilmiş basınç elemanları [1]

TS 11372, levha formundaki yapı çeliğinin soğukta şekillendirilmesi suretiyle imal edilen ince cidarlı elemanların; önemli oranda darbeli yüklere maruz kalmayan taşıyıcı sistemlerin, taşıyıcı elemanı olarak kullanılmaları için boyutlandırılmasına ait bükme iç yarı çapları sınırları içinde kullanılabilen elastik teoriye dayalı hesap kurallarını kapsar. Plastik teoriye dayalı hiçbir hesap kuralını kapsamaz.

1.6.2. Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Elemanlar

1.6.2.1. Sınır Gerilme

1.6.2.1.2. Eğilmeli-Burulmalı Burkulma Etkisinin Olmadığı Kesitler

Çift simetri eksenli, kapalı veya silindirik kesitlerle eğilmeli-burulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap ile gösterilmiş diğer kesit şekilleri ve burulmaya karşı tutulmuş elemanlar için P/A ortalama eksenel basınç gerilmesi, σ_{obem} gerilmesinin aşağıda verilen değerini geçmemelidir.

$$\frac{K \times L}{r} < \frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}} \Rightarrow$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times Q \times \sigma_a}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times E} \times \left(\frac{K \times L}{r} \right)^2$$

$$\frac{K \times L}{r} > \frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}} \Rightarrow \sigma_{obem} = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \times \left(\frac{K \times L}{r} \right)^2}$$

$$\lambda_{kr} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{\sigma_a}}$$

Etkin genişlik, etkin alan ve Q faktörü için ise aşağıdaki formüller geçerlidir ;

$$\frac{b_o}{t} \leq 0.095 \times \sqrt{\frac{E}{\sigma_a}} \text{ için } b_e = b_o$$

$$Q = \frac{A_r}{A_{re}}$$

Bu bağıntılarda;

P : Eksenel basınç kuvveti

A_r : Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin alanı

A_{re} : Etkin Alan

E : Elastisite modülü

K : Etkin burkulma boyu faktörü

L : Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r : Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q : Aşağıda açıklandığı gibi hesaplanacak olan bir faktör.

b_o : Kenar rijitleştiriciler veya iç bükümler dahil olmadan hesaba alınan uzunluk

b_e : Yerel burkulma sebebiyle azaltılan b_o ve b_o' genişliklerinin ifade edildiği etkin genişlik

a - Tamamen rijitleştirilmiş elemanlarla oluşturulan basınç çubuklarında Q; bu elemanların etkin genişlikleri ile hesaplanan etkin enkesit alanının, etkin genişlik göz önünde tutulmadan hesaplanan kesit alanına oranıdır. Etkin alan hesabında çalışan gerilme yerine TS 11372'de belirtilen eleman boyutlandırma gerilmesi kullanılmalıdır.

b - Tamamen, rijitleştirilmemiş elemanlardan oluşturulan basınç çubuklarında Q; kesiti oluşturan levha elemanlarından en zayıfının (en büyük levha genişliği/et kalınlığı oranına sahip olanı) sınır basınç gerilmesinin elemaner sınır gerilmeye oranıdır. Sınır basınç gerilmesi ve elemaner sınır gerilmesi ise TS 11372'de belirtilmiştir.

c - Rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş elemanların karışımından meydana gelen basınç çubuklarında Q;(a) ve (b)'de tanımlanan Q katsayılarının çarpımına eşittir. Ancak (a)'de hesaplanan Q katsayısı bu halde σ_{cem} sınır basınç gerilmesi göz önünde tutularak hesaplanmalıdır.

1.7. Yerel Burkulma

Birkaç istisnai durum dışında, metal yapısal gereçleri yassı madeni levhalardan oluşur. Bu yapısal gereçler ya standart şekillere döndürülürler ya da kaynak, perçin ve vidalı birleşim yöntemleriyle tek tek madeni levhalar monte edilerek şekillendirilirler [20].

Yapısal elemanın dayanımı, içeriğindeki madeni levhanın burkulmasından iki şekilde etkilenir: burkulma madeni levhayı işlevsizleştirerek tamamıyla bir deformasyona neden olabilir, ya da gerilmenin yeniden dağılmasına sebep olup elemanın taşıma

kapasitesini ve davranışını etkiler. Döndürülmüş kesitlerin yanında çok parçalı kalın kesitlerde de maksimum levha dayanımı genellikle malzemenin akma gerilmesiyle uyumludur. et kalınlığı oranı, levha bu seviyenin altındaki gerilmelerde eğilmemesi durumunda seçilir. Bunun yanında, soğukta şekillendirilmiş malzemeler genellikle geniş b/t oranına sahiptirler, yani akma gerilmeleri burkulma sonrası dayanıma bağlıdır (ki bu dayanım, akma gerilimi miktarlarının altında olabilir.) Örneğin ince kalınlıktaki kiriş levhalarının içindeki ağ levha, önemli miktarda burkulma sonrası dayanıma sahiptir [20].

Levhaya uygulanacak olan maksimum ortalama gerilme, levhanın et kalınlığı oranına, sınır koşullara ve gerilim dağılımına bağlıdır. Maksimum ortalama gerilme, teorik elastik burkulma gerilmesinden büyük ya da küçük olabilir. Et kalınlığı oranın sınırlayabilmek için gerekli noktalardan biri de, elemanın uygulanabilir gerilim ilkesi doğrultusunda mı yoksa plastik dizayn ilkesiyle mi oluşturulduğudur [20].

Burkulmanın, elemanın dayanımını kontrol ettiği 4 temel levha tipi vardır;

1- Uzun levhalar tek ya da her iki boylamsal kenardan birleştirilir ve kısa köşelerden sıkıştırılırlar. Böyle bir levhanın dayanımı ya burkulma burkulma sonrası dayanımı ile sınırlandırılmıştır. Kontrol boyutu levhanın genişliğidir. Örneğin, kiriş levhası flanşının burkulması tüm elemanın deformasyonuna neden olur.

2- Ara rijitleştiricilerin çapraz çizgilerin arasındaki çok parçalı bölümlerdeki dışta kalan levha kısımları

3- Çapraz yükleme ya da reaksiyon sonucu burkulmuş ya da bozulan ağ levhaları

4- Dayanımları levha burkulmasıyla kontrol edilen üçgen levha dirsekleri [20].

1.8. Soğuk Şekillendirilmiş Profiller Üzerinde Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

Büyükşişli [15], soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik elemanlar kullanarak ürettiği çaprazlı çerçeve duvarı deneysel ve teorik olarak incelemiştir (Şekil 38). Elde ettiği sonuçlarla çerçeve duvarın global kayma rijitliği ve nihai kayma dayanımını hesaplamıştır. Deneysel sırasında basınca çalışan çapraz elemanların burkulduğu gözlemlenmiştir. Çerçeve duvarın alt başlığında yerel burkulmalar oluşmuştur.



Şekil 38. Çaprazlı hafif çelik çerçeve duvarı [15]

Stone ve Laboube [21] soğuk şekillendirilmiş çok parçalı I kesitler üzerinde deneysel ve teorik araştırma gerçekleştirmiştir. Deney, basınca çalışan çok parçalı elemanların, elde edilmiş olan teorik formüllerle uygunluğu incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla kurulan deney sisteminde çok parçalı elemana düşey yükleme yapılmıştır. Bu deneysel çalışmadan bir görünüm Şekil 39’da verilmektedir. Deney sonucunda elemanda birleşim bölgelerinde yerel burkulmalar tespit edilmiştir. Deney sonucunda, aksenal kapasiteyi hesaplamak için, çok parçalı elamanın, düzeltilmiş narinlik oranı yerine gerçek narinlik oranının kullanılması önerilmiştir. Düzeltilmiş narinlik oranının, ince kalınlıktaki elemanlarda ortalama emniyeti sağlayabileceği belirtilmiştir.



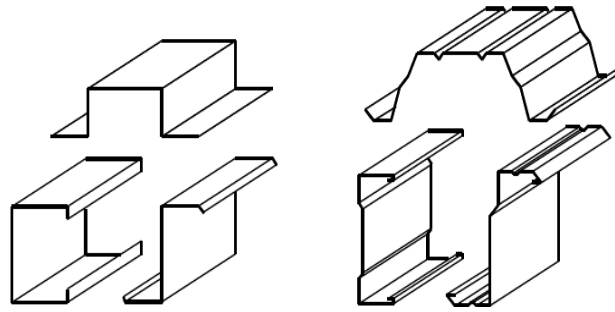
Şekil 39. Hafif çelik elemanlardan oluşan çok parçalı I kesit [21]

Landolfo, ve diğ. [22] lazer kaynakla birleştirilmiş çok parçalı hafif çelik kirişler üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar lazer kaynaklı birleşime (Şekil 40) sahip numuneleri hem kesme hem de çekme deneyine tabi tutmuşlardır. Araştırmacılar, bu deney yardımıyla lazer kaynaklı birleşimlerin hafif çelik profillerden oluşan çok parçalı çelik kirişlerdeki kullanılabilirliğini araştırmışlardır.



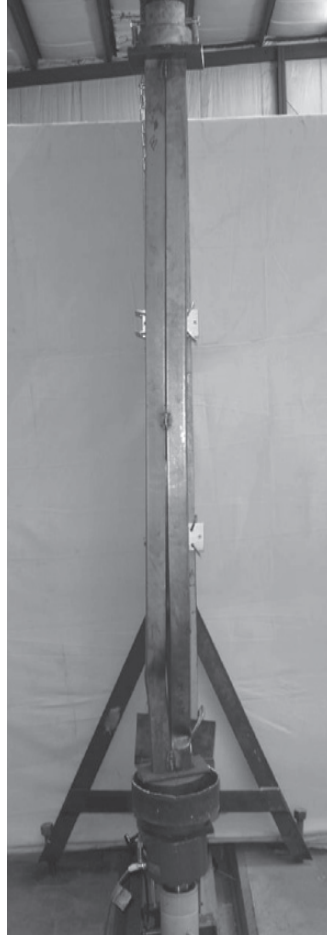
Şekil 40. Lazer kaynaklı birleşim [22]

Son dönemde yapılan deneysel çalışmaların teorik altyapı sağlaması açısından B.W Schafer [23]'in soğuk şekillendirilmiş elemanlar için geliştirdiği “Direct Strength Method” yöntemi (DSM) de konuyla ilgili önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Bu yöntem, hafif çelik yapılar için tamamıyla yeni bir tasarım yöntemidir. Yerel, burulmalı ve genel burkulma içerisindeki elastik burkulma dayanımını göz önünde bulundurulur. Yöntemle ilgili temel karışıklık elastik, yerel, burulmalı ya da genel burkulma dayanımına karar verirken oluşmaktadır, bu değerlere karar verildikten sonra yöntemin uygulanışı basittir (Şekil 41).



Şekil 41. DSM’de yaygın olarak kullanılan profiller [23]

Whittle ve Ramseyer [24] aksenal yüklü, soğuk şekillendirilmiş çok parçalı C kesitlerin burkulma kapasitesini incelemiştir. Bu çalışmada araştırmacılar çok sayıda deney yaparak elde edilen sonuçları teorik burkulma kapasitesiyle karşılaştırmışlardır (Şekil 42). Çalışma neticesinde yerel burkulmaların oluşmasının yanı sıra düzeltilmiş narinlik oranına bağlı ortalama aksenal kapasitenin, çok parçalı elemanlar için yeterince emniyetli, genelde % 70'den fazla emniyetli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 42. Aksenal yüklü soğukta şekillendirilmiş birleşik C kesit [24]

Lam, Chung ve Wang [25] soğuk şekillendirilmiş, dudaklı, "C" kesit kısa profilin yük taşıma kapasitesini ölçmek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçlarının ilgili standartla karşılaştırılması neticesinde dudaklı C kesit kısa profillerin standartta öngörülen yük taşıma kapasitesinin ortalama % 75-77 kadarını taşıyabildiği ve ayrıca dudaklı "C" kesit kısa profilin yerel ve çarpımalı burkulmalar karşısında yetersiz olduğu belirtilmiştir (Şekil 43).



Şekil 43. Yerel burkulma etkisinde kalan kısa “C” profili [25]

Kim ve diğ. [26] soğuk şekillendirilmiş profillerden oluşturdukları çok parçalı panel sallama masası (shaketable) testine tabi tutmuşlardır. Çalışmada çok parçalı panel (Şekil 44) maruz kalacağı yerel burkulma etkisine karşı çapraz kuşaklama yöntemiyle korunmuştur. Bu sayede elemanlar daha sünek bir davranış göstermişlerdir. Çalışma neticesinde profillerin kesme kuvvetine karşısında yetersiz kaldıkları belirtilmiştir.



Şekil 44. Soğuk şekillendirilmiş profillerden oluşturulan panel [26]

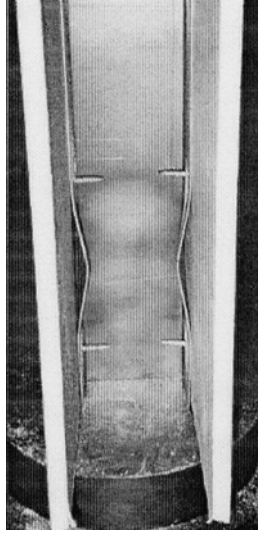
Feng, Wang ve Davies [27] soğuk şekillendirilmiş kutu kesit kısa profillerin yükseltilmiş sıcaklıklardaki yapısal davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma amacıyla yapılan çok sayıda deneyde araştırmacılar yerel ve çarpımalı burkulmaları incelemişlerdir. Araştırmacılar kolonları servis delikli ve servis deliksiz olarak sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırma neticesinde servis deliklerinin, kolonların aksenal direngenliğinde önemli bir etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Narayanan ve Mahendran [28] farklı geometrik şekillerde üretilen (Şekil 45) soğukta şekillendirilmiş çelik profillerin çarpımalı burkulma davranışlarını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar, sonlu elemanlar metodu ile değerlendirilmiştir.



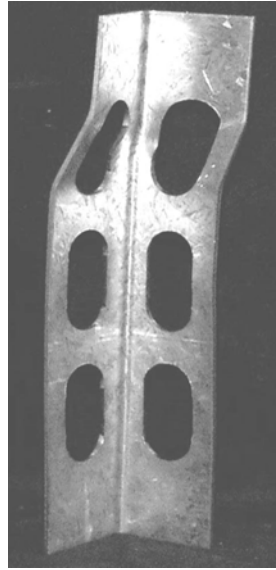
Şekil 45. Profillerde çarpımalı burkulma davranışı [28]

Telue ve Mahendran [29] alçıpanla kaplanmış, soğuk şekillendirilmiş profillerden oluşan duvarın davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Uygulamadaki gerçek kullanım ölçüleriyle yapılan çok sayıda deneyde, numunelerin (Şekil 46) yerel ve genel burkulma davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda yerel burkulmalarda önemli bir etki gözlenmezken, genel burkulmalar ve en büyük kuvvet arasında sonuca etki edecek bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 46. Alçıpanla kaplanan soğuk şekillendirilmiş profillerle oluşturulmuş duvar [29]

Dhanalakshmi ve Shanmugam [30] soğuk şekillendirilmiş eşit açılı kısa profilleri, deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Profiller boşluklu ve boşluksuz olarak sınıflandırılıp yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Yüklemeler aksenal ve eksantirik olarak yapılmıştır. Çalışma neticesinde boşluksuz profillerde, eksantirite arttıkça maksimum kuvvetin azaldığı gözlenmiştir. Boşluklu profillerin (Şekil 47) ise aksenal yük taşıma kapasitelerinde azalma gözlemlenmiştir.



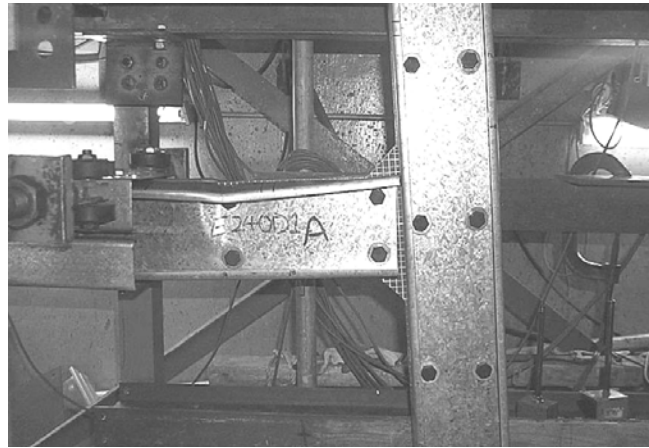
Şekil 47. Boşluklu profillerin deney sonrası görünümü [30]

Bernuzzi ve Castiglioni [31] depolarda kullanılan paletli rak sisteminin kiriş-kolon birleşim noktalarının (Şekil 48) davranışlarını incelemek amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışma, deprem bölgelerinde bulunan paletli raklara dizayn kuralları oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde düğüm noktalarında istenen düzeyde sünek davranış elde edilmiş, çökme gerçekleşmemiştir.



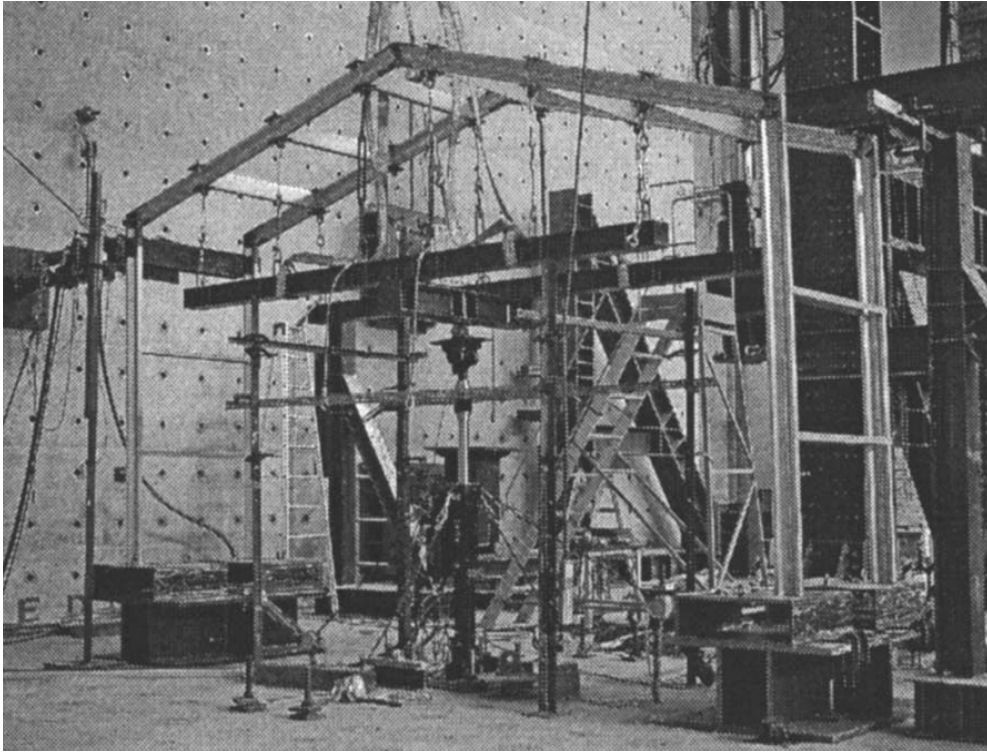
Şekil 48. Paletli rak sisteminin birleşim bölgeleri [31]

Yu, Chung ve Wong [32] soğuk şekillendirilmiş kısa profillerden oluşan, kiriş-kolon cıvatalı birleşimlerin moment değerlerini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Çalışma neticesinde cıvata aralıklarının fazla olduğu ve kalın köşebent kullanılan birleşim bölgelerindeki eğilme davranışlarının (Şekil 49) kritik seviyede kaldığı gözlemlenmiştir. Birleşimlerin moment taşıma kapasitesi, kesitin moment taşıma kapasitesinin % 85'ine kadar ulaşmıştır.



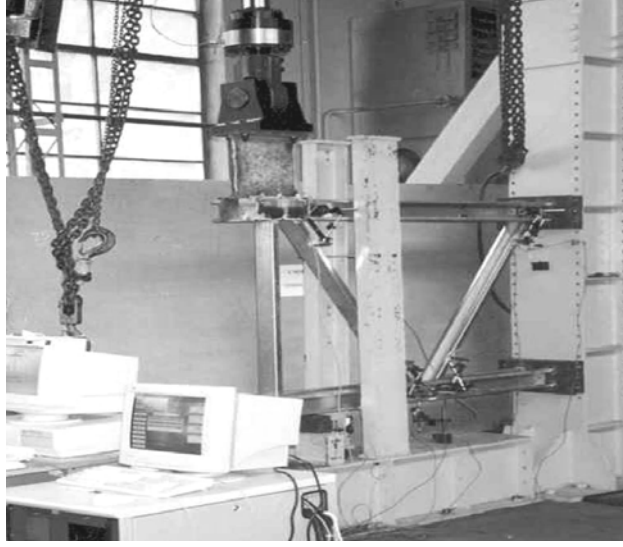
Şekil 49. Eğilme etkisindeki kiriş-kolon birleşimi [32]

Kwon, Chung ve Kim [33] soğuk şekillendirilmiş kapalı kesit profillerle oluşturdukları çerçeve sistemin (Şekil 50) birleşim bölgelerinin davranışlarını incelemek amacıyla deneysel ve teorik çalışmada bulunmuşlardır. Çalışmada kesitin eğilme davranışı ve birleşim bölgelerinin maksimum moment kapasitesi gözlemlenmiştir. Çalışma neticesinde çerçeve sistemi oluşturan eğilme elemanlarının ve bunların yapısal performanslarının ve birleşim bölgelerindeki yarı rijit birleşimlerin elverişli olduğu ispatlanmıştır.



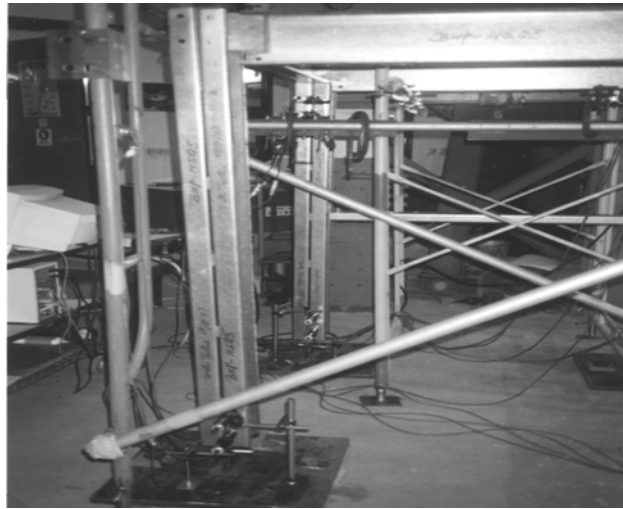
Şekil 50. Hafif çelik profillerle oluşturulan çerçeve sistem [33]

Zaharia ve Dubina [34] soğuk şekillendirilmiş profillerle oluşturulan kafes sistemin civatalı birleşim bölgelerindeki zorlanmayı incelemek amacıyla deneysel ve teorik çalışmada bulunmuşlardır. Kafes sistem (Şekil 51), çok parçalı “C” profillerden oluşmaktadır. Araştırmacılar bu çalışma neticesinde, standartlarda eksikliklerini belirttikleri birleşim bölgeleriyle ilgili formülleri önermişleridir.



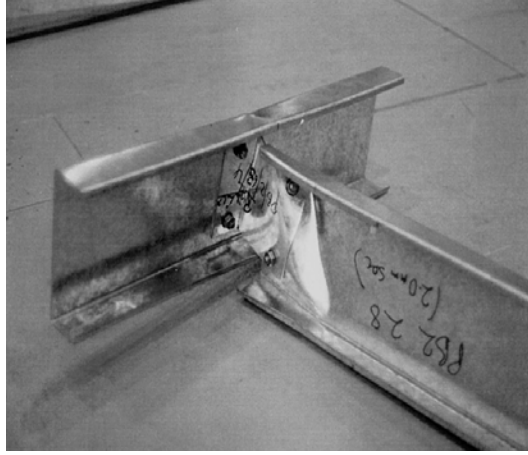
Şekil 51. Hafif çelik profillerle oluşturulan kafes sistem [34]

Chung ve Lau [35] soğuk şekillendirilmiş elemanlar arasındaki cıvatalı moment birleşim bölgelerinin yapısal davranışlarını incelemek amacıyla deneysel ve teorik çalışmada bulunmuşlardır. Bu çalışmada kolon ve kiriş elemanlar, sırt sırta verilmiş dudaklı “C” profillerinden (Şekil 52) oluşmaktadır. Deney neticesinde cıvatalı moment birleşimlerdeki moment taşıma kapasitesinin, birleşim bölgesinin moment taşıma kapasitesinin % 84’üne kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte sırt sırta verilmiş dudaklı “C” profillerin uygulanabilir ve ekonomik olduğu belirtilmiştir.



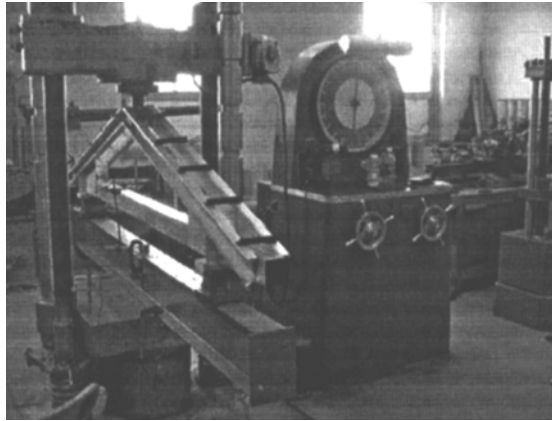
Şekil 52. Sırt sırta yerleştirilmiş “C” profilleri [35]

Chung ve Lawson [36] kelepçe biçiminde bağlantı levhası kullanarak birleştirilen soğuk şekillendirilmiş profillerin kesme kuvveti etkisinde yapısal davranışlarını deneysel olarak incelemiştir (Şekil 53). Deney neticesinde kullanılan bağlantı levhalarının kesme kuvvetine karşı dirençli olduğu ve uygulamada kullanılabilceği gözlemlenmiştir.



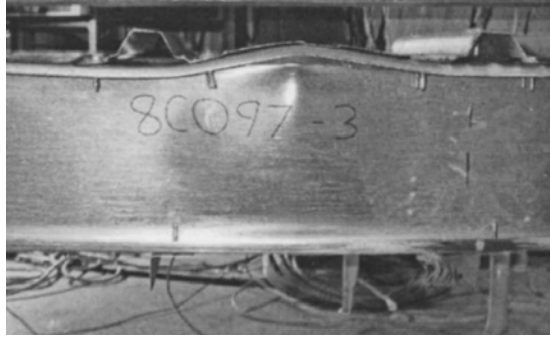
Şekil 53. Kesme kuvveti etkisinde kalan hafif çelik profiller [36]

Dawe ve Wood [37] soğuk şekillendirilmiş profiller kullanarak oluşturdukları küçük ölçekli çatı makaslarının yük taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla deneysel olarak incelenmiştir (Şekil 54). Deneyde, numuneler menteşeli ve köşebentli olarak sınıflandırılmışlardır. Deney neticesinde ilk göçme mekanizmasının yerel burkulmanın olduğu üst kirişin en yakınında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca üst kiriş kalınlığının % 30 oranında arttırılması sonucu yük taşıma kapasitesinde % 50'lik bir artış olduğu deney sonucunda açığa çıkmıştır.



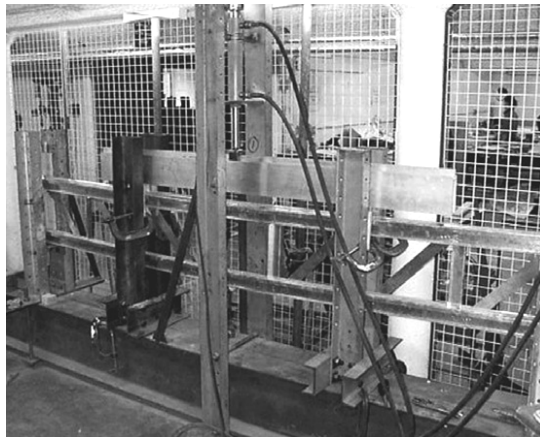
Şekil 54. Hafif çelik çatı makasının deneyi [37]

Yu ve Schafer [38] soğuk şekillendirilmiş “C” ve “Z” kesit çelik profillerden oluşan kirişlerin yerel burkulma davranışlarını incelemek amacıyla deneysel ve teorik çalışmada bulunmuşlardır. Deney neticesinde her iki kesitte de elastik burkulmaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Deney sonuçları AISI (American Iron and Steel Institute) [39] ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine uyumlu olduğu belirtilmiştir (Şekil 55).



Şekil 55. Yerel burkulma etkisindeki deney numunesi [38]

Pedreschi ve Sinha [40] soğuk şekillendirilmiş profiller kullanılarak üretilen mekanik perçinli kafes sistemin (Şekil 56) yapısal davranışını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Araştırmacılar, bu çalışmada tam ölçekli deney numunelerinin yanı sıra düğüm noktalarındaki davranışları daha etkin bir sonuca vardırabilmek amacıyla küçük ölçekli numuneler de üretmişlerdir. Deney neticesinde mekanik perçinlerin etkin bir şekilde kullanıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 56. Mekanik perçinli kafes sistem [40]

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Soğuk Şekillendirilmiş Hafif Çelik Profillerle Üretilen Kolonlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneysel ve Teorik Çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde, soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profil elemanlar kullanılarak oluşturulan çok parçalı kolonlar üzerinde, merkezi yüklemeye altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla, merkezi basınç deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ilgili Türk standardı olan TS 11372 [1]'de verilen bağıntılardan hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

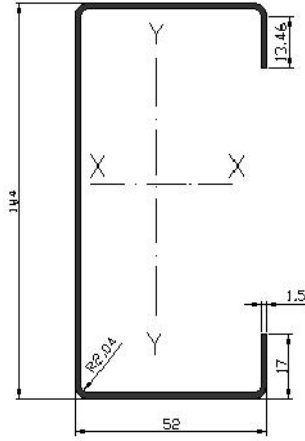
2.2. Deney Kolonlarının Özellikleri

Bu çalışmada, kesit geometrileri aynı, enleme bağlantıları arasındaki mesafeler ve enleme bağlantı şekilleri farklı olan toplam 7 adet çok parçalı hafif çelik kolon üretilmiştir. Kolonlar 150cm boyundadır. Kolonlar için gereken profiller soğuk şekillendirme yöntemiyle 1.5mm kalınlıklı galvanizli sacdan hazırlanan "C" profilleridir. Çok parçalı kolonlarda kullanılan galvanizli sac malzemesi, Trabzon - Arsin Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren Röle-Tek adlı tesisin "roll-forming" makinelerinde soğuk şekillendirme yöntemiyle üretilmişlerdir. Bu sacın üretici firmasından temin edilen malzeme özellikleri Tablo 2'de ve hesaplanan kesit özellikleri ise Şekil 57'de verilmektedir

Tablo 2. Kolon üretiminde kullanılan galvanizli sacın mekanik ve kimyasal özellikleri

Mekanik Özellikler			Kimyasal Bileşim					
Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Maks. Uzama (%) ϵ_k	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Al %
237	341	33	0,03	0,015	0,014	0,015	0,017	0,051

Bu şekilde üretilen 14 adet hafif "C" profili, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarına getirilerek profil saclarıyla aynı özellikte olan tekil ve bütünleşik enleme levhaları ile ucu matkap ağızlı özel vidalar (akıllı vidalar) da kullanılarak çok parçalı kolonların montajı gerçekleştirilmiştir.

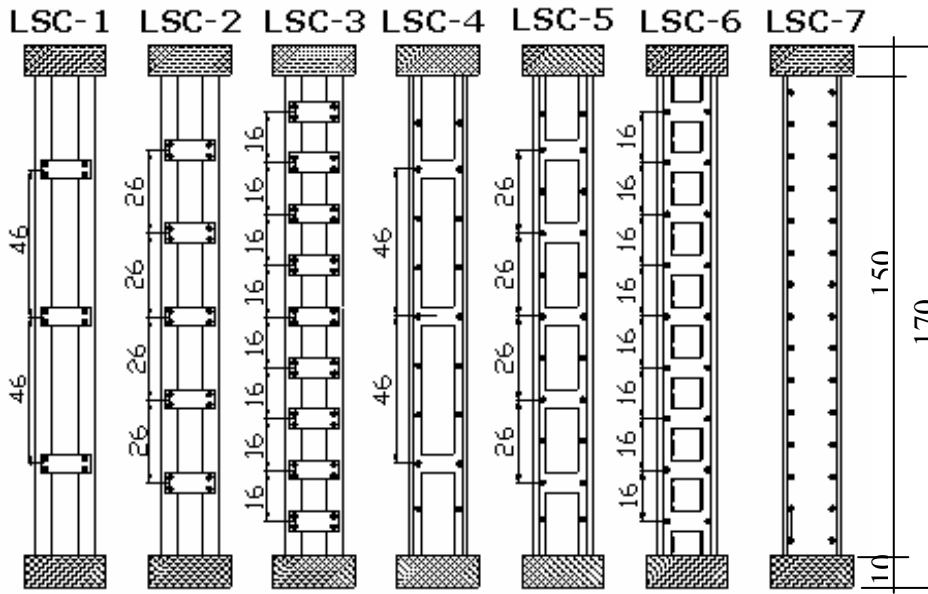


C Profili Kesit Özellikleri

Gövde genişliği	: 104 mm
Üst – Alt Flanş	: 52 mm
Kenar Bükümleri	: 17 mm
İç Köşe Yarıçapı	: 2,04 mm
Kalınlık (t)	: 1,5 mm
I_x	: 605206.13 mm ⁴
I_y	: 136383.62 mm ⁴
W_x	: 11638.6 mm ³
Profil boyu	: 1600mm

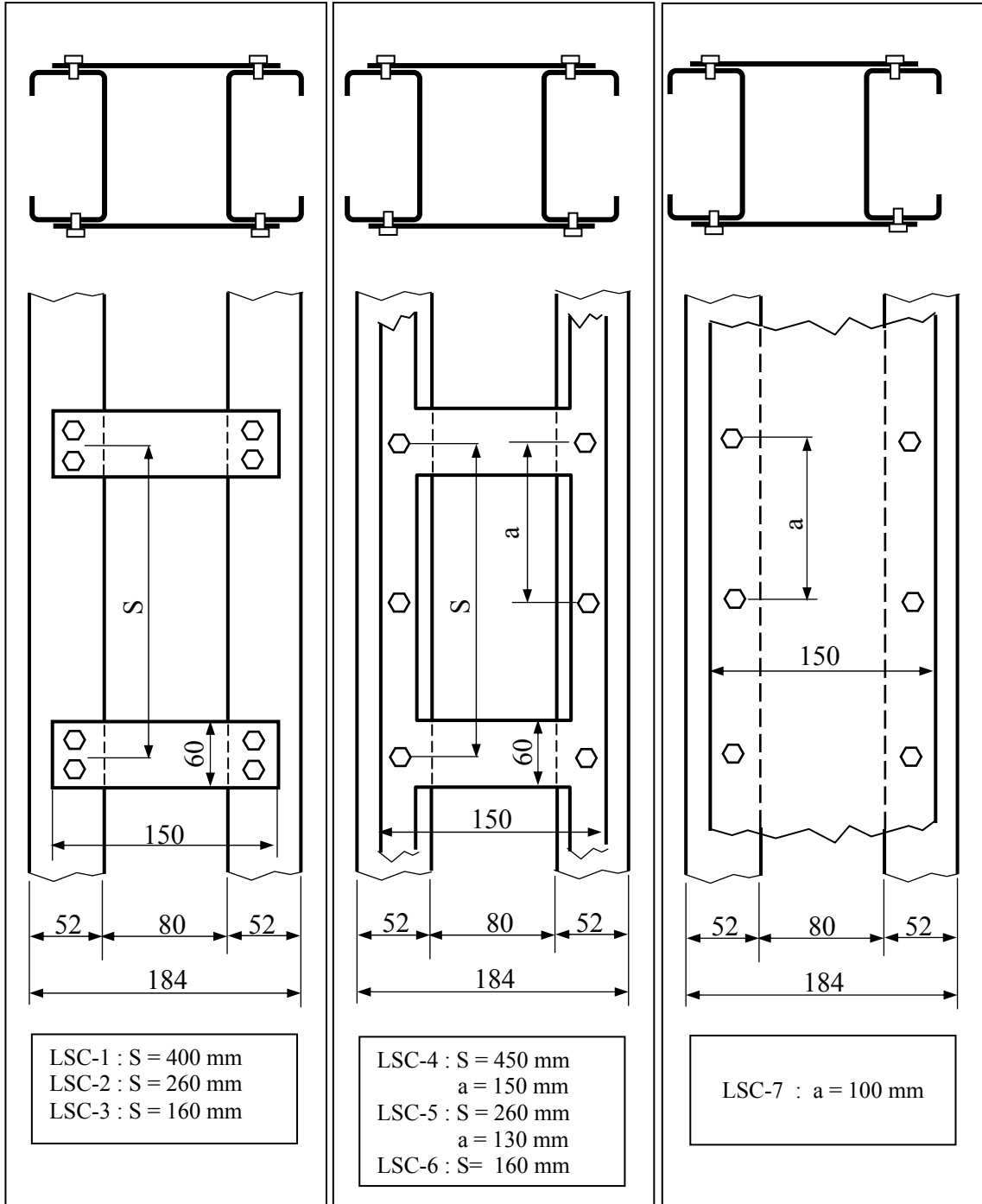
Şekil 57. Kolon üretiminde kullanılan profillerin kesiti

Deney kolonları değişken aralıklara sahip enleme levhalarıyla bağlı iki parçalı basınç çubuğu olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu kolonların ölçekli teknik resmi ölçüleri ile birlikte Şekil 58’de verilmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere, üç farklı enleme levhası aralığı kullanılmış (LSC-1, LSC-2 ve LSC-3), aynı kolonlar bütün sacdan kesilmek suretiyle elde edilen tek parça enleme levhalı sistem olarak tekrarlanmıştır (LSC-4, LSC-5 ve LSC-6). Bu kolonlara ek olarak iki profilin bütün levhalarla iki yüzden kapatılması ile elde edilen bir kolon daha (LSC-7) üretilmiştir.



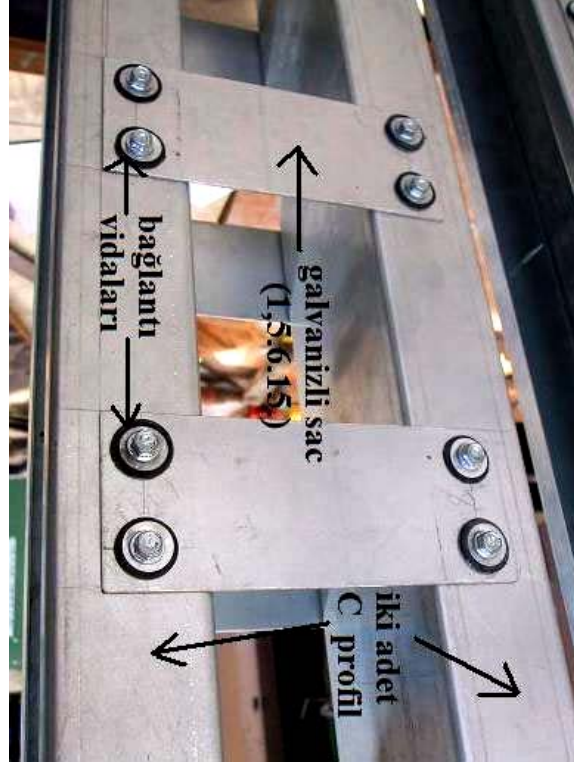
Şekil 58. Deney kolonlarının ölçüleri

İki parçalı basınç çubuğu olarak üretilen bu kolonlardan LSC-1, LSC-2 ve LSC-3 enleme levhalı, LSC-4, LSC-5 ve LSC-6 bütün levhadan kesilen tek parça enleme levhalı, LSC-7 ise bütün levhalıdır. Kolonların kesitleri ve önden görünüşleri aşağıdaki Şekil 59'da verilmektedir.



Şekil 59. Deneysel kolonların kesitleri ve montaj ölçüleri

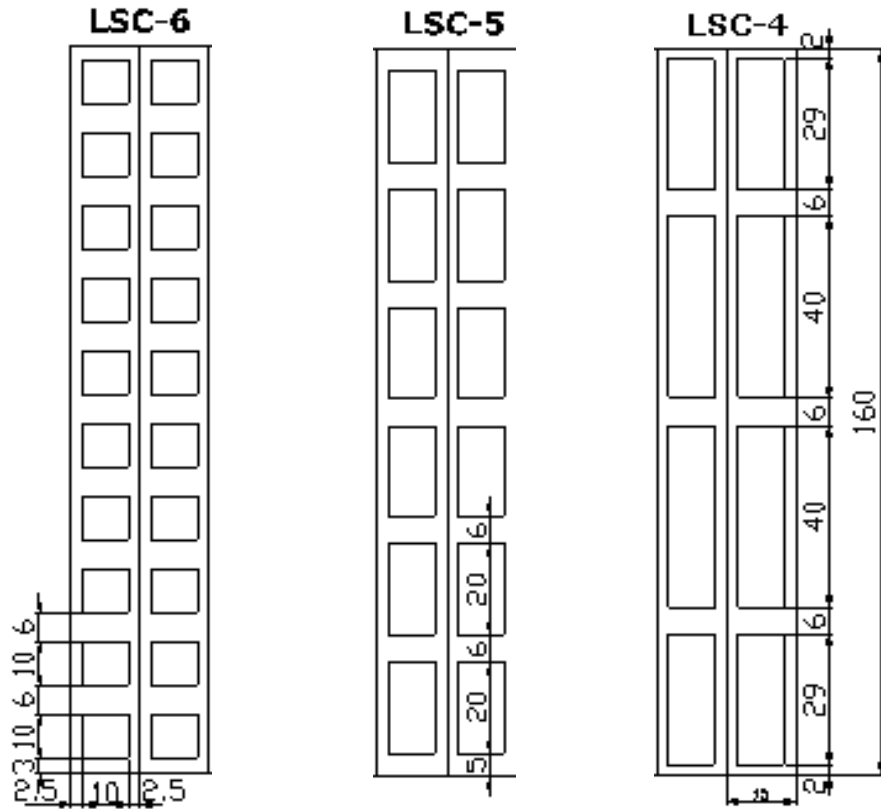
Çok parçalı kolonu oluşturmak amacıyla kullanılan galvanizli sac lamaların, boşluklu bağlantı levhalarının ve bağlantı vidalarının birleşim görünüşleri ve detayları Şekil 60-61-62’de gösterilmiştir



Şekil 60. Bağlantı lamalarının ve vidaların gösterimi



Şekil 61. Deney numunelerinden bazıları



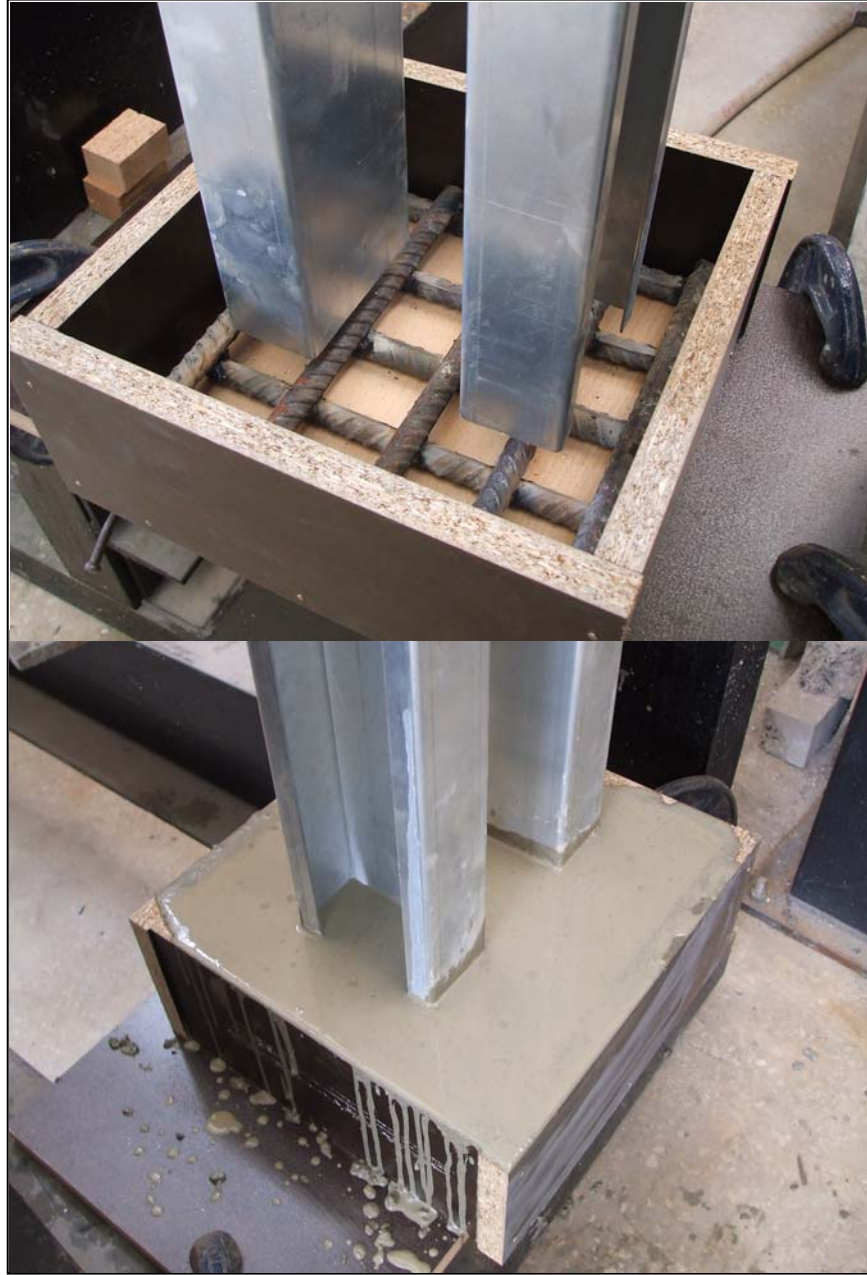
Şekil 62. Boşluklu bağlantı levhalarının gösterimi ve detayları

2.3. Kolonların Deneye Hazırlanması

Üretilen hafif çelik kolonların merkezi yükleme deneyine tabi tutulabilmelerini sağlamak amacıyla bir dizi işlem gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kolonların her iki ucuna, tabanı 250 mm x 250 mm ve yüksekliği 100 mm olan betonarme başlıklar 50 mm gömme olarak dökülmüştür. Dolayısıyla başlangıçta 160 cm olan çelik kolon boyları 150 cm'ye düşerken, başlıklarıyla beraber toplam kolon boyu 170 cm olmuştur. Başlıklar için hazırlanan kalıp ve başlıkların dökülmesi için kurulan düzenek Şekil 63'de, başlık dökümünden görüntümler ve donatı Şekil 64'de verilmektedir. Betonarme başlıklarda 14 mm çapında nervürlü donatı ve bileşimi Tablo 3'de verilen yüksek dozajlı harç kullanılmıştır. Başlıkların düşeyliğini sağlamak için kolonlar şaküle alındıktan sonra önce birer uçları, 3 gün sonra kalıp alınarak ters çevrildikten sonra yine aynı işlemlerle diğer uçları başlıklanmıştır. Bu şekilde merkezi yükleme deneyine hazırlanan kolonların deney öncesi toplu görünümü Şekil 65'de verilmektedir.



Şekil 63. Kolon başlıklarının yapılması için kurulan düzenek



Şekil 64. Başlık dökümünden görüntü ve donatı

Tablo 3. Kolon başlıklarında kullanılan beton (harç) bileşimi

Su (gr)	1400
Çimento (gr)	3000
Kum (gr)	12000
Silis Dumanı (gr)	250
Akışkanlaştırıcı (gr)	200



Şekil 65. Çok parçalı hafif çelik kolonların deney öncesi görünümüleri

2.4. Kolonların Merkezi Yükleme Altındaki Davranışları

2.4.1. Deney Düzeneği ve Deneyleerin Gerçekleştirilmesi

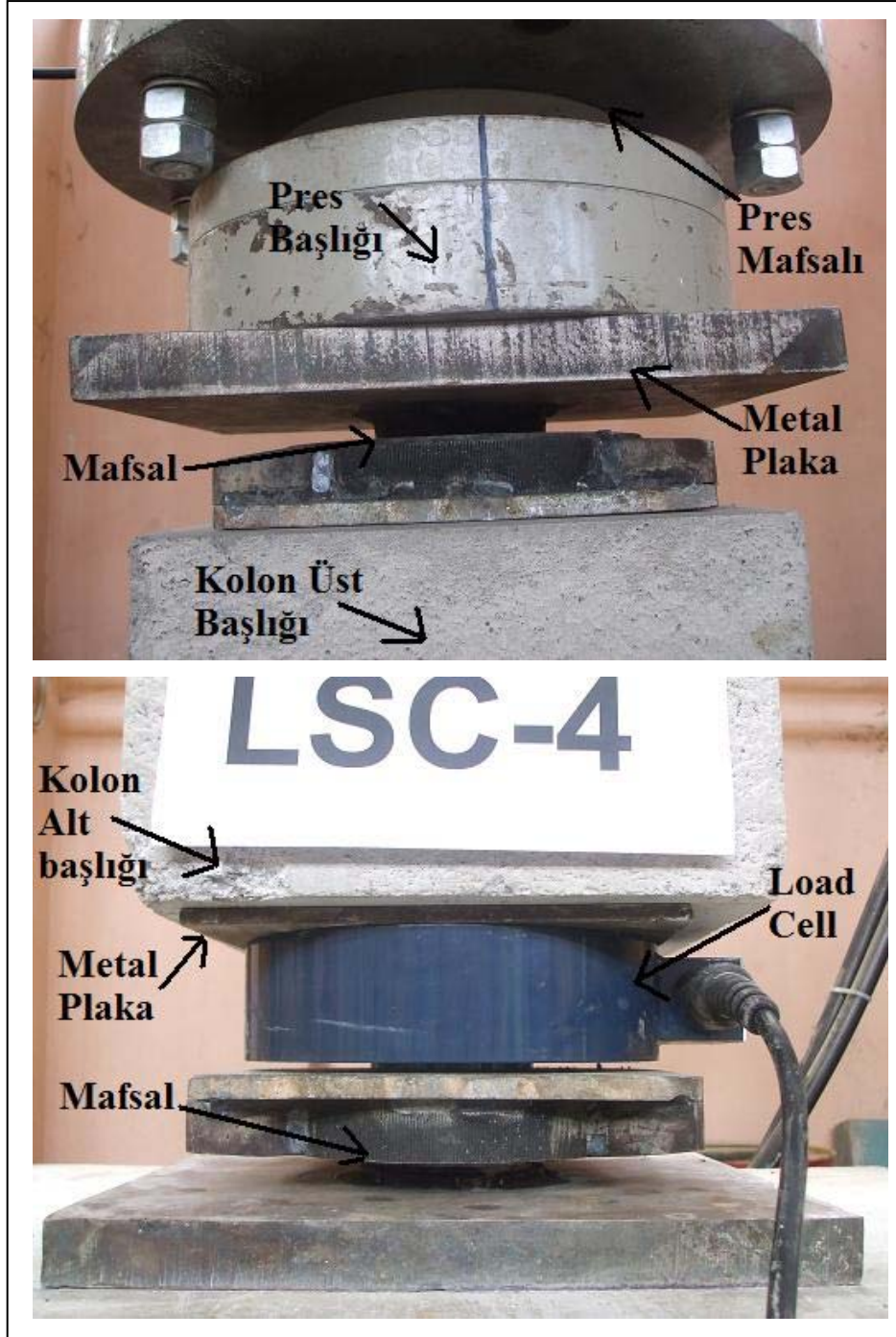
Soğuk şekillendirilmiş hafif profiller kullanılarak üretilen çok parçalı çelik kolonlar üzerinde merkezi yükleme deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için KTÜ Yapı Laboratuvarında mevcut 6000 kN kapasiteli yükleme sistemi [41] kullanılmıştır (Şekil 66).



Şekil 66. Yükleme sistemi (6000 kN kapasiteli)

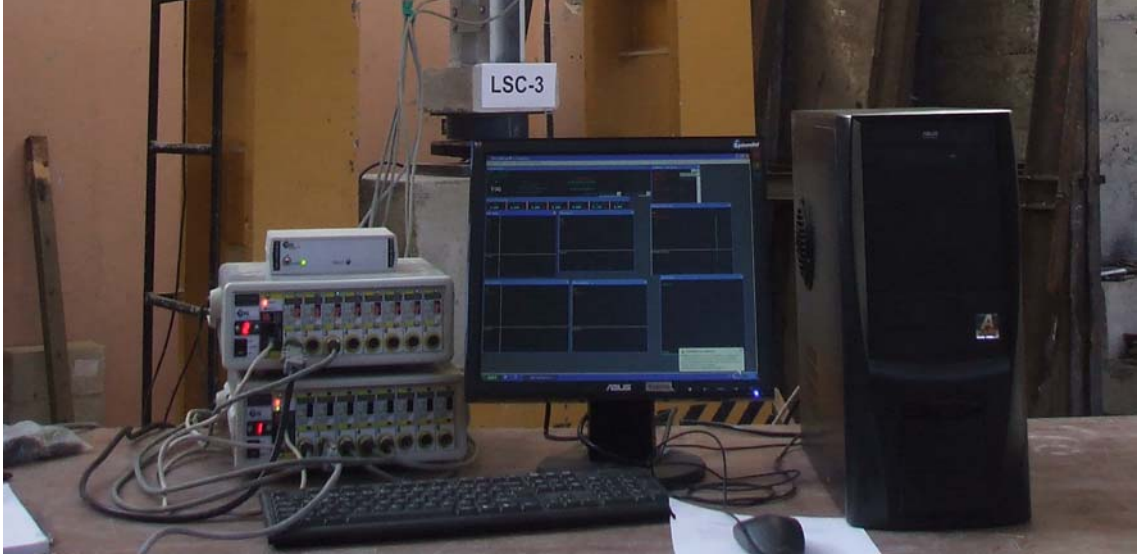
Yükleme sisteminin kapasitesinin çok yüksek oluşu ve deney elemanlarının bu kapasitenin çok altındaki yüklerde kırılacağı tahmin edildiğinden, hassas ölçüm için, sistemde mevcut elektronik yük-ölçer (Load-cell) yerine deneylerde laboratuvarında mevcut

500 kN kapasiteli load-cell kullanılmıştır. Kolonların merkezi yükleme sırasında planda her iki yönde rahatça dnebilmelerini sağlayabilmek amacıyla alt ve üst uçlarına, laboratuarda mevcut parçalardan imal edilen, birer küresel mafsallı mesnet yerleştirilmiştir. Bu mesnetlerin yakın görünümleri aşağıdaki Şekil 67’de verilmektedir.



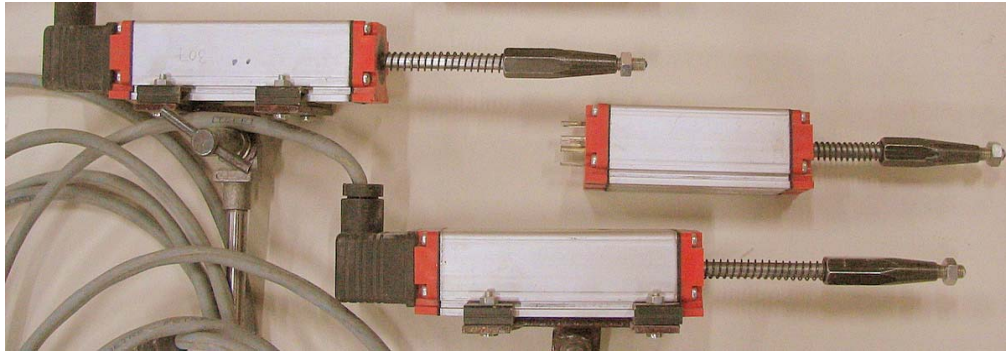
Şekil 67. Kolon uçlarına yerleştirilen mafsallı mesnetler

Çok parçalı hafif çelik deney kolonlarının merkezi yükleme altındaki davranışlarını incelemek amacıyla gerçekleştirilen deneylerde ölçüm sistemi olarak TDG-CoDA marka, saniyede 8 veri kaydedebilen, 32 kanallı veri toplama sistemi (data-logger) kullanılmıştır (Şekil 68).

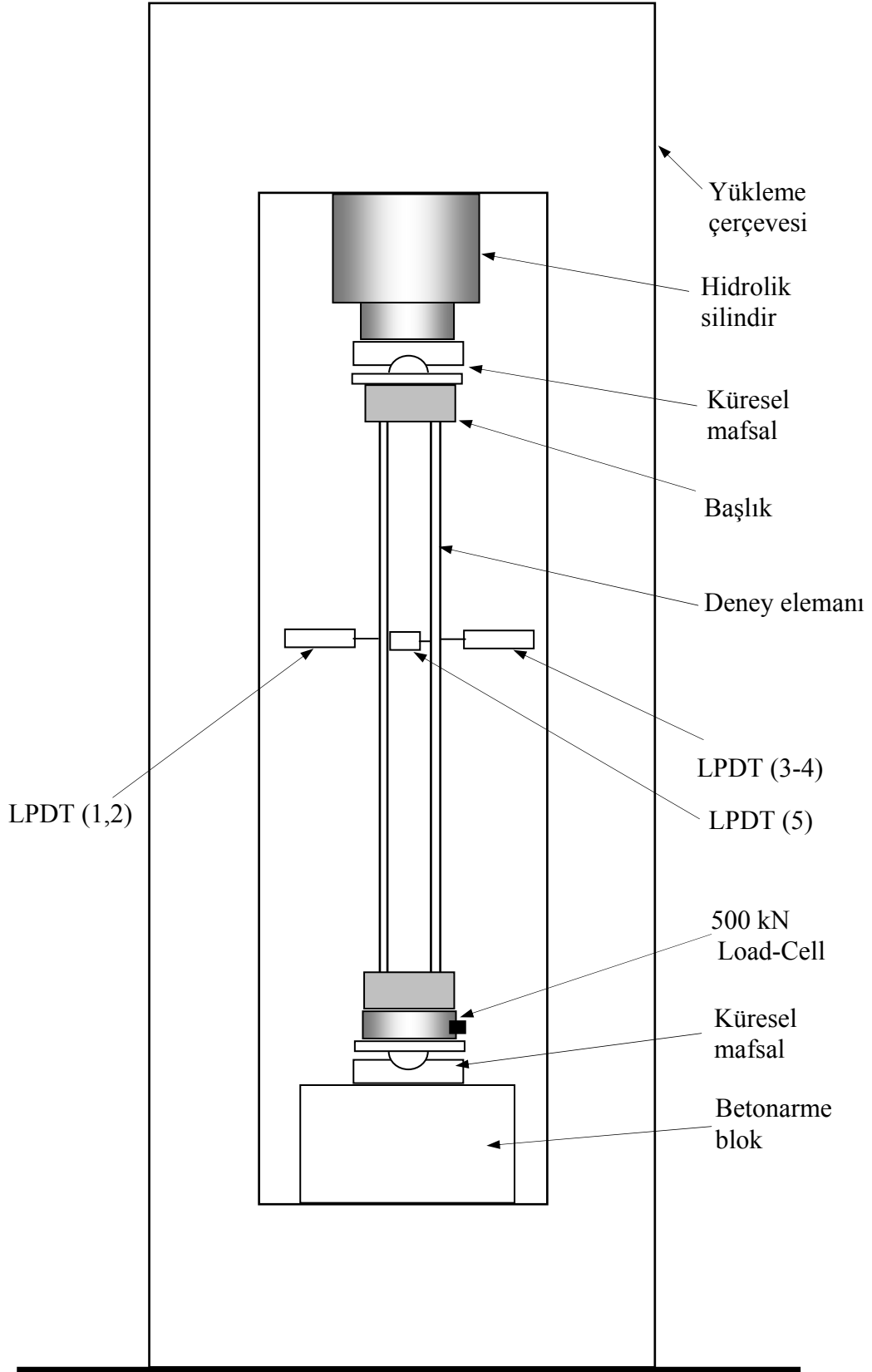


Şekil 68. Çok kanallı veri kayıt sistemi

Merkezi yükleme için kolonlar, alt ve üst uçlarında küresel mafsallı mesnetler olacak şekilde yükleme sistemine yerleştirilmiştir. Bu yerleştirmede kolonların her iki yönde de düşey olmalarına azami dikkat gösterilmiştir. Deneylerde kolonların ortalarına dörder adet, yine aynı hizada profilin iki kolu arasında lineer potansiyometrik deplasman transduserleri (LPDT) yerleştirilmiştir (Şekil 69). Deneysel sisteminin şematik görünümü Şekil 70’de ve LPDT lerin bir kolona yerleştirilmiş hali ise Şekil 71’de görülmektedir.



Şekil 69. Deneylerde kullanılan LPDT’lerden bir görünüm

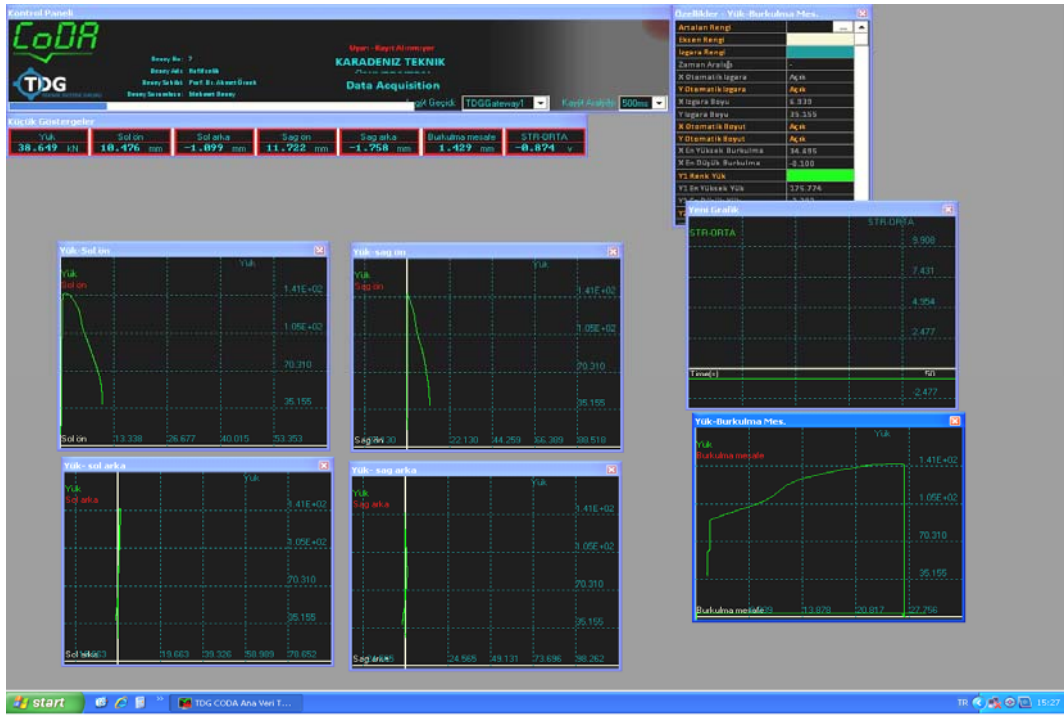


Şekil 70. Deney sisteminin şematik görünümü

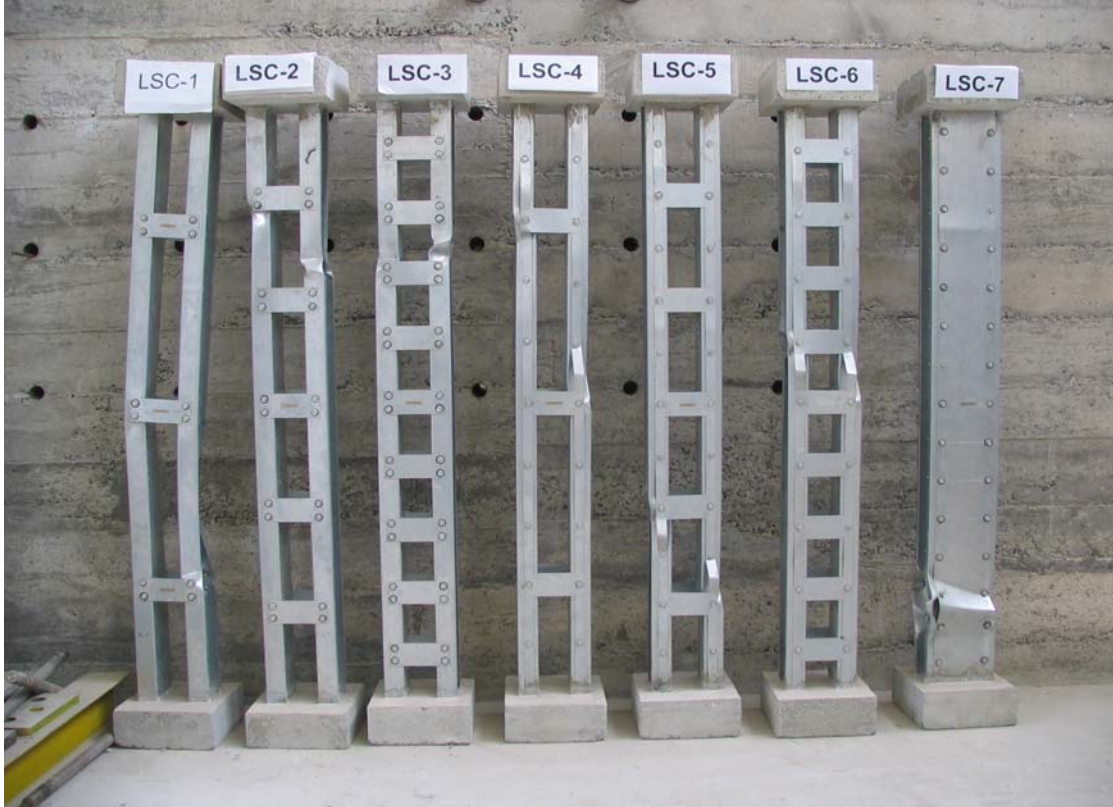


Şekil 71. LPDT'lerin deney kolonuna yerleşimi

Ölçüm sisteminin yerleştirilmesi ve bilgisayara tanıtılmasının ardından kolon elemanların yüklenmesi, elektrik motorlu ve dijital kontrollü hidrolik yükleme sistemi aracılığı ile sabit hızda ve hiç durdurulmadan gerçekleştirilmiş ve oluşan yük ve yer değiştirme değerleri elektronik ortamda kayıt altına alınmıştır. Deneyler sırasında veri toplama sisteminin ekranına ait bir görünüm Şekil 72'de, kolonların deney sonrası toplu görüntüleri ise Şekil 73' de verilmektedir.



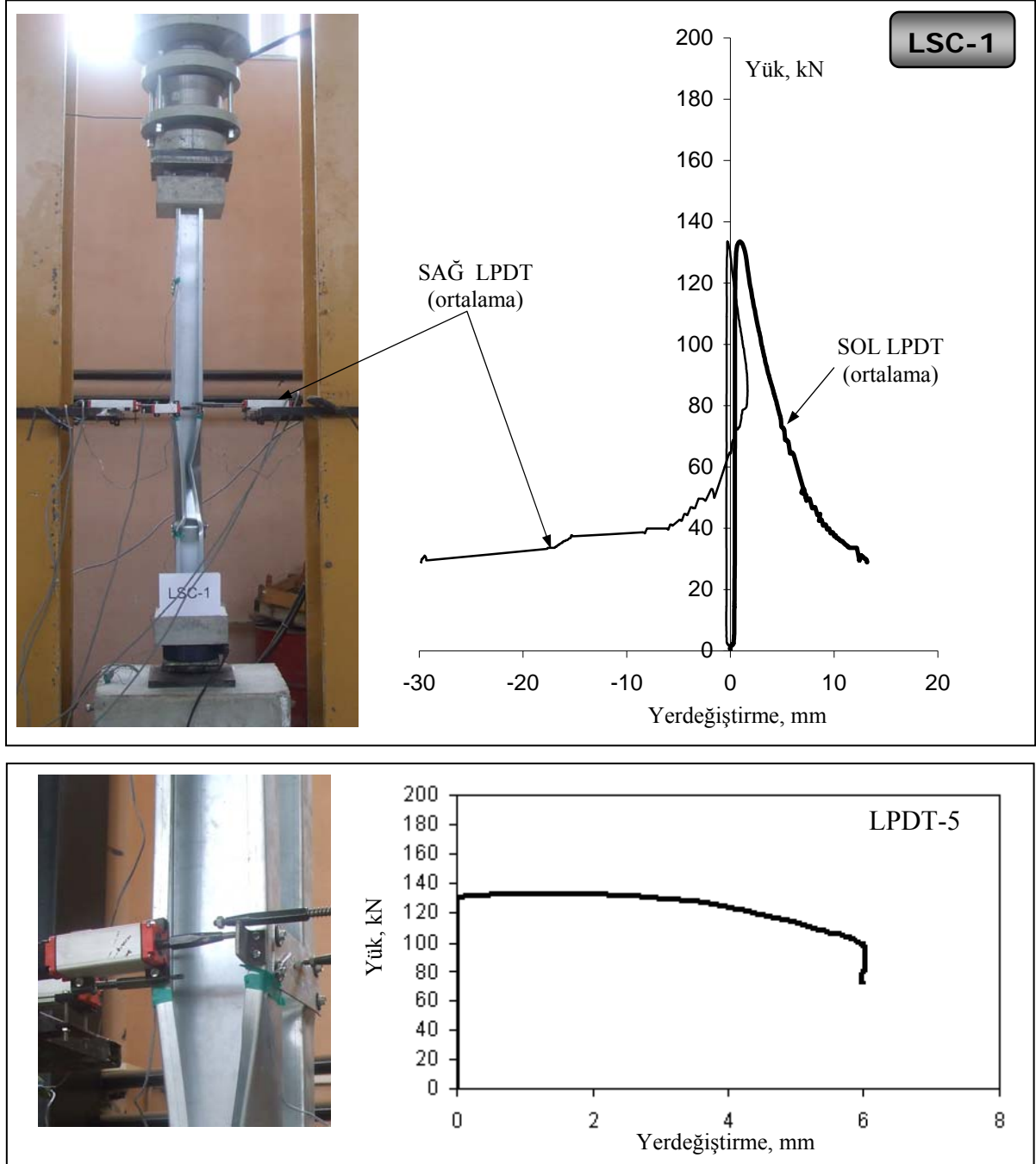
Şekil 72. Veri toplama sisteminin deney sırasındaki ekranı



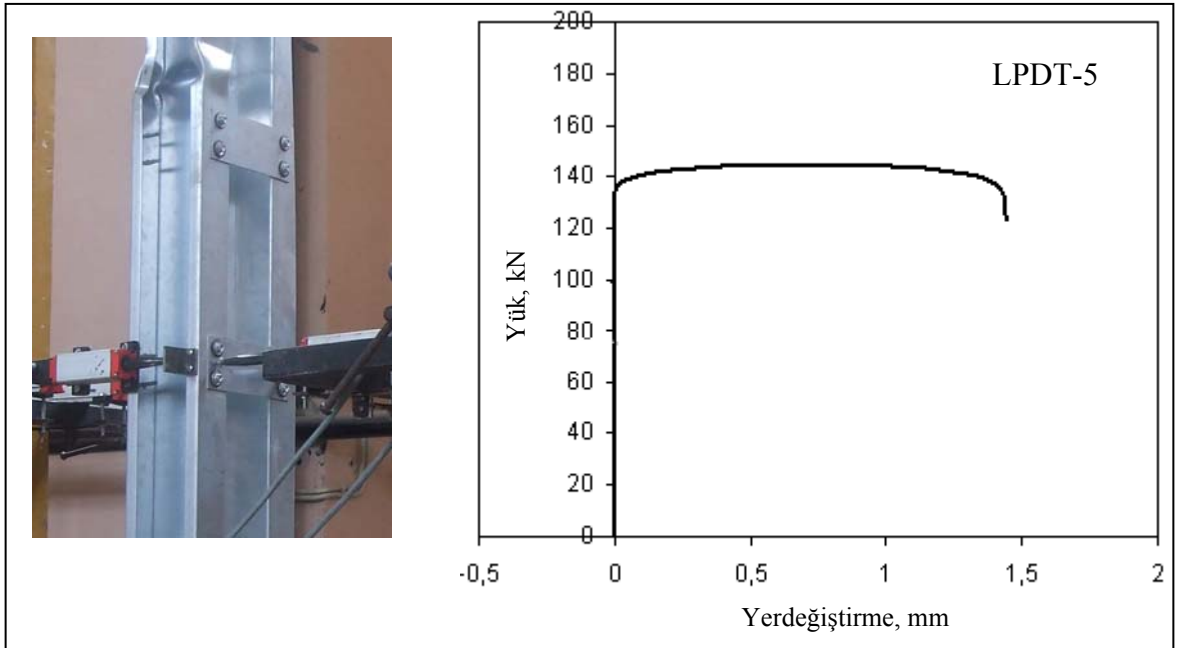
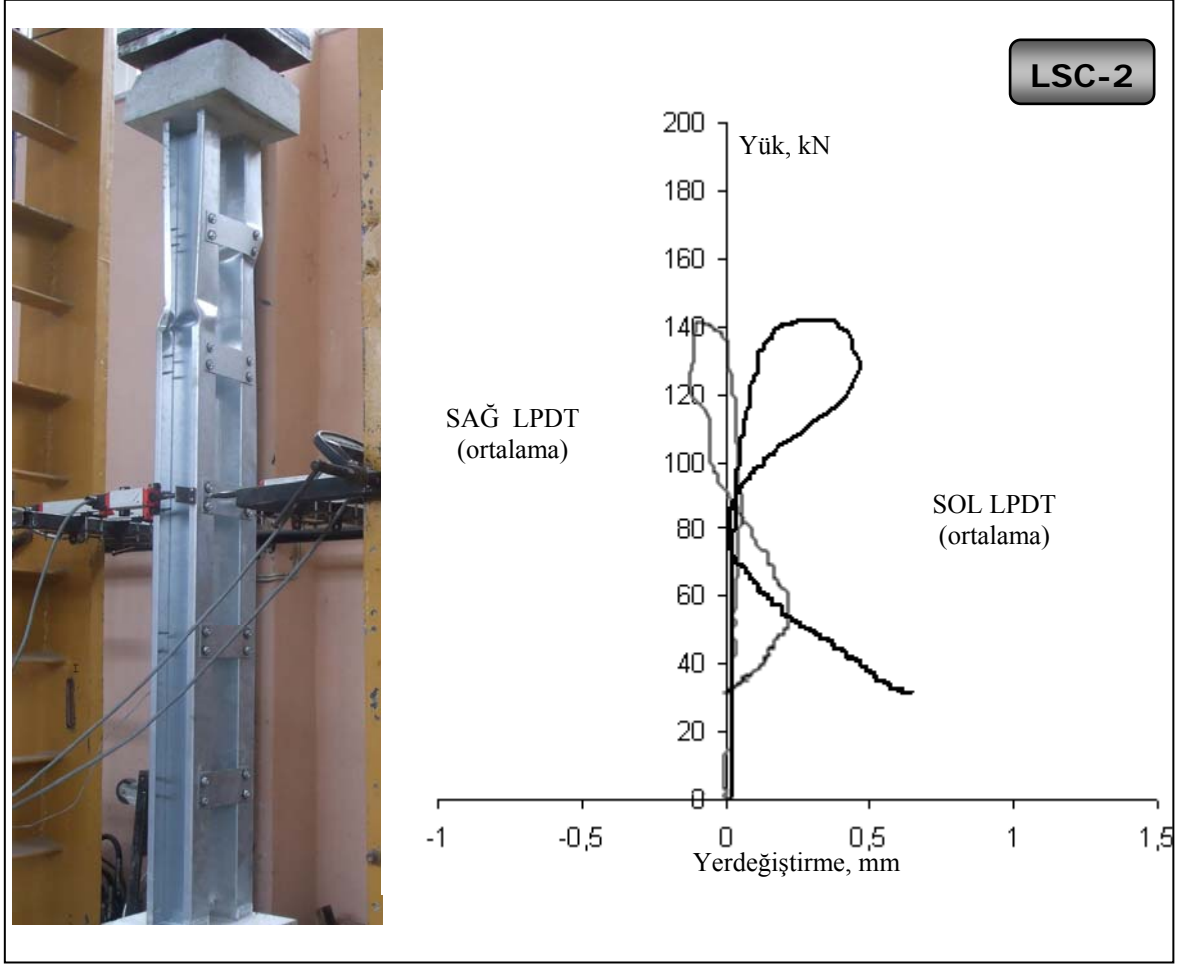
Şekil 73. Kolonların deneylerden sonraki görünüşleri

2.5. Bulgular

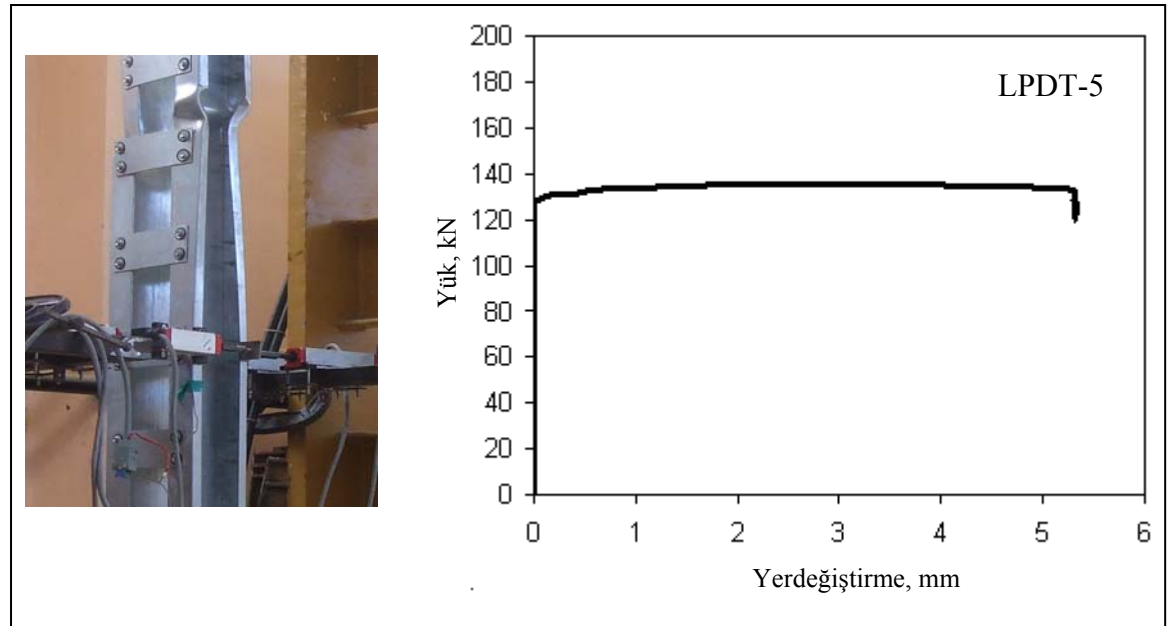
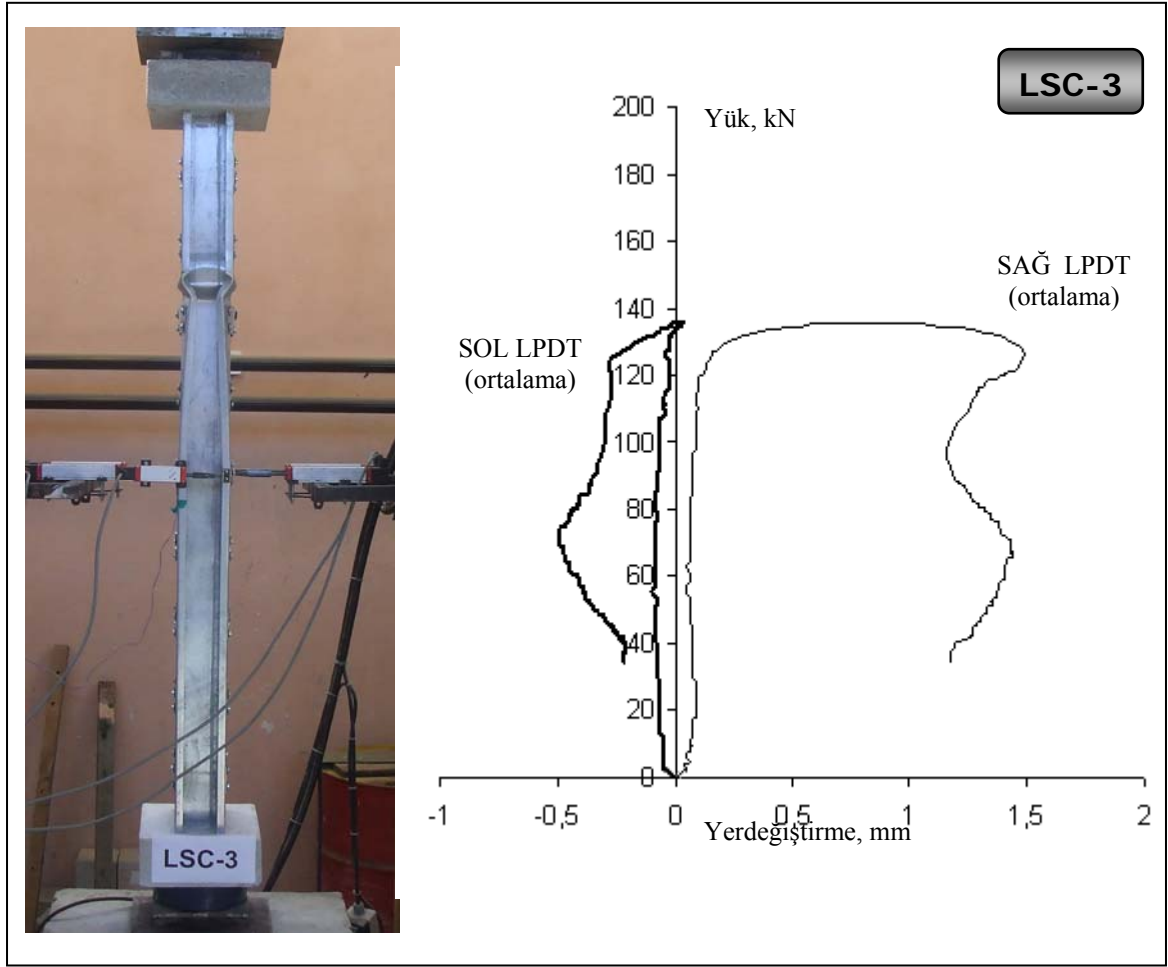
Çok parçalı hafif çelik kolonların merkezi yükleme altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneylerden elde edilen yük – yer değiştirme eğrileri her bir kolon için, kolonların deney sonrası görünümüyle birlikte aşağıda sırasıyla verilmektedir (bkz Şekiller 74-75-76-77-78-79-80).



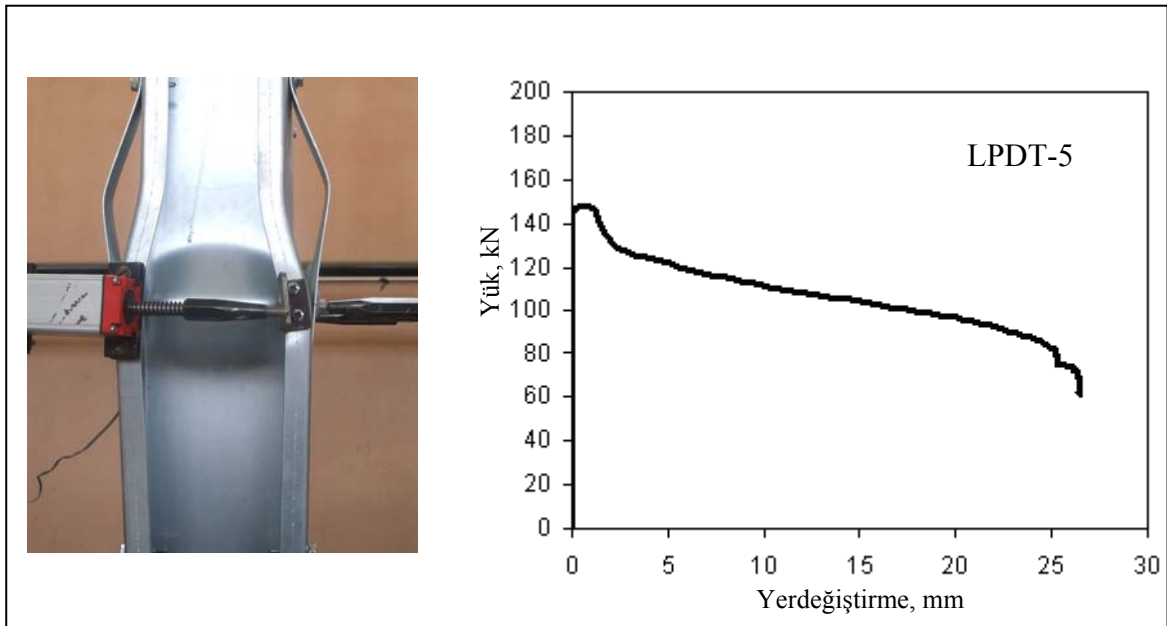
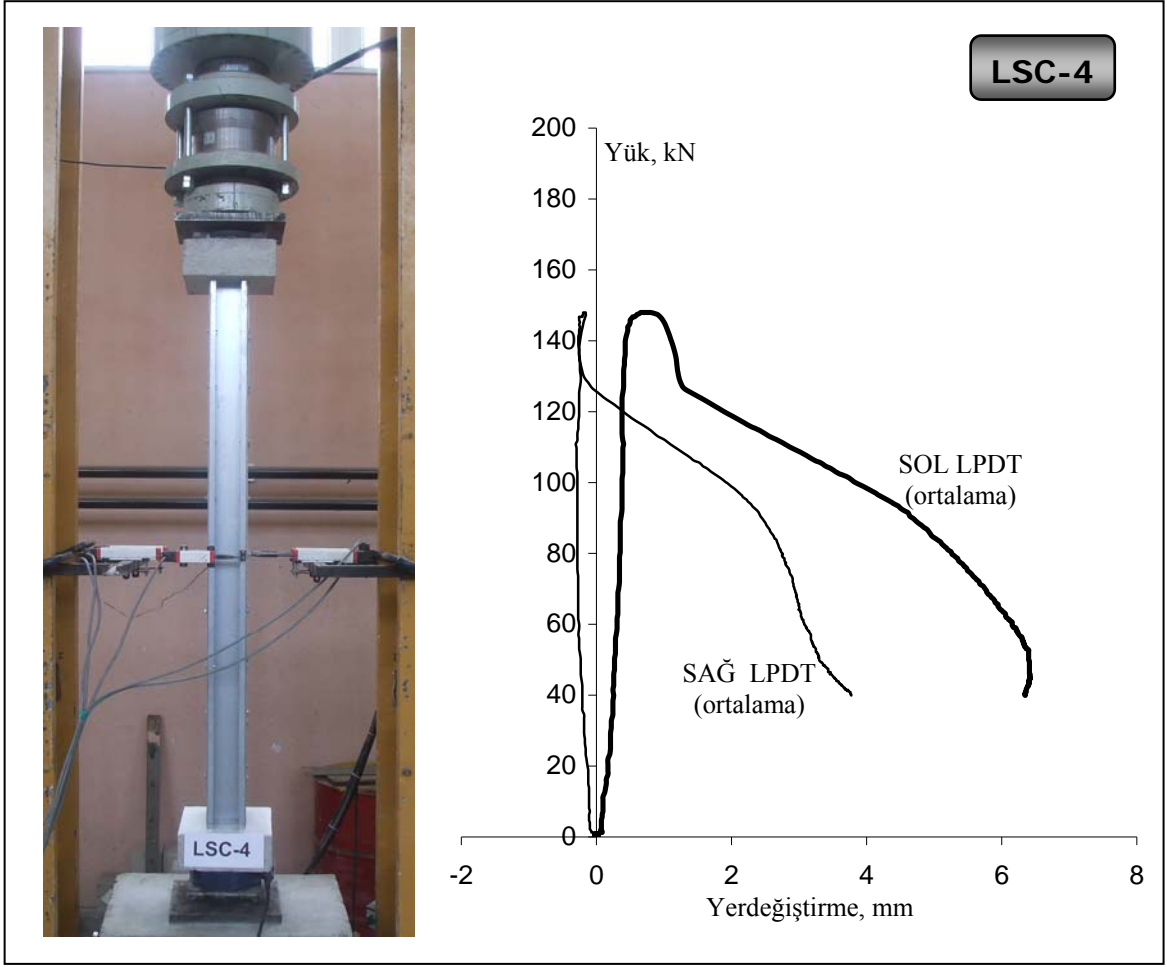
Şekil 74. LSC-1 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri



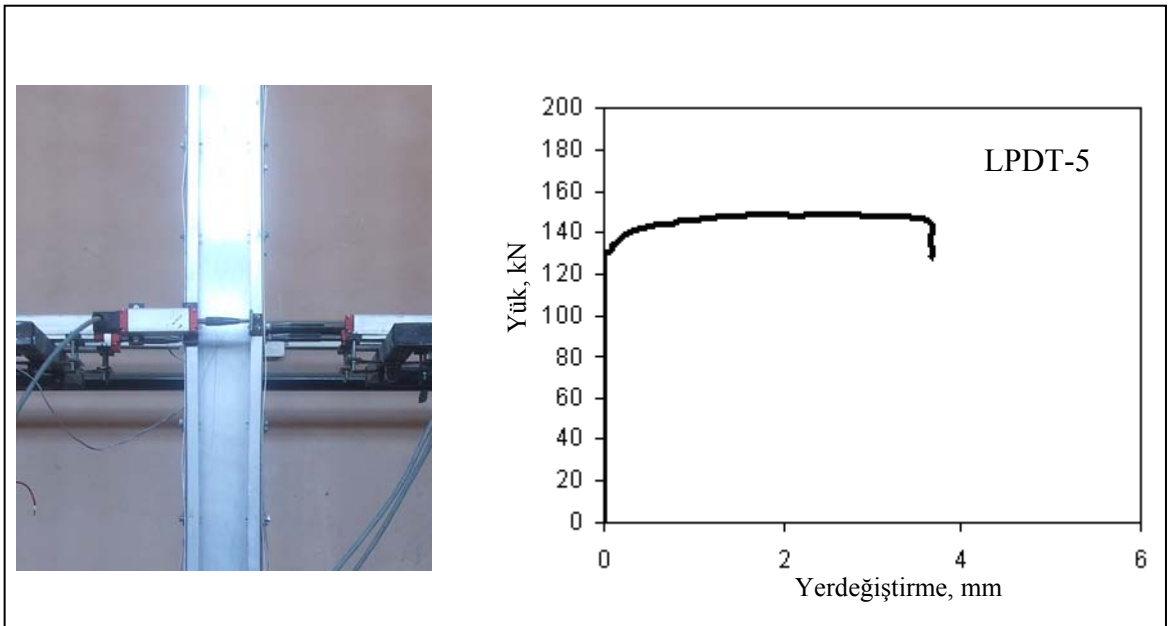
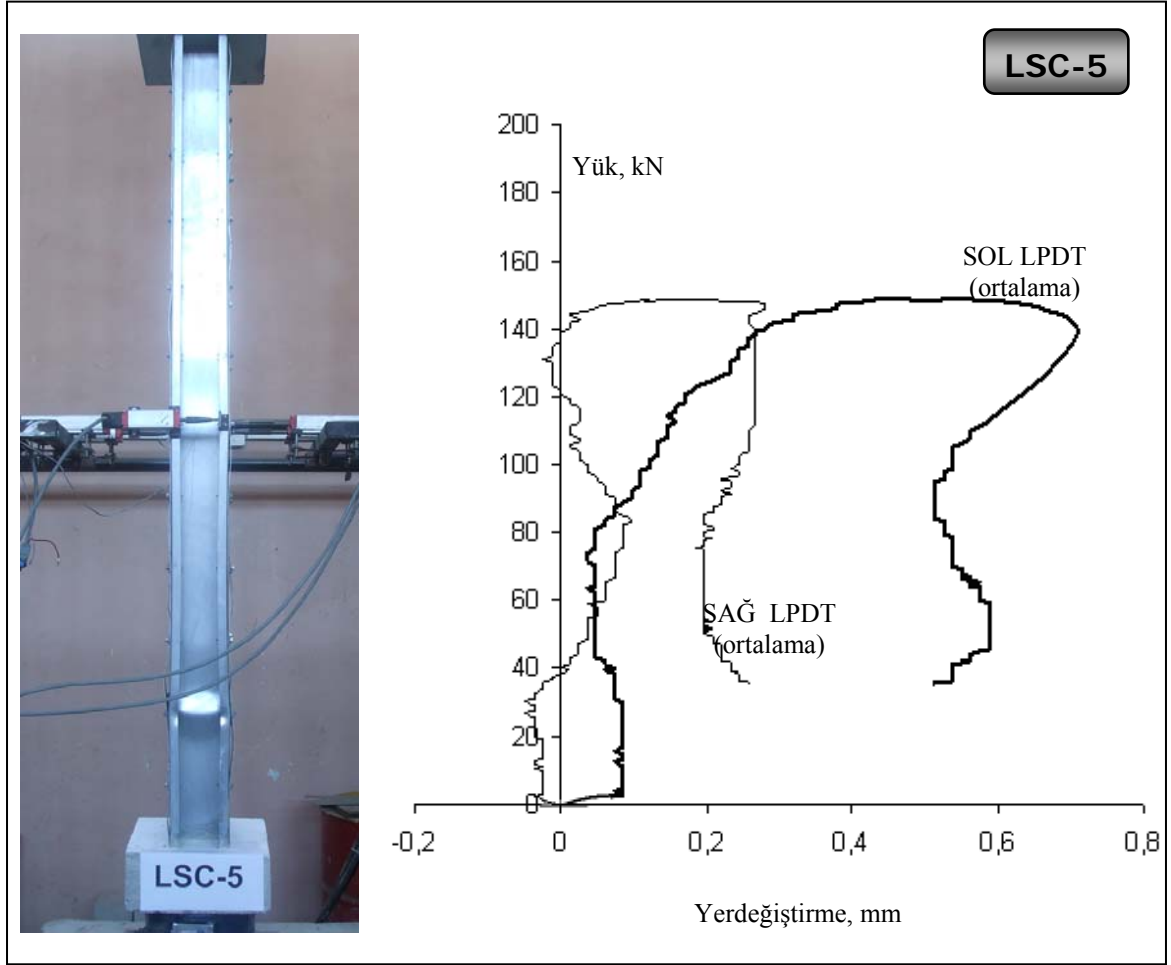
Şekil 75. LSC-2 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri



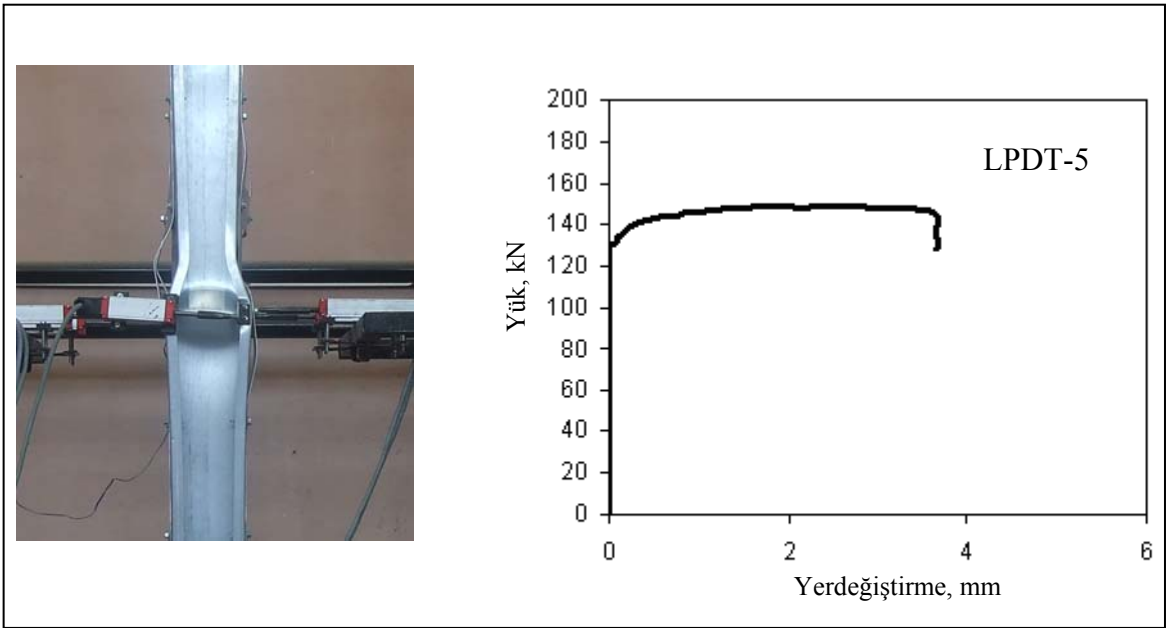
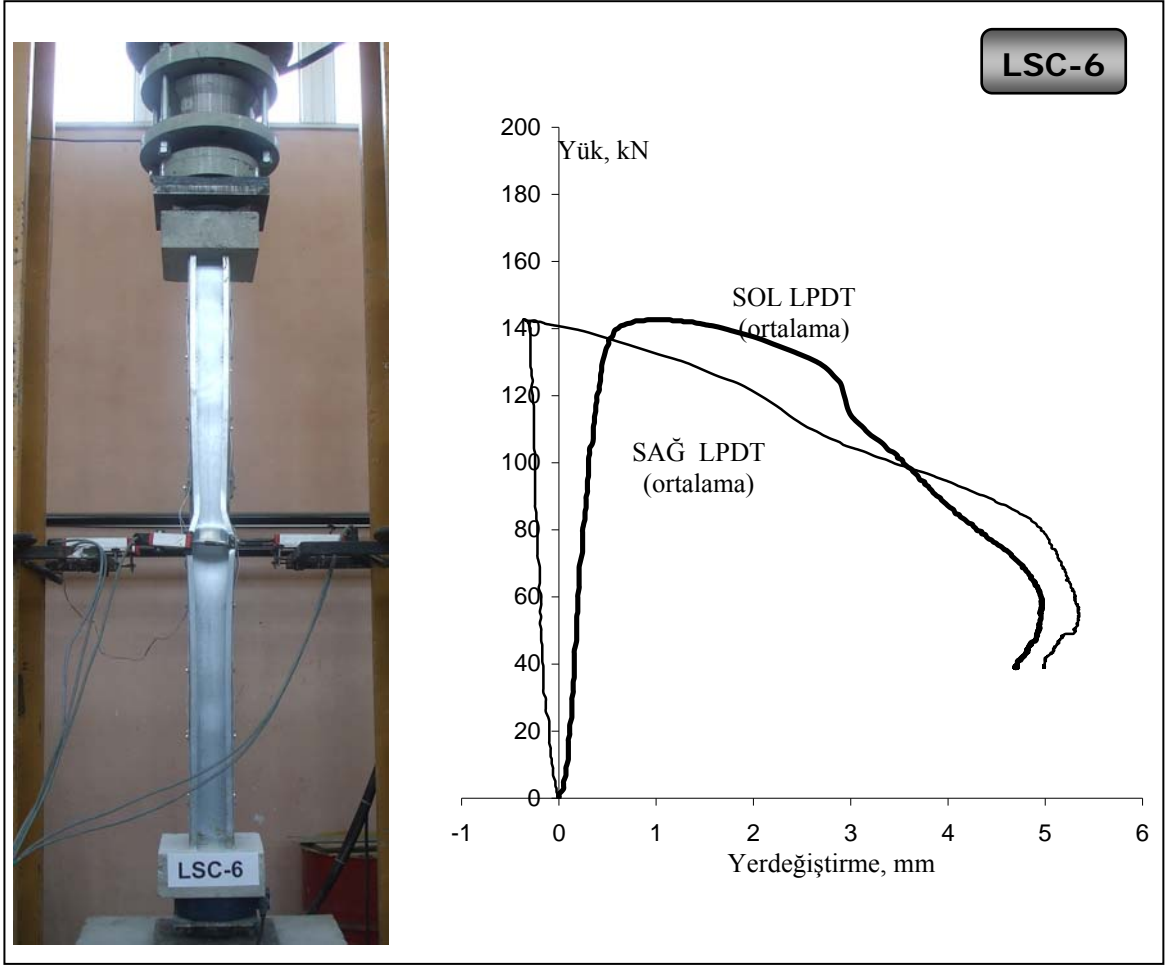
Şekil 76. LSC-3 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri



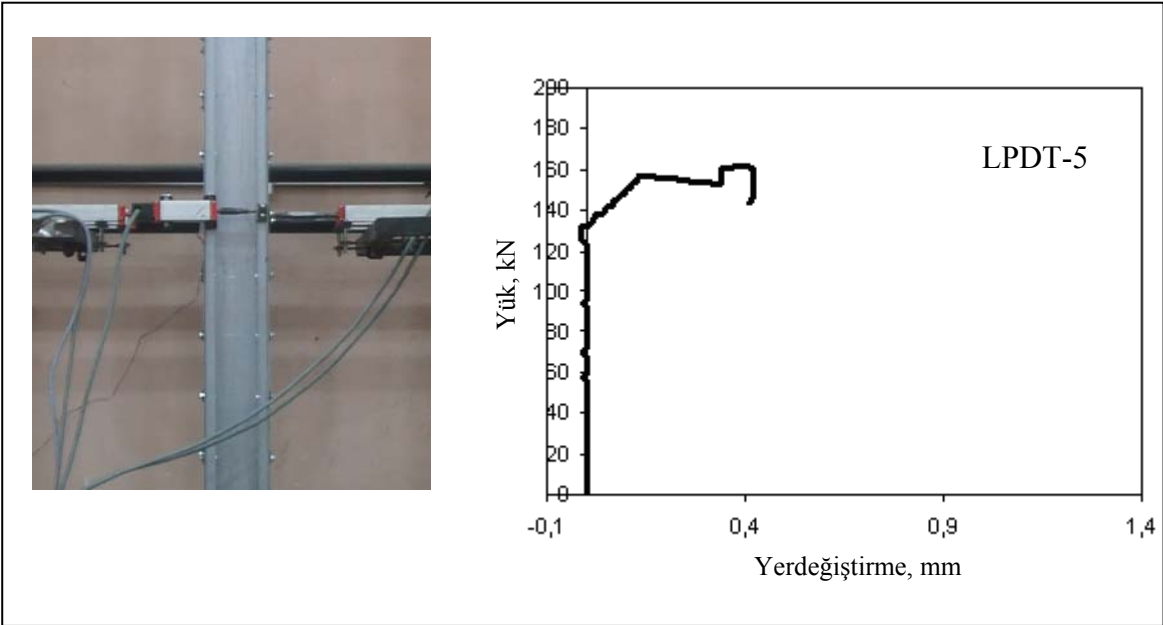
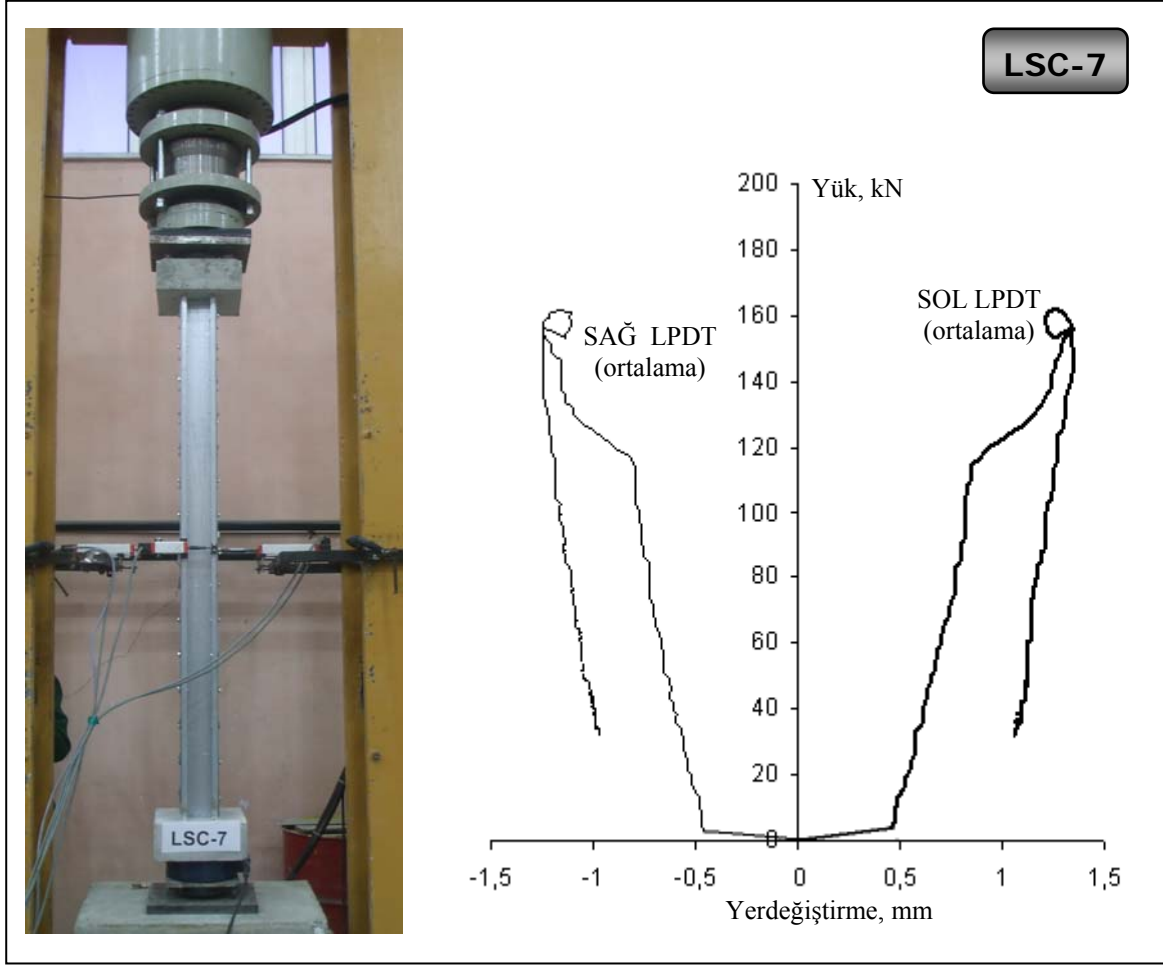
Şekil 77. LSC-4 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri



Şekil 78. LSC-5 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri



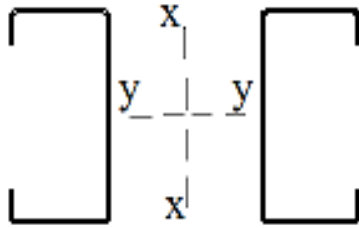
Şekil 79. LSC-6 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri



Şekil 80. LSC-7 kolonunun yük-yerdeğiştirme eğrileri

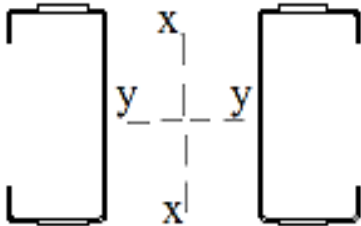
2.5.1. TS-11372 [1]'ye Göre Hesap

Bu başlık altında söz konusu deney kolonlarının emniyetli taşıma kapasitelerinin TS 11372 [1]'de verilen yöntemle hesaplamaları verilmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi, bu standarda, malzeme kalınlığı az olan (ince cidarlı) elemanlarda yükleme sonucunda meydana gelen yerel burkulmalar dolayısıyla, kolonun deneysel yük taşıma kapasitesinin teorik sonuçlarla karşılaştırılması ve yerel burkulma etkisini de göz önünde tutan hesap anlayışları kullanılması ihtiyacı sebebiyle gerek duyulmuştur. Bu sebeple TS 11372 [1]'de verilen ve Madde 1.6'da özetlenen hesap adımları elde ettiğimiz sonuçların değerlendirilmesi açısından uygun bulunmuştur. Hesaplamalarda gerekli olan atalet yarı çapı ve alan, Auto-Cad programı yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 81'de kolon numunelerinin plan üzerinde her iki eksen için de atalet momentleri alanları ve atalet yarıçapları gösterilmiştir.



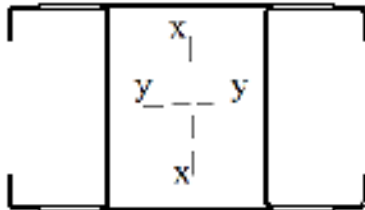
LSC1 - LSC2 - LSC3

$$\begin{aligned} I_x &= 1210412.2510 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 2634825.9563 \text{ mm}^4 \\ \text{Alan} &= 693.63 \text{ mm}^2 \\ R_x &= 61.63 \text{ mm} \end{aligned}$$



LSC4 - LSC5 - LSC6

$$\begin{aligned} I_x &= 1627824.7510 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 3228575.9563 \text{ mm}^4 \\ \text{Alan} &= 843.63 \text{ mm}^2 \\ R_x &= 61.86 \text{ mm} \end{aligned}$$



LSC7

$$\begin{aligned} I_x &= 2462483.7793 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 3478575.3313 \text{ mm}^4 \\ \text{Alan} &= 1143.64 \text{ mm}^2 \\ R_x &= 55.15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Şekil 81. Kolon kesitlerinin atalet momentleri, atalet yarıçapları ve alanları

Etkin genişlik, etkin alan ve Q faktörü için

$$\frac{b_o}{t} \leq 0,095 \times \sqrt{\frac{E}{\sigma_a}} \text{ için } b_e = b_o$$

$$\sigma_{ebm} = 0,6\sigma_a$$

$$\frac{44,92}{1,5} \leq 0,95 \times \sqrt{\frac{21000}{14,22}}$$

$$29,94 \leq 36,50 \Rightarrow b_e = b_o = 44,92 \text{ mm}$$

$$A_{re} = 329,76 \text{ mm}^2$$

$$A_r = 346,81 \text{ mm}^2$$

$$Q = \frac{A_r}{A_{re}}$$

$$Q = \frac{346,81}{329,76} = 1,05$$

LSC – 1, LSC – 2 ve LSC – 3 için hesap

$$K = 1 \quad L = 1500 \text{ mm} \quad r = 61,63 \text{ mm}$$

$$\lambda_{kr} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 21000}{23,7}} = 132,18$$

$$\frac{K \times L}{r} < \frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}}$$

$$\frac{1 \times 1500}{61,63} < \frac{132,18}{1,05}$$

$$24,33 < 129,411 \Rightarrow$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times Q \times \sigma_a}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times E} \times \left(\frac{K \times L}{r} \right)^2$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times 1,05 \times 23,7}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times 21000} \times \left(\frac{1 \times 1500}{61,63} \right)^2$$

$$\sigma_{obem} = 12,978 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{obem} = \frac{P}{A}$$

$$P = 12,978 \times 693,13$$

$$P = 9001,93 \text{ kg}$$

$$P = 9 \text{ ton}$$

LSC – 4, LSC – 5 ve LSC – 6 için hesap

$$K = 1 \quad L = 1500 \text{ mm} \quad r = 61,86 \text{ mm}$$

$$\lambda_{kr} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 21000}{23,7}} = 132,18$$

$$\frac{K \times L}{r} < \frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}}$$

$$\frac{1 \times 1500}{61,86} < \frac{132,18}{1,05}$$

$$24,24 < 129,411 \Rightarrow$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times Q \times \sigma_a}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times E} \times \left(\frac{K \times L}{r} \right)^2$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times 1,05 \times 23,7}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times 21000} \times \left(\frac{1 \times 1500}{61,86} \right)^2$$

$$\sigma_{obem} = 12,978 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{obem} = \frac{P}{A}$$

$$P = 12,978 \times 846,63$$

$$P = 10948,63 \text{ kg}$$

$$P = 10,948 \text{ ton}$$

LSC – 7 için hesap

$$K = 1 \quad L = 1500 \text{ mm} \quad r = 55,15 \text{ mm}$$

$$\lambda_{kr} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 21000}{23,7}} = 132,18$$

$$\frac{K \times L}{r} < \frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}}$$

$$\frac{1 \times 1500}{55,15} < \frac{132,18}{1,05}$$

$$27,19 < 129,411 \Rightarrow$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times Q \times \sigma_a}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times E} \times \left(\frac{K \times L}{r} \right)^2$$

$$\sigma_{obem} = \frac{12 \times 1,05 \times 23,7}{23} - \frac{3 \times (Q \times \sigma_a)^2}{23 \times \pi^2 \times 21000} \times \left(\frac{1 \times 1500}{55,15} \right)^2$$

$$\sigma_{obem} = 12,692 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{obem} = \frac{P}{A}$$

$$P = 12,692 \times 1143,64$$

$$P = 14515,07 \text{ kg}$$

$$P = 14,515 \text{ ton}$$

2.6. İrdeme

Deney kolonlarının, hesapları yukarıdaki şekilde TS 11372'ye göre yapılan ve deneylerden elde edilen kırılma yükleri aşağıdaki Tablo 4'de toplu olarak verilmektedir.

Tablo 4. Kolonların deneysel ve teorik kapasiteleri

KOLON	Deneysel kırılma yükü (kN)	TS 11372 'ye göre hesaplanan eksenel yük taşıma kapasitesi (kN)	% fark
LSC-1	133.54	90.00	48.4
LSC-2	144.23	90.00	60.3
LSC-3	135.74	90.00	50.8
LSC-4	148.00	109.50	35.1
LSC-5	148.63	109.50	35.7
LSC-6	142.66	109.50	30.2
LSC-7	161.51	145.20	11.12

Deney sonuçlarına göre, tekil enleme levhalı olan LSC-1, LSC-2 ve LSC-3 kolonlarının kırılma yükleri arasında önemli bir fark ortaya çıkmamış ve enleme levhası

aralığı değişiminin kolonların merkezi yük taşıma kapasitesine etkisi gözlemlenmemiştir. Zira ince cidarlı elemanlardan üretilmiş olan sözkonusu kolonlarda, tekil çubuk burkulması olarak tanımlanan olaya benzer bir şekilde, kırılma enleme levhaları arasında kalan kısımlarda C profillerinin yerel (lokal) burkulmaya uğraması ile başlamıştır. Yerel burkulma bir kolonda bir tek seviyede her iki profilde ya da farklı seviyelerde birden fazla bölgede ortaya çıkmıştır. Yerel burkulma ile başlayan göçme mekanizması nedeniyle, kolonların hiçbirinde genel burkulma davranışı oluşmamıştır.

Benzer kırılma davranışı bütünleşik levhalı LSC-4, LSC-5 ve LSC-6 kolonlarında da mevcuttur. Diğer bir deyişle, bu kolonlarda da göçme mekanizmasına lokal burkulma davranışı hakimdir. Tekil enleme levhalı kolonlarda kırılma yüklerinin birbirine çok yakın oluşu nedeniyle bu kolonların sadece çift profilli enkesit alanının etkin olduğu söylenebilir.

Benzer şekilde, bütünleşik levhalı kolonlarda da, mevcut enkesite 25 mm x 1.5 mm lik dört adet levha şeridi alanının eklenmesi ile artan toplam enkesit alanı devreye girmektedir. Ancak deney sonuçlarına göre, bütünleşik levhalı olan LSC-4, LSC-5 ve LSC-6 kolonları, LSC-1, LSC-2 ve LSC-3 kolonlarından %22 daha fazla enkesit alanına sahiptirler ve ortalama olarak %7 daha fazla düşey yük taşımışlardır. Aynı yük taşıma oranı TS 11372 []'ye göre yapılan hesaplarda ise, beklendiği gibi, %22 olarak elde edilmiştir.

Deneysel, diğer bir deyişle “gerçek” kırılma yükleri, teorik kırılma yüklerinin LSC-1, LSC-2 ve LSC-3 kolonları için ortalama 1.5 katı, LSC-4, LSC-5 ve LSC-6 kolonları için ise ortalama 1.35 katıdır. Bu da teorik hesaplarda kullanılan emniyet katsayısının 1.5 civarında olduğu anlamına gelmektedir. Sadece LSC-7 kolonunda deney yükü / teorik yük oranı 1.11 olarak elde edilmiştir. Diğer kolon gruplarındakilere göre düşük olan bu değerin enkesit alanının artışından ve daha stabil bir eleman elde edilmişinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Enkesit alanı artışı ile yük taşıma kapasitelerinin artışı arasında benzerlik olmayışı, bütünleşik levhalı kolonlarda yükleme sırasında C profili ile levha şeridinin her noktada yapışık olmayışı ve dolayısıyla belli bir yük değerinden sonra bağımsız çalıştıkları için ayrı ayrı burkulmaya uğramaları ile açıklanabilir (Şekil 82).



Şekil 82. Bütünleşik levhalı kolonlarda levha düşey şeridinde burkulmalar

Kolonların deney sonunda yerel burkulmaya maruz kalarak taşıma güçlerini kaybettikleri, yerel burkulma olayının her kolonda benzer şekilde ama farklı bölgelerde meydana geldiği yukarıda açıklanmıştı. Dolayısıyla profil yanaklarının (flanşlar) merkezi yükleme boyunca açılma davranışını, belirleyebilmek amacıyla kolonların yükseklik ortasına yerleştirilen 5 numaralı LPDT'lerden elde edilen eğrilerin birbiriyle ilişkilendirilmesi zordur. Zira kolonlarda yerel burkulmalarla beraber orta bölgede görülen yanak açılması değeri LSC-2 ve LSC-7 kolonlarında ortalama 1.5 mm iken diğer kolonlarda bu çok daha fazladır (bkz. Şekiller 74-80). Yükleme koşullarının tamamen aynı olmasına karşılık kolonlarda farklı bölgelerde görülen yerel burkulmaların kolon profillerinde gözle görülemeyecek şekil bozukluklarından ve profil üretiminden ve montajdan kalabilen farklı gerilmelerin etkisinden kaynaklandığı düşünülebilir.

C profillerinin iki taraftan levha ile komple kapatılmasıyla oluşturulan LSC-7 kolonu ise, beklendiği gibi, en fazla merkezi yük taşımıştır. Ancak bu kolon, LSC-1, LSC-2 ve LSC-3 kolonlarından enkesit alanı olarak %65 fazla olmasına karşılık bu kolonlardan %17 daha fazla yük taşımıştır. Aynı şekilde LSC-4, LSC-5 ve LSC-6

kolonlarından da enkesit alanı olarak %36 fazla olmasına karşılık bu kolonlardan sadece %11 daha fazla yük taşıyabilmiştir. LSC-7 kolonunda da çoklu yerel burkulmalar meydana gelmiştir.

Kolonların başlıksız haldeki ağırlıkları ve montajda kullanılan toplam akıllı vida sayıları aşağıdaki Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5. Kolonların çelik ağırlıkları ve montajda kullanılan vida adedi

Kolon	Ağırlık (kg)	Toplam vida adedi
LSC-1	9.1	24
LSC-2	9.5	40
LSC-3	10.3	72
LSC-4	10.8	44
LSC-5	11.2	52
LSC-6	11.6	44
LSC-7	14.0	68

Bu tabloya göre kolonlarda kullanılan toplam malzeme miktarları, LSC-7 kolonu hariç, ağırlık olarak önemli sayılabilecek kadar farklı değildir. Ancak burada, tekil enleme levhalı kolonlar üretmekle bütünleşik levhalı kolonlar üretmek arasında işçilik bakımından farklar olduğu da açıktır. Kullanılan vida sayıları ve dolayısıyla montaja harcanacak zaman açısından bakıldığında, enleme aralıkları azaldıkça bu farkın arttığı, özellikle LSC-3 ve LSC-6 kolonlarında kullanılan vida sayılarının karşılaştırılmalarından anlaşılabilir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profillerle oluşturulan çok parçalı kolonların merkezi yükleme altındaki davranışları incelenmiştir. Bu inceleme için üretilen toplam 7 adet hafif çelik kolon üzerinde gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- Çalışmada üretilen düşey taşıyıcıların deneysel ve teorik düşey yük taşıma kapasiteleri, bu elemanların kat sayısı az olan konut türü yapılarda güvenle kullanılabilceğini göstermektedir.

- Merkezi yükleme durumunda çok parçalı kolonların enleme levhası aralığının değişimi kolon kapasitesini değiştirmemiştir. Zira kolon profilleri ince cidarlı olduğundan kırılma olayı profillerin tekli ya da çoklu olarak yerel burkulmasıyla meydana gelmiştir.

- Yerel burkulmaların kontrolündeki kırılmalarından dolayı kolonların hiçbirinde genel burkulma olayı gözlenmemiştir.

- Bütünleşik levhalı olarak tasarlanan kolonlarda enkesit alanı artış yüzdesi düşey yük kapasitesindeki artış yüzdesinin oldukça üzerindedir. Bunun nedeni olarak bütünleşik levhalardaki düşey şeritlerin kolon profillerine tüm yüzeyleri boyunca değil, belli aralıklardaki vidalama noktalarından bağı olması ve yükleme sırasında bu aralıklarda kolon profillerinden bağımsız olarak burkulmaya uğraması söylenebilir.

- Bütünleşik levhalı tasarımın montaj süresinin tekil levhalılara göre çok daha kısa oluşu önemli bir üstünlük olarak kabul edilebilir.

Özetle, bu çalışmada üretilen çok parçalı hafif çelik kolonların bu şekilleriyle kullanılabilir oldukları açıktır. Ancak, enleme levhası aralığının değişiminin çok parçalı hafif çelik kolonların davranışı üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla aynı seri kolonların eksantrik normal kuvvet altında ve / ya da bu kolonların aksenal yük + kolon boyunun ortasından yanal tekil yük etkisi altında eğilme etkisinde tekrar denemesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. TS-11372, Çelik Yapılar-Hafif- Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1994.
2. Baygur, G., Malzeme, M.E.B Basımevi, Ankara,1984
3. Deren, H. ve Uzgider, E., Çelik Yapılar, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 2002.
4. Balcı, E., Betonarme ve Çelik Hafif Taşıyıcı Yapı Sistemlerinin Kaba Yapı Aşamasında Maliyetlerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
5. Erşen, N., Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul 1996
6. Yıldırım, S. G., Hafif Çelik Taşıyıcı Endüstrileşmiş Konutlarda Tasarım Verileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
7. Bahadır, Ş.S., Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.
8. [http:// www.insaatmuhendisligi.net](http://www.insaatmuhendisligi.net), 11.01.2009.
9. Terim, B., Hafif Çelik Çerçeve Sistem, Ege Mimarlık Dergisi, 2006.
10. NAFSA, “Builder’s Steel Stud Guide” RG-9607, Washington DC., 1996.
11. Uzgider, E.ve Arda, T. S., Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Elemanlar, III. Çelik Yapılar Seminer Notları, Cilt 1, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1987
12. NAFSA, Low-Rise Residential Construction Details, NASFA, Teknik Yayını, NT6-00, 2000.
13. [http:// www.datam.de](http://www.datam.de)
14. Ekinci, S., Hafif Çelik Yapı Sistemleri-Taşıyıcı Sistem, Yapı Fiziği Etkileri ve Mimari Tasarım İlkeleri Açısından Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
15. [http:// www.steel framingalliance.com](http://www.steel framingalliance.com), North American Steel Framing Alliance (NAFSA), 11.01.2009
16. Büyükşişli, A.B., Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Çerçeve Duvarı İçin Deneysel ve Teorik Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
17. [http:// www.badecelik.com](http://www.badecelik.com), 12.01.2009

18. Allen, E., Fundamentals of Building Construction Materials and Methods, John Wiley & Sons Inc., New York, 1999
19. Işık, B., Çelik Hafif Taşıyıcı Sistemin Konut Yapımında Kullanılması, Türk Yapısal Çelik Derneği, İstanbul, 2001.
20. Tall, L., Structural Steel Design, Wiley & Sons, New York, 1974.
21. Stone, T. A. ve LaBoube, R.A., Behavior of cold-formed steel built-up I-sections, Thin-Walled Structures, 2005.
22. Landolfo, R., Mammana, O., Portioli, F., Di Lorenzo, G. ve Guerrieri, M.R., Experimental investigation on laser welded connections for built-up cold-formed steel beams, Journal of Constructional Steel Research, March 2008.
23. Schafer, B.W, Designing Cold-Formed Steel Using the Direct Strength Method, 18th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structure, Florida, October 2006.
24. Whittle, J. ve Ramseyer, C., Buckling capacities of axially loaded, cold-formed, built-up C-channels, Thin-Walled Structures, Oklahoma, 2008.
25. Lam, S.S.E., Chung K.F. ve Wan, X.P., Load-carrying capacities of cold-formed steel cut stub columns with lipped C-section, Thin-Walled Structures 44 (2006) 1077–1083.
26. Kim, T.W., Wilcoski, J., Foutch, D. A. ve Lee, M. S., Shakedown tests of a cold-formed steel shear panel, Engineering Structures 28 (2006) 1462–1470.
27. Feng, M., Wang, Y.C. ve Davies, J.M., Structural behaviour of cold-formed thin-walled short steel channel columns at elevated temperatures, Thin-Walled Structures, 41 (2003) 543–570.
28. Narayanan, S. ve Mahendran M., Ultimate capacity of innovative cold-formed steel columns, Journal of Constructional Steel Research 59 (2003) 489–508.
29. Telue, Y., Mahendran M., Behaviour of cold-formed steel wall frames lined with plasterboard, Journal of Constructional Steel Research 57 (2001) 435–452.
30. Dhanalakshmi, M. ve Shanmugam N.E., Design for openings in equal-angle cold-formed steel stub columns, Thin-Walled Structures 39 (2001) 167–187.
31. Bernuzzi, C., Castiglioni C. A., Experimental analysis on the cyclic behaviour of beam-to-column joints in steel storage pallet racks, Thin-Walled Structures 39 (2001) 841–859.

32. Yu, W.K., Chung, K.F., Wong, M.F., Analysis of bolted moment connections in cold-formed steel beam–column sub-frames, Journal of Constructional Steel Research 61 (2005) 1332–1352.
33. Kwon, Y. B., Chung H. S. ve Kim, G. D., Experiments of Cold-Formed Steel Connections and Portal Frames, Journal Of Structural Engineering 607 (2006).
34. Zaharia, R. ve Dubina D., Stiffness of joints in bolted connected cold-formed steel trusses, Journal of Constructional Steel Research 62 (2006) 240–249.
35. Chung, K.F. ve Lau L., Experimental investigation on bolted moment connections among cold formed steel members, Engineering Structures 21 (1999) 898–911.
36. Chung, K.F. ve Lawson, R.M., Structural performance of shear resisting connections between cold-formed steel sections using web cleats of cold-formed steel strip, Engineering Structures 22 (2000)1350–1366.
37. Dawe, J. L., Wood, J. V., Small-scale test behavior of cold-formed steel roof trusses, Journal Of Structural Engineering 615 (2006).
38. Yu, C., Schafer,B.W., Local buckling tests on cold-formed steel beams, Journal Of Structural Engineering 1606 (2003).
39. <http://www.steel.org>, 12.01.2009
40. Pedreschi, R.F., Sinha, B.P., An experimental study of cold formed steel trusses using mechanical clinching, Construction and Building Materials, 2007.
41. Hüsem, M., Pul, S., Görkem, S.E., Bileşik Eğilme Etkisindeki Yüksek Performanslı Betonarme Kolonların Davranışlarının Araştırılması, Araştırma Projesi Sonuç Raporu, K.T.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Trabzon, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Rize’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon’da tamamladı. 2000 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği’nde başladığı lisans eğitimini 2005 yılında tamamladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. İlk yıl İngilizce hazırlık programına katıldı. Hasan ATASARAL iyi derecede İngilizce bilmektedir.