

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARDAN OLUŞAN
PERDE DUVARLARININ SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Cem HAYDAROĞLU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI

MAYIS 2005

**İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARDAN OLUŞAN
PERDE DUVARLARININ SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Cem HAYDAROĞLU
501031006**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)

Doç.Dr. Cavidan YORGUN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

1998 yılında lisans eğitimiyle başlayıp yüksek lisans eğitimiyle sürdürdüğüm bu uzun maratonun sonuna gelmiş bulunmaktayım. Tez çalışmam esnasında beni yönlendirirken ilgisini ve değerli yardımlarını benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI başta olmak üzere, göstermiş oldukları ilgiden dolayı değerli jüri üyelerim Sayın Prof.Dr. Gülay ALTAY'a ve Sayın Doç.Dr. Cavidan YORGUN'a, çalışmalarım sırasında göstermiş olduğu sabır, ilgi ve yardımlarından dolayı Araş.Gör.Yük.Müh. Cüneyt VATANSEVER'e, teknik konularda bana destek olan İnş.Yük.Müh. Taner MERMUT'a ve Akşan Mühendislik A.Ş.'ye, lise yıllarımdan başlayan dostluğumuzun her anında olduğu gibi tez çalışmam esnasında da yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İnş.Müh. Atilla KARA'ya, öğrenim hayatım boyunca maddi manevi destek olup her zaman yanımda olan anneme ve bu süreçte beni anlayışla karşılayan Galvaçelik ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2005

Cem HAYDAROĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii

1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç, Kapsam ve Yöntem	2
1.2. Literatür Araştırması	2
1.2.1. Tarpy ve Girard (1982)	3
1.2.2. Dolan (1989)	4
1.2.3. AISI ve Santa Clara Üniversitesi (1996)	4
1.2.4. Sugiyama	5
1.2.5. Virjinya Politeknik Enstitüsü ve Eyalet Üniversitesi, Dolan (1996)	6
1.2.6. Fülöp ve Dubina (2004)	7
2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLAR	12
2.1. Sistemin Gelişimi	14
2.2. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanların Yararları	16
2.3. Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanların Özellikleri	17
2.3.1. Malzeme özellikleri	17
2.3.1.1. Korozyona karşı koruma	19
2.3.1.2. Yangın karşı koruma	21
2.3.2. Soğukta şekil verme yöntemleri	23
2.3.2.1. Sürekli şekil verme	23
2.3.2.2. Pres kullanma	25
2.3.3. Soğukta şekillendirilmiş profillerin en kesitleri	28
2.4. Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanların Boyutlandırılması	30

2.4.1. En kesit değerlerinin hesabı	30
2.4.2. Plakların burkulma ötesi yük taşıma kapasitesi ve etkin genişlik	31
2.4.3. Burkulma rijitliği	32
3. SOĞUKTA ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN BİRLEŞİM YÖNTEMLERİ	34
3.1. Kaynaklı Birleşimler	34
3.1.1. Ergitme kaynakları	34
3.1.1.1. Küt kaynaklar	35
3.1.1.2. Ark spot kaynakları	35
3.1.1.2.1. Kesme	36
3.1.1.2.2. Çekme	40
3.1.1.3. Köşe kaynakları	40
3.1.1.4. Eğri kenarlı küt kaynaklar	42
3.1.2. Basınç (Direnc) kaynağı	42
3.2. Vidalı Birleşimler	43
3.2.1. Vidalı birleşimlerde hesap yöntemi	44
3.2.1.1. Makaslama kuvveti	44
3.2.1.1.1. Birleşimdeki makaslama	44
3.2.1.1.2. Vidalardaki makaslama	45
3.2.1.2. Çekme kuvveti	45
3.3. Bulonlu Birleşimler	46
3.3.1. Bulonlu birleşimlerde hesap yöntemi	47
3.3.1.1. Kayma, ara mesafe ve kenara mesafe	47
3.3.1.2. Birleştirilen her bir parçadaki çekme	49
3.3.1.3. Ezilme	49
3.3.1.4. Kayma ve çekme	50
4. HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMİ	51
4.1. Temel	51
4.2. Duvar Konstrüksiyonu	53
4.2.1. Perde duvarlar	58
4.2.1.1. Perde duvarların tasarımı	63
4.3. Döşeme Konstrüksiyonu	65
4.4. Çatı Konstrüksiyonu	71

5. PERDE DUVARLARIN SONLU ELEMAN ANALİZİ	76
5.1. Giriş	76
5.2. Perde Duvarın Tanıtılması	76
5.3. Çelik Malzeme Özelliği	78
5.4. Ahşap Kaplama Malzemesi	78
5.5. Sonlu Eleman Modelinde Yapılan Kabuller	79
5.6. Modelde Kullanılan Sonlu Eleman Tipleri	79
5.6.1. B31 ve B32 sonlu elemanları	79
5.6.2. CPS8R sonlu elemanı	80
5.7. Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması	80
5.8. Hesaplamalar, Modelin Çözümü ve Sonuçların İncelenmesi	82
5.8.1. Dikme profilinin taşıyabileceği aksel basınç kuvveti	82
5.8.2. Çaprazla güçlendirilen perde duvarların sonuçları	85
5.8.3. Çelik sac ile güçlendirilen perde duvarların sonuçları	88
5.8.4. Ahşap levhalarla güçlendirilen perde duvarların sonuçları	91
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
6.1. İleriki Çalışmalar İçin Öneriler	94
KAYNAKLAR	95
EKLER	98
ÖZGEÇMİŞ	102

KISALTMALAR

TUCSA	: Türk Yapısal Çelik Derneği
AISI	: American Iron and Steel Institute
NASFA	: North American Steel Framing Alliance
ASTM	: American Society for Testing and Materials
OSB	: Sıkıştırılmış Lifli Ahşap Levha
TS	: Türk Standardı
ASD	: Allowable Stress Design
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
UBC	: Uniform Building Code
IBC	: International Building Code

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Duvar Panellerinin Özellikleri	9
Tablo 3.1 Bulon başı ve somunu altında pul olması halinde ezilmeye göre emniyetle aktarılan yük	49
Tablo 3.2 Bulon başı ve somunu altında pul olmaması halinde ezilmeye göre emniyetle aktarılan yük	50
Tablo 5.1 Çaprazlı perde duvara ait analiz sonuçları	87
Tablo 5.2 Çaprazlı perde duvarda basınç kuvveti taşıma kapasitesine karşılık gelen analiz sonuçları	88
Tablo 5.3 Çelik saçla güçlendirilmiş perde duvara ait analiz sonuçları	90
Tablo 5.4 Çelik saçla güçlendirilmiş duvarın basınç kuvveti taşıma kapasitesine karşılık gelen analiz sonuçları	91
Tablo 5.5 Ahşap kaplamalı duvarların basınç kuvveti taşıma kapasitelerine karşılık gelen analiz sonuçları	92

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Deneyde kullanılan altı tip panel	7
Şekil 2.1 : Hafif çelik yapının genel görünüş.....	12
Şekil 2.2 : Soğukta şekillendirilmiş profillerin menfez, korkuluk, bariyer işaretleri olarak kullanılması	13
Şekil 2.3 : Altyapı tesisatı için hazırlanmış soğukta şekil verilmiş yapılar	13
Şekil 2.4 : Soğukta şekillendirilmiş profiller	14
Şekil 2.5 : Hızlı inşaat olanağı	17
Şekil 2.6 : Ani ve tedrici akma gerilme-deformasyon grafikleri	18
Şekil 2.7 : Kalıcı plastik deformasyon yöntemiyle akma gerilmesinin belirlenmesi	19
Şekil 2.8 : Yangın önlemi alınmış duvar kesiti	22
Şekil 2.9 : Yalıtım türleri	22
Şekil 2.10 : Çiftli tabaka levha kullanımı.....	23
Şekil 2.11 : Sürekli şekil verme yöntemindeki istasyonlar	24
Şekil 2.12 : Sürekli şekil verme işlemi.....	24
Şekil 2.13 : Profil kesitinin oluşması	25
Şekil 2.14 : Şekillendirme yöntemlerine göre üretim kapasitesi-maliyet grafiği	26
Şekil 2.15 : Profil üzerine açılacak deliklerin maksimum kenar mesafeleri.....	27
Şekil 2.16 : Profil üzerine açılacak deliklerin minimum kenar mesafeleri	27
Şekil 2.17 : Soğukta şekillendirilmiş profil kesitleri.....	28
Şekil 2.18 : Soğukta şekillendirilmiş yassı ürünler	29
Şekil 2.19 : Kompozit döşeme içinde kullanılan trapez eleman	29
Şekil 2.20 : Aşık olarak kullanılan Z profillerin ve mühürlü panelin kesit görünüşü	30
Şekil 2.21 : Plak üzerindeki gerilme dağılımları.....	31
Şekil 2.22 : Efektif genişliğin şekil üzerinde tarifi	32
Şekil 2.23 : Birbirine dik çift simetri eksenli profiller	33
Şekil 3.1.a : Tipik kaynak pulu	36
Şekil 3.1.b : Tipik kaynak pulu	36
Şekil 3.2 : Çap Tanımları – İki levha birleşimi	38
Şekil 3.3 : Çap Tanımları – Üç levha birleşimi.....	38
Şekil 3.4 : Tek ince cidarlı levha hali.....	39
Şekil 3.5 : İki ince cidarlı levha hali	40
Şekil 3.6 : Bindirmeli birleşim	41
Şekil 3.7 : Nokta kaynağı	42
Şekil 3.8 : Deliği yerinde açılan vidalar.....	43
Şekil 3.9 : Deliği önceden açılan vidalar	44
Şekil 3.10 : Bulon çeşitleri	47
Şekil 4.1 : Taban başlığının betonarme temele ankrajının gösterimi.....	52
Şekil 4.2 : Taban başlığının ahşap tabana oturtulması	52
Şekil 4.3 : Duvar konstrüksiyonunun görünümü	53
Şekil 4.4 : Duvar dikmelerinin alt başlık elemanına oturması	54

Şekil 4.5	: Başlıkta ek yapılması	54
Şekil 4.6	: Duvar dikmelerinin kaplama malzemesiyle rijitleştirilmesi	55
Şekil 4.7	: Hafif çelik profillerle oluşturulmuş duvar paneli	56
Şekil 4.8	: Kuru birleşimli lento detayı	56
Şekil 4.9	: Sırt sırta birleştirilmiş lento detayı	57
Şekil 4.10	: Tesisat ve kablo için bırakılan boşluklar	58
Şekil 4.11	: Yatay yüklerin aktarımı	59
Şekil 4.12	: Çaprazla üçgensel bölge oluşturulması	59
Şekil 4.13	: Kablo ile yapılan duvar çaprazlaması	60
Şekil 4.14	: Çaprazlama-tavan başlığı-duvar dikmesi birleşim detayı	60
Şekil 4.15	: Kablonun dikenin içinden geçişi	60
Şekil 4.16	: Çaprazlama-taban başlığı-duvar dikmesi birleşim detayı	61
Şekil 4.17	: Çaprazlamaların vida ile sabitlenmesi	61
Şekil 4.18	: Bağlantı elemanlarında oluşan kuvvet çifti	62
Şekil 4.19	: Rijit birleşim davranışı	62
Şekil 4.20	: Rijit birleşim detayı	63
Şekil 4.21	: X çaprazlı perde duvar görünüşü	64
Şekil 4.22	: Taşıyıcı sistemin bölümlere ayrılması	65
Şekil 4.23	: Bodrum katlı binada zemin kat döşemesi	66
Şekil 4.24	: Döşeme kirişlerinin ahşap tabana oturması	66
Şekil 4.25	: Sürekli döşeme kirişi-taşıyıcı iç duvar birleşimi	67
Şekil 4.26	: Döşeme kirişinde ek yapılması	67
Şekil 4.27	: Çapraz kuşaklama ve boyunduruk	68
Şekil 4.28	: Döşeme kirişinde stabilite bağları	68
Şekil 4.29	: Döşemede boşluk oluşturulması	69
Şekil 4.30	: Döşeme kirişlerinin betonarme kiriş üzerinden konsol yapması ...	70
Şekil 4.31	: Uygulamadaki bir konsol görünümü	70
Şekil 4.31	: Dikme-döşeme kirişi ve merteklerin eksenlerinin çakışması	71
Şekil 4.33	: Mertekin tavan başlığına oturması	72
Şekil 4.34	: Mertek birleşimi	72
Şekil 4.35	: Hafif çelik yapı çatı konstrüksiyonu	73
Şekil 4.36	: Tavan kirişinde ek yapılması	74
Şekil 4.37	: Çatıda boşluk oluşturulması	75
Şekil 4.38	: Çatı boşluğunun detayı	75
Şekil 5.1	: Modellenen perde duvarın görünüşü	77
Şekil 5.2	: Dikme ve başlık profilleri	77
Şekil 5.3	: S350GD+Z çeliğinin oda sıcaklığındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisi	78
Şekil 5.4	: Çaprazlı perde duvarın sonlu eleman modeli	80
Şekil 5.5	: Kaplamayla güçlendirilmiş perde duvarın sonlu eleman modeli ..	81
Şekil 5.6	: Çaprazlı perde duvarın yaptığı deplasman	85
Şekil 5.7	: 1.5mm kalınlıklı çaprazlı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	86
Şekil 5.8	: 1.8mm kalınlıklı çaprazlı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	86
Şekil 5.9	: 2mm kalınlıklı çaprazlı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	87
Şekil 5.10	: Perde duvarda gerilme dağılımı	88
Şekil 5.11	: 1.5mm saç kaplı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	89
Şekil 5.12	: 1.8mm saç kaplı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	89
Şekil 5.13	: 2mm saç kaplı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	90
Şekil 5.14	: OSB kaplı perde duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	91
Şekil 5.15	: Kontrplak kaplı perde duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi	92

SEMBOL LİSTESİ

P_n	: Birleştirme elemanı mukavemeti
F_{xx}	: Elektrod malzemesinin akma gerilmesi
F_y	: Çelik malzemede akma gerilmesi
L	: Kaynak boyu
t_e	: Kaynak kordonu kalınlığı
d	: Ark spot kaynağının dış yüzünün görünür çapı
d_a	: t kalınlığının ortasında ark spot kaynağının ortalama çapıdır
d_e	: Maksimum kayma kuvveti transfer düzleminde kaynak arkının oluştuğu
t	: Levha kalınlığı
F_u	: Malzemenin çekme emniyet gerilmesi
P	: Kaynak tarafından aktarılması istenilen kuvvet (itibari kuvvet) (ASD)
P_u	: Kaynak tarafından aktarılması istenilen kuvvet (faktörize kuvvet) (LRFD)
t	: Birleştirilen levhaların en incisinin kalınlığı
F_{sy}	: Akma gerilmesi
t_w	: Köşe kaynak kordonu kalınlığı
F_{xx}	: Elektrotun akma gerilmesi
d	: İtibari vida çapı
Ω	: Güvenlik katsayısı (ASD)
ϕ	: Direnç faktörü (LRFD)
P_{ns}	: Bir vidanın taşıdığı itibari kesme (makaslama) dayanım kuvveti
P_{nt}	: Bir vidanın taşıdığı itibari çekme dayanım kuvveti
P_{not}	: Bir vidanın taşıdığı itibari dışa çekme (pull-out) dayanım kuvveti
P_{nov}	: Bir vidanın taşıdığı itibari üstüne çekme (pull-over) dayanım kuvveti
t_1	: Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı
t_2	: Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı
F_{u1}	: Vida başı ile temasta olan elemanın çekme mukavemeti
F_{u2}	: Vida başı ile temasta olmayan elemanın çekme mukavemeti
F_u	: Çekme gerilmesi
d_{wc}	: Net gövde yüksekliği
n	: Kritik en kesitteki delik sayısı
d_h	: Delik çapı
e	: Bulonun sonraki delikçe ya da kenara olan mesafesi
A_n	: Faydalı en kesit alanı
r	: Birleşim elemanı ile aktarılan yükün etkiyen çekme kuvvetine oranıdır
s	: Gerilme çizgisine dik bulon aralığı
b_{01}	: Başlık genişliği
w_1	: Başlık genişliği
σ_{cem}	: Çekme emniyet gerilmesi
σ_c	: Çekme emniyet gerilmesi
Q_g	: Gerilme faktörü
b_{01}	: Başlık genişliği
w_1	: Başlık genişliği

σ_{cem}	: Çekme emniyet gerilmesi
σ_c	: Çekme emniyet gerilmesi
Q_g	: Gerilme faktörü
b_{03}	: Gövde genişliği
w_3	: Gövde genişliği
b_{e2}	: Gövdedeki etkin genişlik
t	: Profilin et kalınlığı
A'_{etk}	: Etkin en kesit alanı
Q'_a	: Alan faktörü
λ_y	: Zayıf eksenindeki narinlik
K	: Etkin burkulma boyu katsayısı
L	: Desteksiz çubuk boyu
r_y	: Zayıf eksenindeki atalet yarıçapı
λ_{kr}	: Kritik narinlik
σ_{obem1}	: İzin verilen sınır basınç gerilmesi
P_{max}	: Maksimum eksenel basınç yükü
σ_a	: Akma gerilmesi

İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARDAN OLUŞAN PERDE DUVARLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ

ÖZET

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik yapılar, hafif, hızlı, kolay ve ekonomik inşaatın öncelik kazandığı Amerika, Japonya ve Avustralya gibi ülkelerde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu yapı sisteminin ahşap yapı sistemine benzerlik göstermesine rağmen ülkemizde kullanımı %0.5 oranındadır. Özellikle 1999 Marmara Depreminden sonra, yapı sektörünün yeni arayışlara yönelmesiyle ülkemizde soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik yapı sistemi kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsamı belirtilmiş olup literatür araştırmasının sonuçlarına yer verilmiştir. İkinci bölümde; hafif çelik yapı sistemi tanıtılmış ve tarihçesi hakkında bilgi verilmiştir. Bunun yanında, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanların olumlu ve olumsuz yanlarına değinilmiş, malzeme özelliklerine, soğukta şekil verme yöntemlerine ve boyutlandırma esaslarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde; sistemi oluşturan elemanlar arasındaki birleşimler hakkında bilgiye ve AISI'ya göre hesap esaslarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde; Sistem oluşturan elemanlar bölümlere ayrılarak incelenmiş ve bunlara ait teknik detaylar verilmiştir.

Beşinci bölümde; Çapraz elemanlarla, çelik saçla, OSB ve kontrplak ile güçlendirilmiş soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanlardan oluşan perde duvarın, boyutları, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. ABAQUS Student Edition programı kullanılarak yapılan modellemede kullanılan sonlu elemanlar ve yapılan kabuller hakkında bilgi verilip, analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Son bölümde; Sonlu eleman analizi sonuçları ve yapılan hesaplar irdelenmiş olup, ilerde yapılabilecek çalışmalar belirtilmiştir.

ANALYSIS OF THIN-WALLED STEEL SHEARWALLS WITH FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

Cold formed steel structures have a broad use in countries such as US, Japan, Australia etc. where the light, fast, easy and economic construction systems are priorily preferred. As per indicated in the statistics of TUCSA, the portion of residential buildings constructed with lightweight steel is 0.5 per cent in Turkey. Meanwhile in our country, especially after the Marmara Earthquake in 1999, the building sector had started searches for new materials and then started to use the “cold formed steel framing system”.

The first part of this study deals with the objectives and scope of this research subject. In the second part, the development, the positive and the negative characteristics of the system, material properties, cold forming methods and design principles are considered. In the third part, the connection methods of cold-formed steel elements are given according to AISI standards. In the fourth part, components of cold-formed steel framing system are examined in special parts and technical details are described about them.

In the fifth part, not only dimensions and material properties are described for cold-formed steel shearwalls which are braced with X bracings, sheet steel, OSB and plywood ,but also finite elements, using for modeling shearwalls in ABAQUS Student Edition, are described. Also, some information is given about assumed things for finite element models, and results of finite element analysis are given.

In the last part, all analysis results are evaluated in the last portion of study. In addition to these, possible future research about the subject is determined.

1. GİRİŞ

Demir malzemenin mühendislik yapılarında kullanılması iki yüzyıl öncesine dayanır. Demir ve çelik insanlık tarihinde çok eski devirlerden beri bilinmekle beraber, geniş ölçüde üretilemediğinden, iki yüzyıl öncesine kadar sadece silah ve eşya yapımında kullanılabilmıştır (Deren ve diğ., 2003). Çeliğin yaygın kullanımı, 1850'lerden sonra büyük köprüler, istasyonlar ve gökdelenlerde başlamıştır. 1998 verilene göre Avrupa genelinde 170 milyon ton çeliğin %38'i inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Çelik üretiminde dünyada 16. sırada yer alan Türkiye' de ise büyük binalar ve endüstriyel yapılarda %5'i geçmeyen yapısal çelik kullanımının konut üretiminde kullanım oranı %0.05'e yakındır. Bu oran İngiltere' de %54, İskandinav ülkelerinde %40, Fransa ve Almanya'da %30' dur [1].

Çelik, teknik özellikleri ve şekillendirme olanaklarından dolayı geniş kullanım olanaklarına sahiptir. Genellikle büyük açıklıklı ve yüksek binalarda tercih edilmektedir. Konut sektöründe ahşap ve betonarmeye göre çok yenidir. Deprem bölgesinde bulunan ABD, Japonya ve Çin gibi ülkeler yapısal çelik kullanımına büyük önem vermektedir.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlardan oluşan hafif çelik yapılar sistem olarak incelendiğinde ahşap yapı sisteminin aynısıdır. Bu yüzden Amerika gibi ahşabın yaygın kullanıldığı ülkelerde, hafif çelik yapı sistemine geçişte yabancılık çekilmemiştir.

Hafif çelik yapılar, soğukta şekillendirilmiş bükme saç profillerinden oluşmuş bir yapı sistemidir. Profillerin sık düzenlenmesiyle döşeme ve duvar elemanları oluşturulur. Amerika, Japonya ve Avustralya'da yılda yaklaşık 500 bin konut soğukta bükülmüş ya da sıcak haddelenmiş profillerle inşa edilmektedir. Özellikle az katlı binalarda bu sistemin kullanılması çok ekonomik olmaktadır. Bağlantıların çoğunun şantiyeye gitmeden fabrikada bitirilmiş olması, inşaat süresini de çok kısaltmaktadır. 2-3 katlı bir konut binası 3-4 hafta gibi kısa bir sürede teslim edilebilmektedir (Siyahhan, 2005).

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanların boyutlandırılmasında kullanılan en önemli standart AISI (American Iron and Steel Institute) tarafından bu konuda hazırlanmış olan boyutlandırma standardı (Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members) dır. Bunun yanı sıra hafif çelik yapı sistemlerinin kurulması ve birleşimleri hakkında NASFA (Kuzey Amerika Çelik Topluluğu)’in çalışmaları mevcuttur. Ülkemizde ise Amerika ve Kanada standartları temel alınarak hazırlanmış olan TS 11372 numaralı “Çelik Yapılar- Hafif- Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan- Hesap Kuralları” isimli standart kullanılmaktadır.

1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem

Bu çalışmada soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlarla oluşturulan hafif çelik yapı sistemler için gerekli teknik özelliklerin ve detayların verilmesi, çaprazla ve kaplama elemanı ile güçlendirilmiş perde duvarın yatay yükler altında davranışını incelemek amaçlanmıştır.

“İnce Cidarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Perde Duvarlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi” başlıklı tez kapsamında hafif çelik yapı sisteminin oluşturulmasıyla ilgili teknik bilgiler, birleşim elemanlarına ait bilgiler verilmiştir. Bunun yanı sıra çaprazlarla ve kaplama elemanlarıyla güçlendirilmiş perde duvarlar sonlu eleman analiz programı olan ABAQUS Student Edition kullanılarak modellenip malzemenin ve geometrinin lineer olmaması durumları da dikkate alınarak analiz edilmiştir. Bu analizler sonunda perde duvarların kuvvet-deplasman eğrileri çizilmiştir. Perde duvarları oluşturan dikme elemanlarının basınç yükü taşıma kapasiteleri hesaplanarak çizilen bu eğrilerle karşılaştırılmış ve duvarın ne zaman yük taşıma kapasitesini kaybettiği belirlenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Ahşap ve hafif çelik yapı sisteminin birbirine benzemesinden dolayı literatür araştırmasında ahşap perde duvarlar da incelenmiştir. Araştırmada, yapılan çalışmalar tarih sırasına göre özet şeklinde verilmiştir.

1.2.1 Tarpy ve Girard (1982)

Tarpy ve Girard makalelerinde değişik detaylarla ve çaprazla güçlendirilmeden oluşturulan elik panelin kesme kuvvetine karşı dayanımını incelemek için yaptıkları deneyin sonuçlarını sunmuşlardır.

Deney programının amacı; değişik yapım tekniklerinin ve ankraj detaylarının değişik kaplama malzemeli perde duvarların yatay yük dayanımları üzerindeki etkiyi belirlemek ve yatay düzlem içi deplasmanlarla oluşan hasarları incelemektir.

Çalışmada dikkate alınan parametreler şunlardır;

- Perde duvarların enine doğrultudaki döşeme kirişlerine bağlanmasıının etkisi
- Kontrplak (plywood) yada alçı levha gibi dış kaplama elemanlarının diyafram olarak alıştırılmasıının etkisi
- Dikme ve alt başlık birleşiminde vida yerine kaynak kullanılmasıının etkisi
- Dikmeler arası mesafenin 610mm'den 410mm'ye indirilmesinin etkisi

Yazarlara göre bahsi geçen bu durumlar önceki araştırmalarından elde edilen bulgulara göre duvar performansında büyük etkiye sahiptirler.

Her panel 89mm gövdeye, 38mm başlığa, 13mm rijitleştiriciye ve 0.9mm et kalınlığına sahip C profillerden oluşan dikmelerle oluşturulmuştur. Dikmeler taban kısmıda 92mm gövdeye, 38mm başlığa ve 0.9mm et kalınlığına sahip rijitleştiricisiz C profilinden oluşan alt başlıkla zemine ankre edilmiştir. Test yöntemi olarak ASTM E 564-95'teki statik test metodu dikkate alınarak uygulanmıştır. Duvarlardan sadece iki tanesi kaplama elemanlarıyla test edilmiştir.

Sonuç olarak bütün duvar tiplerinde benzer hasarlara rastlanmıştır. Hasarın ilk belirtisi çekme etkisi altındaki ankraj çevresinde deformasyonların oluşmasıdır. Yükün artması köşe noktadaki birleşim elemanıyla panelin köşesinde kalan alçı levhanın çatlamasına neden olmuştur. Kaplama olarak alçı levha yerine kontrplak kullanılması duvarın yatay yüke karşı kayma kapasitesini %25 arttırmıştır. Dikmelerin elik erveveyi oluşturan alt başlığa bağlanmasıında kaynak kullanılması vida kadar etkilidir. Dikme eksenlerinin arasındaki mesafenin 610mm'den 410mm'ye indirilmesi duvarın toplam yük taşıma kapasitesini çok az arttırmıştır.

1.2.2 Dolan (1989)

Dolan, dinamik yükler altındaki ahşap perde duvarların üst noktalarındaki deplasmanları önceden tahmin edebilmek için nümerik bir model geliştirdi.

Birleşim testleri ahşap elemanlar arasındaki birleşim elemanlarının yük-deplasman eğrilerini çizmek ve kaplama elemanı ile birleşimlerin yük-deplasman eğrilerini etkileyen parametrelerin bulunması için yapılmıştır. Kaplama malzemesi olarak OSB (Sıkıştırılmış lifli levha) ve kontrplak kullanılmıştır.

Toplam 8 adet 244cm x 244cm'lik ahşap perde duvarlar ASTM E564-95'e göre test edilmiştir. Dört duvar OSB ile kaplanmış, diğer dördü ise kontrplak ile kaplanmış. Bütün kaplama elemanları dikmelere paralel olacak şekilde kullanılmıştır. Kontrplak kaplamalı perde duvarın başlangıç rijitliği çok az daha fazladır. Kontrplak kaplı perde duvarın ortalama pik yükü OSB kaplı olandan daha fazladır. Buna karşılık kontrplak kaplı duvarın deplasmanı OSB kaplı olana göre daha fazladır. Yazara göre iki kaplama malzemeli duvarların arasında önemli bir fark yoktur.

Sonuçlar;

- Lif doğrultusuna bağlı olarak açık bir performans azalması yoktur.
- İki kaplama malzemesinin performansları arasında çok küçük fark vardır.
- Başlangıç deformasyonları arasında çok az fark vardır, fakat deplasmanlar arttığında kontrplak birleşimlerinin rijitliği OSB birleşimlerinden daha hızlı azalır.

1.2.3 AISI ve Santa Clara Üniversitesi (1996)

İnce Cıdarlı Çelik Araştırma Grubu (Light Gauge Steel Research Group) çalışmasında ince cıdarlı çelik çerçeveli perde duvarların değişik kaplama malzemeleriyle davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Proje üç safhada gerçekleştirilmiştir. Birinci safhada; kontrplak ve OSB kaplı perde duvarların statik davranışları arasındaki farkların belirlenmesi amaçlandı. İkinci safhada; OSB ve alçı levha kaplı perde duvarlara statik test uygulanmıştır. Son safhada ise; OSB ve kontrplak kaplı duvarlara dinamik test uygulanmıştır ve numuneler değişik birleşim elemanları kombinasyonlarıyla bu safhada test edilmiştir.

Toplam kırk iki duvar test edilmiştir. Bunlardan otuz ikisinin bir yüzü OSB ya da kontrplakla kaplandı, altısının bir yüzü OSB'yle diğer yüzü alçı levhayla kaplandı, dördünün iki yüzü de alçı levhalarla kaplanmıştır. 244cm x 244cm'lik ve 122cm x 244cm'lik duvar numuneleri kullanılmıştır.

Deneyle sonucunda bütün OSB ve kontrplak kaplı duvarların bağlantılarının davranışlarının statik ve dinamik testlerin her ikisinde de aynı olduğu görülmüştür. Duvara etkiyen yatay deplasman arttığında, kaplama vida başlarını çekmektedir. Yazar, bunun enerji harcanmasının ana kaynağı olduğunu tespit etmiştir. Dikmelerin gövdelerindeki boşluklar çevresinde yerel burkulmalar oluşmuştur. Statik testlerde, çerçeveye dik doğrultuda yerleştirilen kaplama panelleri kullanılan numunelerin, çerçeveye paralel doğrultuda yerleştirilen kaplama panelleri kullanılan numunelere göre daha iyi performans göstermişlerdir.

Yazar, statik testlerde kaplama malzemesi ve panel doğrultusu aynı olmak üzere 244cm x 244cm'lik ve 122cm x 244cm'lik duvar numunelerinin aynı kapasiteye sahip olduğu sonucuna varmıştır. OSB kullanılan numunelerin maksimum dayanım ve deformasyon kapasitelerinin kontrplak kullanılan numunelerden daha az olduğu belirlenmiştir. Bu, Dolan'ın yaptığı çalışmanın "OSB daha rijit ve dayanıklıdır" sonucunun aksi bir sonuçtur.

Vida aralıklarının az olması da kesme kapasitesini arttırmaktadır, fakat kapasitenin artmasında dikmelerin boyutları da dikkate alınmalıdır. Kaplama malzemesi olarak alçı levhalar kullanılan duvarların kesme taşıma kapasitelerinin beklenenden çok düşük olduğu görülmüştür.

1.2.4 Sugiyama

Sugiyama ve Yasumura (1984)'te 1/3 ölçekli ahşap dikmelerden ve kontrplak kaplama elemanından oluşan boşluklu perde duvarın statik itme testini yapmışlardır. Yatay yükleme sonucunda 1/60, 1/75, 1/100, 1/150 ve 1/300'lük kayma deformasyon açıları kaydedilmiştir. Kayma deformasyon açısı, duvarın üst noktasının deplasmanı ile alt noktasının kayma miktarı arasındaki farkın duvar yüksekliğine bölünmesiyle tanımlanmıştır.

Sugiyama (1981)'de duvarları içerdikleri boşluklara göre sınıflandırmak için kaplama alanı oranı "r" yi tanımlamıştır.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{A_0}{H \cdot \sum L_i}} \quad (1.1)$$

Burada, A_0 boşlukların toplam alanı, H duvar yüksekliği, L_i tam yükseklikli bir duvar parçasının boyudur.

Sugiyama ve Matsumoto (1994)'te kesme kapasitesini ve kaplama alanı oranını anlatabilmek için deney sonuçlarına dayanarak ampirik bir formül ortaya koymuşlardır. Sugiyama ve Matsumoto'ya göre aşağıdaki ampirik formül 1/100 radyanlık kayma açısına sahip kayma deformasyonlarına ve maksimum kapasiteye uygundur.

$$F = \frac{r}{(3 - 2 \cdot r)} \quad (1.2)$$

Burada, F boşluklu perde duvar kesme yükü taşıma kapasitesinin tamamen kaplanmış perde duvar kesme yükü taşıma kapasitesine oranıdır.

1.2.5 Virjinya Politeknik Enstitüsü ve Eyalet Üniversitesi, Dolan (1996)

Araştırma Dolan ve Johnson tarafından yapılmıştır. İlk amaç Sugiyama'nın çalışmalarını tam ölçekli testler yaparak kanıtlamaktır. İkinci amaç ise statik olarak test edilen perde duvarın maksimum kapasitesiyle, dinamik olarak test edilen perde duvarın maksimum kapasitesinin karşılaştırılmasıdır.

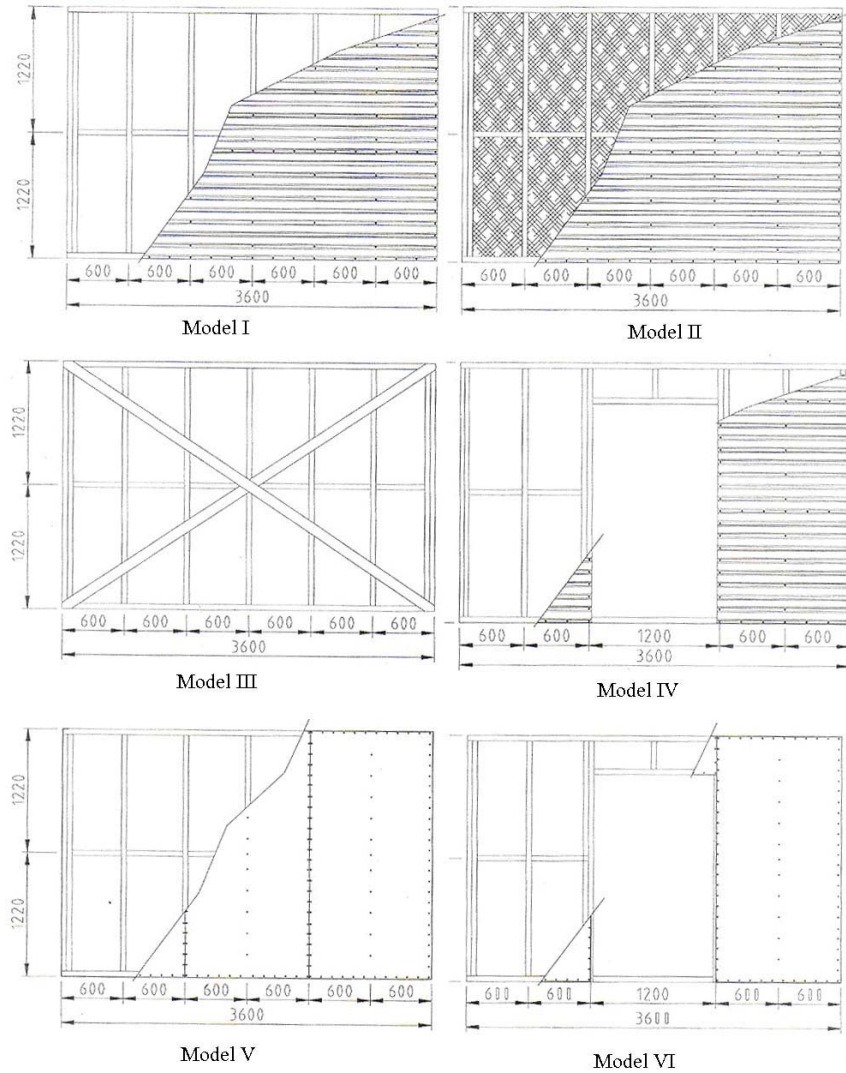
On adet 1220mmx244mm'lik çerçeve ve kaplama elemanlarından oluşan numuneler test edilmiştir. Beş değişik kaplama elemanı kullanılmıştır. Dikmeler, alt ve üst başlıklar ahşap elemanlardan teşkil edilmiştir. Testler numuneler yatay pozisyonda olacak şekilde yapılmıştır.

Sonuç olarak; Sugiyama'nın ampirik formülüne göre öngörülen yük kapasitesine çok yakın gerçek değerler ölçülmüştür. Açıklıkların köşelerinde çatlaklar oluşmuş ve köşe noktalarına yakın olan çiviler atmıştır. Pik yüke yaklaşırken çerçevedeki çivilerin ve kontrplağın eğildiği gözlenmiştir. Ankrajlarda test süresince herhangi bir problem oluşmamıştır.

1.2.6 Fülöp ve Dubina (2004)

Timisoara Üniversitesi'nin Çelik Yapılar ve Yapı Mekaniği Bölümü hazırladıkları deneysel program ile bükme saç profillerle hazırlanmış duvar panellerinin yatay yükler altındaki kesme davranışlarını incelemişlerdir. Bu deney programında Şekil 1.1'de görülen altı tip birebir ölçekli değişik kaplama malzemeli duvar panelleri kullanılmıştır. Her deney serisinde özdeş duvar panellerine statik ve dinamik testler uygulanmıştır.

Panellerin ana çerçevesini soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlar oluşturmaktadır. Alt ve üst başlıkları U 154/1.5 profillerdir, başlık birleşimi deliği önceden açılmış ve kendi deliğini kendi açan SL 4-F-48 x 16 (d=4.8mm) vidalarıyla sağlanmıştır.



Şekil 1.1 Deneyde kullanılan altı tip panel (Fülöp ve Dubina, 2004)

Model I ve Model II' de cephe kaplaması olarak dalgalı sac levhalar kullanılmıştır. Levhaların montajı, kenar dikmelere her dalga arasından, ara dikmelere iki dalga da bir 4.8mm çaplı vidalarla yapılmıştır. Model I'de dalgalı levha tek yüzde uygulanırken, Model II'de dış yüzü dalgalı sac ile iç taraf ise alçı levha ile kaplanmıştır. Model III'de çerçeve 110x1.5mm çaprazlar ile rijitleştirilmiş, Model IV'de 1 nolu modele ilave olarak 1.20m genişliğinde kapı boşluğu açılmıştır. Model V'de çerçevenin tek yüzü tamamen 3 adet OSB paneli dikey yerleştirilerek kaplanmış, Model VI'da 5 nolu modele 1.20m genişliğinde kapı boşluğu açılmıştır.

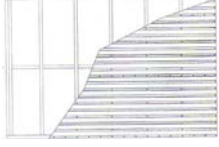
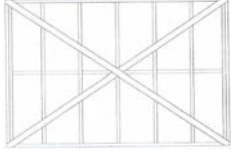
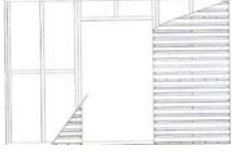
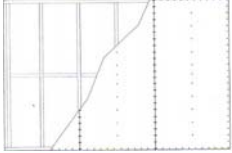
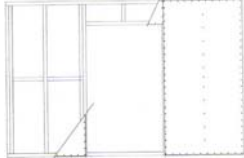
Model I'de, deney sırasında önce modelin alt başlığında ve köşelerinde önemli deformasyonlar oluşmuş, salınım arttıkça kenar dikmelere bağlı kaplama uçlarında dönmeler meydana gelmiştir. Birleşimlerdeki bölgesel deformasyonların, özellikle dalgalı levhaların ek yerinde ve çevresinde yavaş yavaş arttığı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

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

Model III'de çaprazlarda başlayan burkulmaları alt başlıktaki bölgesel deformasyonlar takip etmiştir. Hasar köşe noktalarda yoğunlaşmıştır. Çaprazlarda önemli plastik davranışlardan ve köşelerdeki beklenmedik hasarlardan dolayı, sonuçların süneklik ve kapasitenin çapraz lamalarla rijitleştirilmiş panellerden beklendiği gibi olmadığı not edilmiştir.

Tablo1.1'de test yapılan perde duvarların kaplama ve test özellikleri görülmektedir

Tablo 1.1 Duvar panellerinin özellikleri (Fülöp ve Dubina, 2004).

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

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

birleşimlerde birbirini izleyen deformasyonlar birleşimlerin birindeki ayrılmayla son bulmuştur. Yük taşıma kapasitesinin azaldığı ve dalgalı levhanın dikmelerden ayrıldığı gözlenmiştir.

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

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

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

Birleşimin önemini vurgulamak amacıyla yine aynı üniversitenin hazırladığı, testin birincisinde iki ince levhanın birleşimdeki, diğerinde ise biri ince diğeri kalın çerçeve ile levhanın birleşimdeki birleşim elemanları test edilmiştir. Ortalama yük kayma eğrilerinden şiddetli yüklemedeki beklenen davranışları en azından tahmin edilebileceği ortaya çıkmıştır. Duvar panellerinin davranışları birleşim özellikleriyle karakterize edilir.

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

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

Taban başlığındaki ankraj bulonu bölgesindeki bozulmalar açısından köşe detayları çok önemlidir. Köşe detayı için en ideal çözüm, yükün doğrudan çaprazlardan ya da köşe dikmeden alt başlıkta eğilmeye sebep olmadan ankraj bulonuna ulaşmasını sağlamaktır.

2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLAR

Çelik yapılarda kullanılan iki tür çelik taşıyıcı eleman vardır. Bunlardan birincisi, konvansiyonel çelik yapılar olarak isimlendirilen ve yaygın şekilde kullanılan sıcak haddeleme sonucu üretilen profiller ya da levhaların belirli boyutlarda kesildikten sonra birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulan yapma profillerdir. İkincisi ise gün geçtikçe kullanım alanı artan ve tanınan soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profillerdir ve hafif çelik yapı sistemlerinin oluşturulmasında kullanılırlar.

Hafif Çelik Yapı Sistemi–diğer adıyla Bükme Saç Profilli Üretim Sistemi- galvanizli saç levhaların soğukta şekillendirilmesiyle üretilen profillerin betonarme sürekli temel üzerine kurulmasıyla oluşan bir yapı üretim sistemidir. Soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlar bina ve köprü konstrüksiyonlarında, araba gövdelerinde, drenaj tesisatlarında kullanılır. Bu sistemin inşaat tekniği, sıcakta şekillendirilmiş profillerle oluşturulan çelik sistemden farklıdır. Ağır profillerde kolon – kiriş sistemi kurulur ve bu iskelet ile tüm yatay ve düşey yükler taşınır. Hafif çelik sistemde ise yükler, çoğunlukla soğukta şekillendirilmiş profillerden oluşturulmuş duvar ve döşeme elemanlarıyla taşınır. Az katlı binalarda soğukta bükülmüş profillerin kullanılması ekonomiktir (Işık, 2001). Şekil 2.1’de bir hafif çelik yapı sistemi, Şekil 2.2’de ince cidarlı elemanlardan oluşan bariyer görülmektedir.



Şekil 2.1 Hafif çelik yapının genel görünüşü (Akşan A.Ş. Fotoğraf Arşivi, 2004)



Şekil 2.2 Soğukta şekillendirilmiş profillerin menfez, korkuluk, bariyer işaretleri olarak kullanılması [2]



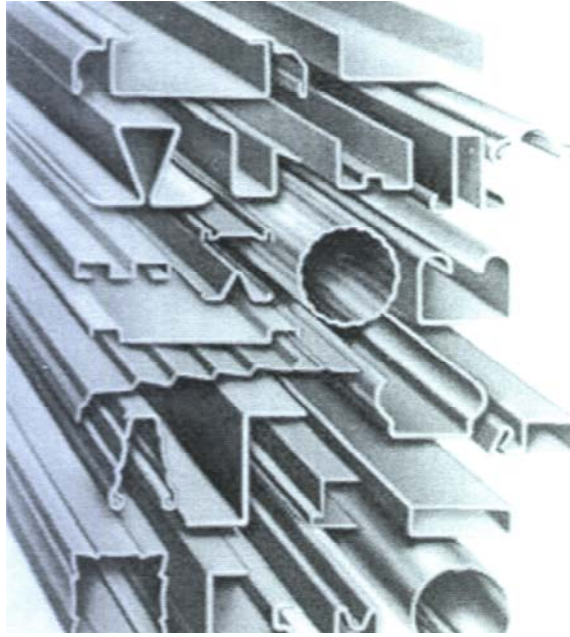
Şekil 2.3 Alt yapı tesisatı için hazırlanmış soğukta şekil verilmiş yapılar (Outinen, 2000)

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, dalgalı çelik borular yağmur suyu kanalından altyapı tesisatına, basit yeraltı tünellerinden büyük köprülere kadar çok geniş alanda kullanılmaktadır.

Ahşap yapı teknolojisinden yararlanarak bükülmüş saç profillerle oluşturulan taşıyıcı sistemler çoğunlukla konut üretiminde kullanılmış ve sistem genel olarak bükme saç profilli konut üretim sistemi (Light Gauge Steel System) olarak isimlendirilmiştir (Canitez, 2002).

Profillerin oluşturulmasında, sürekli şekil verme ya da presleme yöntemi kullanılır. İşlemden önce saç levhalar sıcak çinkoya batırılarak malzemenin korozyona uğraması geciktirilir. En yaygın kullanılan profiller Şekil2.4'te görüldüğü gibi U, S, C, L profilleridir.

Soğukta şekillendirilen profillerin genişlikleri genel olarak 2-21 inc (51mm–305mm), et kalınlıkları ise 0.048 –1/4 inc.(1.2mm-6.4mm) arasındadır. Bu elemanlar 3-4 katlı yapıların ana taşıyıcı sistemlerinde birinci derece yük taşıyıcı olarak kullanılabilirler (Yu, 2000).



Şekil 2.4 Soğukta şekillendirilmiş profiller(Yu, 2000)

2.1 Sistemin Gelişimi

20. yüzyılın başlarında uçak endüstrisinin hafif ve taşıma kapasitesi yüksek elemanlara ihtiyaç duyması soğukta şekil verilerek üretilen çelik elemanlarla kurulan hafif çelik yapılar konusunda yoğun araştırmaların yapılmasını sağlamıştır. Uçak endüstrisinde ağırlığı azaltmak için alüminyum alaşım kullanılmaktadır. Bu malzemenin boyutlandırmasında yapılan bazı değişiklikler bu kuralları çelik malzeme için de geçerli kılmaktadır. Bu tür yapı tekniğinin araştırılmasını sağlayan diğeri bir faktör de otomobil endüstrisidir. Birinci Dünya Savaşı sırasında araba kaportaları ve demiryolu vagonları çelik levhalara soğukta şekil verilerek üretilmiştir. Daha sonraları da bu teknikle pencere ve kapı doğramaları gibi taşıyıcı olmayan elemanlar üretilmiştir (Uzgider ve Arda, 1989).

İkinci Dünya Savaşı sırasında çelik malzeme darlığının ortaya çıkması bu sistemin gelişmesini önlemiştir. Savaş sonrası konut ihtiyacının artmasıyla hızlı ve nitelikli üretime olan gereksinim de büyümüştür. Amerika’ da birçok firma 1940’ların sonu, 50’lerin başında evleri hafif çelik malzemeden yapmaya başlamıştır. Ohio ve Pensilivanya gibi çelik üretim merkezlerine yakın olan alanlarda önce 100 daha sonra 1000’e yakın konut binası yapılmıştır (Tartar, 2002). Ancak kullanıcıların muhafazakâr tutumu, alışkanlıkların etkisi, boyutlandırma kurallarının klasik çelik yapıdakinden farklı oluşu, göz önünde bulundurulması gereken göçme mekanizmalarının daha fazla oluşu Avrupa’ da bu sistemin beklendiği kadar yaygınlaşmasını engellemiştir (Uzgider ve Arda, 1989).

Bu tür yapıları konu eden bir standardın oluşturulması ve soğukta şekil verilmiş profillerle ilgili yeterli araştırma, alt yapı ve bilgi birikimi olmaması nedeniyle Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute- AISI), Cornell Üniversitesi ve benzeri üniversitelere bu profillerin çeşitli yükleme hallerindeki davranışlarını incelemesi için fonlar sağlamıştır. Bu araştırmalar sonucunda AISI tarafından 1946 yılında “Specification for Design of Light Gauge Steel Structural Member – Hafif İnce Cidarlı Çelik Eleman Tasarımı için Yönetmelik” isimli standart hazırlanmıştır. Bu standart sonraları yeni bilgiler çerçevesinde geliştirilerek son şeklini almıştır. Aynı zamanda Almanca, İtalyanca, Çince, İspanyolca, Fransızca dillerine tercüme edilmiştir. İngiltere, Fransa, Almanya, Kanada gibi bir çok ülkenin standartlarında bazı boyutlandırma kuralları AISI temel alınarak yapılsa da her ülke kendi ekonomik ve teknolojik özelliklerini göz önünde tutarak yaptıkları araştırmalar neticesinde kendi standartlarını oluşturmuşlardır (Uzgider ve Arda, 1989).

Hafif çelik yapıyı en çok kullanan ülke ABD’dir. Çünkü bu ülkede yapıda kullanılacak malzemenin taşınmasının kolay ve ucuz olması önemlidir. Önceleri duvar, döşeme, çatı kaplaması olarak kolay taşınabilen ve ucuz olan ahşap kullanılmış, ancak günümüzde ahşabın daha yararlı yerlerde kullanılması, 1991’lerin sonu 1992’lerin başında dört ay gibi kısa bir sürede kereste fiyatlarında %80 artış olması ve çeliğin geri dönüşümlü bir malzeme olması hafif çelik yapı sisteminin ön plana çıkmasını sağlamıştır (Işık, 2001).

Hafif çelik çerçeve sistemler 1950’lerin sonlarına doğru çok katlı yapıların strüktür sistemlerinde de geniş kullanım alanı bulmuştur. Binalarda ahşabın yerine hafif çelik elemanların kullanılması yapılara yeni bir nitelik kazandırmıştır (Tartar, 2002).

2.2 Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanların Yararları

- Çelik profiller homojen, izotrop, yüksek rijitlik, yüksek düktilite özelliklerinin yanında sürekli denetlenerek üretildiğinden güvenlidirler (Akşan A.Ş. Kataloğu, 2004).
- Soğukta şekil verme yöntemiyle yük taşıma kapasitesi / ağırlık oranı oldukça yüksektir.
- Hafif olduğu için ölü yükleri en aza indirger.
- Galvanizleme yoluyla sağlanan korozyon direnci, sistemin uzun ömürlü olmasını sağlar (Akşan A.Ş. Kataloğu, 2004).
- Optimum kesitler hızlı ve ekonomik şekilde üretilir (Uzgider ve Arda, 1989).
- Yapı elemanlarının hafif oluşu bunların üretildikleri yerden (fabrikadan) monte edilecek yere kadar (şantiyeye) ekonomik ve hızlı bir şekilde taşınmasını sağlar (Uzgider ve Arda, 1989).
- Az açıklıklı ve dış yüklerin az olduğu elemanlarda hadde profillerine oranla çok daha ekonomik boyutlanma olanağı sağlar (Uzgider ve Arda, 1989).
- Hızlı ve ucuz montaj imkânı sağlar. Taşıyıcı iskeletin betonarme sürekli temel üzerinde kurulumu, yapı bileşenlerinin birleşim yerleri, birleşimde kullanılacak yardımcı elemanların biçimlenişleri ve boyutları üretim projelerinde ön görülmüş olduğundan bu işlem doğru ve hızlı olarak gerçekleşir (Mufti, 2001; Özlü, 2001). Şekil 2.5'te tek katlı bir yapının kısa sürede inşa edilmesi görülmektedir.
- Sistemi oluşturan elemanların çok sayıda üretilip stoklanması mümkündür [2].
- Uygulamada herhangi bir şekilde kalıp kullanılmadığından ölü malzeme maliyeti yoktur (Akşan A.Ş. Kataloğu, 2004).
- Geri dönüşümlü bir malzemedir. Çeliğin Kuzey Amerika'daki geri kazanımı alüminyum, plastik ve camın geri kazanımından daha fazla olup, toplam endüstriyel geri kazanımı %64' tür [3].



1. Hafta

2. Hafta

3. Hafta

4. Hafta

Şekil 2.5 Hızlı inşaat olanağı [2]

- Yapım sırasında hava koşullarından çok fazla etkilenmez.
- Bakım masrafları düşüktür [2]
- Sökülüp tekrar monte edilebilir [2]
- Zararlı organizma ve termitten etkilenmez [3]

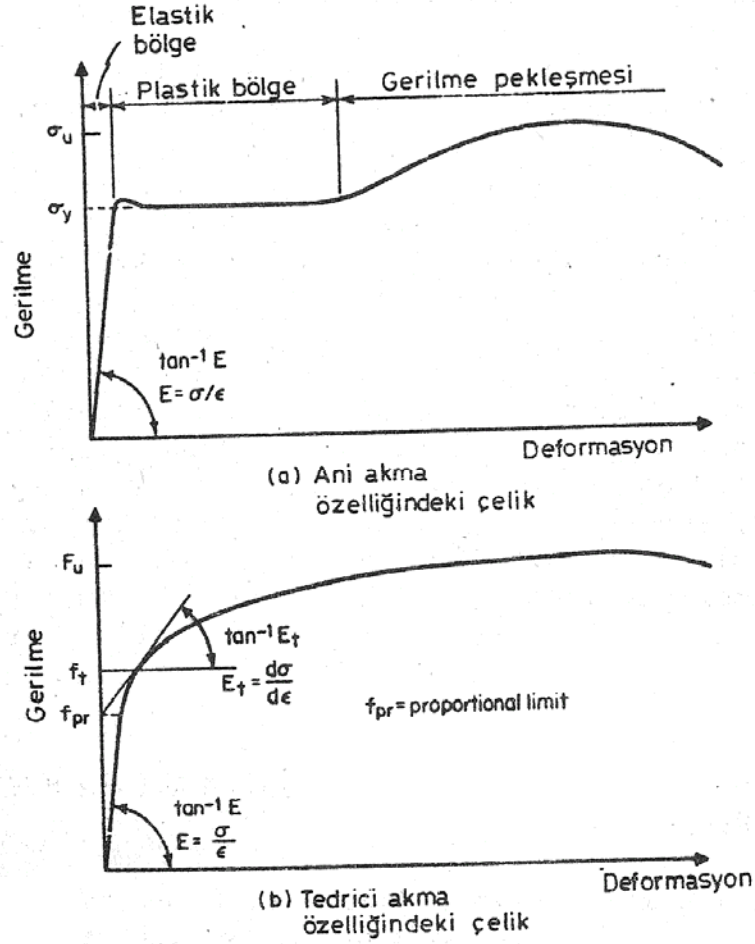
2.3 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanların Özellikleri

2.3.1 Malzeme Özellikleri

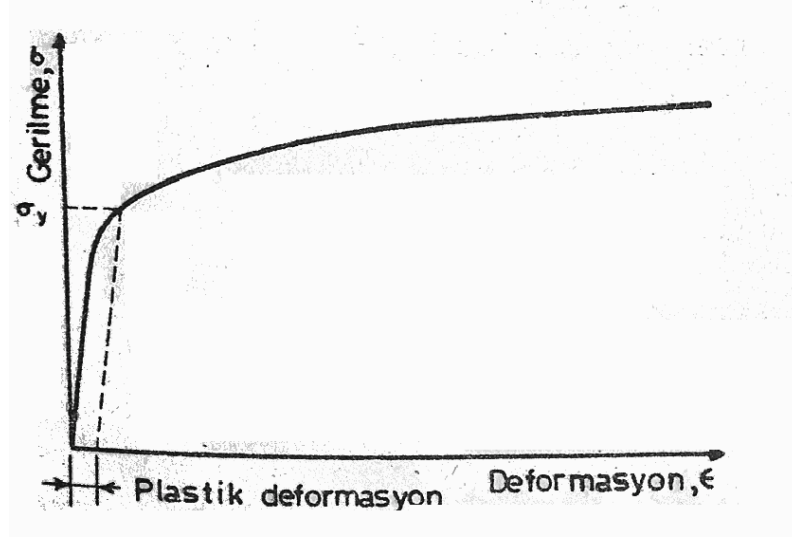
Soğukta çelik verilmiş çelik taşıyıcı elemanlarının yük taşıma kapasiteleri, elastik yerel burkulma veya tümsel burkulmanın kritik olduğu haller dışında, kullanılan malzemenin akma gerilmesine bağlıdır (Uzgider ve Arda, 1989). Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik malzemelerin akma gerilmeleri $200-560 \text{ N/mm}^2$ arasında, kopma gerilmeleri ise $300-560 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. İnce cidarlı çelik malzemenin elastisite modülü 210000 N/mm^2 'dir (Outinen, 2000).

Genel olarak çelik malzeme için Şekil 2.6'de görüldüğü gibi iki tip gerilme-deformasyon eğrisi söz konusudur. Bunlardan birincisi, Şekil 2.6.a'da görülen ani akma özelliğinde olmalıdır. İkincisi ise Şekil 2.6.b'de görülen tedrici akma özelliğindedir. Sıcakta haddeleme suretiyle üretilen çelik malzeme, Şekil 2.6.a'da görüldüğü gibi ani akma özelliği gösterir. Bu tip malzemede akma sınırı, gerilme-deformasyon eğrisinin yatay hale geldiği gerilme seviyesi ile tanımlanır. Öte yandan, soğukta şekil verme şeklinde üretilen çelik malzemede ise, Şekil 2.6.b'de görüldüğü gibi gerilme-deformasyon eğrisi tedrici akma özelliği gösterdiğinden akma sınırı "Kalıcı Plastik Deformasyon" yöntemiyle saptanır (Uzgider ve Arda, 1989).

Bu yöntemde akma gerilmesi %0.2 değerinde kalıcı plastik deformasyonu ϵ ekseninde temsil eden noktadan, Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçta sahip olduğu doğrusal kısma çizilen paralelin eğriyi kestiği nokta ile tanımlanır (Uzgider ve Arda, 1989).



Şekil 2.6 Ani ve tedrici akma gerilme-deformasyon grafikleri
(Uzgider ve Arda, 1989)



Şekil 2.7 Kalıcı plastik deformasyon yöntemiyle akma gerilmesinin belirlenmesi (Uzgider ve Arda, 1989)

2.3.1.1 Korozyona Karşı Koruma

Hafif çelik yapıların ana taşıyıcıları, çelik saçların soğukta şekillendirilmesiyle oluşan profillerdir. Çeliğin dikkat edilmesi gereken en önemli özelliği hava, su, toprak gibi ortamlarda oksijenin ve suyun etkisiyle çabucak bozunması ve metal yüzeyinde renkli pas oluşmasıdır. Metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamın bileşenleri ile tepkimeye girerek bozunmalarına “korozyon” denir (Çakır, 1998).

Relatif nem %60’ın üstüne çıktığında, ziraat bölgesinde, endüstri bölgesinde ve deniz kenarlarında korozyon tehdidi ortaya çıkar (Işık, 2001). Çelik, atmosferik ortamda yılda 0.05mm ile 0.125mm korozyona uğrar (Çakır, 1998).

Çelik malzemenin korozyona karşı korunması için uygulanan yöntemler:

- **Çelik Yüzeyini Kaplamak- Püskürtme Yöntemi:**

Kimyasal veya mekanik yoldan çeliğin yüzeyi temizlendikten sonra kaplama maddesi olarak daha çok oksit silikat, metalik (kurşun veya çinko esaslı astar) veya organik esaslı (yağ, bitüm, plastik ve yağlı boya) malzemeler kullanılır. Bu yöntemde esas olan, kaplama maddesinin genleşme katsayısı ile çeliğin genleşme katsayısının birbirine uygun, koruyucu tabakanın belli bir kalınlıkta, deliksiz, kesintisiz ve aşınmaya karşı belli bir sertlikte olmasıdır (Bahadır, 1997).

Metalin üzerini kaplamak için en yaygın olarak kullanılan metal, çinkodur. Çünkü çinko havada, suda ve toprakta çelikten önce çözünür ve böylece çeliği korur. Çelik korozyona uğradığı zaman çözünme ürünü olarak renkli, kırmızı kahverengi ve katı

ürünler oluşturur; yani pas yapar. Bunun yanında çinko çözündüğü zaman sulu iyonlar halinde yüzeyden ayrılır. Dolayısıyla sadece çeliği korumakla kalmayıp, aynı zamanda çirkin görüntü oluşmasının da önüne geçmiş olur (Ören, 1999).

Çinko kaplamaların en uzun kullanım ömrü, havada kükürtlü gazların var olmadığı kırsal bölgelerde elde edilir. Yüksek asit içeren ortamlarda çinko kaplamalar çok çabuk etkilenmelerine rağmen daha etkili ve ekonomik korumanın olmaması nedeniyle bu tür ortamlarda da yaygın olarak kullanılır. Çinko kaplamalar sık sık aside dayanıklı boyalarla ya da diğer organik kaplamalar uygulanarak daha etkili hale getirilir. Bu sayede çinko kaplamalar daha dayanıklı hale gelir ve organik kaplamanın zedelendiği durumlarda çabuk bir şekilde kaplama altı korozyonu oluşmasını engeller (Ören, 1999).

- **Galvanizleme Yolu ile Korozyon Önlemi:**

Çinko metalini çelik yüzeyine kaplamanın çok çeşitli yöntemleri olmakla birlikte en yaygın kullanılan çeliğin sıvı çinko metaline daldırılıp çıkartılması sırasında yüzeyde donarak katılaşması yöntemidir (Karakuş, 1994). Tüm dünyada kullanılan bu yöntem “sıcak daldırma ile çinko kaplama” ya da “galvanizleme” olarak bilinir. Halen dünyada üretilen çeliğin yarıdan fazlası galvanizleme yöntemiyle korunur. Çinko kaplamaların kalınlıkları 50 µm’a kadardır. 1 mikron (milimetrenin binde biri) kalınlığında bir kaplama bir metrekare alanda 7.2 gr çinko bulunduğuna işaret eder (Ören, 1999).

Hafif çelik profilleri oluşturan çelik saçların kesiti ince olduğu için korozyondan etkilenmesi de fazla olur. Genellikle çelik saçlar galvanizlenmiş olarak fabrikaya gelir ve burada soğukta şekillendirme işlemine alınır. Galvaniz kaplama bu şekillendirme işlemi sırasında zarar görmez. Ancak daha sonra bulon deliği açılması sırasında ortaya çıkan yeni yüzeyler korozyon tehdidi altındadır. Onun için profillerin şekillendirilip, boşluklar açıldıktan sonra galvanizleme işlemine alınması daha doğru olur. Bu tekniği ülkemizde uygulayan firma sayısı az da olsa mevcuttur.

Ayrıca bulon çevrelerinde paslanma olmaması için bulon ve çivilerin de galvanizlenmesi hem kullanım ömürlerini artıracak hem de bu bölgede çeliğin korozyona uğramasını engelleyecektir.

- **Çeliğin Alaşımına Katılan Katkılarla Korunması:**

Bu yöntemle çeliğin dış yüzeyinin yanı sıra içyapısı da korozyondan korunur. Ancak oldukça pahalı bir sistemdir. Korozyona karşı çeliğe az miktarda (% 0.3) bakır ve (% 0.5) fosfor katılarak koruma sağlanır. Bakır bulunan alaşımların yüzeyinde çeliği korozyondan koruyan oksidasyon tabakası oluşur (Bahadır, 1997).

- **Elektrolit Kaplama:**

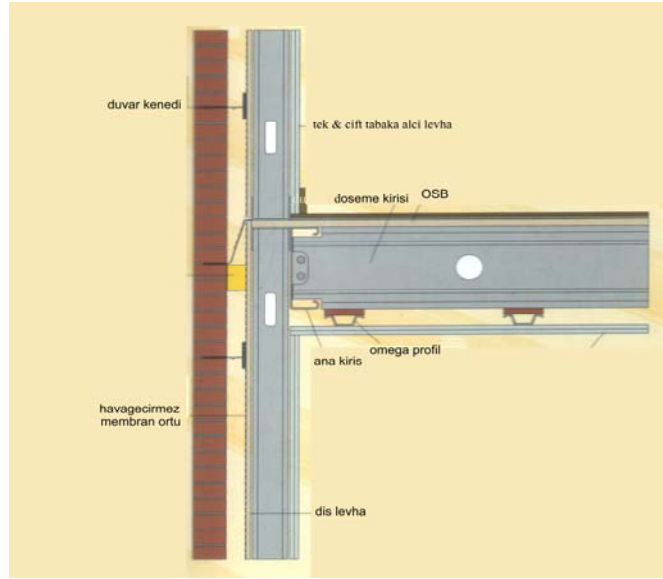
Çinkonun ergitildikten sonra metal yüzeye püskürtülmesi “elektrolit kaplama” dır. Bu yöntemde elektrik akımı yardımıyla sulu çinko iyonlarını içeren çözeltiye daldırılan metalden elektrik akımı geçirilerek çinko metal halinde taban malzeme üzerinde açığa çıkarılır. Çinko kaplamaların kalınlıkları elektrolit kaplama ile 3-8 µm kadardır. Elektrolit kaplama ile elde edilen ince çinko kaplamalar sünek olduğu için derin bükülecek çeliklerde bu kaplama yaygın olarak kullanılır (Çakır, 1998). Çinko kaplamanın kalınlığı çeliğin içerdiği diğer maddelerin etkisi ve galvanizleme amacıyla kullanılan çinko ve diğer metallere bağlı olarak değişir. Ayrıca kaplama tesisindeki işlem parametreleri de kaplama özelliklerini etkiler.

Ülkemizde dalgalı saçlar eskiden beri galvanizli olarak endüstriyel yapılarda, çatı ve duvar kaplaması olarak kullanılmaktadır. Son on yıldan beri ise bunların yanı sıra trapezoidal bükümlü saçların da, yine hem galvanizli hem de darbeye dayanıklı özel fırın boyalı olarak, inşaatlarda kullanımına başlanmıştır (Büyüktaşkın, 2000).

2.3.1.2 Yangına Karşı Koruma

Bir yangının çıkması ve gelişmesi için, üç elemanın birlikte bulunması gerekir: yanıcı bir malzeme, oksijen ve ısı kaynağı. Tutuşmanın asgari sıcaklığı, yanıcı malzemenin cinsine, şekline, yüzeyine ve porozitesine bağlıdır. Hafif çelik malzemesi kesitlerinin ince olduğu dikkate alınırsa hadde profillerine göre yanıcılığının daha fazla olduğu ortaya çıkar. Yanış hızı ise, yanma yerinde oksijenin yenilenmesine bağlıdır (Yıldırım, 2003). Hafif çelik taşıyıcılı sistemler yangından korunmalıdır. Sıcaklık 450 °C yi aştığı zaman çelik malzeme uzama etkisiyle taşıyıcılığını kaybeder. Sıcaklığın taşıyıcı elemanlardan uzak tutulması gerekir. Kaplama malzemesi olarak seçilecek malzemenin yanma sırasında zehirli gaz ve duman çıkarmamasına da dikkat edilmelidir. Ayrıca galvanizli saçların yanma sırasında zehirli gaz çıkardığı da göz ardı edilmemelidir (Işık, 2001).

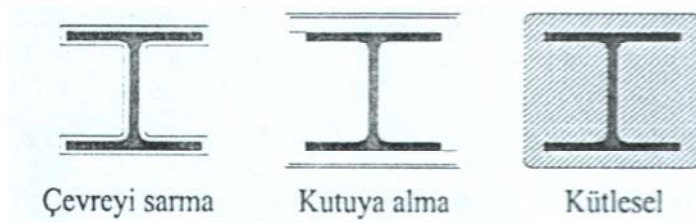
Şekil 2.8’de sıcaklığın taşıyıcı elemanlardan uzak tutulması için önlem alınmış bir duvar ve döşeme kesiti görünmektedir.



Şekil 2.8 Yangın önlemi alınmış duvar kesiti [4]

Taşıyıcı sistemin dışardan korunması için kutulama ya da kaplama, püskürtme ile giydirme, sıvama ve beton ya da tuğla ile kaplama yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılır. Islak yöntemde şişen yalıtkanlar, püskürtme sıvalar ve beton, kuru yöntemde ise levha ve hafif beton plaklar kullanılır. Çelik elemanlar giydirilerek yangına karşı korunmuş olurken, iç mekânda profillerin soğuk yüzünün görünmemesini sağlar (Yıldırım, 2003).

Şekil 2.9’da yalıtım türleri, Şekil 2.10 ’da yangına karşı bir yalıtım türü olan çift tabaka levha kullanımı görülmektedir.



Şekil 2.9 Yalıtım türleri (Uzgider ve Arda, 1989)

Özel boyaların başarılı olabilmesi için iyi bir yüzey temizliği yapılmalı, primer uygulamalarla aderansı arttıracak tabakayı elde etmeli ve korumayı sağlayacak son kat da başarılı bir şekilde uygulanmalıdır (Yıldırım, 2003).



Şekil 2.10 Çiftli tabaka levha kullanımı [4]

2.3.2 Soğukta Şekil Verme Yöntemleri

Hafif çelik yapıların taşıyıcı elemanlarını oluşturan profiller çelik levhaların soğukta şekil verilmesiyle üretilir. Çelik levhaya soğukta şekil vermenin iki yolu vardır:

- Sürekli Şekil Verme
- Pres Kulamla

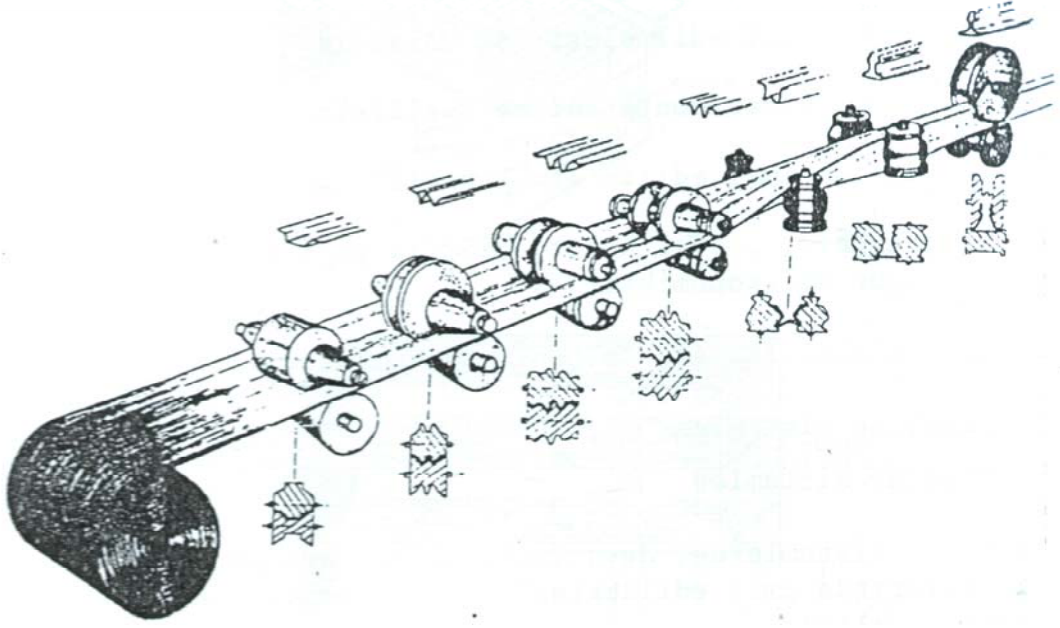
Şekillendirmede CNC tezgâhları kullanılır. Farklı kalınlıktaki çelik saçlardan farklı biçimleniş ve boyutlarda profiller üretilir. Üretim işlemine en fazla sayıda üretilecek olan profil ile başlanır (Mufti, 2001; Özlü, 2001).

Genellikle çinko eriğine daldırılarak galvanizlenmiş (Hot Dip Galvanized) saç levhalar üretim projelerinde belirtilen üretim esaslarına göre soğuk şekillendirme işlemine alınır.

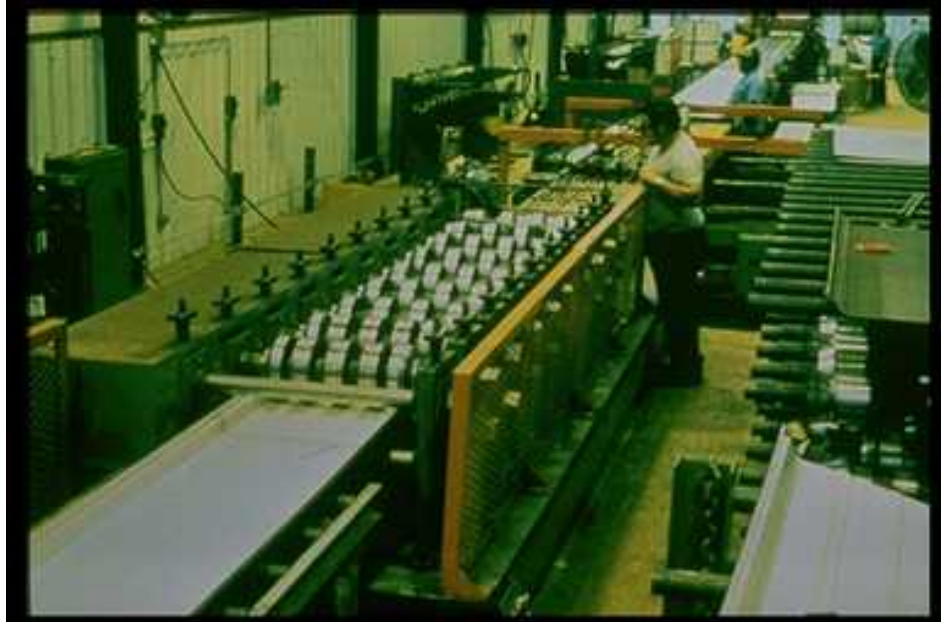
2.3.2.1 Sürekli Şekil Verme

Saç şeridi çeşitli kademelerde adım adım şekillendirilerek son formunu alır. Bu adımların her birisine pas veya istasyon adı verilir. Bir kesit şeklinin oluşması için gerekli pas veya istasyon sayısı, kesit şeklinin ne kadar karmaşık olduğuna bağlıdır (Uzgider ve Arda, 1989). Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de şekil verme yöntemindeki istasyonlar görülmektedir.

Sürekli şekil verme yönteminin en belirgin üstünlüğü, üretim hızının yüksek olması ve önceden galvanizlenmiş veya boyanmış malzemenin kaplamasına hasar verilmeden şekillendirilebilmesidir. Bu yöntemle şekillendirilen malzemenin kalınlığı genel olarak 0.004inc (0.1mm) den 0.312inc (7.9mm) ye kadar değişebilir (Uzgider ve Arda, 1989).

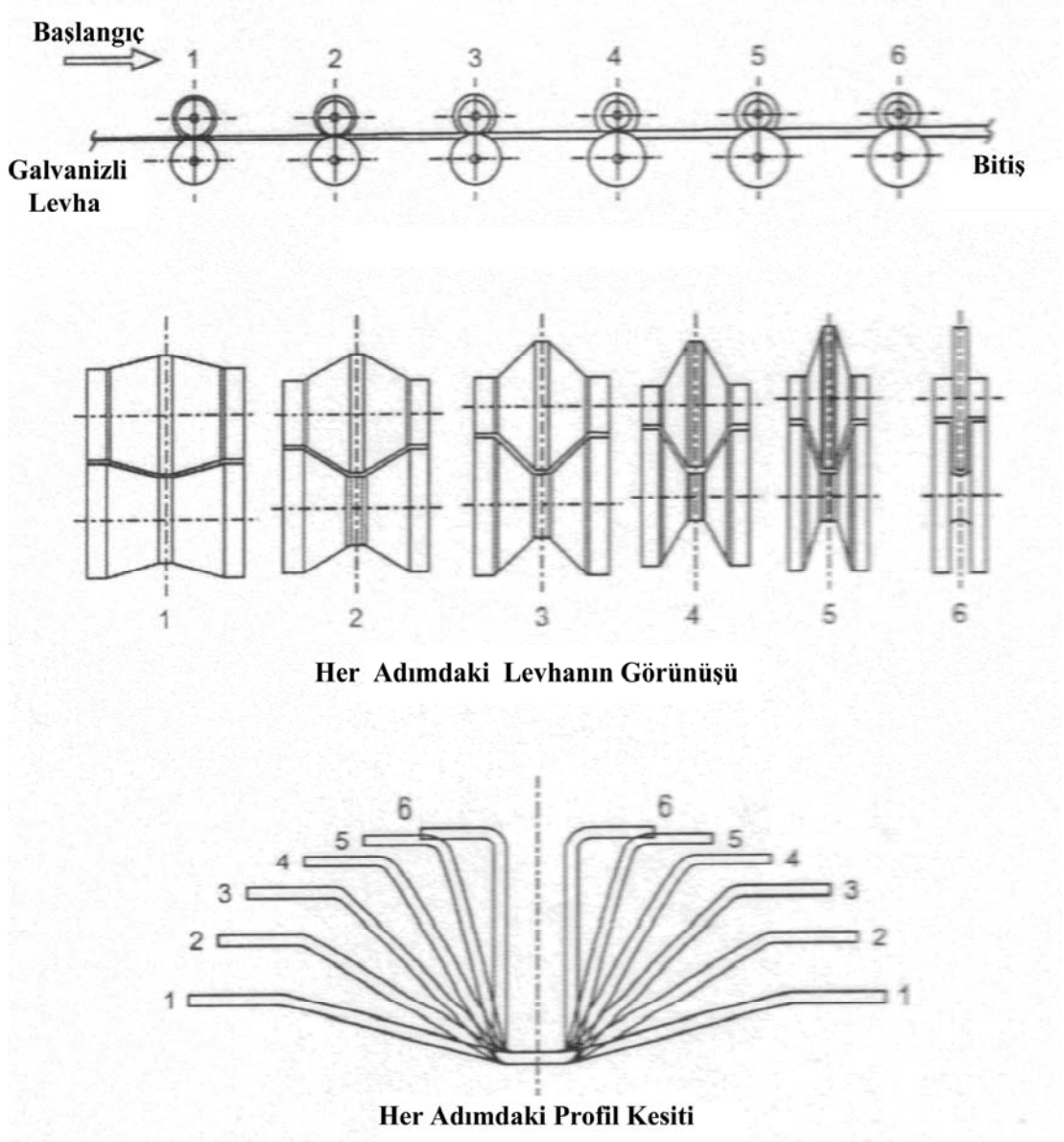


Şekil 2.11 Sürekli şekil verme yöntemindeki istasyonlar (Uzgider ve Arda, 1989)



Şekil 2.12 Sürekli şekil verme işlemi [5]

Şekil 2.13’de altı tane istasyondan oluşan sürekli şekil verme makinesinde profil kesitinin oluşması adım adım gösterilmiştir.

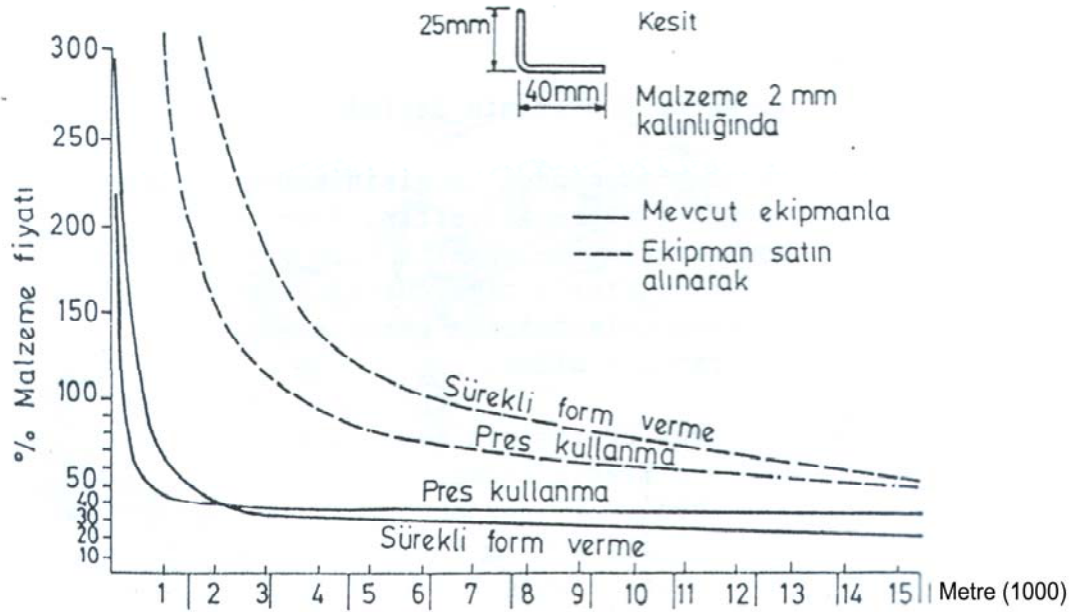


Şekil 2.13 Profil kesitinin oluşması (Rhodes, 2003)

2.3.2.2 Pres Kullanma

Bu şekil verme işleminde daha çok kısa boydaki elemanlar üretilir. Kesit şeklini belirleyen her köşe bir pres darbesiyle oluşturulur. Üretilebilecek kesitin karmaşıklığı kullanılan pres yatağının şekline bağlıdır. Bu amaçla kullanılan preslerin basma gücü genellikle 3-3.5m uzunluğunda eleman oluşturulmasını sağlar. Fakat 8m uzunluğunda eleman üretimini sağlayan kuvvetli presler de vardır (Uzgider ve Arda, 1989).

Bu iki şekil verme yönteminden hangisinin daha uygun olduğunu belirleyen en önemli etken maliyettir. Çok miktarda ve hızlı üretim istendiği durumlarda sürekli şekil verme yöntemini kullanmak daha uygundur. Ayrıca presli üretimin mevcut tesislerde gerçekleştirilebilmesi maliyetin artmasını da engelleyecektir. Şekil 2.14’ den de anlaşılacağı gibi mevcut tesislerde pres kullanma 1000 ile 2500m’lik üretim kapasitesinde daha ekonomiktir. Eğer yeni tesis kurulacaksa 10 000 ile 20 000m’lik üretim kapasitelerinde pres kullanmak ekonomiktir (Uzgider ve Arda, 1989).

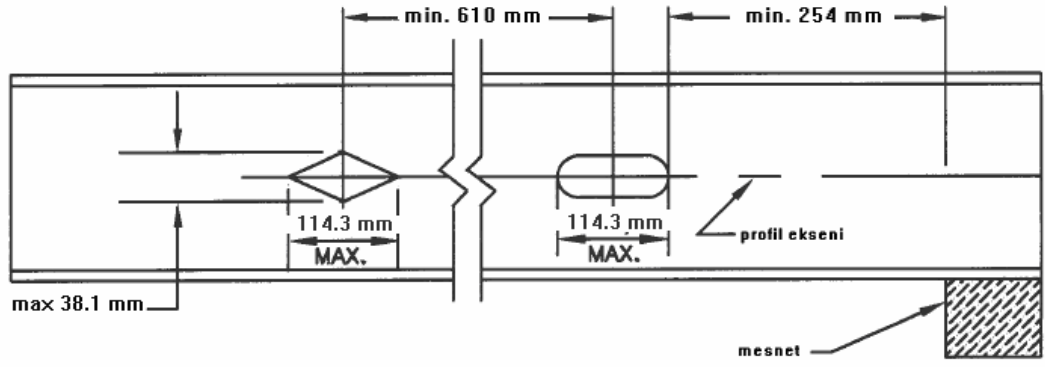


Şekil 2.14 Şekillendirme yöntemlerine göre üretim kapasitesi-maliyet grafiği
(Uzgider ve Arda, 1989)

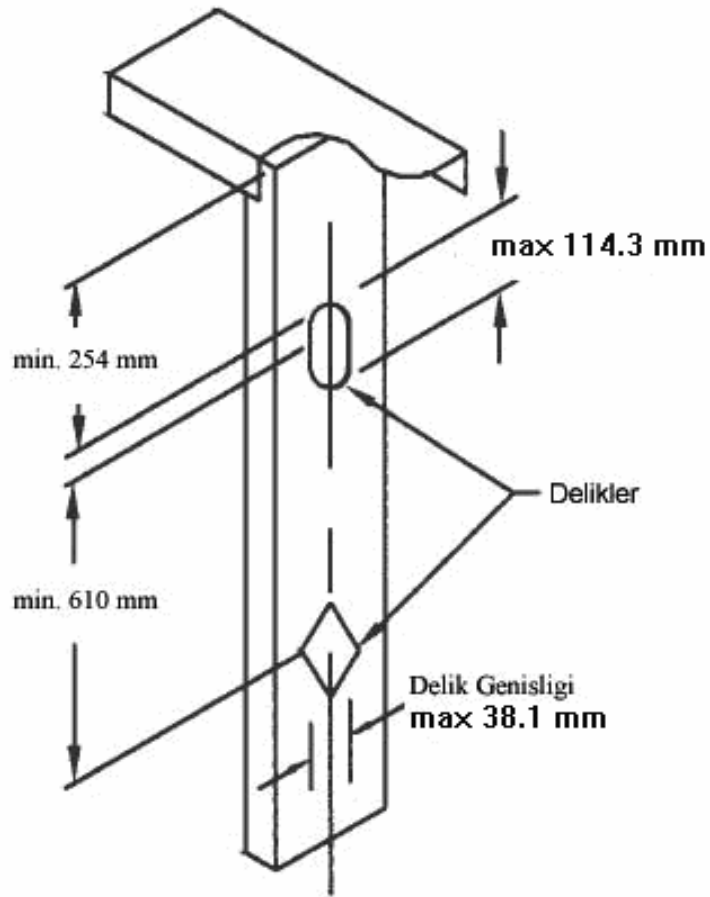
Profillerin üretimi sırasında farklı boyutların neden olduğu ürün kayıplarını önlemek için üretim sırası değiştirilebilir.

Profillerin soğuk şekillendirme işlemi öncesinde üretim projesinde öngörülen profil ölçüleri ve gerekli boşlukların yerleri CNC tezgahlarının bilgisayarlarına aktarılır. Bu da ürün ve zaman kaybını önemli ölçüde önler (Mufti, 2001; Özlü, 2001).

Soğukta şekillendirilmiş çelik profillerin ekseni üzerinde olmak şartıyla delikler açılır. Bu boşlukların NASFA’ya (Kuzey Amerika Çelik Birliği) göre maksimum boyutları ve olması gereken kenar mesafeleri Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Malzemenin ince olması nedeniyle delik çevresi çelik plaka ile çevrelenerek güçlendirilir.



Şekil 2.15 Profil üzerinde açılacak deliklerin maksimum kenar mesafeleri
(NASFA, 2000)



Şekil 2.16 Profil üzerinde açılacak deliklerin minimum kenar mesafeleri
(NASFA, 2000)

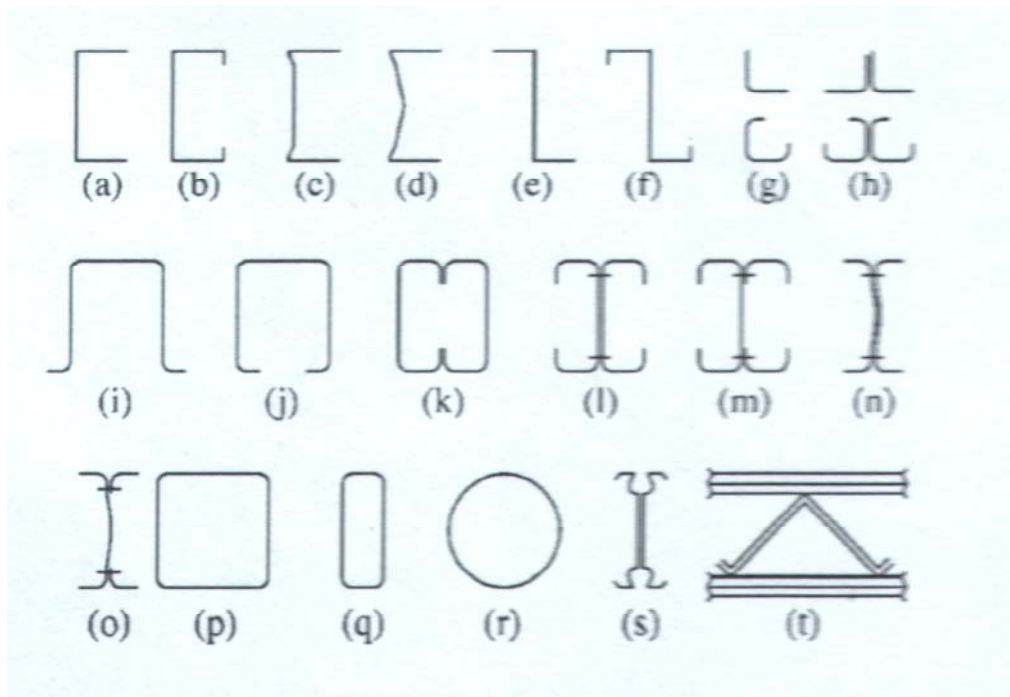
2.3.3 Soğukta Şekillendirilmiş Profillerin En Kesitleri

Hafif çelik profiller, karbon ya da çelik alaşımlarının soğuk şekillendirme makineleri ya da pres makinelerinde şekillendirilmesiyle oluşur. Bu elemanların kalınlıkları genellikle 0.048inc (1.2mm) ile 1/4inc (6.35mm) arasında olmakla beraber özel durumlarda 1inc (25.4mm) kalınlıklı çelik plakalarla yapılan yuvarlak ya da dikdörtgen kesitli çubuklar da soğukta şekillendirilebilir (Yu, 2000).

Eğer çelik 0.5mm'den daha ince olursa ulaşım ve montaj sırasında zarar görmesi kaçınılmazdır. Ayrıca yaygın olarak kullanılan şekil verme araçlarının limitlerinden dolayı 2.5mm'den daha kalın çelik malzemeler de mecbur kalınmadıkça tercih edilmez (Outinen, 2000).

Soğukta şekillendirilmiş ürünler, profiller ve yassı ürünler diye iki başlık altında toplanabilir. Profiller, kolon – kiriş gibi çerçeve elemanları oluşturmakta kullanılır. Soğukta şekillendirilmiş profiller 4-5 kata kadar kullanılabilirler. Daha yüksek katlı binalarda çerçeve elemanlar sıcak hadde profillerinden oluşturulurken, duvar dikmeleri, döşeme kirişleri, paneller ve tabliyeler gibi soğukta şekillendirilmiş ürünler de yardımcı elemanlar olarak kullanılır (Yu, 2000).

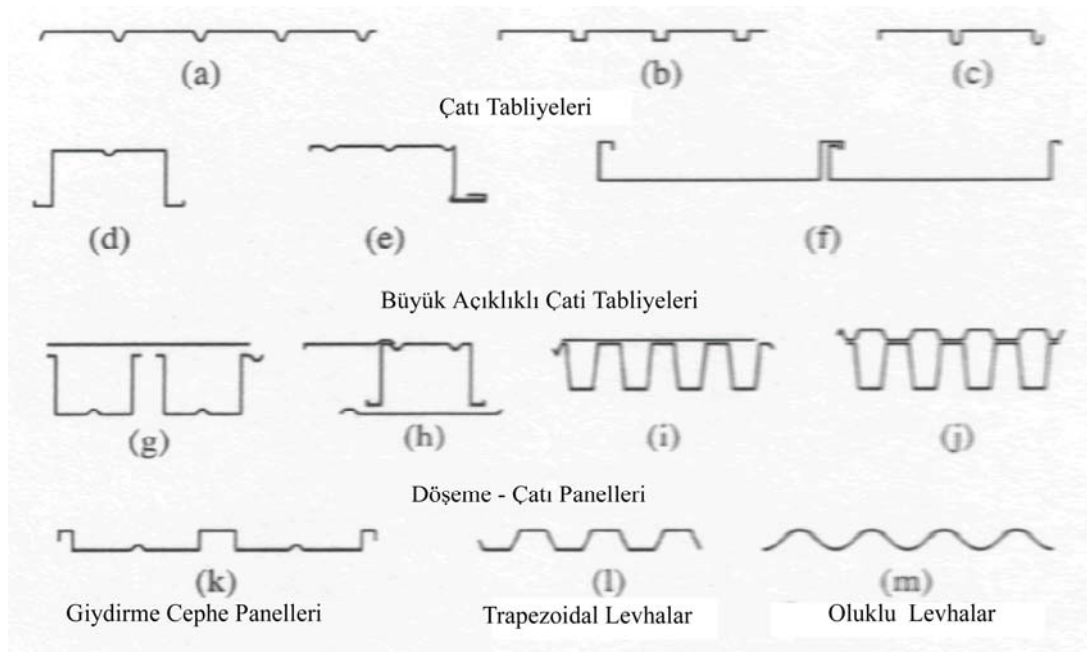
Şekil 2.17 'de yapılarda kullanılan değişik şekillerdeki soğukta şekil verilmiş profil kesitleri görülmektedir.



Şekil 2.17 Soğukta şekillendirilmiş profil kesitleri (Rhodes, 2003)

Soğukta şekillendirilmiş yassı ürünler genellikle çatı kaplaması, döşeme kaplaması ve duvar kaplaması olarak kullanılır. Çelik tabliyeler döşeme ve çatı oluşturulurken tek başına kullanılabileceği gibi betonla birlikte kompozit olarak da kullanılabilir. Kompozit plakalarda çelik tabliyeler sadece betona kalıp vazifesi görmez, aynı zamanda beton prizini aldıktan sonra kompozit sistem içinde donatı rolünü alır (Yu, 2000). Hücresel panellerin kanalları aynı zamanda ısıtma ve havalandırma olanağı sağlar.

Şekil 2.18’de soğukta şekil verilmiş yassı ürün çeşitleri, Şekil 2.19’da kompozit döşeme içinde kullanılan çelik eleman görülmektedir.



Şekil 2.18 Soğukta şekillendirilmiş yassı ürünler (Yu, 2000)



Şekil 2.19 Kompozit döşeme içinde kullanılan trapez eleman (Outinen, 2000)

Şekil 2.20’de soğukta şekil verilmiş yassı ürünlerden oluşmuş çatı mühürlü paneli ve Z kesitlerden oluşmuş aşık sisteminin bir kesiti görülmektedir.



Şekil 2.20 Aşık olarak kullanılan Z profillerin ve mühürlü panelin kesit görünüşü
(Aydöner, 2005)

2.4 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanların Boyutlandırılması

Soğukta şekillendirilmiş elemanların et kalınlıklarının ince olması nedeniyle kesit özellikleri hesabında ve boyutlandırılma sırasında göz önünde bulundurulması gereken bazı başlıklar aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1 En Kesit Değerlerinin Hesabı

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların enkesit değerlerinin hesabında işlemleri önemli oranda kısaltan bir kabul yapılır. Bu kabule göre; kesitin malzemesi, kesiti oluşturan düzlemsel veya eğrisel kısımların ortalama çizgileri boyunca konsantre olmuş, t et kalınlıklı bu kısımlar, doğrusal veya eğrisel çizgi elemanlarla yer değiştirmiştir. Bu şekilde ele alınan kesit şeklinin en kesit değerleri t et kalınlığıyla çarpılarak gerçek kesitin en kesit değerlerine geçilebilir (Uzgider ve Arda, 1989).

Ek A’da ortalama çizgiler teorisi (midline theory) kullanılarak C profillerin enkesit özelliklerini hesaplayan MATLAB programının listeleri verilmiştir.

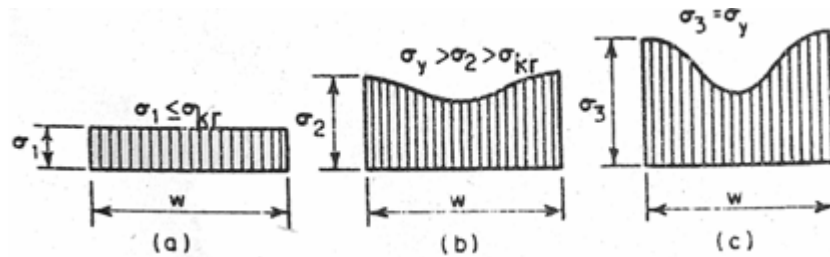
2.4.2 Plakların Burkulma Ötesi Yük Taşıma Kapasitesi Ve Etkin Genişlik

Soğukta şekil verilmiş elemanları oluşturan düzlemsel elemanların et kalınlıkları, genişliklerine göre oldukça incedirler. Bu nedenle, kendi düzlemlerinde etkiyen basınç, kayma ve eğilme gerilmeleriyle, ezilme gerilmeleri altında akma gerilmesinin çok altındaki bir gerilme seviyelerinde yerel burkulmaya maruz kalırlar (Uzgider ve Arda, 1989).

Bu alanda yapılan teorik ve deneysel araştırmalar, bu elemanlarda yerel burkulma meydana geldikten sonra, yük taşıma kapasitelerinin tamamen ortadan kalkmayıp, belirli bir miktar daha yük taşıyabildiklerini göstermiştir. Buna, elemanın “Yerel Burkulma Ötesi Yük Taşıma Kapasitesi” adı verilip; sıcak hadde profillerinin aksine, bu elemanların boyutlandırılmasında önemli ölçüde göz önünde tutulur (Uzgider ve Arda, 1989).

Tek boyutlu elemanlardan farklı olarak, rijitleştirilmiş düzlemsel basınç elemanları, kritik burkulma gerilmesine ulaşınca yük taşıma kapasitesini tamamen kaybetmez. Eleman üzerindeki gerilme dağılımının değişimiyle yük taşıma fonksiyonunu sürdürür. Bu, özellikle w/t oranı büyük olan bu elemanlarda burkulma ötesi yük taşıma kapasitesi olarak adlandırılır (Uzgider ve Arda, 1989).

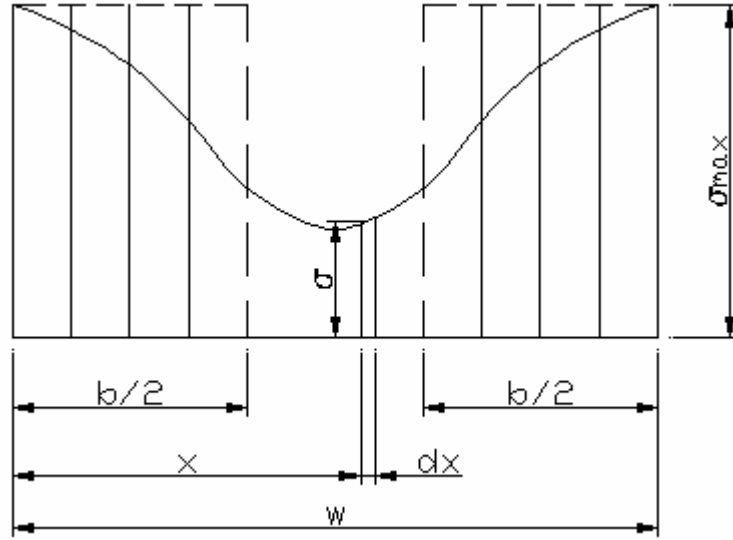
Gerçek bir plağı incelersek gerilme dağılımları Şekil 2.21'deki gibidir. Şekil 2.21.a'da burkulmadan önce plaktaki gerilme dağılımı görülmektedir. Burkulmadan sonra, plak ortasındaki belirli bir şerit tarafından taşınan yükün bir kısmı plağın, yükün etki doğrultusuna paralel iki kenarında yer alan ve burkulma deformasyonuna tam olarak katılmamış şeritlerince Şekil 2.21.b'de olduğu gibi taşınmaya başlar. Plak gerilmesinin kenar şeritlere kayması olayı, kenar gerilmesinin akma sınırına ulaşmasına kadar devam eder. Gerilme dağılımı Şekil 2.21.c'deki gibi olan plağın yük taşıma kapasitesi sona ermiştir (Uzgider ve Arda, 1989).



Şekil 2.21 Plak üzerindeki gerilme dağılımları (Uzgider ve Arda, 1989).

Bu mekanizma göz önünde tutularak Von Karman tarafından “etkin genişlik” kavramı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, plak genişliği üzerine yayılı olan üniform olmayan gerilme dağılımı yerine; toplam yükün, b fiktif genişliği üzerine üniform yayılı ve $\sigma_{\max}$ kenar gerilmesi şiddetindeki bir gerilme alanı tarafından taşındığı kabul edilir (Uzgider ve Arda, 1989).

Şekil 2.22’de efektif genişlik şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Efektif genişliğin şekil üzerinde tarifi (Uzgider ve Arda, 1989).

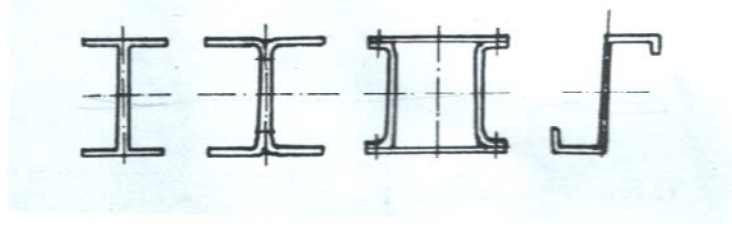
Bu etkin genişlik şöyle bulunur:

$$\int_0^w \sigma \cdot dx = b \cdot \sigma_{\max} \quad (2.1)$$

2.4.3 Burulma Rijitliği

Açık en kesitli taşıyıcı elemanların burulma rijitliği, et kalınlıklarının kübü ile orantılı olduğundan; bunların burulma rijitliği oldukça zayıftır. Örneğin gövde düzlemi içinde etkiyen yanal yük etkisindeki U kesitli bir kiriş, kayma merkezi gövde düzlemi dışında kaldığından eğilme deformasyonları yanı sıra önemli ölçüde burulma deformasyonları da yapar. Bu nedenle yapıda kullanılacak kesitlerin ağırlık merkezleri ve kayma merkezlerinin çakışması gerekir. Ayrıca kayma merkezi ağırlık merkeziyle çakışmayan, açık en kesitli ve ince cidarlı soğukta şekil verilmiş basınç çubuklarında zayıf burulma rijitliği nedeniyle eğilme – burulmalı burkulma, önemli bir boyutlama kriteri haline gelebilir (Uzgider ve Arda, 1989).

Şekil 2.23’de ağırlık merkeziyle kayma merkezinin çakıştığı kesitlere örnekler görülmektedir.



Şekil 2.23 Birbirine dik çift simetri eksenli profiller (TS 11372, 1994)

TS 11372’ye göre merkezlerin çakışmadığı U, omega, gövdeleri düzleminde burkulan T profiller gibi durumlarda, kesitin boyutlarına göre, ağırlık merkezi ile kayma merkezi arasındaki uzaklığın küçük kalması ve burkulmanın bu iki noktadan geçen düzlemde gerçekleşmesi gerekir.

3. SOĞUKTA ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN BİRLEŞİM YÖNTEMLERİ

Birleştirme işlemleri, yapının deprem etkileri karşısında gerekli rijitlik ve süneklilik davranışını sergileyebilmesi için son derece önemlidir. Hafif çelik yapı profillerinin birleşimlerinde kaynak, perçin, vida ve bulonlar kullanılır. Ancak hafif çelik yapıların taşıyıcı sistem bileşenlerinin temele veya temel üzerinde birbirleri ile birleştirilmesinde kaynak kullanılmamalıdır (Canitez, 2002).

Çelik elemanların birleşim hesaplarında “Specification for The Design of Cold-Formed Steel Structural Members” dan yararlanılmıştır.

3.1 Kaynaklı Birleşimler

Kaynak, aynı veya benzer alaşımlı metallerin ısı etkisi altında birleştirilmesidir (Deren ve diğ., 2002). Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların birleşiminde başlıca iki tip kaynak kullanılır. Bunlar ergitme ve direnç (basınç) kaynaklarıdır.

3.1.1 Ergitme Kaynakları

Ergitme kaynağında, birleştirilecek parçaların birbirine kaynaklanacak kısımları ile ilave metal (kaynak teli, kaynak elektrotu) ergitme dercesine (3000°C - 5000°C) kadar ısıtılır ve ergiyerek birleşen kısımların sonunda birleşim sağlanmış olur (Deren ve diğ., 2002). Ergitme Kaynak; soğukta bükülmüş elemanların birbirleriyle ya da hadde mamulü elemanlarla birleşiminde kullanılır (Tartar, 2002)

Soğukta şekillendirilmiş çelik elemanların birleşiminde kullanılan ergitme kaynakları türleri şöyledir:

- Küt Kaynaklar
- Ark spot kaynakları
- Köşe Kaynak
- Eğri kenarlı küt kaynak

3.1.1.1 Küt kaynaklar

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

$$P_n = L * t_e * F_y \quad (3.1)$$

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

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

b) Kaynak kesiti üzerinde kayma (3.2) ve (3.3) denklemlerinin verdiği değerlerin en küçüğüdür.

$$P_n = L * t_e * 0.6 * F_{xx} \quad (3.2)$$

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

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

$$P_n = L * t_e * F_y / \sqrt{3} \quad (3.3)$$

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

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

burada;

P_n :Küt kaynak mukavemeti

F_{xx} :Elektrod malzemesinin akma gerilmesi

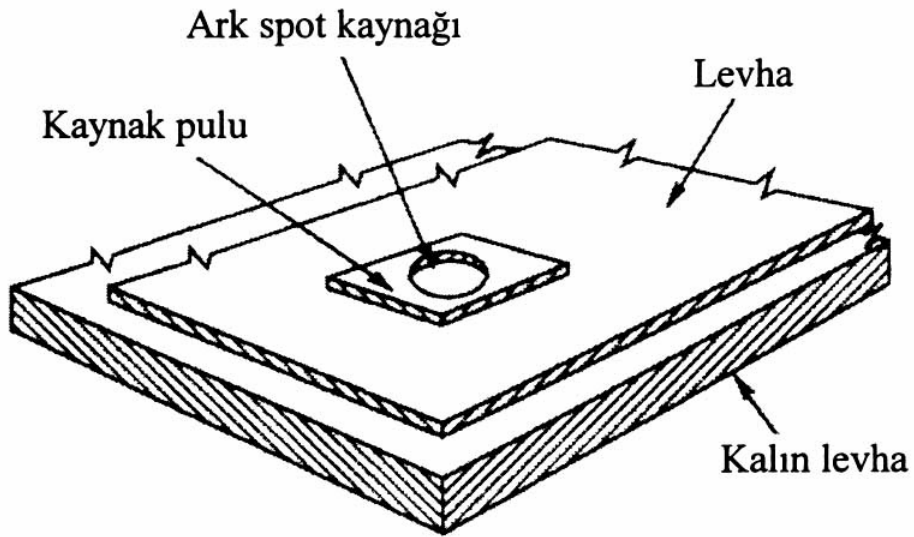
F_y :Çelik malzemede akma gerilmesi

L :Kaynak boyu

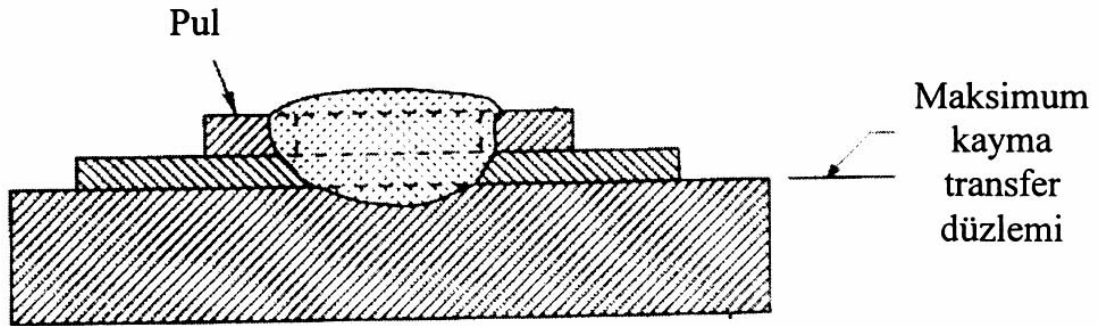
t_e :Kaynak kordonu kalınlığı

3.1.1.2 Ark Spot Kaynakları

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



Şekil 3.1 (a) Tipik kaynak pulu



Şekil 3.1 (b) Tipik kaynak pulu

Kaynaklanacak levha kalınlığı 0.711mm'den daha düşükse, Şekil 3.1 (a) ve Şekil 3.1 (b)'de görülen kaynak pulları kullanılır. Kaynak pullarının kalınlığı 1.27mm ile 2.03mm arasında olacaktır. Bunların üzerindeki deliğin çapı minimum 9.5mm olacaktır.

3.1.1.2.1 Kesme

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

- $$P_n = \frac{\pi * d_e^2}{4} * 0.75 * F_{xx} \quad (3.4)$$

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

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

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

$$P_n = 2.20 * t * d_a * F_u \quad (3.5)$$

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

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

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

$$P_n = 0.280 * \left[1 + 5.59 \frac{\sqrt{E/F_u}}{d_a/t} \right] * t * d_a * F_u \quad (3.6)$$

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

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

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

$$P_n = 1.40 * t * d_a * F_u \quad (3.7)$$

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

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

burada;

P_n : Bir ark spot kaynağının taşıyabileceği kesme kuvveti

d : Ark spot kaynağının dış yüzünün görünür çapı

d_a : t kalınlığının ortasında ark spot kaynağının ortalama çapıdır. Burada tek bir levha diğerine bağlanıyorsa $d_a = (d-t)$ ve çok sayıda levha bağlanıyorsa $d_a = (d-2t)$ 'dir.

(Kalın levhanın üzerine üst üste dört levhadan fazlası konulmaz.)

d_e : Maksimum kayma kuvveti transfer düzleminde kaynak arkının oluştuğu bölgenin etkili çapı:

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

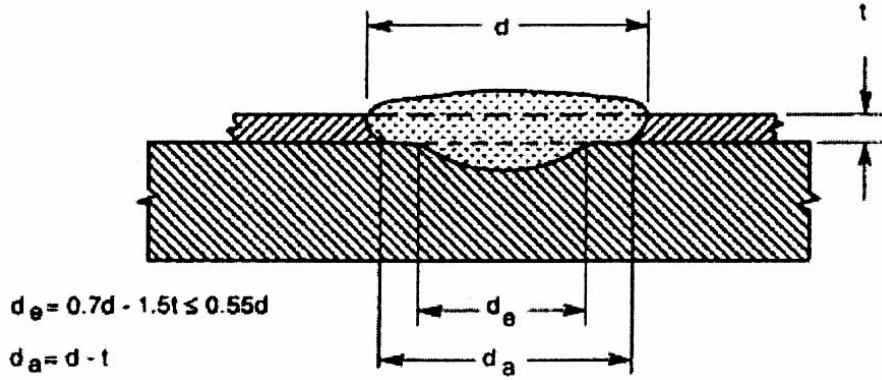
$$d_e \leq 0.55 * d$$

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

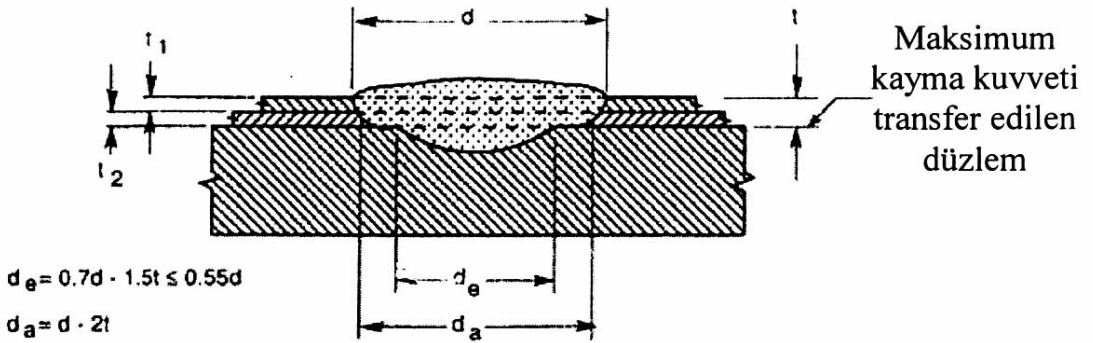
F_{xx} :Elektrot malzemesinin akma gerilmesi

F_u :Çekme gerilmesi

Not: Çap tanımları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Çap Tanımları – İki levha birleşimi



Şekil 3.3 Çap Tanımları – Üç levha birleşimi

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

$$e_{min} = \frac{P * \Omega}{F_u * t} \quad (ASD) \quad (3.8)$$

$$e_{min} = \frac{P_u}{\phi * F_u * t} \quad (LRFD) \quad (3.9)$$

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

$$\Omega = 2.0 \quad (ASD)$$

$$\phi = 0.70 \quad (LRFD)$$

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

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

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

Burada;

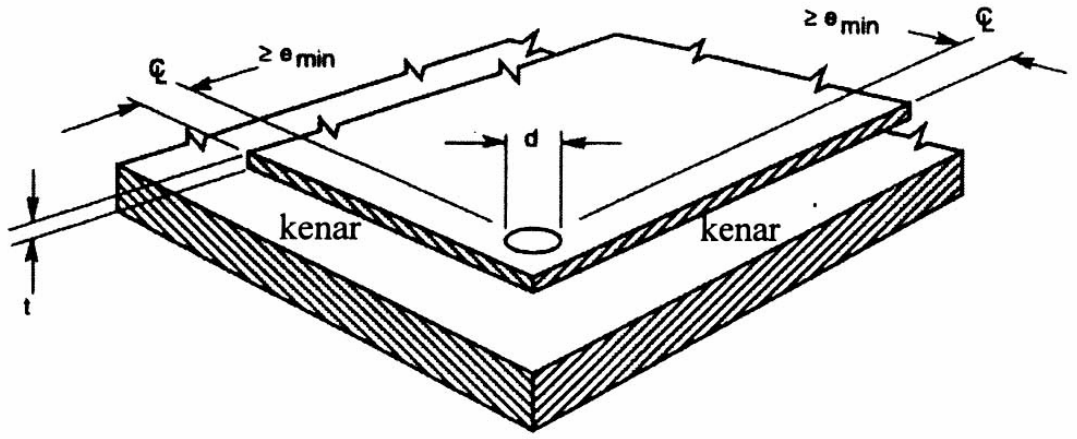
P :Kaynak tarafından aktarılması istenilen kuvvet (itibari kuvvet) (ASD)

P_u :Kaynak tarafından aktarılması istenilen kuvvet (faktörize kuvvet) (LRFD)

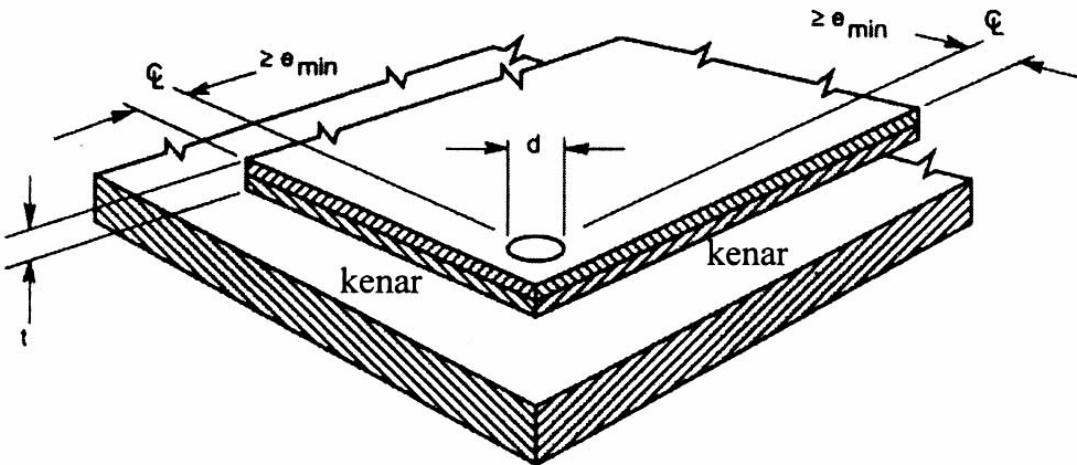
t :Birleştirilen levhaların en incisinin kalınlığı

F_{sy} :Akma gerilmesi

Not: Ark spot kaynaklarının kenara mesafesi Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Tek ince cidarlı levha hali



Şekil 3.5 İki ince cidarlı levha hali

3.1.1.2.2 Çekme

Levha düzlemine dik çekme mukavemeti her bir eksenel (konsantrik) yüklü ark spot kaynağı için aşağıdaki formüllerden hesaplanan en küçük değerdir:

$$P_n = \frac{\pi * d_e^2}{4} * F_{xx} \quad (3.10)$$

veya

- $F_u / E < 0.00187$ için;

$$P_n = [6.59 - 3150 (F_u / E)] * t * d_a * F_u \leq 1.46 * t * d_a * F_u \quad (3.11)$$

- $F_u / E \geq 0.00187$ için;

$$P_n = 0.70 * t * d_a * F_u \quad (3.12)$$

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

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

Ayrıca aşağıdaki ek sınırlamalar uygulanır:

$$e_{min} \geq d$$

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

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

$$F_{xx} > F_u$$

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

3.1.1.3 Köşe Kaynakları

Köşe kaynakları aşağıda verilen durumlarda uygulanır:

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

Emniyetli kesme mukavemeti P_n şöyle hesaplanır:

- a) Boyuna yükleme durumunda:

$$L/t < 25 \text{ için;}$$

$$P_n = \left(1 - \frac{0.01 * L}{t}\right) * t * L * F_u \quad (3.13)$$

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

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

$L/t \geq 25$ için;

$$P_n = 0.75 * t * L * F_u \quad (3.14)$$

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

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

b) Enine yükleme durumunda:

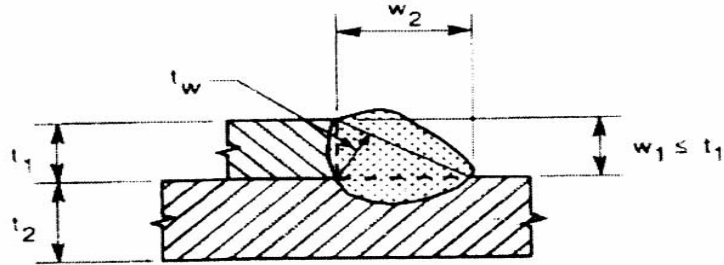
$$P_n = t * L * F_u \quad (3.15)$$

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

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

burada;

t : Birleşen levhaların en incisinin kalınlığıdır. Şekil 3.6'da $t = \min(t_1, t_2)$ 'dir.



Şekil 3.6 Bindirmeli Birleşim

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

$$P_n = 0.75 * t_w * L * F_{xx} \quad (3.16)$$

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

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

burada;

P_n : Köşe kaynağın mukavemeti

- L :Köşe kaynağın uzunluğu
- t :Levha kalınlığı
- t_w :Köşe kaynak kordonu kalınlığı
- F_u :Malzemenin çekme emniyet gerilmesi
- F_{xx} :Elektrotun akma gerilmesi

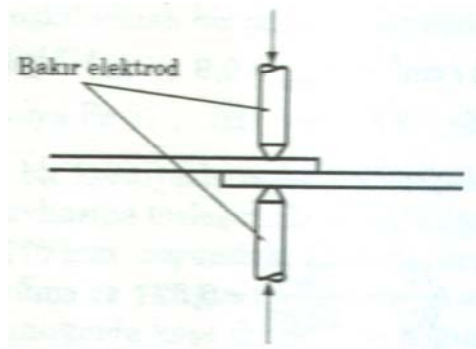
3.1.1.4 Eğri Kenarlı Küt Kaynaklar

Eğri kenarlı küt kaynaklar şu pozisyonlarda uygulanır:

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

3.1.2 Basınç (Direnc) Kaynağı

Basınç kaynakları ise nokta ve kordon kaynakları şeklinde yapılır. Nokta kaynağı yapmak için, ince levha kısımlar özel kaynak makinesinin silindirik ve uçları kesik koni şeklinde olan bakır elektrotları arasına getirilir. Elektrotlardan geçirilen elektrik akımının karşılaştığı direnc sonucu, elektrot uçları arasında kalan levha kısımları kızıl dereceye kadar ısıtıldıktan sonra, elektrotlar aracılığıyla basınç kuvveti uygulanır. Böylece levhalar küçük bir dairesel bölgede birbirlerine kaynaklanmış olur. Kordon kaynağında, bakır çubuk elektrotların yerine tekerlek şeklinde elektrotlar kullanılır. Kaynaklanacak ince levhalar üst üste konduktan sonra, iki elektrot arasında sabit hızla geçirilir. Böylece levhalar çizgi şeklinde bir kaynak kordonuyla birbirine bağlanmış olur (Deren ve diğ., 2002). Şekil 3.7’de nokta kaynağın uygulama yöntemi görülmektedir.



Şekil 3.7 Nokta kaynağı(Deren ve diğ., 2002)

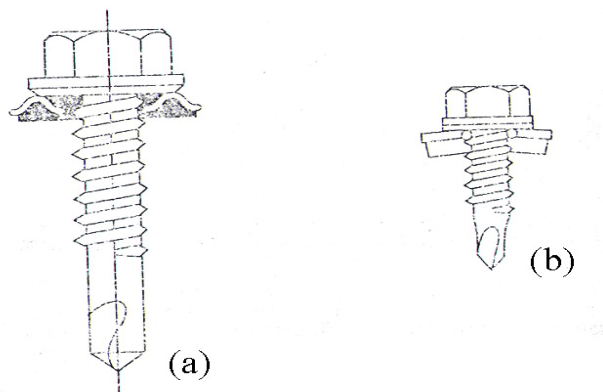
3.2 Vidalı Birleşimler

Tekil elemanların birleştirilmesinde en az iki tane vidanın kullanılması öngörülür. Normalde vida başı, ince olan metal tarafında olur (Tartar, 2002).

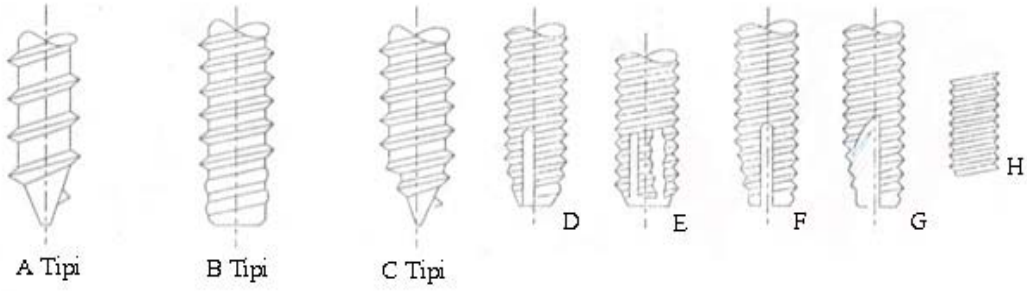
Deligi önceden açılan ve deliği yerinde açılan vidalar soğukta şekillendirilmiş profillerin birleşiminde en yaygın kullanılan vida tipleridir. Bunlardan en çok çap numaraları 6 – 10 arasında olan vidalar kullanılır. Boyları da uygulamaya bağlı olarak 12mm – 76mm arasındadır. Vida boyutu birleşen parçaların kalınlıkları toplamından uzun olması gerektiği için birleşen parçaların kalınlıklarının bilinmesi önemlidir (NASFA, 2000).

Deligi yerinde açılan vidalar 0.84 mm veya daha kalın çeliklerin birleştirilmesinde kullanılır. Bu vidalar montaj sırasında kırılma veya deformasyon yapmadan kendi deliklerini ve vida adımlarını açarak uygulanır (Siyahhan, 2005). Şekil 3.8’de bu vidalar gösterilmiştir.

Deligi önceden açılan vidalar, alçı levhaların çelik elemanlarla birleşimi gibi rijitleştirici elemanlarla birleşimde kullanılır. Bu vidaların uygulandığı çelik kalınlıkları 0.84mm ya da daha ince olmalıdır. Şekil 3.9’da bu vidalar gösterilmiştir. A tipli vidalar ince levhaların birleşiminde, B tipi vidalar 2mm ve C tipi vidalar 4mm kalınlığa kadar olan levhaların birleşiminde kullanılırlar. Diğer vidalar ise daha kalın levha birleşimlerinde kullanılırlar. Bu vidalar karbon çeliğiyle üretilir ve çinko ile galvanizlenerek korozyona karşı korunur (Baehre ve Toma, 1993).



Şekil 3.8 Deligi yerinde açılan vidalar (Baehre ve Toma, 1993)



Şekil 3.9 Deliği önceden açılan vidalar (Baehre ve Toma, 1993)

3.2.1 Vidalı Birleşimlerde Hesap Yöntemi

Notasyon:

- d : İtibari vida çapı
- Ω :3.0 Güvenlik katsayısı (ASD)
- ϕ :0.5 Direnç faktörü (LRFD)
- P_{ns} :Bir vidanın taşıdığı itibari kesme (makaslama) dayanım kuvveti
- P_{nt} :Bir vidanın taşıdığı itibari çekme dayanım kuvveti
- P_{not} :Bir vidanın taşıdığı itibari dışa çekme (pull-out) dayanım kuvveti
- P_{nov} :Bir vidanın taşıdığı itibari üstüne çekme (pull-over) dayanım kuvveti
- t_1 :Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı
- t_2 :Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı
- F_{u1} :Vida başı ile temasta olan elemanın çekme mukavemeti
- F_{u2} :Vida başı ile temasta olmayan elemanın çekme mukavemeti

Minimum Mesafe:

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

3.2.1.1 Makaslama Kuvveti

3.2.1.1.1 Birleşimdeki Makaslama

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

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

$$P_{ns} = 4.2 * \sqrt{(t_2^3 * d)} * F_{u2} \quad (3.17)$$

$$P_{ns} = 2.7 * t_1 * F_{u1} \quad (3.18)$$

$$P_{ns} = 2.7 * t_2 * F_{u2} \quad (3.19)$$

burada;

d :İtibari vida çapı

t₁ :Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı

t₂ :Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı

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

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

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

- t₂ / t₁ ≥ 2.5 için P_{ns} aşağıdaki değerlerin en küçüğüne eşit olacaktır.

$$P_{ns} = 2.7 * t_1 * F_{u1} \quad (3.20)$$

$$P_{ns} = 2.7 * t_2 * F_{u2} \quad (3.21)$$

- 1.0 ≤ t₂ / t₁ ≤ 2.5 için P_{ns} diğer iki durum arasında lineer interpolasyon yapılarak bulunur.

3.2.1.1.2 Vidalardaki Makaslama

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

3.2.1.2 Çekme Kuvveti

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

Dışa Çekme (Pull-out):

Emniyetli dışa çekme dayanım kuvveti P_{not};

$$P_{not} = 0.85 * t_c * d * F_{u2} \quad (3.22)$$

Burada t_c, Vidanın dış dibi derinliği ile t₂'den küçük olmalıdır.

Üstüne Çekme (Pull-Over):

Emniyetli üstüne çekme kuvveti P_{nov} ;

$$P_{nov}=1.50*t_l*d_w*F_{ul} \quad (3.23)$$

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

Vidada Çekme Kuvveti:

Vida çekme kuvveti test yapılarak bulunur.

P_{nt} = İtibari çekme dayanımı

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

Çekme Yırtılması:

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

$$V_n = 0.6 F_u * A_{wn} \quad (3.24)$$

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

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

burada;

F_u :Çekme gerilmesi

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

d_{wc} :Net gövde yüksekliği

n :Kritik en kesitteki delik sayısı

d_h :Delik çapı

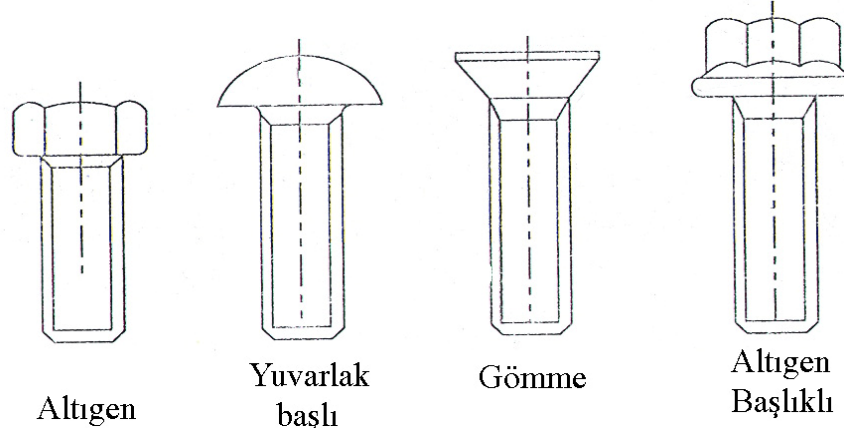
t :Gövde kalınlığı

3.3 Bulonlu Birleşimler

Bulon; silindirik gövdeli, altıgen başlıklı bir birleşim aracıdır(NASFA, 2000). İnce elemanların birleşiminde gövdesi yivli bulonlar kullanılır (Baehre ve Toma, 1993). Birleşecek parçalarda açılacak deliğe konulduktan sonra dış açılmış ucuna, altına pul konmak suretiyle somun takılır. Bulon başı bir anahtarla tutturulup, diğer bir anahtarla somun saat hareketi yönünde döndürülerek sıkılır. Kolaylık nedeniyle,

şantiyede yapılan montaj birleşimlerinin bulonlu yapılması tercih edilir. Pahalı olduğu için atölye birleşimlerinde tercih edilmez (NASFA, 2000).

Şekil 3.10'da hafif çelik yapı birleşimlerinde en çok kullanılan bulon çeşitleri görülmektedir.



Şekil 3.10 Bulon çeşitleri(Baehre ve Toma, 1993)

3.3.1 Bulonlu Birleşimlerde Hesap Yöntemi

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

3.3.1.1 Kayma, Ara Mesafe ve Kenara Mesafe

İtibari kayma mukavemeti P_n aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P_n = t \cdot e \cdot F_u \quad (3.25)$$

a) $F_u / F_{sy} \geq 1.08$ için;

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

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

b) $F_u / F_{sy} < 1.08$ için

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

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

Burada;

P_n :İtibari kayma dayanımı

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

t :Birleştirilen elemanlardan en incenin kalınlığı

F_u :Birleştirilen elemanların malzemelerine ait çekme mukavemeti

F_{sy} :Birleştirilen elemanların malzemelerine akma gerilmesi

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

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

3.3.1.2 Birleştirilen Her Bir Parçadaki Çekme

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

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

$$P_n = (1.0 - 0.9*r + 3*r*d / s) F_u * A_n \leq F_u * A_n \quad (3.26)$$

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

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

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

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

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

$$P_n = (1.0 - r + 2.5*r*d / s) F_u * A_n \leq F_u * A_n \quad (3.27)$$

$\Omega = 2.22$ (ASD)

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

Ayrıca emniyetle taşınabilecek çekme kuvveti, aşağıda verilen değeri aşmamalıdır:

$$P_n = (F_y * A_n) / 1.67 \quad (\text{ASD}) \quad (3.28)$$

$$P_n = (F_y * A_n) / 0.95 \quad (\text{LRFD}) \quad (3.29)$$

Burada;

A_n :Faydalı en kesit alanı

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

Eğer $r < 0$ ise sıfıra eşit alınabilir.

s :Gerilme çizgisine dik bulon aralığı

Tek bulon halinde ise s ; levhanın brüt genişliğidir.

F_u :Birleştirilen parçanın çekme mukavemeti

F_y :Birleştirilen parçanın akma gerilmesi

3.3.1.3 Ezilme

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

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

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

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

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

3.3.1.4 Kayma ve Çekme

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

4. HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMİ

Hafif çelik taşıyıcı sistemlerinde ahşap iskelet yapımında görüldüğü gibi bir mekan oluşturan duvar veya döşeme çok sayıda küçük taşıyıcı profillerden oluşur. Hafif çelik yapı sisteminde, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profiller kullanılmaktadır (Büyüksişli, 2004).

Hafif çelik yapı sistemini oluşturan başlıca öğeler şunlardır:

- Temel
- Duvar Konstrüksiyonu
- Döşeme Konstrüksiyonu
- Çatı Konstrüksiyonu

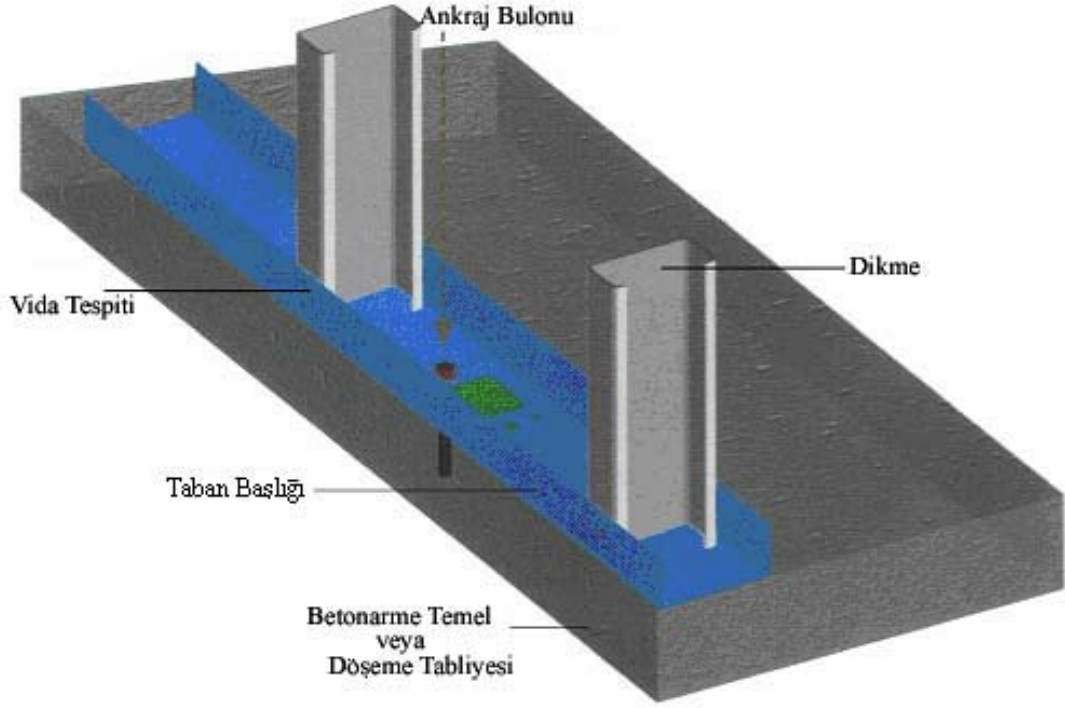
4.1 Temel

Hafif çelik yapılar genel olarak radye temel üzerine kurulan bir sistemdir. Taşıyıcı dikmelerin oturduğu taban başlıklarının temel ile bağlantısı rüzgar, deprem ve hortum gibi doğal afetlerde önem kazanır. Bu öğelerin betonarme temele ankre edilmesi gerekir (Yıldırım, 2003).

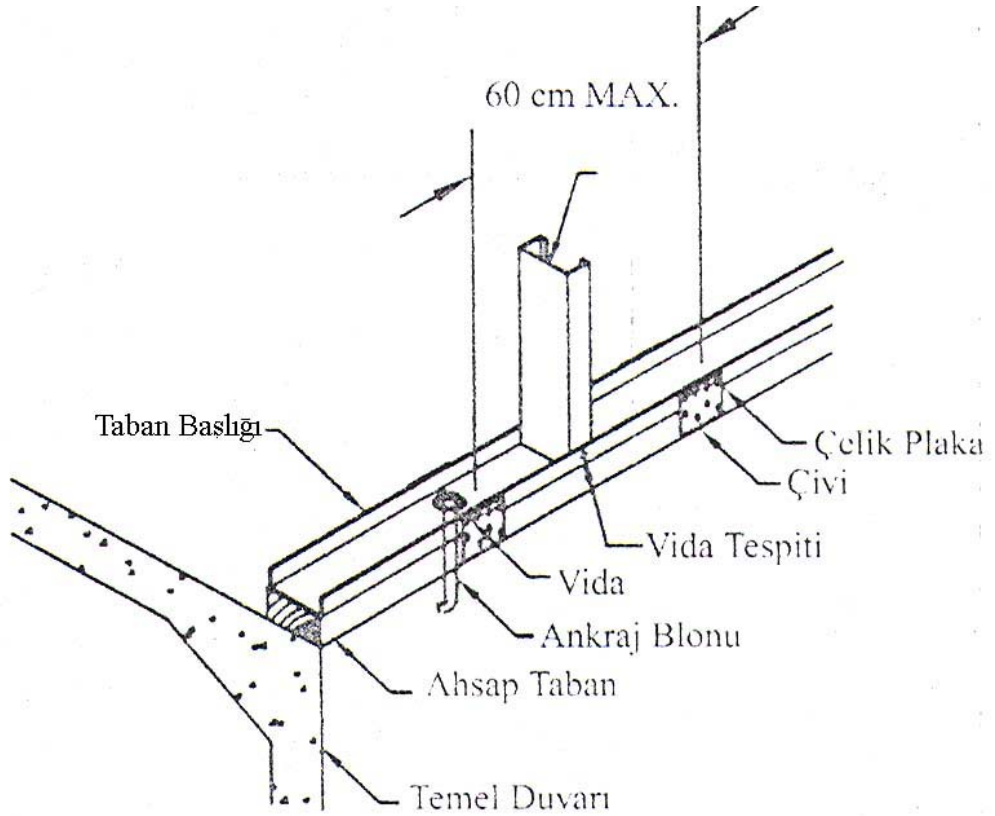
Hafif çelik yapıların üretim sisteminde depreme dayanım için gerekli olan sistem rijitliğinin sağlanması için temeller betonarme radye veya sürekli temel olarak tasarlanmaktadır.

Paneller, sızdırmazlık contaları, ankraj vidaları ve dayanımı yüksek bulonlar genellikle doğrudan betonarme sürekli temel üzerine bağlanır (Mufti, 2001;Özlü, 2001). İstisna durumlarda duvar panelinin taban başlığının ahşap bir taban üzerine de oturtulabilir.

Şekil 4.1’de de taban başlığının betonarme temele oturtulmasının, Şekil 4.2’de ise taban başlığının ahşap bir taban üzerine oturtulması gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Taban başlığının betonarme temele ankrajının gösterimi [4]



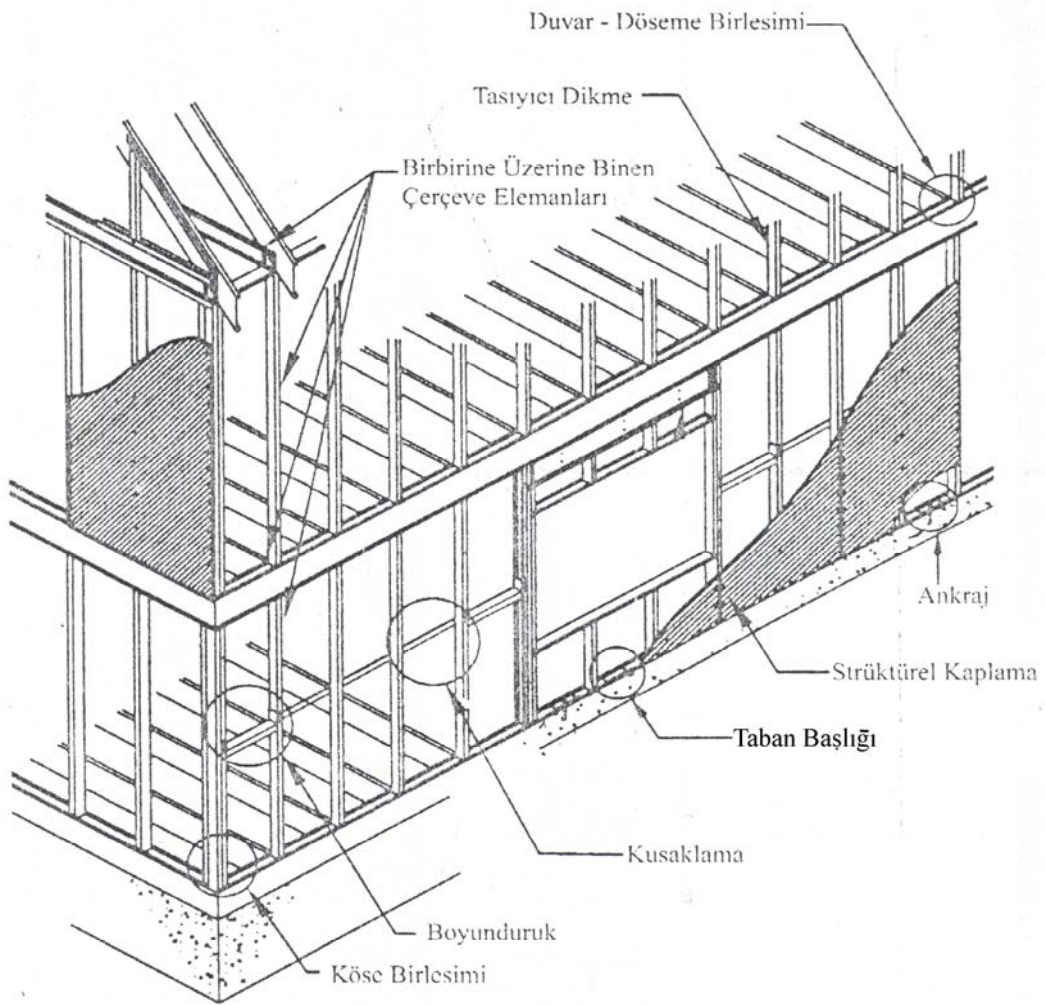
Şekil 4.2 Taban başlığının ahşap tabana oturtulması (NASFA, 2000)

4.2 Duvar Konstrüksiyonu

Hafif çelik yapı sistemi, ahşap yapı sistemine benzer olarak taşıyıcı duvarlardan ve bölme duvarlarından oluşan sistemdir.

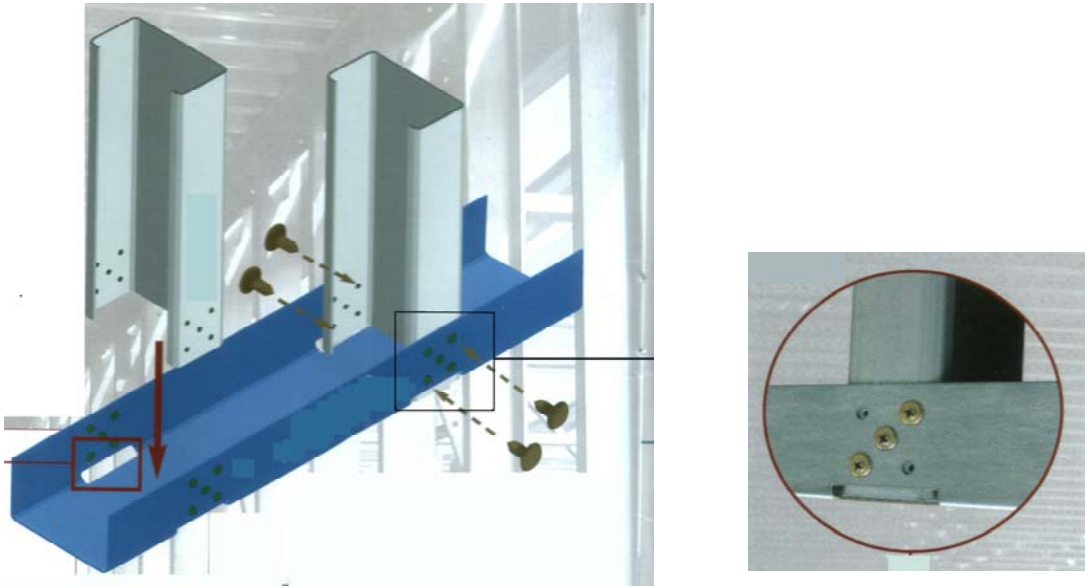
Duvar düzlemi, dikmelerinin belli aralıklarda sıralanmasıyla oluşturulur. Dikme aralıkları belli bir standart olmamasına rağmen genellikle 610mm'dir. Dikme boyutları çatı ve döşemelerden gelen düşey yüklere göre belirlenir.

Şekil 4.3'te duvar konstrüksiyonunun şematik gösterimi görülmektedir.

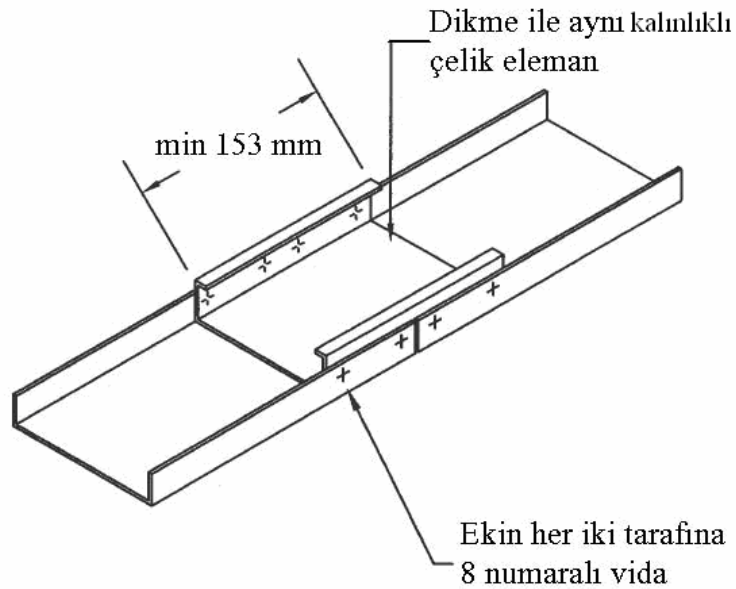


Şekil 4.3 Duvar konstrüksiyonunun görünümü (NASFA, 2000).

Dikmeler, üretim projesine göre delikleri açılmış alt başlığa oturtulur ve Şekil 4.4'teki gibi vida veya bulonların yardımıyla bağlantıları yapılır. Duvar elemanını oluşturacak tüm dikmeler yerleştirildikten sonra bir üst başlık ile bu dikmelerin üstleri kapatılır. Duvar üst ve alt başlıklarının kalınlıkları dikme kalınlığında ya da daha fazla olmalıdır. Taban ya da tavan başlıklarında ek yapılması gerektiğinde en az 153mm'lik ve dikme ile aynı kalınlıkta bir çelik levha kullanılmalıdır. Birleşimin her bir tarafında en az dört adet 8 numaralı vida kullanılarak Şekil 4.5'teki gibi bağlantı yapılmalıdır (NASFA, 2000).

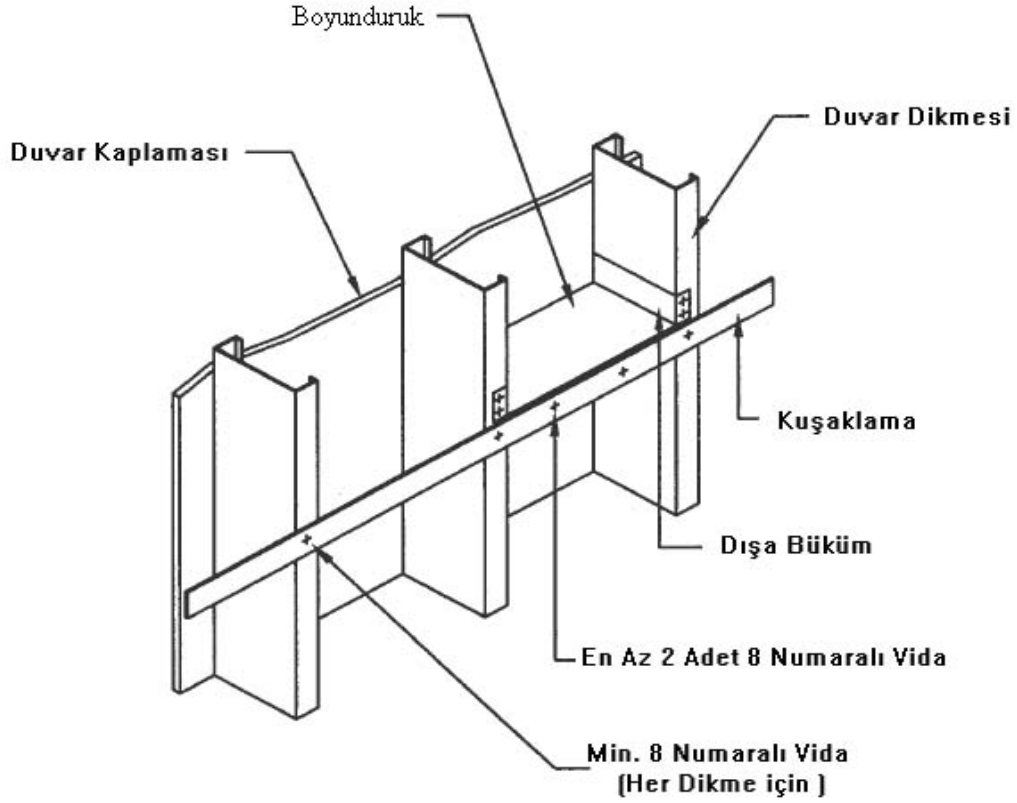


Şekil 4.4 Duvar dikmelerinin alt başlık elemanına oturması [4]



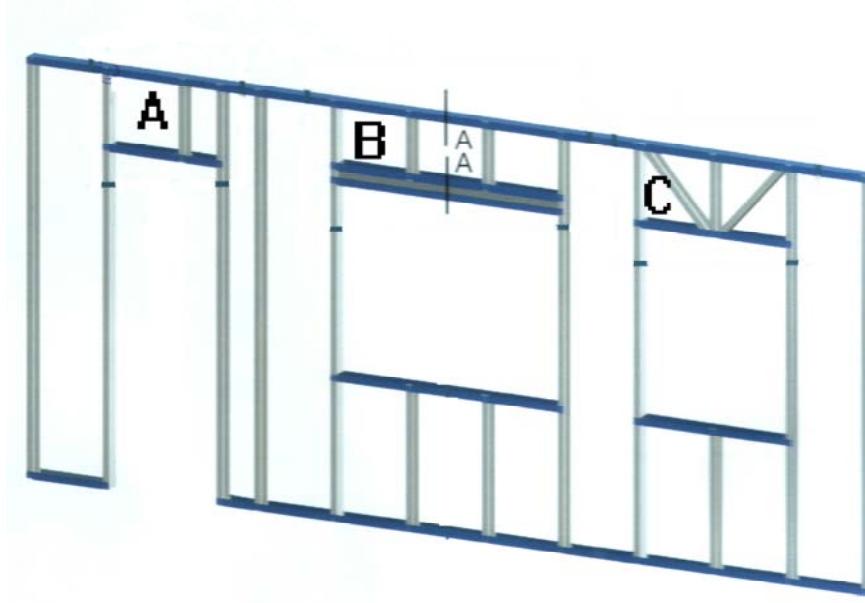
Şekil 4.5. Başlıkta ek yapılması (NASFA, 2000)

Dikmeler, uzunluklarına göre orta noktalarından ya da 1/3 mesafesinden bu kuşaklar ile bağlanmalıdır. Kuşaklar 38mm x 0.84mm olmalı ve en az 8 numaralı vidalarla bağlanmalıdır. Kuşaklamalar boyunca 3.5m mesafe ile boyunduruklar destek olarak yerleştirilmelidir (NASFA, 2000). Şekil 4.6'da Duvar dikmelerinin rijitleştirilmesinde kullanılan kuşak, kaplama ve boyunduruk görülmektedir.



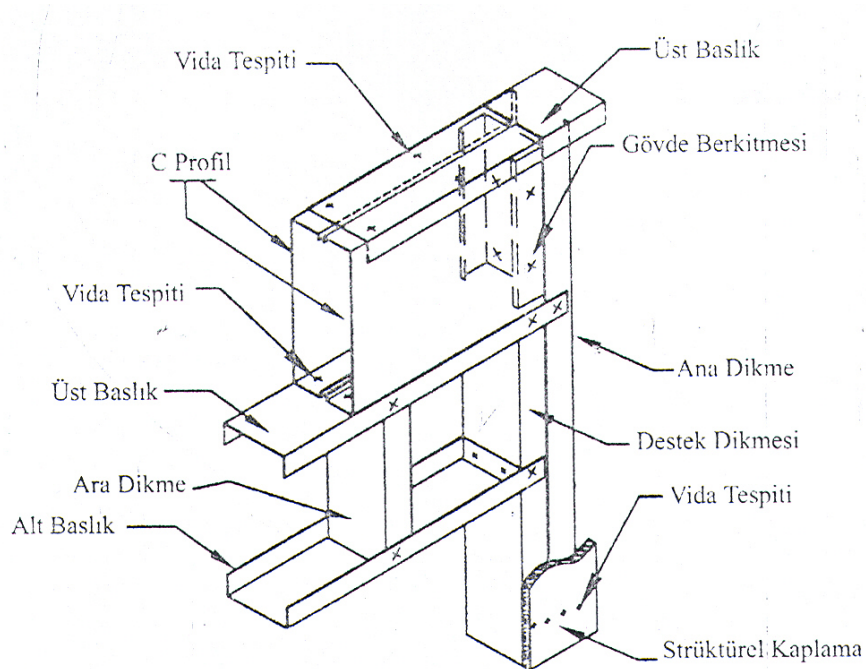
Şekil 4.6 Duvar dikmelerinin kaplama malzemesiyle rijitleştirilmesi (NASFA, 2000)

Duvar paneli içinde kapı ve pencere boşlukları üstleri Şekil 4.7'de görüldüğü gibi çeşitli şekillerde kurulan lentolarla oluşturulur. Lentolar, C profillerin kutu oluşturması, sırt sırtı dayanması ya da L kesitlerin kullanılmasıyla meydana gelir. Eğer boşluk üstündeki mesafe uzunsa dikmelerin altındaki kirişler kuvvetlendirilmelidir (Siyahhan, 2005).



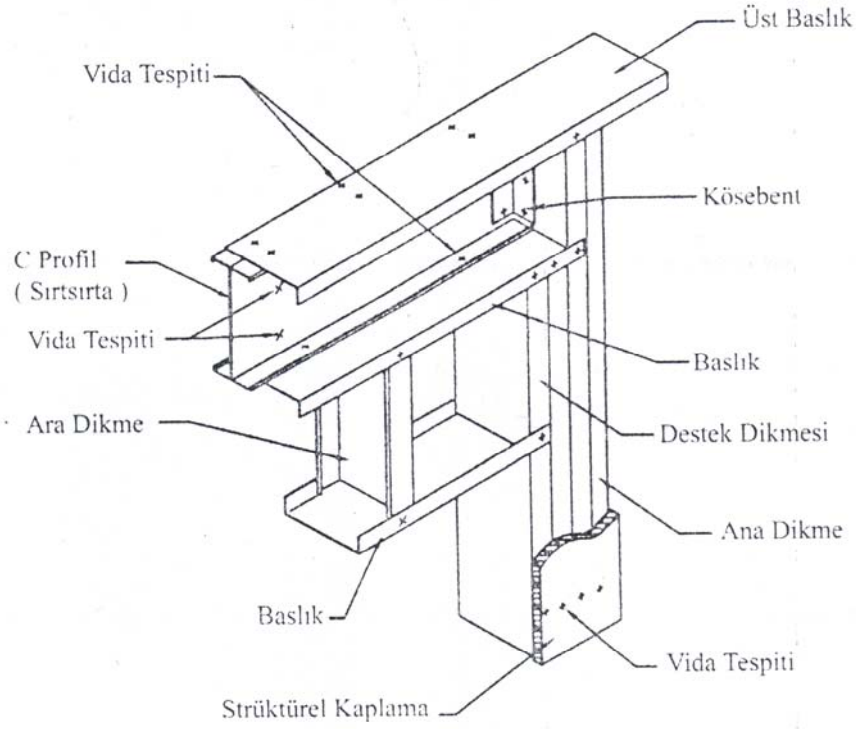
Şekil 4.7 Hafif Çelik Profillerle Oluşturulmuş Duvar Paneli [4]

Şekil 4.8’de görülen kutu birleşimli lento, 2 adet C kesitli profilin uç uca birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Burada başlık olarak kullanılacak çelik profillerin minimum et kalınlıklarının 0.84mm olması gerekmektedir (NASFA, 2000).



Şekil 4.8 Kutu birleşimli lento detayı (NASFA, 2000)

Şekil 4.9’daki lento türü iki adet C kesitli profilin sırt sırta dayandırılarak birleştirilmesinden oluşturulmuştur.



Şekil 4.9 Sırt sırta birleştirilmiş lento detayı (NASFA, 2000)

Borular ve kablolar duvar taşıyıcılarında açılan art arda deliklerden geçirilir. Bunlar çelik taşıyıcılı duvar ve döşeme elemanlardan geçirilirken çeliğin ısı ve elektriği iyi ileten bir metal olduğu unutulmamalı ve sisteme değmemesine özen gösterilir Bu durumda ses, ısı ve elektrik izolasyonu dikkatli bir şekilde çözülmelidir. Elektrik tesisatı plastik bir borudan geçirilerek döşenmelidir (Işık, 2001).

Duvar panelleri, kapı - pencere boşlukları bırakılmış, dikmelerin üzerine OSB kaplanmış, hatta cephe kaplaması yapılmış olarak şantiyeye geldiği için montajda minimum zaman ve elemanla maksimum verim alınabilmektedir. Ancak bu panellerin taşınmasında ağırlık nedeniyle sorunlar çıkabilmektedir. Ayrıca taşınması sırasında daha çok masraf gerektirdiği için profillerin birleştirilip panellerin oluşturulması ve kaplamanın şantiyede yapılması tercih edilmektedir (Siyahhan, 2005).

Şekil 4.10'da tesisat boruları ve kablolar için boşluklar bırakılmış duvar paneli görülmektedir.



Şekil 4.10 Tesisat ve kablo için bırakılan boşluklar (Balac, 2002)

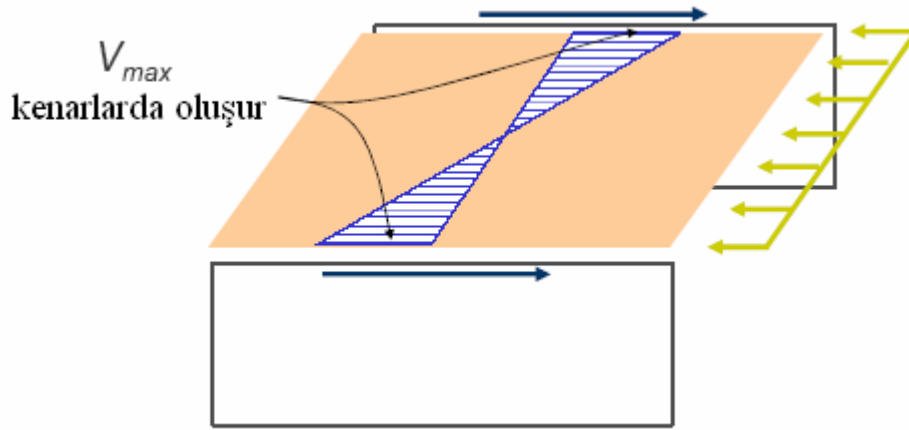
4.2.1 Perde Duvarlar

Perde duvarlar, düşey yüklerin yanı sıra yatay yüklere karşı da direnç gösterip güvenle zemine aktaran yapılardır.

Yatay kuvvetler rüzgar etkisinden veya zemin titreşiminden oluşurlar. Zemin titreşimini oluşturan birkaç etken vardır. Bunları sıralamak gerekirse; depremler, demiryolu titreşimleri, ağır makinelerin çalışmasıyla oluşan titreşimler ve ritmik adımlardan oluşan titreşimlerdir. Zemin titreşimlerinden en önemli olan ve önceden tahmin edilemeyen depremlerdir. Yapılar en çok rüzgar ve depremden dolayı oluşan yatay yüklerle zorlanmaktadır. Hafif çelik yapıların kütleleri az olduğundan depremden daha az etkilenirler.

Yapılar üzerlerine yatay olarak etkiyen yükleri yapıya aktaracak yatay yüzeylere sahiptirler. Kesme kuvvetleri rijit diyafram yüzey boyunca arttırılarak yayılır ve perde duvarlara bağlandığı mesnet noktalarında maksimum değere ulaşır. Bu mesnet noktalarındaki yatay reaksiyonlar da perde duvarlar tarafından karşılanarak zemine aktarılırlar (American Wood Council, 2004).

Şekil 4.11’de yatay yüklerin rijit diyafram etkisiyle perde duvarlara aktarılışı görülmektedir.



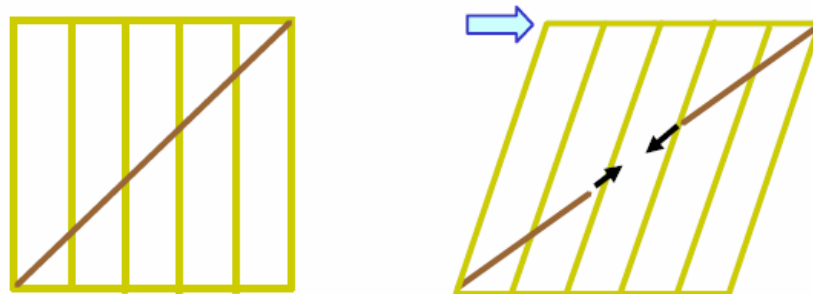
Şekil 4.11 Yatay yüklerin aktarımı (American Wood Council, 2004)

Hafif çelik yapılardaki perde duvarlar soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profillerden oluşan dikmelerin birleşmesinden oluştuğundan yatay yüklere karşı güçlendirilmeleri gerekir.

Perde duvarların yatay yüklere karşı güçlendirme yöntemleri şunlardır:

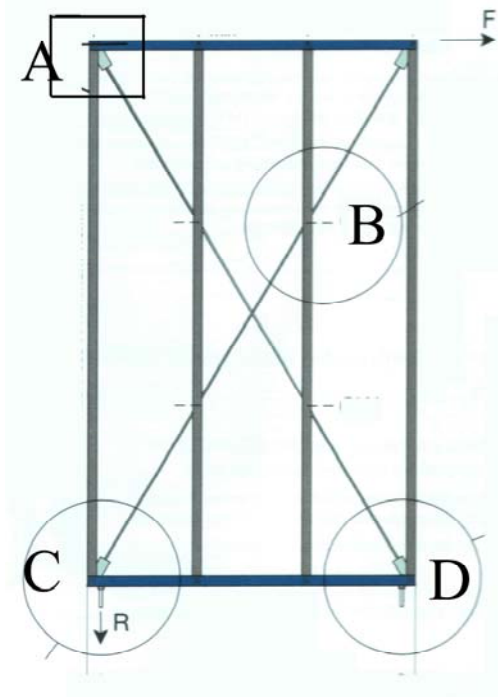
- **Perde Duvar Üzerinde Üçgensel Geometri Oluşturmak**

Çekmeye çalışan çaprazlar duvar düzleminde üçgensel bölge oluşturarak perde duvarı rijitleştirirler (American Wood Council, 2004). Çapraz elemanları, geçeceği açıklığa bağlı olarak lama, profiller ya da yüksek dayanımlı kablolar olabilir (Işık, 2001). Şekil 4.12’de çaprazla oluşturulmuş üçgensel bölge şematik olarak görülmektedir.

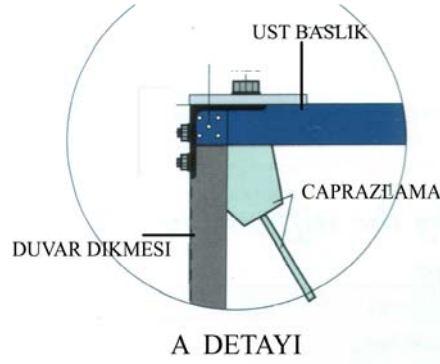


Şekil 4.12 Çaprazla üçgensel bölge oluşturulması(American Wood Council, 2004)

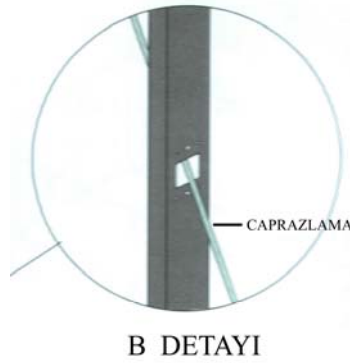
Şekil 4.13 – Şekil 4.17’de de yüksek dayanımlı kablolarla yapılmış çaprazlama ve bunların tavan, taban başlıklarıyla birleşimlerinin detayları gösterilmiştir.



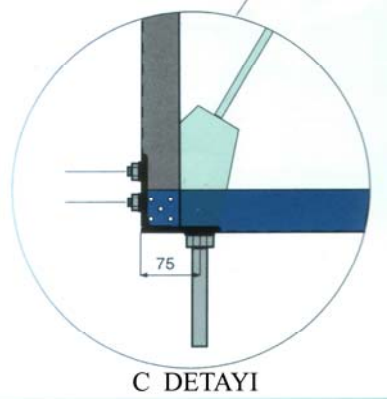
Şekil 4.13 Kablo ile yapılan duvar çaprazlaması [4]



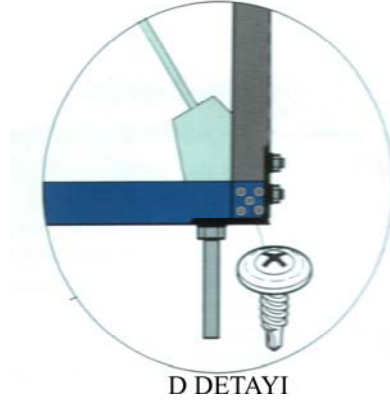
Şekil 4.14 Çaprazlama – tavan başlığı-duvar dikmesi birleşim detayı [4]



Şekil 4.15 Kablunun dikenin içinden geçişi [4]



Şekil 4.16 Çaprazlama – taban başlığı-duvar dikmesi birleşim detayı [4]

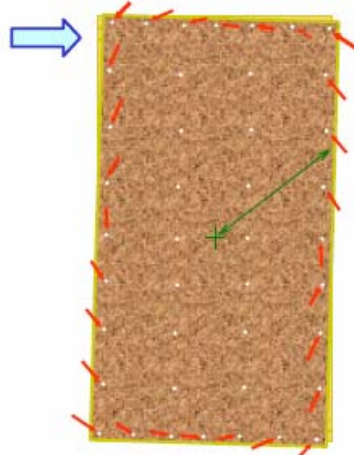


Şekil 4.17 Çaprazlamaların vida ile sabitlenmesi [4]

- **Birleşim Elemanlarıyla Kuvvet Çifti Oluşturmak**

Dış çerçevesi sık bir şekilde bağlantı elemanlarıyla kaplama malzemesine bağlanan duvar panelleri üzerlerine etkiyen yatay yükleri karşılayabilmektedir. Burada yatay yükün oluşturduğu momente karşılık panelin çevresindeki bütün bağlantı elemanları ters yönde kuvvet çifti oluşturarak direnç gösterirler (American Wood Council, 2004).

Şekil 4.18’de yatay yük etkisi karşısında birleşim elemanlarında oluşan kuvvet çiftleri şematik olarak görülmektedir.

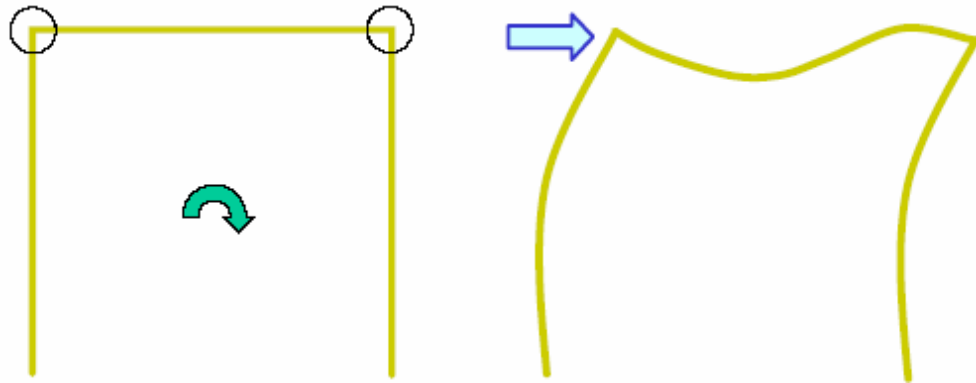


Şekil 4.18 Bağlantı elemanlarında oluşan kuvvet çifti(American Wood Council,2004)

- **Rijit birleşimler oluşturmak**

Yatay yüklerin moment aktaran birleşimlerle karşılandığı sistemdir. Bu tip çerçevelere moment çerçevesi de denir. Rijit birleşimler sayesinde çerçeve yatay yükler altında eğilerek direnç gösterirler (American Wood Council, 2004).

Şekil 4.19’da rijit köşe birleşimleri şematik olarak görülmektedir. Şekil 4.20’de ise hafif çelik yapılarda uygulanmış bir rijit birleşim detayı görülmektedir.



Şekil 4.19 Rijit birleşim davranışı (American Wood Council, 2004)



Şekil 4.20 Rijit birleşim detayı (Siyahhan, 2005)

4.2.1.1 Perde Duvarların Tasarımı

Perde duvarlar, çeşitli şartnamelerde bahsedildiği üzere kontrplak (plywood), OSB gibi ahşap kökenli malzemelerle kaplanmasının yanında alçı levhalarla ya da çelik saçla kaplanabilmektedir. Bunların yanı sıra çaprazlarla da yatay yüklere karşı güçlendirilebilirler (Serrete, 2001).

Perde duvarların performansını etkileyen etkenler; duvarın yüklenme sıklığı, çerçeve kalınlığı, birleşim elemanı boyutu, birleşim elemanlarının merkezleri arasındaki mesafe, birleşim elemanını duvar kenarlarına olan mesafeleri ve duvarın rijitleştirilmesinde kullanılan kaplama malzemesidir (Serrete, 2001).

Yatay yük altındaki deplasman sınırı; L duvar yüksekliği olmak üzere çelik çerçeve için $L/360$ kabul edilmektedir. Kaplama ve çelik çerçevenin birbiriyle etkileşiminden dolayı rijitlik artmaktadır. Buna bağlı olarak değişik kaplama türlerine ait deplasman limitleri çeşitli şartnamelerde verilmiştir (CSSBI Technical Bulletin, 2001).

Perde duvarların sismik yüklere karşı dizaynında kullanılan yüklerin hesabında UBC 1997'ye göre çelik saç kaplı duvarlar için R olarak 4.5, kontrplak veya sıkıştırılmış lifli levha kaplı duvarlar için R olarak 5.5 kullanılması uygun görülmüştür. IBC

2000’de ise elik, kontrplak ve sıkıştırılmış lifli levhayla kaplı perde duvarlar için R sismik yük azaltma katsayısı olarak aynı değeri alınarak 5.5 kullanılması uygun görülmüştür (Serrete, 2001). Kaplama elemanı olarak alçı levha kullanıldığında ise alçı levhanın gevrek malzeme özelliğı dikkate alınarak az yatay yük taşıdığı tespit edilmiş ve R değeri olarak 2.5 kullanılması uygun görülmüştür (Martin, 2002).

X aprazlarla güçlendirilmiş perde duvarların dizaynında dikkat edilmesi gereken iki önemli nokta vardır. Birincisi; malzemenin akma dayanımı belirlenen bir minimum değeri büyükür. Birleşimler güçlendirme elemanlarından gelebilecek belirlenen minimum akma dayanımından büyük kuvvetlere karşı dizayn edilmelidir. İkincisi; yalnız duvarın tek dış yüzünde çapraz elemanı kullanıldığında başlıklar ve dikmeler eksantrik yüklerle zorlanmaktadır ve bu eksantriklik dizayn sırasında mutlaka dikkate alınmalıdır (NASFA, 1998).

Şekil 4.21’de aprazlarla X aprazlarla güçlendirilmiş perde duvarların yapı içersindeki görüntüsü görülmektedir.

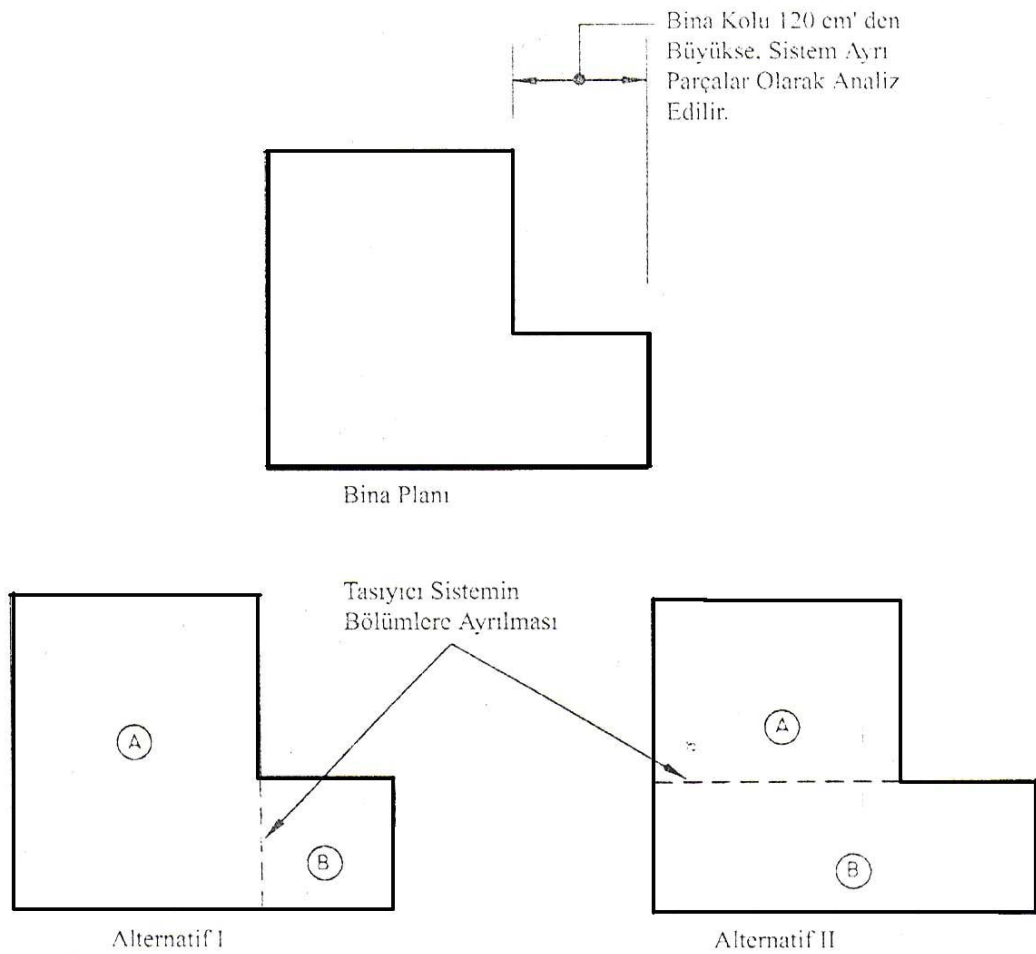


Şekil 4.21 X aprazlı perde duvar görünüşü (Balac, 2002)

4.3 Döşeme Konstrüksiyonu

Bina kolu 120cm'den büyük ise taşıyıcı sistemin ayrı parçalar olarak analiz edilmelidir (NASFA, 2000). Bina genişliği (döşeme kirişlerine paralel) en fazla 11m ve bina boyu (döşeme kirişlerine dik) en fazla 18m olabilmektedir (Yıldırım, 2003).

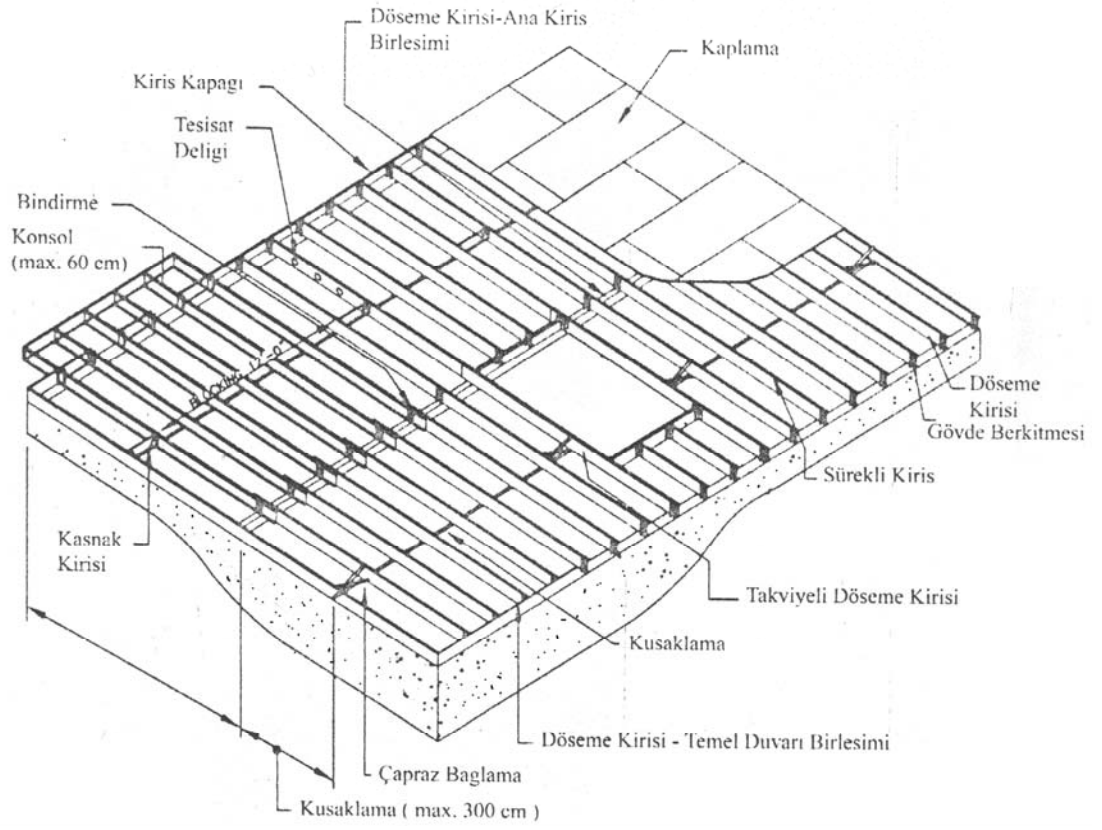
Şekil 4.22'de bina kolu 120cm'den büyük olan bir yapının taşıyıcı sisteminin bölünmesi görülmektedir.



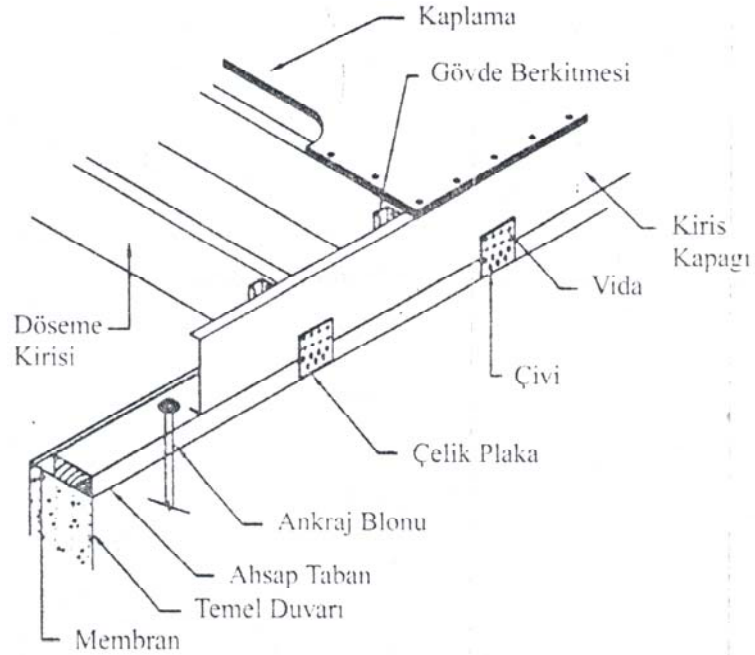
Şekil 4.22 Taşıyıcı sistemin bölümlere ayrılması (NASFA, 2000)

Hafif çelik yapılarda giriş katı döşemesi doğrudan betonarme kirişin üzerine ya da betonarme kiriş üzerine serilen ahşap taban üzerine, ara kat ve çatı döşemesi de duvar panellerinin tavan başlığına oturtulur. Döşeme kirişi ve dikmelerin ağırlık merkezleri çakıştırılmalıdır. Dolayısıyla döşeme kirişleri arasındaki mesafe de duvar dikmeleri gibi 610mm olur (NASFA, 2000).

Şekil 4.23'te döşemeyi oluşturan elemanlar, Şekil 4.24'te döşeme kirişlerinin ahşap tabana oturması görülmektedir.

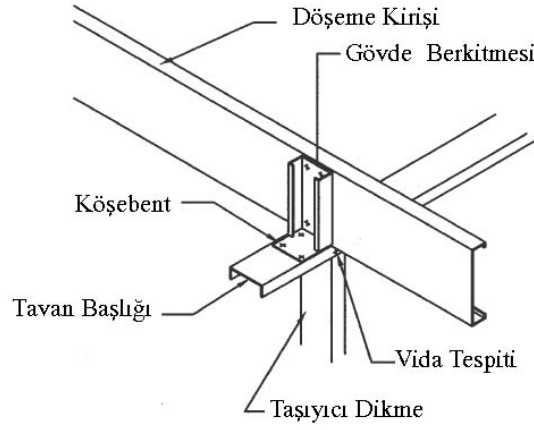


Şekil 4.23 Bodrum katlı binada zemin kat döşemesi (NASFA, 2000)



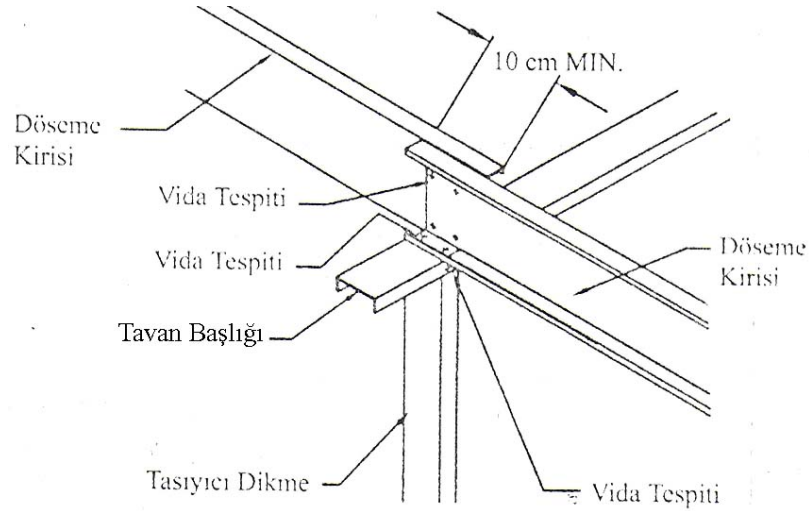
Şekil 4.24 Döşeme kirişlerinin ahşap tabana oturması (NASFA,2000)

Sürekli döşeme kirişi, açıklığının orta noktasından bir iç taşıyıcı duvar ile desteklenmelidir. Döşeme kirişlerinin dış duvarlar için 38mm'den, iç duvarlar için 89mm'den az olmayan duvar destekleri olmalıdır (NASFA, 2000). Şekil 4.25'te döşeme kirişiyle dikmenin birleşim detayı görülmektedir.



Şekil 4.25 Sürekli döşeme kirişi – taşıyıcı iç duvar birleşimi (NASFA, 2000)

Döşeme kirişlerinde ek yapılacağı zaman kirişler birbirileri üzerine minimum 10cm binerek en az dört adet 8 numaralı vida ile bağlanır (NASFA, 2000). Şekil 4.26'da döşeme kirişi eki detayı görülmektedir.

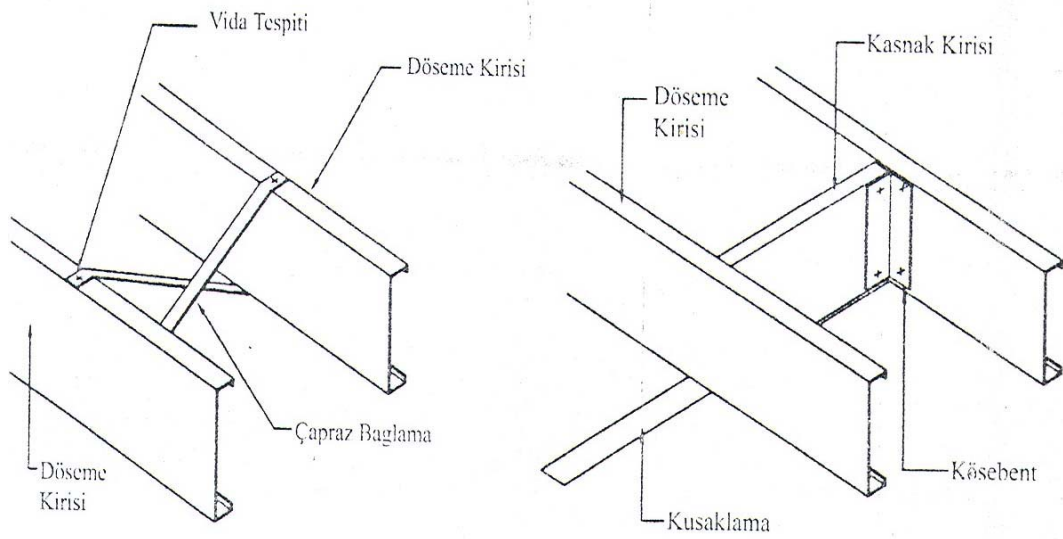


Şekil 4.26 Döşeme kirişinde ek yapılması (NASFA, 2000)

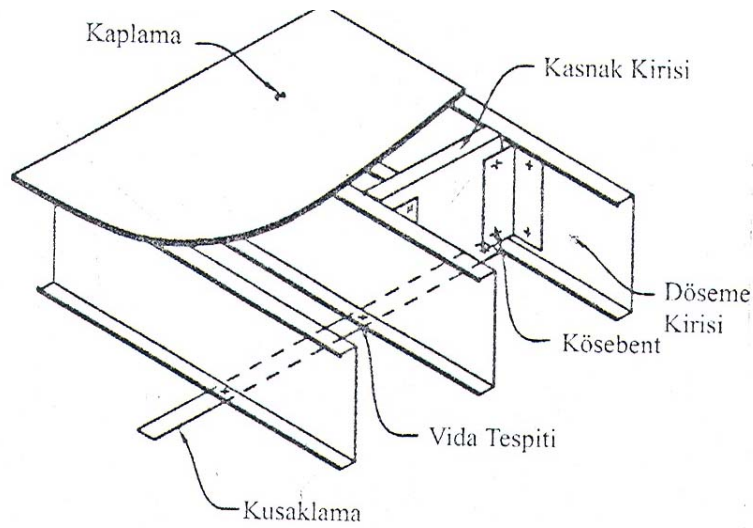
Yatay yüklere karşı döşeme kirişlerinin üst başlıkları rijitleştirilmelidir. Boyları 3.7m'yi geçen kirişlerin alt başlıkları da yatay olarak sabitlenir. Döşeme kirişlerinin rijitleştirilmesinde de duvar elemanında olduğu gibi çelik kuşaklar kullanılır. Bunlar en az 38mm genişliğinde ve 0.84mm kalınlığında olmalıdır. Bu kuşaklar en az 1 adet 8 nolu vidalarla kiriş alt başlığa bağlanmalıdır. Kuşakların bitiminde döşeme kirişleri

arasına X çaprazlamaları yapılır. Eğer X çaprazlamalar yapılacaksa en az iki adet 8 numaralı vida ile kullanılmalıdır (NASFA, 2000). Şekil 4.27’de döşeme kirişlerinin üst ve alt başlıklarının çapraz bağlantılar ve kasnak kirişi kullanılarak rijitleştirilmesi görülmektedir.

Rijitliği sağlayan diğer bir eleman da taşıyıcı kaplamadır. Kaplama olarak alçı levhalar, kontrplak veya OSB kullanıldığında en az 6 numaralı vidalarla uygun olarak bağlanmalıdır (NASFA, 2000). Kaplama sistemin yatay yüklere karşı rijit diyafram olarak çalışmasını ve döşemenin stabilitesini sağlar Şekil 4.28’de döşeme kirişinin kaplama ve stabilite bağlantılarıyla rijitleştirilmesi görülmektedir.

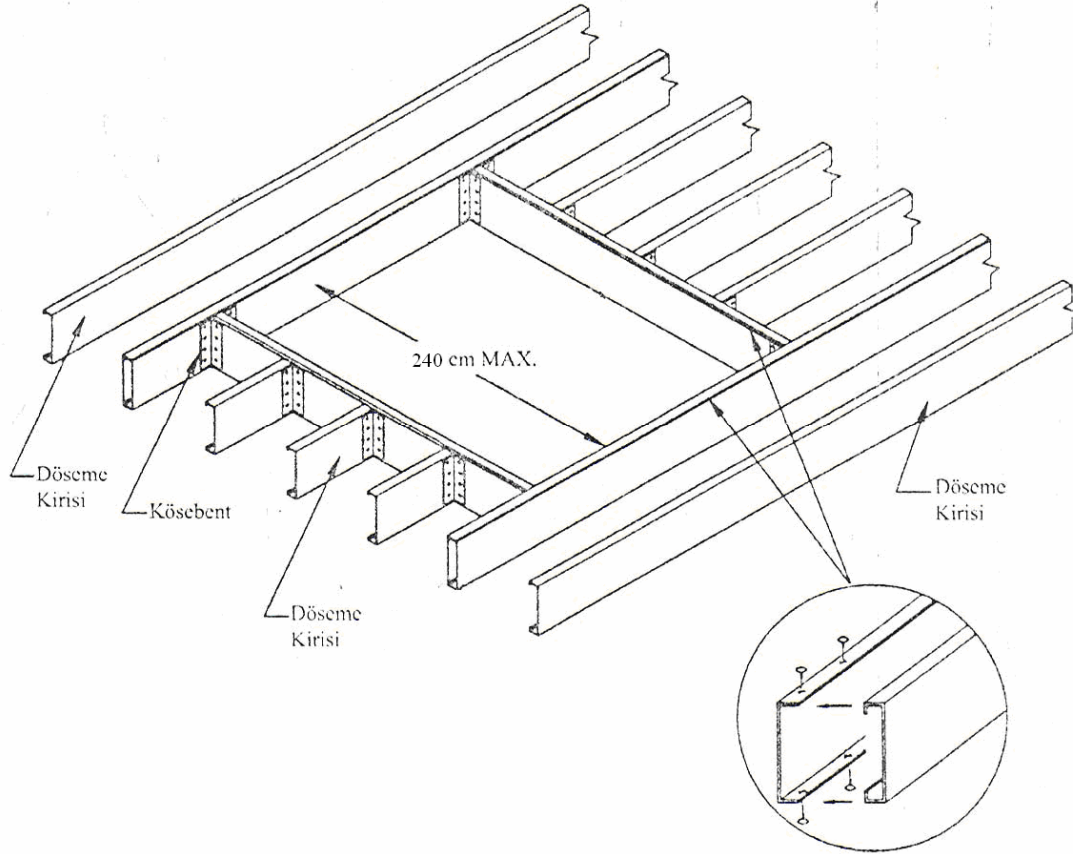


Şekil 4.27 Çapraz kuşaklama ve boyunduruk (NASFA, 2000)



Şekil 4.28 Döşeme kirişinde stabilite bağları (NASFA, 2000)

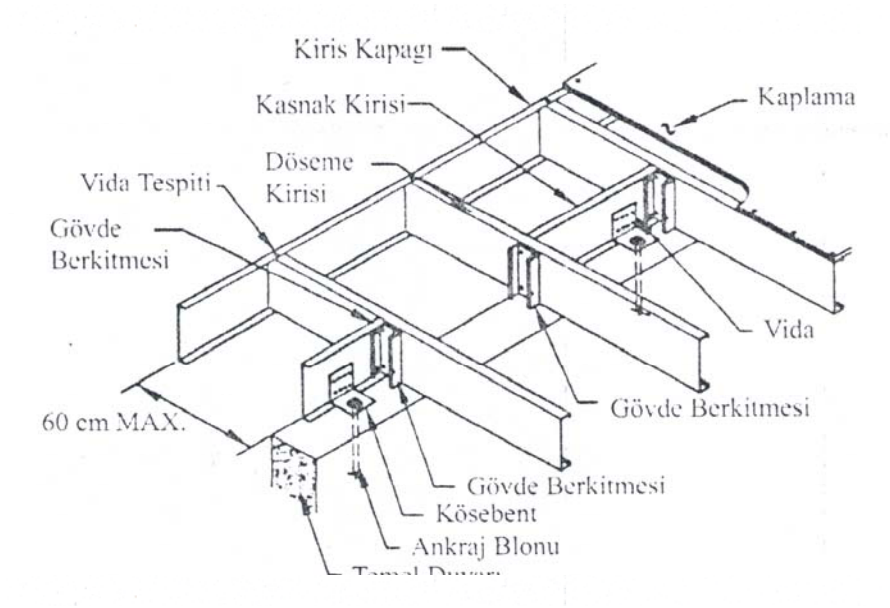
Döşemede merdiven ve bunun gibi boşluklar, döşeme kirişlerine dik ve paralel doğrultuda yerleştirilen ikişer adet kirişle oluşturulur. Bu kirişler, döşeme kirişleri ve dikmelerin kesitleriyle aynıdır ve iki profilin birleştirilmesiyle oluşturulur, 51mm x 51mm'lik köşebentler ve 8 numaralı vidalarla bağlanır. Bu bağlantı elemanının kalınlığı döşeme kirişinin kalınlığından az olmamalıdır (NASFA, 2000). Şekil 4.29'da döşemelerde boşluk oluşturulması görülmektedir.



Şekil 4.29 Döşemede boşluk oluşturulması (NASFA, 2000)

Döşeme kirişlerine dik doğrultuda oluşturulan açıklık en fazla 2.4m'dir. Bu boşluk içine yerleştirilecek merdiven boyutunda da bu ölçüye bağlı kalınmalıdır. Merdiven bina taşıyıcı dikmelerine bağlanmamalı, kendi taşıyıcı dikmeleri üzerine oturtulmalıdır (Işık, 2001).

Çift katlı binaların ikinci katında ya da tek katlı binaların birinci katında 610mm'yi geçmemek şartıyla konsol döşeme yapılabilir. Eğer konsol oluşturacak kirişlerde çift profil kullanırsa, iki katlı binada her iki katta ve çatıda konsol yapılabilir. Ancak konsol uzunluğu yine 610mm'yi aşamaz (NASFA, 2000).



Şekil 4.30 Döşeme kirişlerinin betonarme kiriş üzerinden konsol yapması (NASFA, 2000)

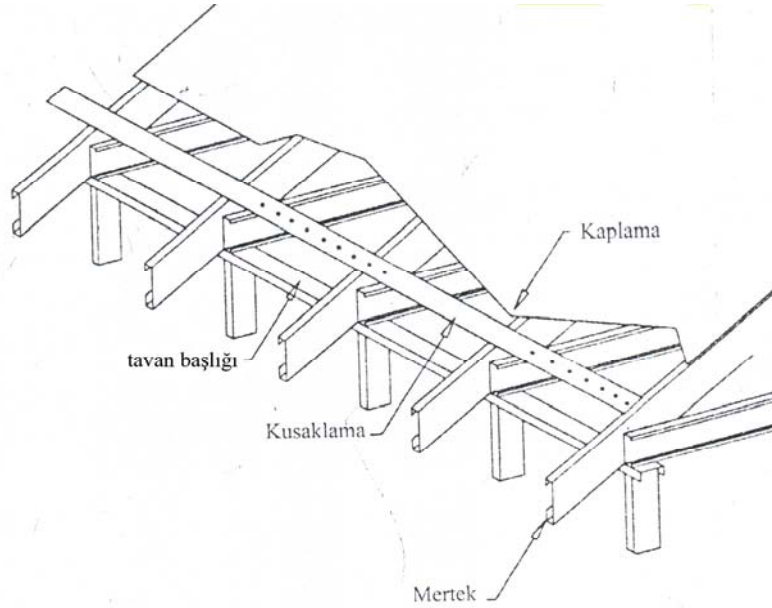


Şekil 4.31 Uygulamadaki bir konsol görünümü (Balac, 2002)

Tesisatın yatayda dolaşabilmesi üretim aşamasında döşeme kirişlerinde boşluklar açılır. Borular ve kablolar döşeme kirişlerinde açılan art arda deliklerden geçirilir. Bunların sisteme değmemesine özen gösterilir.

4.4 Çatı Konstrüksiyonu

Çatı konstrüksiyonu; tavan kirişleri, mertekler ve mahya elemanları olmak üzere üç ana unsurdan oluşur. Tüm çatı makasları duvarlardaki yük taşıyıcı dikmelerle aynı hizada olmalıdır. Tavan kirişleri, dikmeler ve merteklerin eksenleri çakışmalıdır. Şekil 4.32’de dikme, döşeme kirişi ve merteklerin eksenlerinin çakışması görülmektedir.

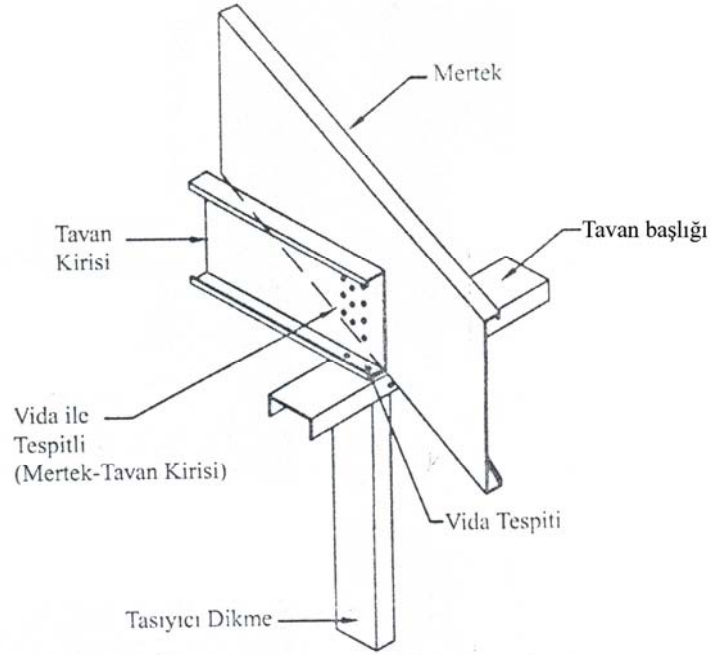


Şekil 4.32 Dikme – döşeme kirişi ve merteklerin eksenlerinin çakışması
(NASFA, 2000)

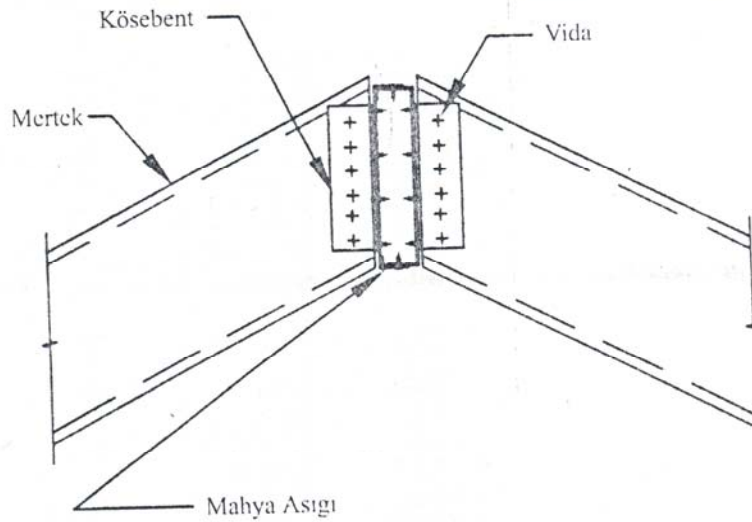
Merteklerin geçebileceği açıklıklar en yüksek kar yüküne ya da eşdeğer kar yüküne çevrilen rüzgâr hızlarına göre seçilir. Gerekli olduğunda mertek mesnetlerinde C profiller kullanılarak maksimum 2438mm olmak üzere güçlendirme yapılabilir. Bu eleman tavan kirişlerine ve merteklere her iki ucundan en az dört tane 10 numaralı vidalarla bağlanır (NASFA, 2000).

Mertekler paralel tavan kirişine bağlanarak dış duvarlar arasında sürekli bir bağ oluşturulur. Mertekler mahya elemanına minimum 51mm x 51mm’lik köşebentlerle ve minimum 10 numaralı vidalar yardımıyla bağlanır. Köşebentler en az mertek kalınlığında olmalıdır. Rüzgâr hızının 145 km/sa ve daha yüksek olduğu bölgelerde, çatı mertekleri çekme yükünü aktarmak için mahya eksenine tutturulmalıdır. Mahya elemanı başlık elemanının kesitinde, en az mertek kalınlığı ve boyutunda olmalıdır (NASFA, 2000).

Şekil 4.33'te merteğin tavan başlığına oturarak dış duvarlarla sürekli bir bağ oluşturması, Şekil 4.34'te ise mertek ve mahyanın birleşim detayı görülmektedir.



Şekil 4.33 Merteğin tavan başlığına oturması (NASFA, 2000)



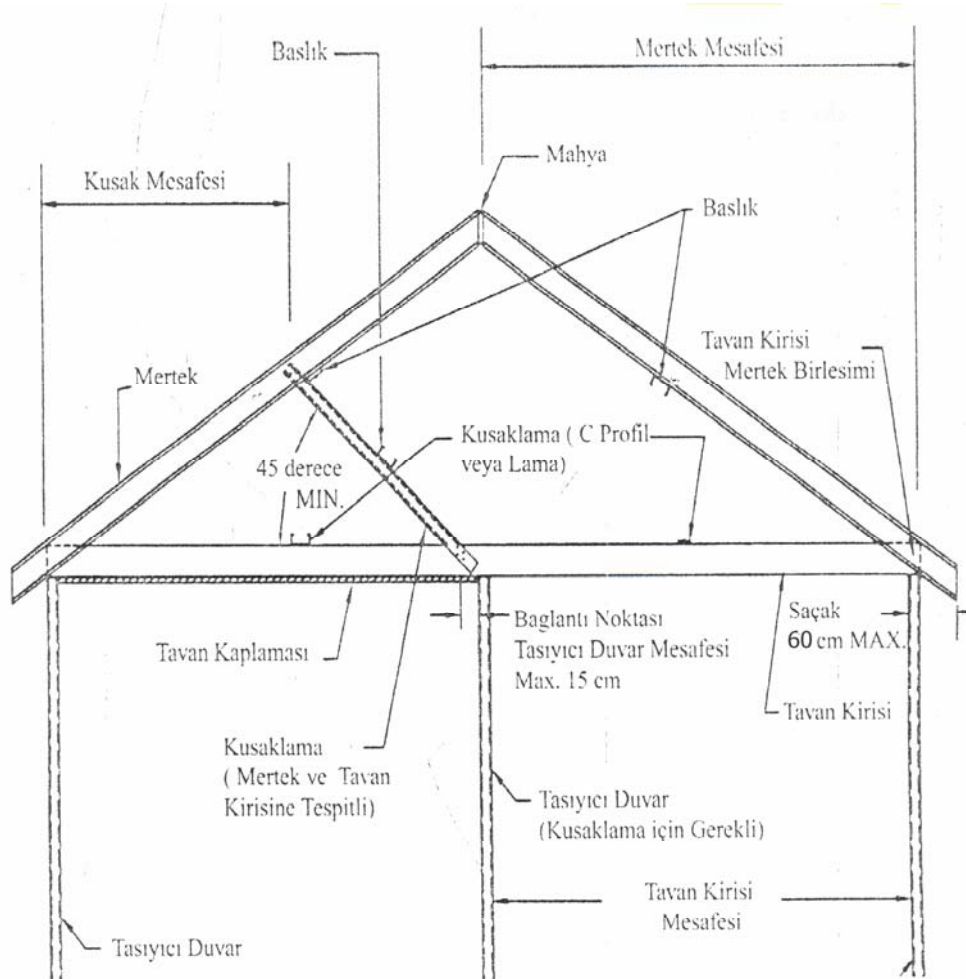
Şekil 4.34 Mertek birleşimi (NASFA, 2000)

NASFA' da merteklerin uzatıldığı saçak 610mm ve çatı eğimi en az 45° olarak sınırlandırılmıştır. Baca ve çatı çıkışı için tavan kirişine dik doğrultudaki mesafe de, en fazla 100cm olarak belirlenmiştir (Yıldırım, 2003).

Tavan kirişleri de döşeme kirişleri gibi alçı levha uygulamasıyla ya da tavan kirişlerine dik doğrultuda sürekli olarak kuşaklama ve alt ve üst başlıkların rijitleştirilmesiyle yatay olarak sabitlenir. Alçı levhalar kullanılırken tablolara uygun olarak en az 6 numaralı vidalar kullanılır. Kuşaklamalar 38mm x 0.84mm'lik ve maksimum açıklıkları 1.2m olacak şekilde yerleştirilir, taşıyıcı iç duvar üzerinde bağlanır (NASFA, 2000).

Çelik tavan kirişlerinin üst başlıkları en az 0.84mm'lik C profillerle, 0.84mm'lik başlık kesitiyle ya da 38mm x 0.84mm'lik sürekli çelik kuşaklamayla yatay olarak güçlendirilir. Bu yatay rijitleştirici elemanlar tavan kirişlerine dik doğrultuda uygulanır. Bu elemanlar her tavan kirişinin üst başlığına en az bir adet 8 numaralı vida kullanılarak (NASFA, 2000).

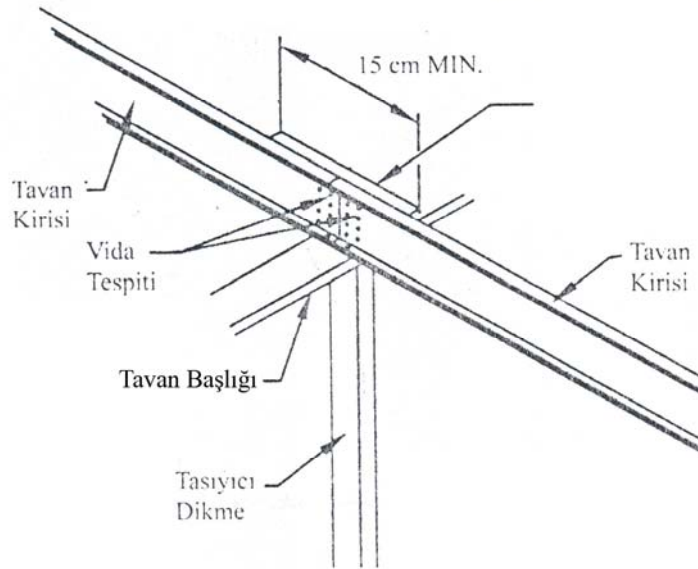
Şekil 4.35'te hafif çelik yapı çatı konstrüksiyonunu oluşturan elemanlar görülmektedir.



Şekil 4.35 Hafif çelik yapı çatı konstrüksiyonu (NASFA, 2000)

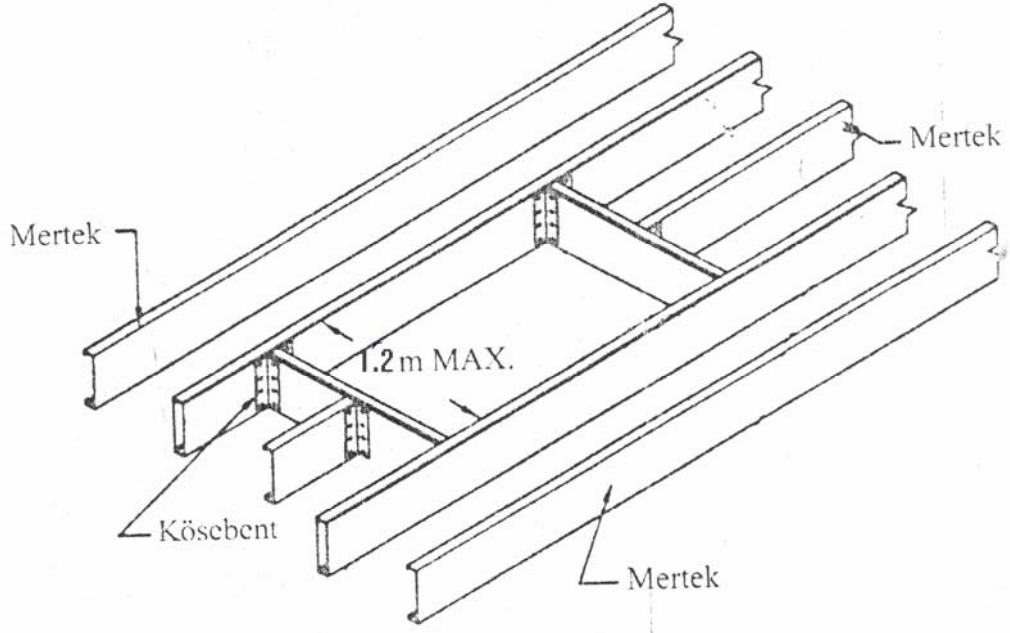
Çelik merteklerin alt başlıkları en az 0.84mm kalınlıklı C kesitli profil, 0.84mm'lik başlık kesitiyle ya da 38mm x 0.84mm'lik çelik kuşaklamalarla maksimum 2.4m aralılarla ve dik doğrultuda güçlendirilmelidir. Rijitleştirici elemanların her alt başlığına bağlanmasında en az iki tane 8 numaralı vida kullanılır. Kuşaklamaların sonlandığı yerlerde X çaprazlamaları kullanılır. Bunlar mertekler arasına maksimum aralıkları 365cm ve merteklere dik olarak yerleştirilir (NASFA, 2000).

Tavan kirişlerinde ekler iç taşıyıcı elemanlar üzerinde yapılmalı, Şekil 4.36'da görüldüğü gibi olmalıdır. Eklenen tavan kirişleri aynı numara ve boyuttaki vidalarla ekin her iki tarafına tutturulmalıdır. Gerekli olan vida sayısı tavan kirişleriyle mertek birleşiminde kullanıldığı kadardır (NASFA, 2000).

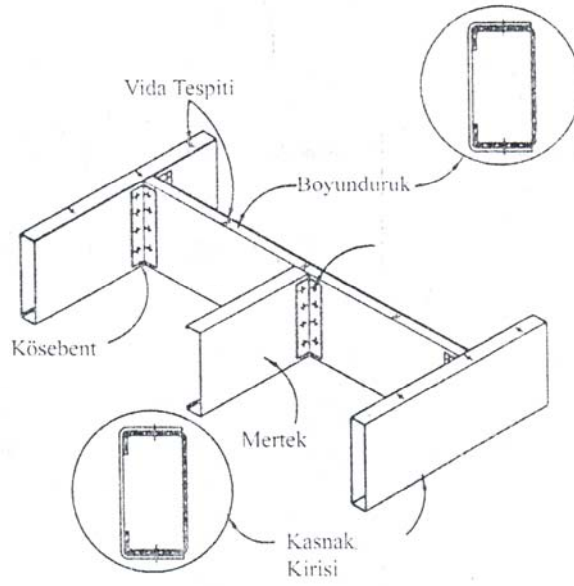


Şekil 4.36 Tavan kirişinde ek yapılması (NASFA, 2000)

Baca ve çatı çıkışı için çatıda boşluk bırakılması, döşemedeki gibi kirişler arasında yapılır. Bacalar, tavan kirişlerinin arasından geçirilmek suretiyle çatıya ulaşmaktadır. Çatı ve tavandaki açıklıklar Şekil 4.37'de görüldüğü gibi yine tavan kirişlerine dik ve paralel doğrultuda yerleştirilen kirişlerle oluşturulur. Tavan kirişleri arasındaki bu açıklık maksimum 1219mm'dir. Boşluğu oluşturan bu kirişler minimum tavan kirişleri ve başlıkların boyutunda ve kalınlığında olmalıdır. Bu elemanlar birbirlerine 51mm x 51mm'lik köşebentlerle bağlanır. Birleşimi oluşturan köşebentler en az mertek ve tavan kirişi kalınlığında olmalı ve her kirişe 8 numaralı vidalarla bağlanmalıdır (Yıldırım, 2003). Şekil 4.38'de çatı boşluğunu oluşturan kirişlerin detayı görülmektedir.



Şekil 4.37 Çatıda boşluk oluşturulması (NASFA, 2000)



Şekil 4.38 Çatı boşluğunun detayı (NASFA, 2000)

5. PERDE DUVARLARIN SONLU ELEMAN ANALİZİ

5.1 Giriş

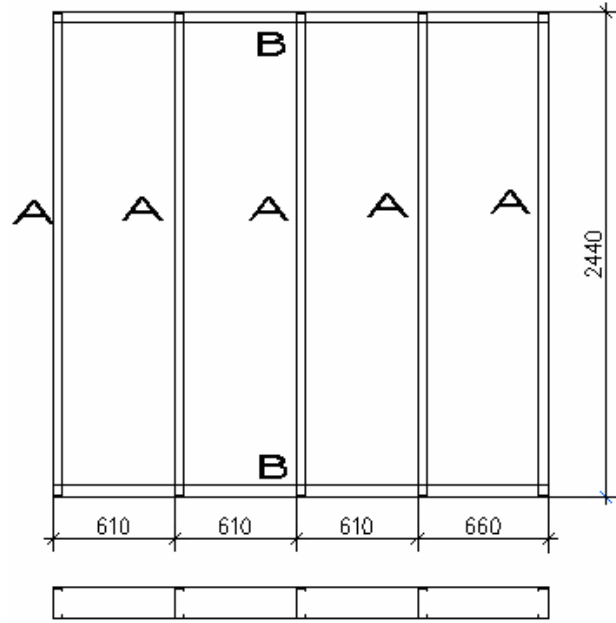
Sonlu elemanlar yöntemi, yapısal sürekliliğin analizinde matris yer değiştirme yönteminin geliştirilmiş genel şeklidir. Çubukların ve plağın süreklilikleri yerini, yalnızca düğüm noktalarında birbiriyle bağlantılı farklı elemanların oluşturduğu gösterim şekline bırakır. Bu durumda çubuktaki ve plaktaki gerçek yer değiştirmeler yaklaşık olarak düğüm noktası yer değiştirmeleri ve gerilmeleri olarak kabul edilir.

Bu çalışmada ABAQUS Student Edition sonlu eleman analiz programıyla çaprazlı ve çelik saç kaplı perde duvarlar malzeme ve geometri bakımından lineer olmayan duruma göre, OSB ve kontrplak kaplı perde duvarlar sadece geometri bakımından lineer olmayan durumlara göre analiz edilmiştir. Bu bölümde modellenecek perde duvar, malzeme özellikleri, kullanılacak sonlu elemanlar ve analizden elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

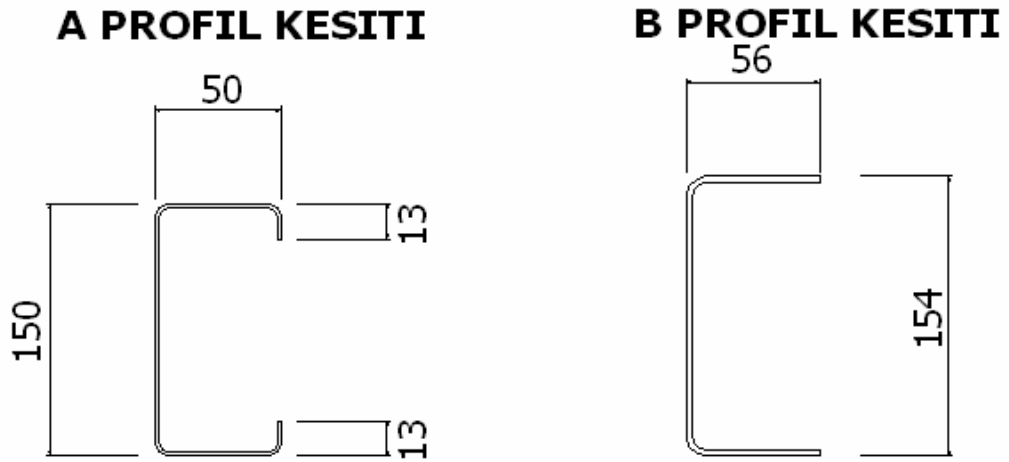
5.2 Perde Duvarın Tanıtılması

Modellenecek olan perde duvar Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 610mm arayla yerleştirilmiş 2440mm yüksekliğindeki beş adet dikmeden ve bunların alt ve üstte bağlandığı iki adet başlıktan oluşmaktadır.

Perde duvarı oluşturan A dikmeleri 150mm gövde yüksekliğine, 50mm başlık genişliğine, 13mm rijitleştirici yüksekliğine ve 1.5mm et kalınlığına sahip C kesitlerdir. B, alt ve üst başlıkları, ise 154mm gövde yükseklikli, 56mm başlık genişlikli ve 1.5mm et kalınlıklı U profillerdir. Şekil 5.2’de kullanılan profillerin boyutları görülmektedir.



Şekil 5.1 Modellenen perde duvarın görünüşü



Şekil 5.2 Dikme ve başlık profilleri

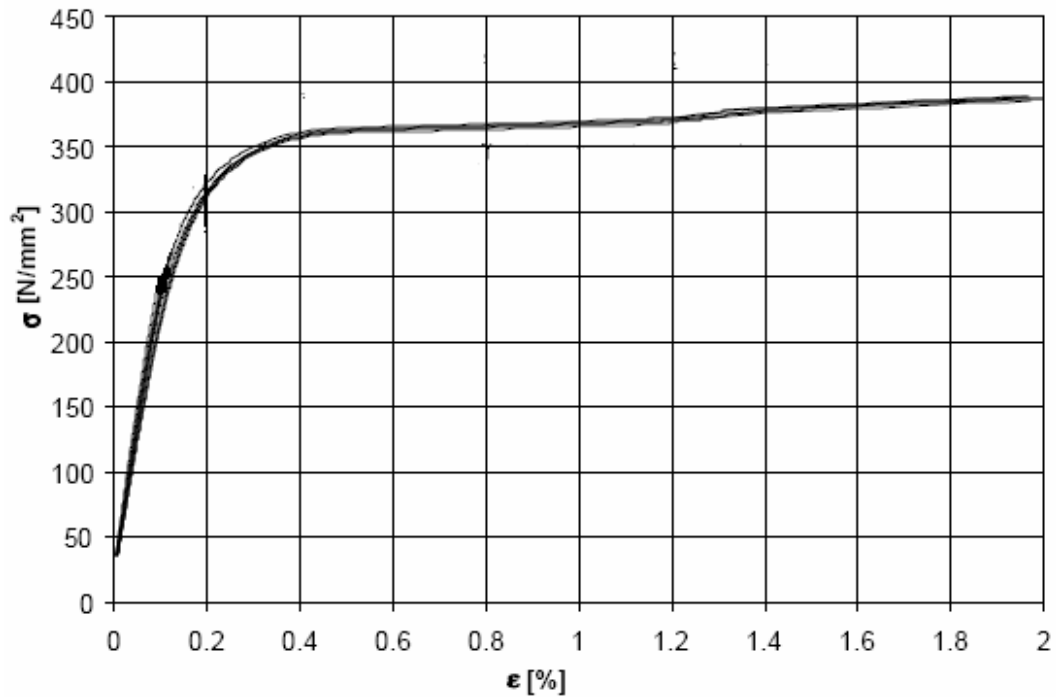
Dikmeler, alt ve üst başlıklardan oluşan çelik çerçevenin çaprazlarla, çelik sacı, OSB ve kontrplakla güçlendirilmesi düşünülmüştür. Çaprazlarla güçlendirilen perde duvarlarda, duvarın iki dış yüzünde de olmak üzere; 70mm genişliğinde 1.5mm, 1.8mm ve 2mm kalınlıklarında olmak üzere üç değişik lama elemanları kullanılmıştır. Perde duvarlarda kaplama elemanları olarak 1.5mm, 1.8mm ve 2mm kalınlıklarında çelik sac, 11mm kalınlığında OSB plakalar ve 9.53mm kalınlığında kontrplak kullanılmıştır. Kaplama elemanları çerçeveye dış kısımlarda 15cm aralıklı, iç kısımlarda ise 30cm aralıklı vidalarla bağlanmıştır.

5.3 Çelik Malzeme Özelliği

Dikmeleri, başlıkların ve kaplama sacının malzemesi olarak S350GD+Z çeliği kullanılmıştır. Helsinki Üniversitesi Çelik Yapılar Teknoloji Laboratuvarı'nda Outinen tarafından 2000 yılında yapılan çalışmadan elde edilen Şekil 5.3'te görülen S350GD+Z çeliğine ait gerilme şekil değiştirme eğrisi kullanılmıştır.

S350GD+Z çeliğinin elastisite modülü 210000 N/mm^2 , akma gerilmesi 354.6 N/mm^2 , kopma gerilmesi 452.6 N/mm^2 dir.

Ülkemizde S350GD+Z çeliği Erdemir Demir-Çelik tarafından üretilmektedir.



Şekil 5.3 S350GD+Z çeliğinin oda sıcaklığındaki gerilme şekil değiştirme eğrisi
(Outinen, 2000)

5.4 Ahşap kaplama malzemesi özellikleri

OSB; Talaş parçalarının yüksek basınç ve sıcaklık altında sıkıştırılmasıyla üretilir. Lifli bir yapıya sahiptir. OSB'ye ait malzeme özellikleri Akşan Mühendislik A.Ş.'den temin edilmiş olup: yoğunluğu 630 kg/m^3 , elastisite modülü 4800 N/mm^2 ve poisson oranı 0.3'tür.

Kontrplak; tomrukların kesilmesiyle oluşan ince levhaların lif doğrultuları dikkate alınarak birbirlerine göre dik ve paralel yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasıyla oluşur. Lif doğrultuları dikkate alınarak kontrplakta çalışan etkin levha kalınlığı tanımlanmıştır. “Plywood Design Spesification 1997-Kontrplak Dizayn Yönetmeliği 1997” ye göre 9.53mm kalınlıktaki kontrplakın; elastisite modülü 124 t/cm^2 , etkin kalınlığı 7.0 mm’dir.

5.5 Sonlu Eleman Modelinde Yapılan Kabuller

- Dikmeler, başlıklar ve çaprazlar eksenlerinden geçen çubuk elemanlarla, kaplama sacı ise ekseninden geçen düzlemsel elemanlarla tanımlanmışlardır.
- Sistemi oluşturan elemanların düzlem dışı hareket yapmadığı kabul edilmiştir.
- Güçlendirme elemanlarının çelik çerçeveye rijit olarak bağlandığı kabul edilmiştir.
- Güçlendirme elemanları çerçeveyi oluşturan elemanların dış yüzlerine bağlı olduklarından, modelde çerçeveyi oluşturan elemanların eksenleriyle güçlendirme elemanlarının eksenleri arasında fiktif rijit elemanlar kullanılmıştır.
- OSB ve kontrplak lineer elastik ve izotrop malzemeler olarak kabul edilmiştir.

5.6 Modelde Kullanılan Sonlu Eleman Tipleri

5.6.1 B31 ve B21 Sonlu Elemanları

B31 ve B21; Bir boyutu belirli bir şekilde diğer boyutlarından büyük olan elemanların modellenmesinde kullanılırlar.

B31; İki nokta içeren üç boyutta serbestliği olan kiriş elemanıdır. Her noktasında üç ötelenme ve üç dönme olmak üzere toplam altı serbestliğe sahiptir.

B21; İki nokta içeren sadece iki boyutta serbestliği olan kiriş elemanıdır. Her noktası x ve y doğrultularında ötelenme, z doğrultusu etrafında dönme serbestliklerine sahiptir.

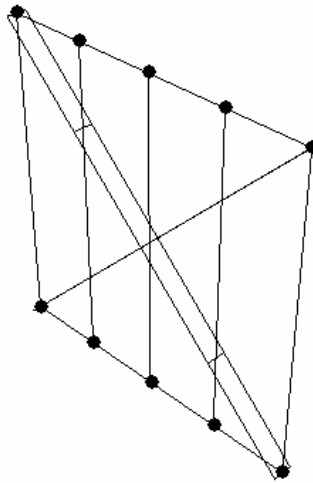
5.6.2 CPS8R Sonlu Elemanı

İki boyutlu düzlem gerilme elemanıdır. Dört köşe, dört ara nokta olmak üzere sekiz nokta içerir. Düzlem gerilme elemanı olduğundan σ_{33} sıfırdır ve ince cidarlı elemanların modellenmesi için uygundur. Her noktada x ve y doğrultularında ötelenme serbestliklerine sahiptir. Yapılan çalışmalar uç noktasında kesme kuvveti bulunan konsol elemanların modellenmesinde iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur.

5.7 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

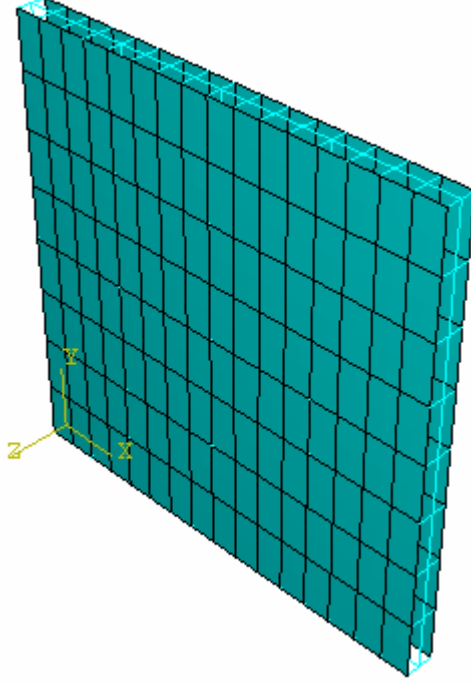
Analizi yapılacak olan perde duvarı oluşturan dikme elemanları analizin daha iyi sonuç vermesi için 30cm’de, başlık elemanları ise 15cm’de bir parçalara ayrılmıştır. Dikmelerin başlıklarla bağlantısı mafsallı şekildedir. Gerçekte bu bağlantı ideal bir mafsallı gibi olmayacaktır. Bu yüzden dikme ve başlığın bağlandığı noktalarda düşük rijitlikli yay tanımlaması yapıp istenen doğrultularda dönme yapabilmesine izin verilmiştir. Dikmelerin ve başlıkların kesitleri programa gerçek kesitlerinin koordinatları girilerek tanımlanmıştır. Program dışardan tanımlanan kesitleri içeren sonlu elemanların her noktasında üç boyutta serbestliklerinin olmasını şart koşturmaktadır. Buna bağlı olarak dikme ve başlıklara B31 elemanı atanmıştır.

Çaprazlarla güçlendirilmiş perde duvar modellenmesinde çaprazlar dikmelerin dış yüzlerine birleştiklerinden dikme eksenine birleşim noktası arasına rijit fiktif elemanlar tanımlanmıştır. Bu elemanların elastisite modülleri ve kesitleri büyük seçilerek rijitlik sağlanmıştır. Çaprazların modellenmesinde dikdörtgen kesitli B21 elemanı kullanılmıştır. Şekil 5.4’te çaprazlı perde duvarın modeli görülmektedir.



Şekil 5.4 Çaprazlı perde duvarın sonlu eleman modeli

Kaplama elemanıyla güçlendirilmiş perde duvar modellenirken çubuk elemanların parçalara bölündüğü noktalarda kaplama malzemesiyle çerçeve elemanlarının birleştiği düşünülmüştür. Buna bağlı olarak çaprazla güçlendirilmiş modelde olduğu gibi bu noktalarda çok rijit fiktif elemanlar kullanılmıştır ve bu elemanların elastisite modülleri yüksek, kesit boyutları büyük seçilmiştir. Kaplama elemanları CPS8R sonlu elemanı ile modellenmiştir. Şekil 5.5'te kaplama elemanlarıyla güçlendirilmiş perde duvarın sonlu eleman modeli görülmektedir.



Şekil 5.5 Kaplamayla güçlendirilmiş perde duvarın sonlu eleman modeli

Çelik malzeme, akma gerilmesine kadar lineer elastik olarak tanımlanmış olup, akma gerilmesinden sonraki gerilmeler ve bunlara karşılık gelen plastik deformasyonlar tanımlanmıştır.

Perde duvarın alt iki köşesinden zemine bağlandığı düşünülmüştür. Ankrajların biri sabit mesnet, diğeri ise kayıcı mesnet olarak modellenmiştir.

Modellerimiz sol üst köşeden yatay olarak artan tekil yüklerle yüklenmiş olup analiz sonucunda yüklere karşılık gelen deplasmanlar dikkate alınarak kuvvet-deplasman eğrileri çizilmiştir.

5.8 Hesaplamalar, Modelin Çözümü ve Sonuçların İncelenmesi

Gerekli veriler girilip düzenlemeler yapıldıktan sonra çapraz ve çelik sac la güçlendirilmiş perde duvarlar için çözümler elde edilmiştir.

ABAQUS Student Edition kullanılarak yapılan sonlu eleman analizi sonucunda çizilen kuvvet deplasman eğrilerinden kesitin taşıdığı maksimum yatay yük okunmuştur. Ayrıca, dikmelerde oluşan normal kuvvetler incelenmiş ve TS 11372'ye göre dikme profilinin taşıyabileceği maksimum normal kuvvet bulunup karşılaştırılmıştır.

5.8.1 Dikme Profilinin Taşıyabileceği Eksenel Basınç Kuvveti

Dikme profilinin maksimum eksenel basınç kuvveti taşıma kapasitesinin belirlenmesinde TS 11372 esas alınarak hesap yapılmıştır. Çaprazla güçlendirilmiş perde duvarda dikmenin burkulma boyu iki ucu mafsallı olduğundan dikmenin kendi boyudur. Kaplama elemanlarıyla güçlendirilmiş perde duvarda dikmenin burkulma boyu vida aralık mesafesi kadar yani 15cm'dir.

Rijitleştirilmemiş basit uç kıvrımları için gerilme faktörü:

$$\frac{b_{01}}{t} = \frac{w_1}{t} = \frac{0,65}{0,15} = 4,33$$

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_a}} = \frac{17}{\sqrt{3,5}} = 9,08 \quad 4,33 < 9,08 \text{ olduğundan}$$

$$\sigma_{cem} = \sigma_c = 0,6 \cdot \sigma_a = 0,6 \cdot 3,5 = 2,1 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{cem} = \sigma_c = \frac{\sigma_a}{1,67} = 0,6 \cdot 3,5 = 2,1 \text{ t/cm}^2$$

$$Q_g = \frac{\sigma_{cem}}{\sigma} = \frac{2,1}{2,1} = 1$$

b_{02} :Uç kıvrım genişliği

w_2 :Uç kıvrım genişliği

σ_c :Çekme emniyet gerilmesi

σ_{cem} : Çekme emniyet gerilmesi

Q_g :Gerilme faktörü

Rijitleştirilmemiş düzlemsel elemanlar için alan faktörü:

Başlıkta:

$$\frac{b_{02}}{t} = \frac{w_2}{t} = \frac{3,7}{0,15} = 24,6$$

$$0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{2100}{2,1}} = 30 \quad 24,6 < 30 \text{ olduğundan } b_{e2} = b_{02} = 3,7 \text{ cm}$$

b_{02} :Başlık genişliği

w_2 :Başlık genişliği

t :Profilin et kalınlığı

E :Elastisite modülü

b_{e2} :Başıktaki etkin genişlik

Gövdede:

$$\frac{b_{03}}{t} = \frac{w_3}{t} = \frac{13,7}{0,15} = 91,3$$

$$0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{2100}{2,1}} = 30 \quad 30 < 91,3 < 500 \text{ olduğundan}$$

$$b_{e3} = 0,95 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 4,506 \text{ cm}$$

$$A'_{etk} = 3,9019 - 0,15 \cdot (13,7 - 4,506) = 2,523 \text{ cm}^2$$

$$Q'_a = \frac{A'_{etk}}{A} = \frac{2,523}{3,9019} = 0,647$$

$$Q = Q_g \cdot Q'_a = 1 \cdot 0,647 = 0,647$$

b_{03}, w_3 :Gövde genişliği

t :Profilin et kalınlığı

A'_{etk} :Etkin en kesit alanı

Q'_a :Alan faktörü

Çaprazla güçlendirilmiş duvar profilinin maksimum eksenel yük taşıma kapasitesi:

Dikme profili için $r_y=17,5165$ mm değeri CFS 4.13 programından alınmıştır

$$\lambda_y = \frac{K \cdot L}{r_y} = \frac{1 \cdot 2440}{17,516} = 139,3 < 200$$

$$\frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{Q \cdot \sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2100}{0,647 \cdot 3,5}} = 135,397 \quad 139,3 > 135,397 \text{ olduğundan}$$

$$\sigma_{obem1} = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot 2100}{23 \cdot \left(\frac{244}{1,7 \cdot 516} \right)^2} = 0,557 \text{ t/cm}^2$$

$$P_{\max} = 0,557 \cdot 3,9019 = 2,17 \text{ ton}$$

Kaplama elemanlarıyla güçlendirilmiş duvar profilinin eksenel yük taşıma kapasitesi:

$$\lambda_y = \frac{1 \cdot 15}{1,7516} = 8,56 < 200$$

$$\frac{\lambda_{kr}}{\sqrt{Q}} = 135,267 > \frac{K \cdot L}{r_y} = 8,56 \text{ olduğundan}$$

$$\sigma_{obem1} = \frac{12}{23} \cdot 0,647 \cdot 3,5 - \frac{3 \cdot (0,647 \cdot 3,5)^2}{23 \cdot \pi^2 \cdot 2100} \cdot \left(\frac{15}{1,7516} \right)^2 = 1,179 \text{ t/cm}^2$$

$$P_{\max} = 1,179 \cdot 3,9019 = 4,6 \text{ ton}$$

λ_y :Zayıf eksenindeki narinlik

K :Etkin burkulma boyu katsayısı

L :Desteksiz çubuk boyu

r_y :Zayıf eksenindeki atalet yarıçapı

λ_{kr} :Kritik narinlik

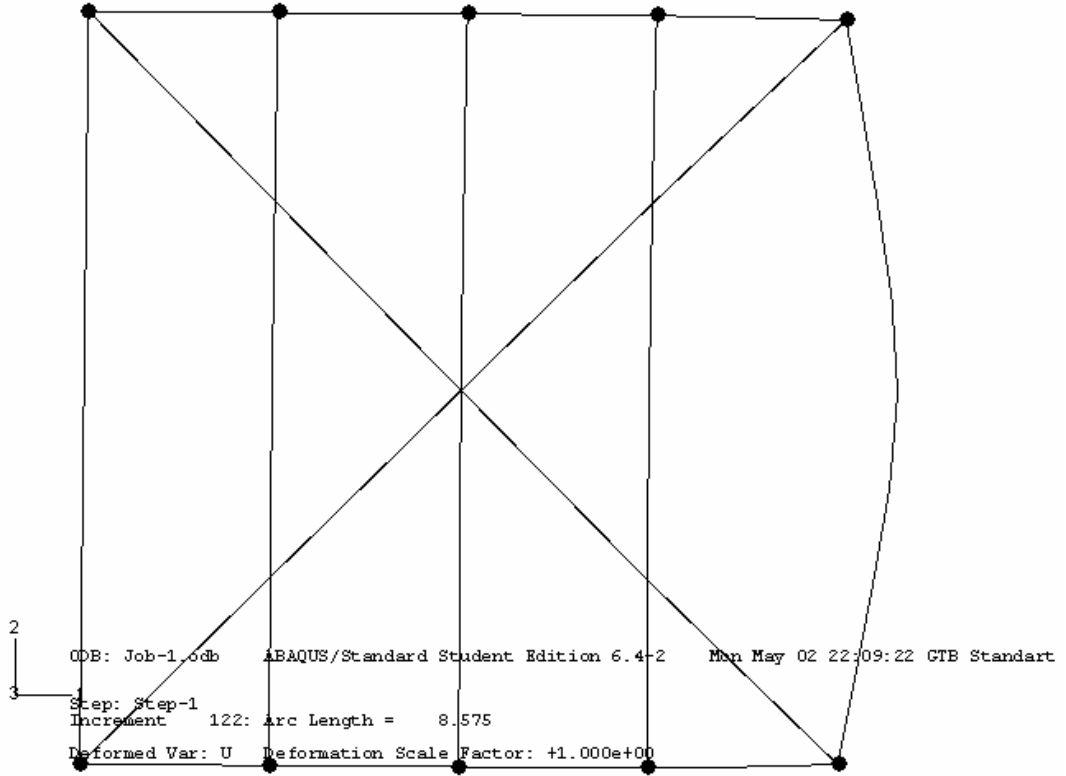
σ_{obem1} :İzin verilen sınır basınç gerilmesi

$P_{\max}$:Maksimum eksenel basınç yükü

σ_a :Akma gerilmesi

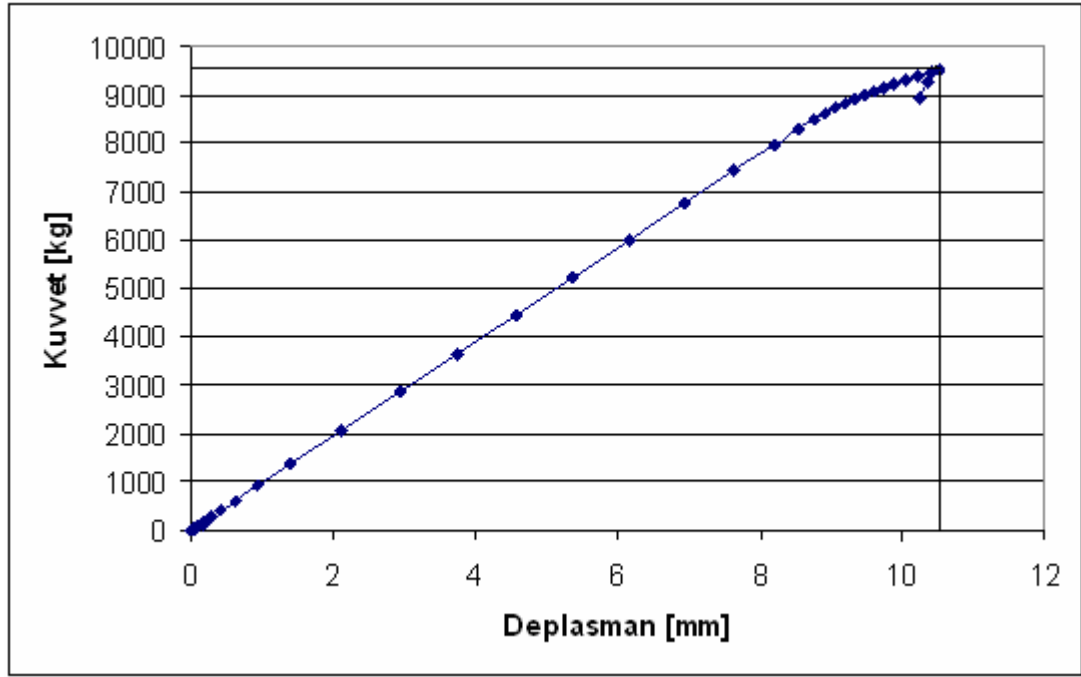
5.8.2 Çaprazla Güçlendirilen Perde Duvarın Sonuçları

Perde duvara etkiyen yatay kuvvet arttıkça, duvarı oluşturan dikmeler üzerinde çapraz elemanda oluşan çekmeden dolayı basınç kuvveti oluşur ve en çok zorlanan dikme burkular. İlk olarak çekme etkisinde kalan ankraj zorlanmakta olup, diğer ankraj ve köşe birleşimleri de onu takip etmektedir. Şekil 5.6’da perde duvarın yatay kuvvet etkisiyle yaptığı deplasman görülmektedir.

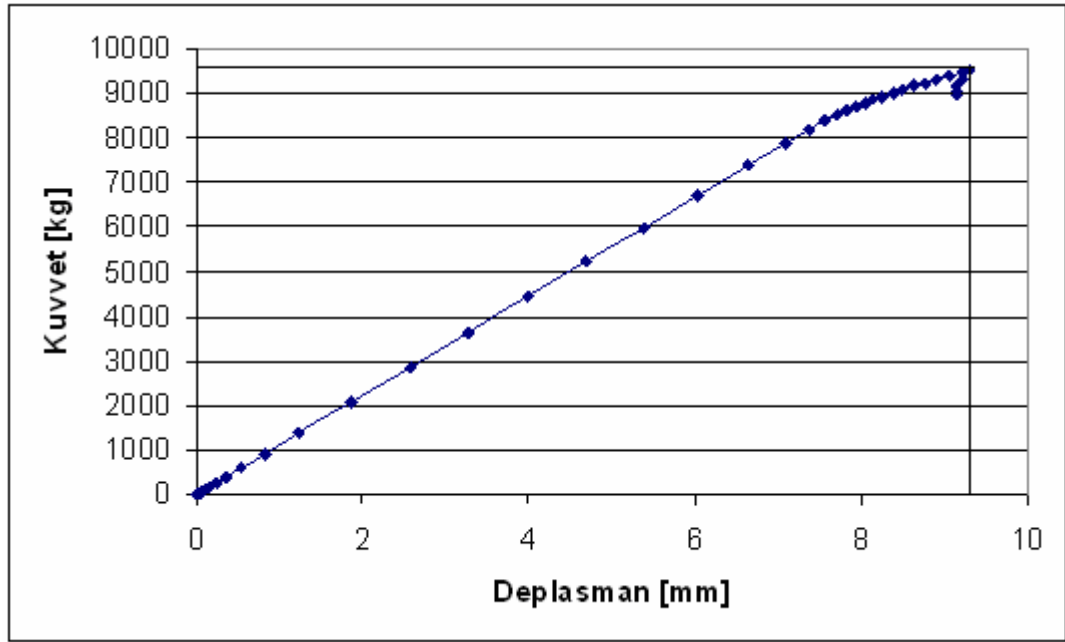


Şekil 5.6 Çaprazlı perde duvarın yaptığı deplasman

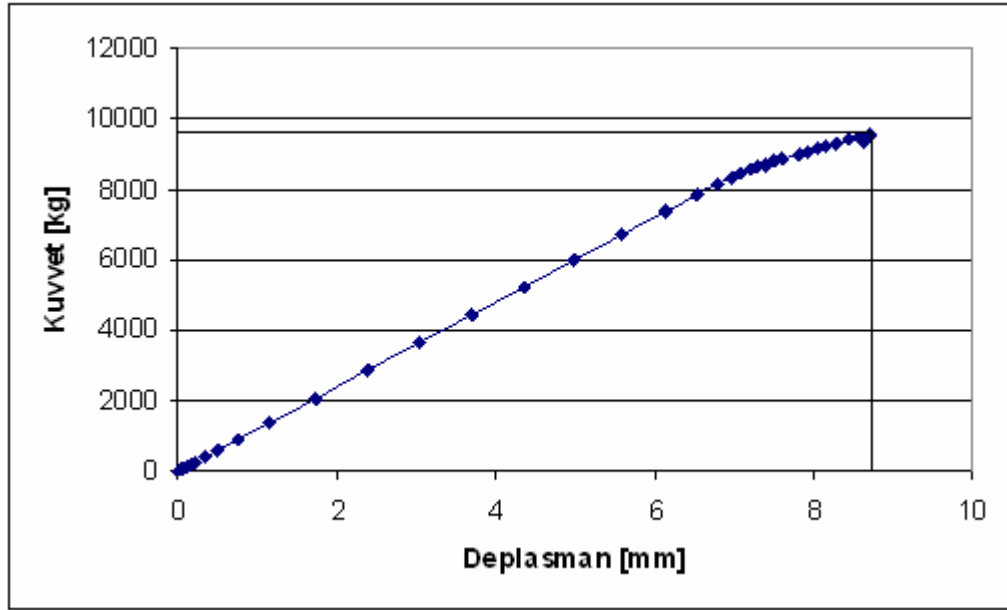
Çapraz elemanı olarak üç değişik kalınlıkta lama eleman kullanılmıştır. Malzemenin ve geometrinin lineer olmaması durumlarına göre analiz yapılmıştır. Kullanılan üç değişik kalınlıktaki çaprazlarla güçlendirilmiş perde duvarların kuvvet-deplasman eğrileri çizilmiştir. Şekil 5.7’de, Şekil 5.8’de, Şekil 5.9’da sırasıyla 1.5mm, 1.8mm ve 2mm kalınlıklı çapraz elemanlara ait kuvvet-deplasman eğrileri görülmektedir.



Şekil 5.7 1.5mm kalınlıklı çaprazlı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi



Şekil 5.8 1.8mm kalınlıklı çaprazlı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi



Şekil 5.9 2mm kalınlıklı çaprazlı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi

Kuvvet-deplasman eğrilerinden okunan maksimum yatay kuvvetler ve bunlara karşılık deplasmanlar Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Çaprazlı Perde Duvarlara Ait Analiz Sonuçları

Çapraz kalınlığı	Yatay Kuvvet[kg]	Deplasman [mm]
1,5 mm	9497	10,51
1,8 mm	9504	9,298
2 mm	9555	8,716

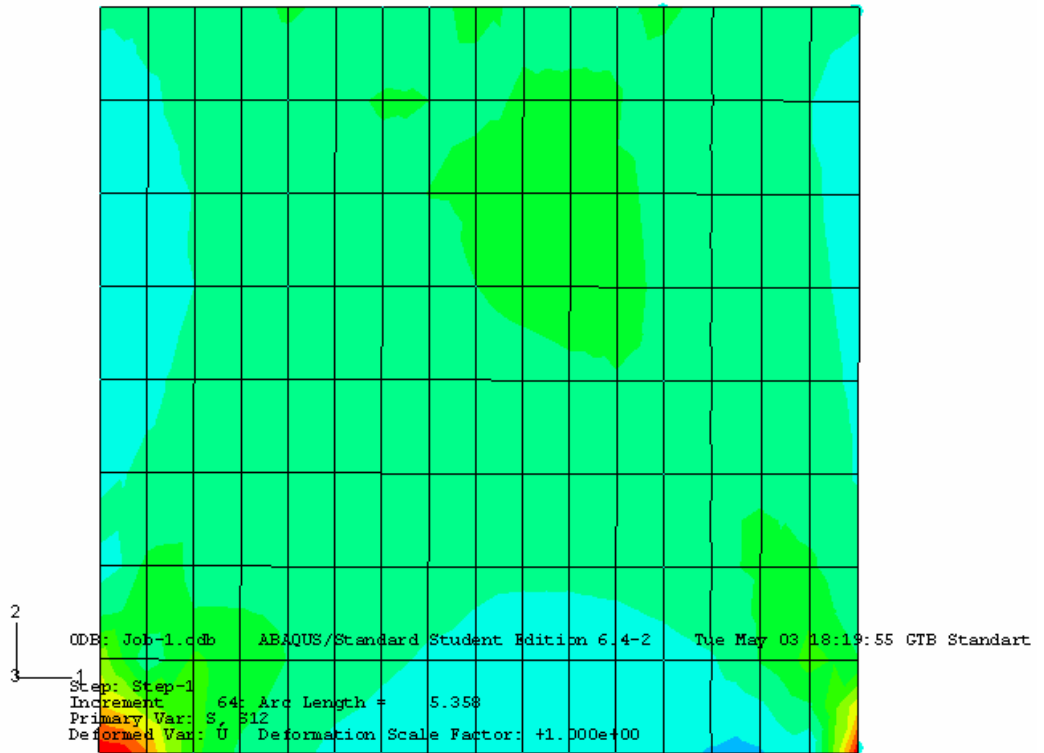
Perde duvarı oluşturan dikmelerin basınç kuvveti taşıma kapasiteleri Bölüm 5.7.1’de hesaplanmış olup 2,17 ton’dur. Analiz sonuçları incelendiğinde maksimum yatay kuvvete ulaşıldığında dikmelerin üzerindeki eksenel basınç kuvvetinin kesitin eksenel kuvvet taşıma kapasitesinden büyük olduğu görülmüştür. Buna göre perde duvar maksimum yatay kuvvete ulaşmadan dikmenin zayıf ekseninde burkulmasıyla göçme mekanizmasına ulaşmaktadır. Perde duvar burkulma yüküne lineer-elastik bölgede ulaşmaktadır. Tablo 5.2’de çaprazlı perde duvarlar burkulma yükleri olan 2,17 ton’a ulaştıklarında taşıdıkları yatay kuvvet ve deplasman verilmiştir.

Tablo 5.2 Çaprazlı Perde Duvarın Basınç Kuvveti Taşıma Kapasitesine Karşılık Gelen Analiz Sonuçları

Çapraz kalınlığı	Yatay Kuvvet [kg]	Deplasman [mm]
1,5 mm	4672	4,795
1,8 mm	4719	4,237
2 mm	4750	3,959

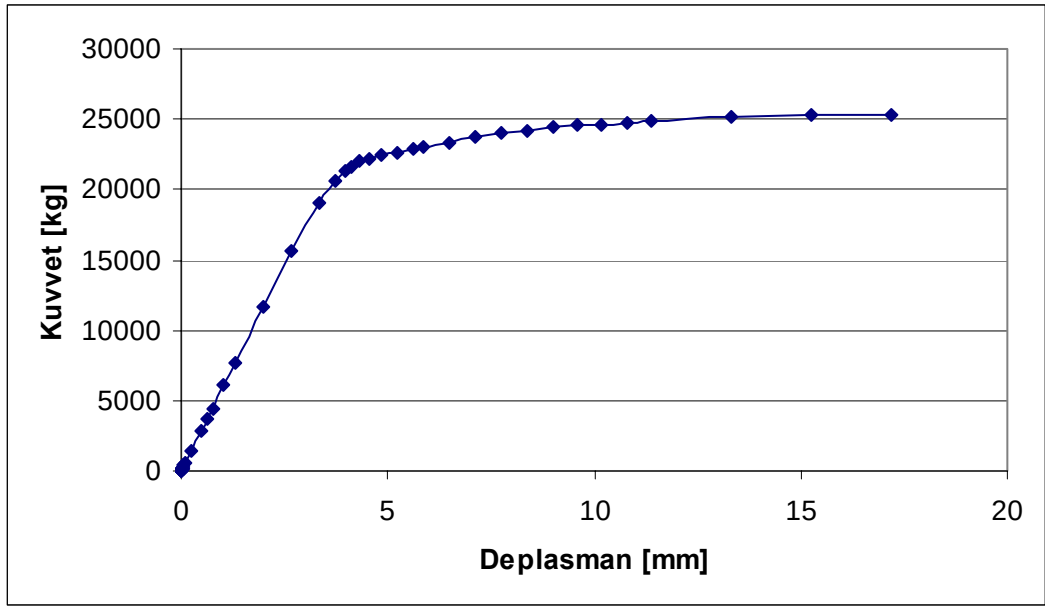
5.8.3 Çelik Saçla Güçlendirilen Perde Duvarın Sonuçlarının İncelenmesi

Güçlendirme elemanı olarak 1.5mm, 1.8mm ve 2mm olmak üzere üç değişik kalınlıkta çelik saç kullanılarak malzeme ve geometrinin lineer olmamasına göre analizler yapılmıştır. Perde duvarda artan yatay kuvvet altında saçta oluşan gerilme dağılımı ve zorlanan ankraj bölgeleri Şekil 5.7’de görülmektedir.

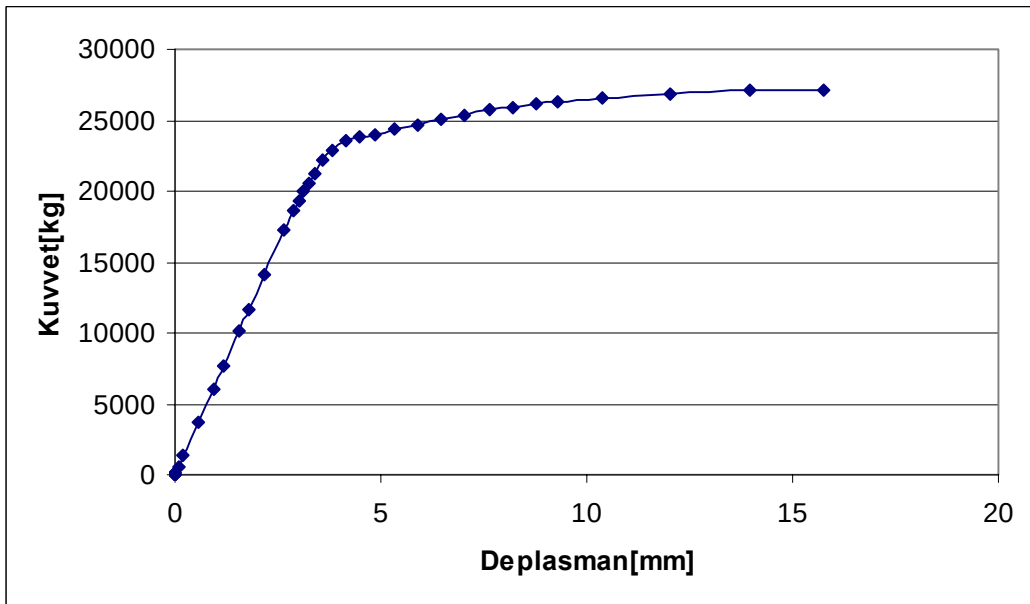


Şekil 5.10 Perde duvarda gerilme dağılımı

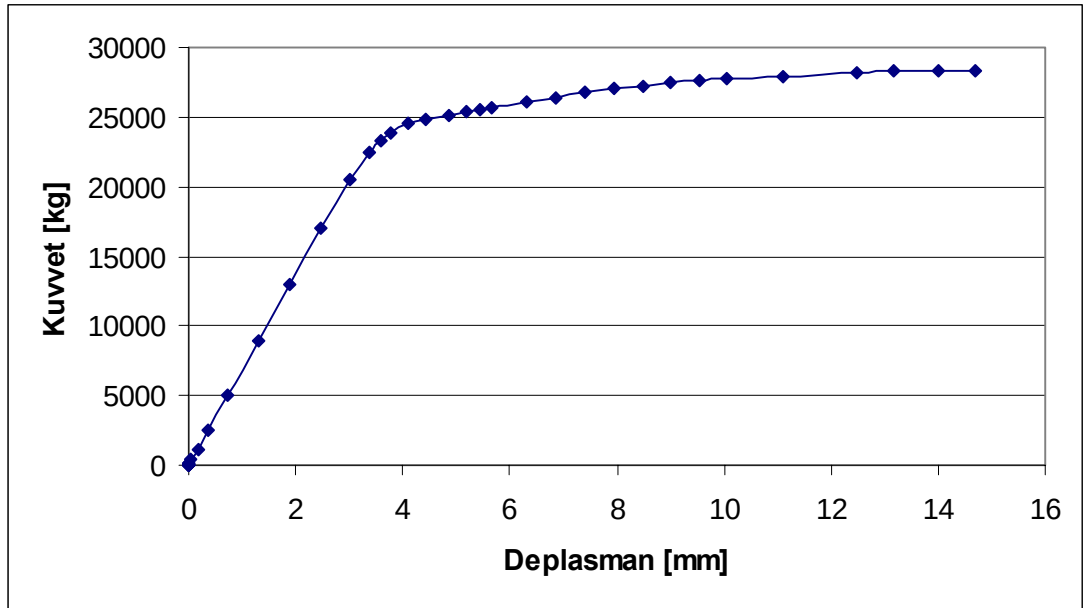
Kullanılan üç değişik kalınlıktaki çelik saçla güçlendirilen perde duvarlar için kuvvet-deplasman eğrileri çizilmiştir. Şekil 5.10’da, Şekil 5.11’de, Şekil 5.12’de sırasıyla 1.5mm, 1.8mm ve 2mm kalınlıklı çelik saçla güçlendirilmiş perde duvarların kuvvet-deplasman eğrileri görülmektedir.



Şekil 5.11 1.5mm kalınlıklı saç kaplı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi



Şekil 5.12 1.8mm kalınlıklı saç kaplı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi



Şekil 5.13 2mm kalınlıklı sa kaplı duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi

Kuvvet-deplasman eğrilerinden okunan maksimum yatay kuvvetler ve bunlara karşılık deplasmanlar Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 Çelik Sala Güçlendirilmiş Perde Duvarlara Ait Analiz Sonuçları

Sa kalınlığı	Yatay Kuvvet[kg]	Deplasman [mm]
1,5 mm	25350	17,18
1,8 mm	27180	15,77
2 mm	28370	14,69

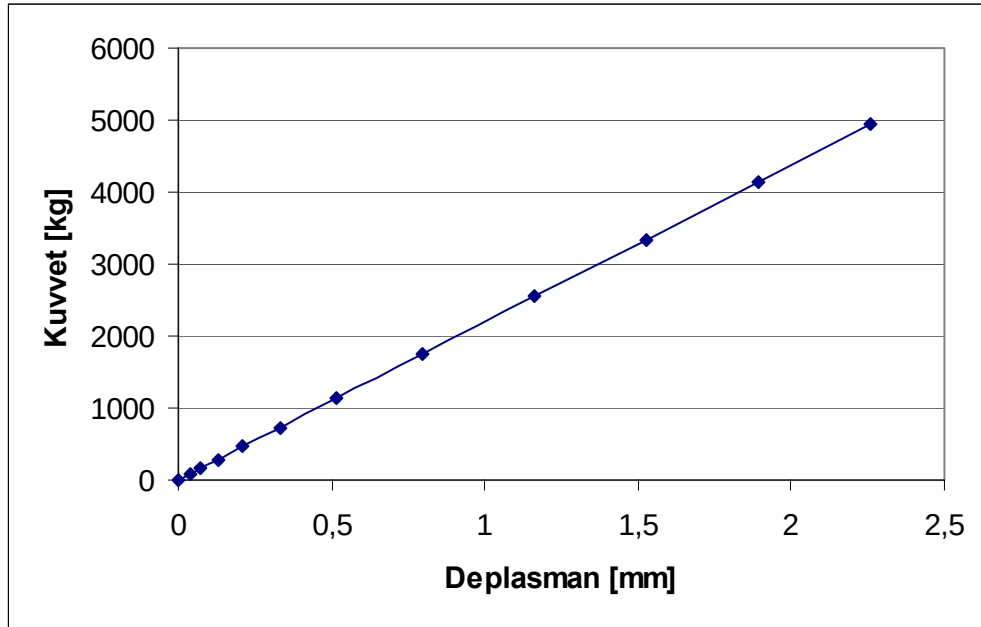
Perde duvarı oluşturan dikmelerin burkulma boyları kaplama malzemesini dikmelere bağlayan vidalar arasındaki boydur. Buna göre, dikmelerin basınç kuvveti taşıma kapasiteleri Bölüm 5.7.1’de hesaplanmış olup 4.6 ton’dur. Analiz sonuçları incelendiğinde maksimum yatay kuvvete ulaşıldığında dikmelerin üzerindeki eksenel basınç kuvvetinin kesitin eksenel kuvvet taşıma kapasitesinden büyük olduğu görülmüştür. Buna göre perde duvar maksimum yatay kuvvete ulaşmadan dikmenin zayıf eksenle burkulmasıyla göçme mekanizmasına ulaşmaktadır. Perde duvar eksenel basınç yükü taşıma kapasitesine lineer-elastik bölgede ulaşmaktadır. Tablo 5.4’te çelik saçla güçlendirilmiş perde duvarın basınç taşıma kapasitesine karşılık gelen yatay kuvvet ve deplasman değeri verilmiştir.

Tablo 5.4 Çelik Saçla Güçlendirilmiş Duvarın Basınç Kuvveti Taşıma Kapasitesine Karşılık Gelen Analiz Sonuçları

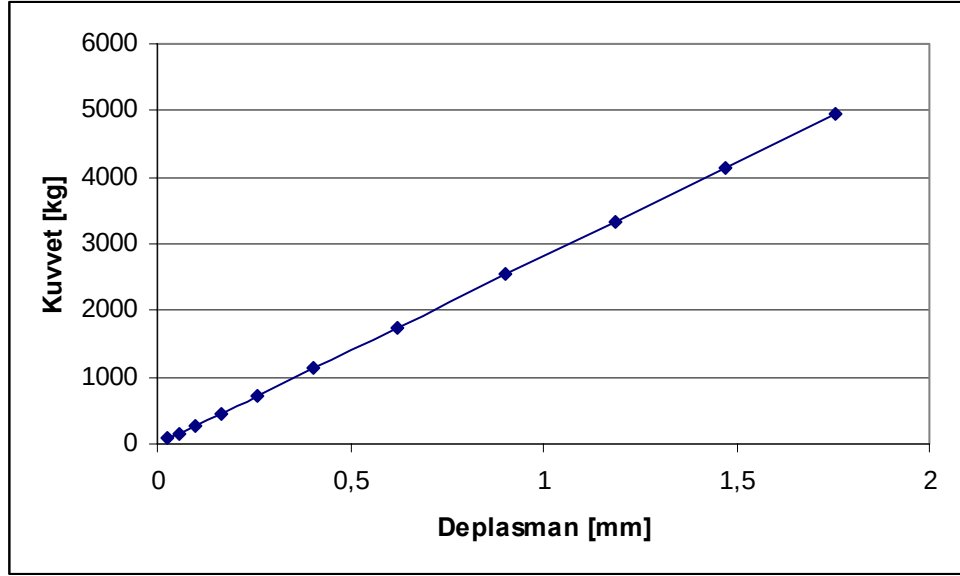
Saç kalınlığı	Yatay Kuvvet [kg]	Deplasman [mm]
1,5 mm	7817	1,33
1,8 mm	8274	1,269
2 mm	8566	1,238

5.8.4 Ahşap Levhalarla Güçlendirilen Perde Duvarların Sonuçlarının İncelenmesi

Ahşap güçlendirme elemanı olarak 11mm kalınlıkta OSB ve 9.53mm kalınlıkta kontrplak kullanılmıştır. İki perde duvarda lineer olarak analiz edilmiş ve analiz, dikmelerdeki eksenel basınç kuvveti çubuğun basınç kuvveti taşıma kapasitesini aştığında kesilmiştir. İki kaplama türü de 15cm aralıklarla vidalar yardımıyla çelik çerçeveye tutturulmuştur. Buna göre dikmelerin eksenel basınç kuvveti taşıma kapasiteleri Bölüm 5.7.1’de hesaplanmış olup 4.6 ton’dur. Şekil 5.14’te iki yüzü de 11mm OSB ile kaplı perde duvara ait, Şekil 5.15’te iki yüzü 9.53mm kontrplakla kaplı perde duvara ait yatay yük-deplasman eğrileri görülmektedir.



Şekil 5.14 OSB kaplı perde duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi



Şekil 5.15 Kontrplak kaplı perde duvara ait kuvvet-deplasman eğrisi

OSB ve kontrplakla güçlendirilmiş olan perde duvarların aksenal basınç yükü taşıma kapasitelerine karşılık gelen yatay kuvvet ve deplasmanlar Tablo 5.5’te verilmiştir.

Tablo 5.5 Ahşap Kaplamalı Duvarların Basınç Kuvveti Taşıma Kapasitelerine Karşılık Gelen Analiz Sonuçları

Kaplama Malzemesi	Yatay Kuvvet [kg]	Deplasman [mm]
OSB	5546	2,531
Kontrplak	5872	2,083

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlarla oluşturulan perde duvarların değişik güçlendirme elemanlarıyla davranışı araştırılmıştır. Güçlendirme elemanları olarak çaprazlar, çelik saç kaplama, OSB ve kontrplak kaplamalar incelenmiştir. Bölüm 5'te açıklanan sonlu eleman analizleri sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yatay kuvvet etkisi altında ilk olarak çekme etkisindeki ankrajın zorlandığı görülmüştür. Bu sonuç Tarpy ve Girard'ın 1982'de yaptıkları deneyin sonuçlarıyla örtüşmektedir.
- Çelik çerçeveyi oluşturan dikmelerin aksenal basınç yükü taşıma kapasiteleri bulunmuştur. Aksenal basınç kuvveti taşıma kapasiteleri dikmelerin burkulma boylarına bağlı olarak çaprazla güçlendirilmiş perde duvarlarda 2.17 ton, kaplama elemanlarıyla güçlendirilen perde duvarlarda 4.6 ton'dur. Dikmeler, perde duvarların yatay yük altında lineer elastik davrandığı bölgelerde aksenal basınç kuvveti taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır.
- Çaprazlarla güçlendirilen perde duvarlarda çapraz elemanının kalınlığının 0.3mm arttırılması deplasmanları sınırlamada %11 oranında, 0.5mm arttırılmasında %17 oranında etkilidir. Yatay yük taşıma kapasitesinin artmasında çapraz eleman kalınlığının 0.3mm arttırılması %1 oranında, 0.5mm arttırılması %1.7 oranında etkilidir.
- Çelik saçla güçlendirilen perde duvarlarda saç kalınlığının 0.3mm arttırılması deplasmanları sınırlamada %4.6 oranında, 0.5mm arttırılması %6.9 oranında etkilidir. Yatay yük taşıma kapasitesinin artmasında saç kalınlığının 0.3mm arttırılması %5.8 oranında, 0.5mm arttırılması %9.6 oranında etkilidir.
- Aynı et kalınlığında, çelik saç kaplı perde duvarla, çaprazlı perde duvar karşılaştırıldığında; çelik saç kaplı duvar yatay yük taşımada çaprazlı duvara göre ortalama %75 oranında, deplasmanların sınırlandırılmasında ortalama %70 daha etkilidir.

- 9.53mm kalınlı kontrplak kaplı perde duvarla 11mm kontrplak kaplı perde duvar karşılaştırıldığında; kontrplak yatay yük taşıma kapasitesi bakımından OSB'ye göre %5.9 oranında, deplasman sınırı bakımından %17.7 daha etkilidir.

6.1 İleriki çalışmalar için öneriler

- Analizi yapılan sonlu eleman modellerinde güçlendirme elemanlarıyla çelik çerçeve arasındaki bağlantılar rijit olarak kabul edilmiştir. Gerçek perde duvar davranışının modellenebilmesi için bağlantı elemanlarının rijitlikleri bir deneyle belirlenip, buna bağlı olarak sonlu eleman modeli oluşturulmalı ve bağlantılar yay olarak tanımlanmalıdır.
- Analizi yapılan sonlu eleman modelinde çelik çerçeveyi oluşturan elemanlar kendi eksenlerinden geçen kiriş elemanlarla tanımlandıklarından, ince cidarlı malzemeden oluşan elemanlar üzerinde meydana gelen yerel burkulmalar dikkate alınmamıştır. Yerel burkulmalarında etkisini göz önüne almak için dikme ve başlık elemanları sonlu eleman programındaki ilgili plak eleman kullanılarak bire bir modellenmelidir.
- Kapı ve pencere boşluklarının perde duvarın davranışı üzerindeki etkilerini incelemek için deneyle desteklenen sonlu eleman modelleri kurulabilir.
- Ayrıca dar enli perde duvarların davranışını incelemek amacıyla sonlu eleman modelleri kurulabilir.

KAYNAKLAR

ABAQUS Version 6.4 Documentation, 2003.

AISI, 1996. Specification for the Design of Cold-Formed Steel Members, Washington.

Akşan Mühendislik A.Ş. Fotoğraf Arşivi, 2004. İstanbul.

Akşan Mühendislik A.Ş. Kataloğu, 2004. İstanbul.

American Wood Council, 2004. Lateral Load Resisting Systems for Wood Structures, *Structural Bracing Training Seminar*, California, USA.

Aydöner, T., 2005. Galvaçelik Fotoğraf Arşivi, İstanbul.

Baehre, R. ve Tomà, T., 1993. Cold-Formed Steel in Tall Buildings, McGraw-Hill Pres, New York.

Bahadır, Ş.S., 1997. Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Balac, R., 2002. Dofasco Steel Design Magazine, Vol. 34, No.2, Ontario.

Büyüksişli, A.B., 2004. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cıdarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Çerçeve Duvarı İçin Deneysel Çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Büyüктаşkın, H.A., 2000. Yalın Trapezodial Bükümlü saçların Kullanma ve Taşıma Sınır Durumları Üzerine Deneysel Bir İnceleme, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Canitez, İ., 2002. Bükme Saç Profillerle Konut Üretimi ve Türkiye’de Uygulanabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

CSSBI, 2001. Structural Performance of Steel Framed Walls, *Light Weight Steel Framing Technical Bulletin*, Vol.8, No.1, Canada.

Çakır, A.F., 1998. *Galvaniz*, Özel ek 14, Dünya Gazetesi, İstanbul.

Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F., 2003. Çelik Yapılar, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.

- Dolan, J.D.**,1989. The Dynmic Response of Timber Shear Walls, *The University of British Columbia*, Vancouver, Canada.
- Dolan, J.D.**,1996. Draft Report, *Virginia Polytechnic Institute University*, Blacksburg, V.A.
- Fülöp, L.A. and Dubina, D.**, 2004. Performance of Wall-Stud Cold-Formed Shear Panels Under Monotonic and Cyclic Loading, Part I ve Part II, *University of Timisoara*, Romania.
- Işık, B.**, 2005. Çelik Hafif Taşıyıcı Sistemlerin Konut Yapılarında Kullanılması, Yapısal Çelik Derneği İnternet Sitesi, 8 Şubat.
- Karakuş, M.**, 1994. Sıcak Daldırma Metoduyla Galvaniz Kaplanmış Çelik ve Korozyonu, *Metal Dünyası*, pp.51-53.
- Martin, H.W.**, 2002. What's New on Cold-Formed Steel Framed Shear Walls in Building Codes, *Newsletter for the Light Gauge Steel Engineers Association*, Fall , 1-3.
- Mufti, J.**, 2001. Hafif Çelik Yapıların Projelendirme ve Üretimi Konulu Görüşmeler, İstanbul.
- NASFA**, 2000. Prescriptive Method – For Residential Cold-Formed Steel Framing, *North American Steel Framing Alliance*, Washington, USA.
- NASFA**, 1998. Shear Wall Design Guide, Washington, USA.
- Outinen, J.**, 2000. Profiled Steel Sheeting, *Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structure Publications*, **15**, Helsinki.
- Ören, C.B.**, 1999. Galvanizli Çelik Saçların Ark Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özlü,R.**, 2001. Hafif Çelik Yapıların Projelendirme, Üretim ve Parasal Hesaplamaları Konulu Görüşmeler, İstanbul.
- Rhodes, J.**, 2003. Cold- Formed Steel Structures, *National University of Singapore*, Singapore.
- Serrette R. L.**, 2001. Design Values for Vertical and Horizontal Lateral Load Systems, *Santa Clara University*, Santa Clara, CA.
- Siyahhan R.**, 2005. Hafif Çelik Sistemler, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.
- Sugiyama, H. and Matsumoto, T.**, 1994. Empirical Equations for the Estimation of Racking Strength of a Plywood-Sheathed Shear Wall with Openings, *Summaries of Technical Papers of Annual Meetings*, Trans of AIJ.

- Sugiyama, H. and Yasumura, M.**, 1984. Shear Properties of Plywood-Sheathed Wall Panels with Openings, Trans of AIJ No. 338, April.
- Tarpy, T.S. and Girard, J.D.**, 1982. Shear Resistance of Steel-Stud Wall Panels, *Sixth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, University of Missouri-Rolla, MO.
- Tartar, A.**, 2002. Light Steel Construction Tecnology and Design Possibilities, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TS-11372**, 1994. Çelik Yapılar- Hafif- Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan- Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Uzgider, E. ve ARDA, T.S.**, 1989. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Yıldırım, S.G.**, 2003. Hafif Çelik Taşıyıcılı Endüstrileşmiş Konutlarda Tasarım Verileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yu, W.W.**, 2000. Cold – Formed Steel Design, University of Missouri-Rolla, MO.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] **www.tucsa.org**, Mart 2005
- [2] **www.koskcelikyapi.com**, Mart 2005
- [3] **www.celikkafesbinalar.com**, Nisan 2005
- [4] **www.sadef.com**, Mart 2005
- [5] **www.steel.org**, Mart 2005

EKLER

EK A : C profillerin kesit özelliklerini hesaplayan MATLAB programı listesi

EK A: C profillerin kesit özelliklerini hesaplayan MATLAB programı listesi

```
disp('*****')
disp('***** CHANNEL SECTION *****')
disp('*****')
disp('      b1      ')
disp('      _____)      %Başlıkları rijitleştirilmiş')
disp('      |          | <---b2') % C kesit.
disp('      |          |')
disp('h----> |')
disp('      |          |')
disp('      |          |')
disp('')
disp('*****')

tg=input('Levha Kalınlığını Giriniz(mm): ');
b1g=input('b1 genişliğini giriniz(mm): '); %Girilen değerler mm cinsinden
b2g=input('b2 genişliğini giriniz(mm): '); %olduğundan bu değerler cm'ye
hg=input('h Yüksekliğini giriniz(mm): '); %çevrilecektir. Bu yüzden "Girilen"
rg=input('R yarı çapını giriniz(mm): '); %bu değişkenlerin yanına "g" koyuldu.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t=tg/10;
b1=b1g/10; % mm'ler cm'ye çevrildi.
b2=b2g/10;
h=hg/10;
r=rg/10;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Köşe Elemanı Kesit Özellikleri
alankose=1.57*r*t;
ixkose=0.149*r^3*t;
iykose=ixkose;
c=0.637*r;
x=r+t-c;
y=x;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
w=b1-2*(r+t);

alan(1)=(b2-(r+t))*t; %üst başlık büküm alanı
alan(2)=alankose;%üst başlık sağ köşe alanı
alan(3)=w*t; %üst başlık alanıdır.
alan(4)=alankose; %üst başlık sol köşe alanı
alan(5)=(h-2*(r+t))*t; %gövde alanı
alan(6)=alankose; %alt başlık sol köşe alanı
alan(7)=w*t; %alt başlık alanı
alan(8)=alankose;%alt başlık sağ köşe alanı
alan(9)=(b2-(r+t))*t; %alt başlık büküm alanı
```

```

alantoplam=0;
for i=1:9
    alantoplam=alantoplam+alan(i);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Alanların sol kenara olan mesafeleri
mesafex(1)=b1-(t/2);
mesafex(2)=b1-x;
mesafex(3)=b1/2;
mesafex(4)=x;
mesafex(5)=t/2;
mesafex(6)=x;
mesafex(7)=b1/2;
mesafex(8)=b1-x;
mesafex(9)=b1-(t/2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Toplam (alan*mesafex)'ye =====> "toplamax" denildi

toplamax=0;
for i=1:9
    toplamax=toplamax+alan(i)*mesafex(i); %toplama Ax dir
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Ağırlık merkezinin yeri
xg=toplamax/alantoplam;
yg=h/2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Atalet momentini hesaplarken her elemanın atalet momentini
%ayrı ayrı hesaplayıp bir array haline getirdikten sonra toplanacaktır.
ix(1)=(t*(b2-(r+t))^3/12)+(alan(1)*(yg-(((b2-(r+t))/2)+(r+t)))^2);
ix(2)=ixkose+(alan(2)*(yg-y)^2);
ix(3)=alan(3)*(yg-(t/2))^2;
ix(4)=ixkose+(alan(4)*(yg-y)^2);
ix(5)=t*(h-2*(r+t))^3/12;
ix(6)=ixkose+(alan(6)*(yg-y)^2);
ix(7)=alan(7)*(yg-(t/2))^2;
ix(8)=ixkose+(alan(8)*(yg-y)^2);
ix(9)=(t*(b2-(r+t))^3/12)+(alan(9)*(yg-(((b2-(r+t))/2)+(r+t)))^2);

ixtoplam=0;
for j=1:9
    ixtoplam=ixtoplam+ix(j);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
iy(1)=alan(1)*(mesafex(1)-xg)^2;
iy(2)=iykose+(alan(2)*(mesafex(2)-xg)^2);
iy(3)=(t*w^3/12)+(alan(3)*(mesafex(3)-xg)^2);
iy(4)=iykose+(alan(4)*(xg-mesafex(4))^2);
iy(5)=alan(5)*(xg-mesafex(5))^2;
iy(6)=iykose+(alan(6)*(xg-mesafex(6))^2);

```

```

iy(7)=(t*w^3/12)+(alan(7)*(mesafex(7)-xg)^2);
iy(8)=iykose+(alan(8)*(mesafex(8)-xg)^2);
iy(9)=alan(9)*(mesafex(9)-xg)^2;

iytoplamlam=0;
for j=1:9
    iytoplamlam=iytoplamlam+iy(j);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp('*****')
disp('KESİT ÖZELLİKLERİ: ')
disp('Alan (cm2)= '),disp(alantoplamlam)
disp('')
disp('Ağırlık Merkezini Yeri: ')
disp('Sol Kenardan Mesafe Xg(cm)= '),disp(xg)
disp('Üst Kenardan Mesafe Yg(cm)= '),disp(yg)
disp('')
disp('Atalet Momentleri: ')
disp('Ix (cm4)= '),disp(ixtoplamlam)
disp('Iy (cm4)= '),disp(iytoplamlam)

```

ÖZGEÇMİŞ

Cem Haydaroğlu, 1980 yılında İstanbul ilinin Beyoğlu ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da Dr. Tevfik Sağlam İlkokulu ve Ahmet Hamdi Tanpınar İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini İstanbul'da Pertevniyal Süper Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1998 yılında Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2003 yılında, bitirme konusunu Ahşap ve Çelik Yapılar Bilim Dalı'ndan alarak lisans eğitimini pekiyi dereceyle, bölüm 4.'sü olarak tamamlamıştır. 2003 yılı güz yarıyılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği, Yapı Analizi ve Tasarımı Programına girmeye hak kazandı.

Yazar, 2004 yılında başladığı Ularte-Galvaçelik firmasındaki görevini halen sürdürmektedir.