

T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI
YAPI BİLGİSİ PROGRAMI YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİ

TAŞIYICI SİSTEM, YAPI FİZİĞİ ETKİLERİ VE MİMARİ TASARIM
İLKELERİ AÇISINDAN ANALİZİ

Savaş EKİNCİ
Mimar (MSÜ)

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlkey Koman

İSTANBUL - Mayıs 2006.

Savaş EKİNCİ tarafından hazırlanan “Hafif Çelik Yapım Sistemleri –Taşıyıcı Sistem, Yapı Fiziği Etkileri ve Mimari Tasarım İlkeleri Açısından Analizi” adlı araştırmanın yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylım.

Yrd. Doç. Dr. İlkay KOMAN

Bu çalışma, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez savunma tarihi: 18 Mayıs 2006

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlkay KOMAN (M.S.G.S.Ü.)

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Özer ERENMAN (M.S.G.S.Ü.)

Jüri Üyesi: Yrd. Doç. Dr. Erkan AVLAR (Y.T.Ü)

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
SEMBOLLER	IV
KISALTMALAR	VI
BİRİM DÖNÜŞÜM TABLOSU.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XX
ÖZET	XXIII
SUMMARY	XXV
GİRİŞ.....	1
1 GENEL BİLGİLER	5
1.1 Çelik Malzemenin Genel Özellikleri	5
1.2 Tanımlar ve Terimler.....	6
1.3 Çeliğin ve Hafif Çelik Sistemlerin Kullanım Alanları	10
2 HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNİN KONSTRÜKSİYON KURULUŞU	17
2.1 Kullanılan Elemanlar ve Özellikleri	17
2.1.1 Hafif Çelik Yapı Ürünleri ve Elemanları.....	17
2.1.1.1 Hafif Çelik Profiller.....	17
2.1.1.2 Levhalar, Trapez Levhalar ve Şeritler	22
2.1.2 Montaj Ürünleri ve Elemanları.....	23
2.1.2.1 Vidalar	23
2.1.2.2 Bulonlar	25
2.1.2.3 Kaynak.....	26
2.1.2.4 Punto ve Perçinler	27
2.1.2.5 Çiviler.....	29
2.1.2.6 Ankraj Bulonları	31
2.1.3 Tamamlayıcı Malzemeler ve Elemanlar.....	33
2.2 Hafif Çelik Yapı Sistemi Eleman ve Bileşenleri	35
2.2.1 Temeller	35
2.2.2 Döşemeler	40
2.2.2.1 Zemin Katta Döşeme Kuruluşu	40
2.2.2.2 Ara Katta Döşeme Kuruluşu.....	43
2.2.2.3 Döşemelerin Yatay Yüklere Karşı Rijitlenmesi.....	46
2.2.2.4 Döşemede Düşey Dolayım İçin Boşluk Oluşturulması.....	47
2.2.3 Duvarlar.....	49
2.2.3.1 Taşıyıcı Duvar Kuruluşu	49
2.2.3.2 Yatay Yüklere Karşı Rijitleme ve Perde Duvar Kuruluşu	51

2.2.4	Çatılar.....	56
2.2.5	Alt Sistemlerin Bütünleştirilmesi ve Tesisat Bileşenleri.....	61
2.2.5.1	Soğuk Şekillendirilmiş Elemanlarda Delik Açılması	61
2.2.5.2	Tesisatın Yatayda Yerleştirilmesi	62
2.2.5.3	Tesisatın Düşeyde Yerleştirilmesi	63
2.3	Taşıyıcı Sistem Kuruluşu ve Yapım Sistemleri.....	66
2.3.1	Doğrusal Yapım Sistemi	66
2.3.2	Pano Yapım Sistemi.....	68
2.3.3	Hücresele Yapım Sistemi.....	71
3	HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNİN ANALİZİ	76
3.1	Taşıyıcı Sistem Açısından Analiz ve Değerlendirme.....	76
3.1.1	Yapı Yükleri ve Statik Hesaplama-Boyutlandırma Yöntemleri.....	76
3.1.2	Taşıyıcı Sistem Etkinliğini ve Davranışını Belirleyici Unsurlar.....	83
3.1.2.1	Mekanik Özellikler	83
3.1.2.2	Soğuk Şekillendirme Sürecinin Dayanıma Katkısı	88
3.1.2.3	Flanş ve Gövde Genişliğinin Levha Kalınlığına Oranı	91
3.1.3	Hafif Çelik Taşıyıcı Sistem Davranışı.....	97
3.1.3.1	Yatay ve Düşey Yük Altında Taşıyıcı ve Perde Duvarlar.....	103
3.1.3.2	Yatay ve Düşey Yük Altında Döşemeler	122
3.1.4	Değerlendirme ve Taşıyıcı Sistemle İlişkin Öneriler	129
3.2	Yapı Fiziki Etkileri Açısından Analiz ve Değerlendirme.....	136
3.2.1	Hafif Çelik Yapılarda Yangın Etkisi	136
3.2.1.1	Hafif Çelik Yapılarda Yangın Olgusu.....	136
3.2.1.2	Hafif Çelik Yapılarda Yangın Etkisinin Değerlendirilmesi ve Önlemler, Öneriler.....	147
3.2.2	Hafif Çelik Yapılarda Isısal Etkiler.....	152
3.2.2.1	Isısal Gerilmeler ve Hafif Çelik Yapılar.....	153
3.2.2.2	Isısal Geçirimsizlik ve Hafif Çelik Yapı Elemanları.....	153
3.2.2.3	Hafif Çelik Yapılarda, Isı Etkilerine Karşı Önlemler ve Öneriler.....	158
3.2.3	Hafif Çelik Yapılarda Nem, Su, Yoğuşma Etkisi	161
3.2.3.1	Yoğuşma-Terleme Olgusu ve Hafif Çelik Sistemlerde Nem Etkisi....	162
3.2.3.2	Hafif Çelik Sistemlerde Su, Nem, Yoğuşma Etkisine Karşı Alınacak Önlemler ve Öneriler	164
3.2.4	Hafif Çelik Sistemlerde Akustik ve Ses Etkisi	167
3.2.4.1	Hafif Çelik Sistemlerde Ses Yayılımı ve Geçirimsizliği	167
3.2.4.2	Hafif Çelik Sistemlerde Akustik Sorunların Önlenmesi ve Öneriler...	173
3.2.5	Hafif Çelik Sistemlerde Korozyon Etkisi.....	183
3.2.5.1	Galvaniz Kaplama ile Sağlanan Korozyon Direnci.....	184

3.2.5.2	Hafif Çelik Sistemlerde Korozyon Etkisine Karşı Alınacak Önlemler ve Öneriler.....	185
3.3	Mimari Tasarım Olanakları Açısından Analiz ve Değerlendirilme	187
3.3.1	Planlama Olanakları.....	187
3.3.1.1	Plan Geometrisine İlişkin Olanaklar	187
3.3.1.2	Planlamada Esneklik ve Değişebilirlik Olanakları	196
3.3.2	Cephe Kuruluşu Olanakları.....	205
3.3.2.1	Taşıyıcı Sistemin Cepheye Yansıması ve Cephe Kuruluşunu Belirlemesi.....	205
3.3.2.2	Taşıyıcı Duvarda (Cephede) Boşluk Oluşturulması	213
3.3.3	Kütle Kuruluşu Olanakları	225
3.3.3.1	Topografya ve Kütle Kuruluşu İlişkisi	225
3.3.3.2	Kütlesel Hareket Olanakları.....	229
3.3.3.3	Konsol Kuruluşu	233
4	SONUÇ.....	237
	KAYNAKLAR.....	248
	Özgeçmiş	259

SEMBOLLER

Δ = Yoğunluk (gr/cm^3)

λ = Isı iletkenlik katsayısı ($\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$)

α = Isı genleşme katsayısı ($\text{cm/cm}^{\circ}\text{C}$)

σ = Gerilme (N/mm^2)

σ_n = Karakteristik gerilme dayanımı (N/mm^2)

σ_{\max} = Maksimum gerilme dayanımı (N/mm^2)

σ_{kop} = Kopma gerilme dayanımı (N/mm^2)

σ_y = Akma gerilme dayanımı (N/mm^2)

σ_{pr} = Orantılılık sınırı gerilme dayanımı (N/mm^2)

ε = Şekil değiştirme, uzama (cm/cm)

Ω = Güvenlik katsayısı

Φ = Gerilme güvenlik katsayısı

γ_i = Yük güvenlik katsayısı

β = Güvenlik endeksi (*reliability index*)

β = Ses seviyesi (dB)

Λ = Isı geçirgenlik değeri ($\text{kcal/m}^2.\text{h.}^{\circ}\text{C}$) ($\text{W/ m}^2.\text{ }^{\circ}\text{K}$)

Λ_D = profil hariç bileşen ısı geçirgenlik değeri ($\text{kcal/m}^2.\text{h.}^{\circ}\text{C}$) ($\text{W/ m}^2.\text{ }^{\circ}\text{K}$)

$\Lambda_{\text{gerçek}}$ = profil dahil bileşen ısı geçirgenlik değeri ($\text{kcal/m}^2.\text{h.}^{\circ}\text{C}$) ($\text{W/ m}^2.\text{ }^{\circ}\text{K}$)

Φ = Bağıl nem (%)

δ = Buhar geçirimsizlik difüzyon katsayısı ($\text{gr/ m}^2.\text{h. mmHg}$)

A_0 = Taşıyıcı duvarda toplam boşluk oranı

b = flanş genişliği

d_0 = Profillerde delik çapı veya yüksekliği

D = Isı geçirgenlik direnci ($\text{m}^2.\text{h.}^{\circ}\text{C/ kcal}$)

E = Elastisite modülü (N/mm^2)

e_z = dış merkezlik

f_{yk} = Karakteristik akma gerilmesi (N/mm^2)

g = deprem ivmesi (A_0)

H = Brinell sertliği (N/mm^2)

H= Eleman, bileşen yüksekliği, profil gövde genişliği (cm, m)

I_y = Profil atalet momenti (mm^4)

I_0 = Ses şiddeti ($watt/cm^2$)

L = Profil veya eleman boyu

L_i = Taşıyıcı duvar yüksekliğince tam olarak kaplanmış kısımların uzunluğu

lb = Paund

P_s = Doymuş buhar basıncı (mmHg)

P_i = Yük etkisi

P = Yük

p = Hareketli yük (kN/m^2)

q = Ölü yük (kN/m^2)

R= Ses geçirimsizlik değeri (direnci) (dB)

r = Yarı çap

r = Taşıyıcı duvarda kaplama ile rijitlenmiş alan yüzdesi

t = Profil cidar kalınlığı

W = Profil gövde genişliği (cm, m)

$W_{eff.y}$ = Profil mukavemet momenti dayanımı (mm^3)

v = Kesme kuvveti (kN)

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASCE: American Society of Civil Engineer (Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği)

ASD: Allowable Strength Design (Kabul edilebilir gerilim yöntemi)

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerikan malzeme ve Test Kurumu)

Bkz. Bakınız

BS : British Standart (Britanya Standardı)

CCFSS : Center for Cold-Formed Steel Structures (Missouri-Rolla Üniversitesi, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Strüktürler Merkezi)

GWB : Gypsum wall board (Alçı levha)

HUD : The U.S. Department of Housing and Urban Development (Amerika Birleşik Devletleri, Konut ve Şehir Geliştirme Servisi)

in. : Inch (“)

LRFD: Load and Resistance Factor Design (Yük ve dayanım faktörü yöntemi)

LSD: Limit States Design (Limit durumu yöntemi)

MHRA : Manufactured Housing, Resarch Alliance (Konut Üreticileri Araştırma Birliği)

NAFSA : North American Steel Frame Alliance (Kuzey Amerika Çelik Karkas Yapı Birliği)

NAHB-RC : National Association of Home Builders - Resarch Center (Amerika Ulusal Konut Üreticileri Birliği-Araştırma Merkezi)

OSB : Orient Strand Board (prese aglomera ahşap yonga levha)

PATH : Partnership for Anvancing Technology in Housing (Konut Üretiminde İleri Teknoloji Ortaklığı)

STA : Steel Framing Alliance (Çelik Karkas Yapı Birliği)

TS : Türk Standardı

TSN : The Steel Netwok Inc.

TUSCA : Türkiye Yapısal Çelik Derneği

BİRİM DÖNÜŞÜM TABLOSU

İngiliz-Amerikan Ölçü Birimleri

S.I. Ölçü Birimleri

Uzunluk

1 inch (in.)	2,5399 cm
1 foot (ft.)=12 inch	30,476 cm

Alan

1 inch kare (in. ²)	6,4516 cm ²
1 foot kare (ft. ²) = 144 in. ²	0,0929 m ²

Hacim

1 inch küp (in. ³)	16,387 cm ³
1 foot küp (ft. ³)=1728 in. ³	0,0283 m ³ = 28,3 litre

Kuvvet - Yük - Kütle

1 paund (lb) (kütle için)	0,4536 kg
1 paund (lb) (kuvvet için)	4,448 N
1 kip= 1000 paund (kuvvet için)	4,448 kN
1 Paunds per foot (lb/ft) (yayıllı yük için)	14,59 N/m
1 Kips per foot (kips/ft) (yayıllı yük için)	14,59 kN/m
1 psf (<i>paund per square foot</i>)	0,04788 kPa = 47,88 N/m ²
1 ksf (<i>kips per square foot</i>)	47,88 kPa= 47,88 kN/m ²

Basınç - Çekme - Mukavemet Gerilme

1psi (<i>paund per square inch</i>)	6,895 kPa = 0,6895 N/cm ²
1ksi (<i>kips per square foot</i>)	6,865 Mpa= 6,895 N/mm ²

Moment

1 foot-paunds (ft.lb)	1.356 N.m
1 kip-feet	1.356 kN.m

Sıcaklık

°F (Fahrenheit derecesi)	°C (Celsius derecesi)= 0,566 x (°F -32)
--------------------------	---

Ayrıca S.I. içinde yer alan ağırlık, yük, kütle ve kuvvet birimleri aşağıdaki gibi birbirine dönüştürülebilir;

1N (Newton)	= 0,1 kg.f (kilogram-kuvvet) veya 0,1 kg
1kN (kiloNewton)	= 1000 N = 100 kg
1 Pa (pascal)	= 1 N/m ²
1kPa (Kilopascal)	= 1000 Pa
1MPa (Megapascal)	= 1000000 Pa = 1 N/mm ²
1GPa (Gigapascal)	= 1000000000 Pa

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1-1 Konvansiyonel çelik elemanlar [69, s.65]	7
Şekil 1-2 Konvansiyonel çelik profillerin sıcak hadde çekme yöntemiyle üretimi. [12]	7
Şekil 1-3 (A) Crystal Palace, (B) Paris Dünya Fuarı Makine Galerisi , (C) “The Home Insurance Co. Building”, (D) Eiffel Kulesi [12]	12
Şekil 1-4 Charles ve Ray Eames, Eames evi, Los Angeles, Kaliforniya, ABD, 1949. [104].....	13
Şekil 1-5 Charles ve Ray Eames, Eames evi modüler planı, Los Angeles, Kaliforniya, ABD, 1949. [104].....	13
Şekil 1-6 Lovell Evi, Richard Neutra, 1929 [48, s.191]).....	15
Şekil 1-7 Lovell Evi planı, Richard Neutra, 1929 [104, s.5]	15
Şekil 1-8 1950’li yıllarda Japonya’da hafif çelik sistem ile inşa edilmiş apartman. [137].....	16
Şekil 1-9 1950’li yıllarda Japonya’da hafif çelik sistem ile inşa edilmiş okul. [137].....	16
Şekil 1-10 Hafif çelik profillerin giydirme cephe kuruluşunda kullanımı. [12] 16	
Şekil 2-1 Hafif çelik yapılarda kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik profiller. [103].....	18
Şekil 2-2 C ve U profillerini oluşturan kısımlar. [84].....	18
Şekil 2-3 Çelik levhanın bükülerek soğuk şekillendirilmesi. [143].....	21
Şekil 2-4 Üretim bandında silindir presler ile soğuk şekillendirme. [113].....	21
Şekil 2-5 Hafif çelik profillerin üretimi. [103],[113]	21
Şekil 2-6 Çeşitli, soğuk şekillendirilmiş trapez levhalar (A), çelik levha ve şeritler (B), köşebent ve çeşitli bağlantı elemanları (C). [12, s.385],[103]	22
Şekil 2-7 Kendinden delme özelliği olan vidalar ile montaj. [103].....	23
Şekil 2-8 Kendinden delme özelliği olan vida ve 0.88 mm’den ince kalınlıklarda kullanılabilen vida [67]	23
Şekil 2-9 Standart, kendinden delme özelliği olan vidalar için levha kalınlığı tablosu [67]	24

Şekil 2-10 Çelik-çelik ve kaplama- çelik tespitinde kullanılan farklı başlı vidalar [67]	24
Şekil 2-11 Sadece kaplama- çelik tespitinde kullanılan vidalar [67]	25
Şekil 2-12 Sadece çelik-çelik tespitinde kullanılan vidalar [67]	25
Şekil 2-13 Hafif çelik profil dikmelerin beton zemine, bulonlu montajı. [95]..	26
Şekil 2-14 Hafif çelik sistemlerde bulonlu birleşim [96]	26
Şekil 2-15 Kaynak ile montaj [8].....	26
Şekil 2-16 Punto ile montaj [103, s.21].....	27
Şekil 2-17 Hidrolik veya hava kompresi ile çalışan punto aleti [55].....	27
Şekil 2-18 Perçin ve perçin pimi (çivisi) [8].....	28
Şekil 2-19 Perçin ile montaj aşamaları [103].....	28
Şekil 2-20 Hafif çelik elemanların montajında kullanılan yivli çivi [8]	29
Şekil 2-21 Kaplama elemanların, profillere çiviler ile montajı [103]	29
Şekil 2-22 Hafif çelik sistemlerde robotlar ile montaj- Çiviler ile montaj [103, s.22].....	29
Şekil 2-23 Betonarme ankraj [67].....	31
Şekil 2-24 Özel ankraj elemanları ile dikme ve alt başlıkların tespiti [67]	32
Şekil 2-25 Kimyasal dübel ile montaj aşamaları [67].....	32
Şekil 2-26 Hafif çelik yapı sisteminde duvar katmanlarını gösteren kesit örneği [44, s.88].....	34
Şekil 2-27 Bodrum katı, perde temel duvarları [12]	35
Şekil 2-28 Bodrum katı, perde temel duvarları ve hafif çelik taşıyıcı duvarlar altında sömel düzenlenmesi [12]	36
Şekil 2-29 (A) Bodrum temel duvarlarının beton bloklardan oluşturulması [12]	
(B) hafif çelik döşeme bağlantısı [25],[79],	36
Şekil 2-30 Hafif çelik sistemlerde betonarme temel ve zemin kat tabliyesi [36]	37
Şekil 2-31 Hafif çelik sistemlerde betonarme temel [12]	37
Şekil 2-32 Taşıyıcı duvarların betonarme temeller ile desteklenmesi. [67] ..	38
Şekil 2-33 Taşıyıcı duvarların sıcak hadde çelik kirişler ile desteklenmesi. [67],[86].....	38

Şekil 2-34 Taşıyıcı duvarların hafif çelik kısa duvarlar ile desteklenmesi. [67]	39
Şekil 2-35 Hafif çelik sistemlerin, münferit temellere oturan konvansiyonel çelik çerçeve ile kompozit strüktür oluşturması. [137].....	39
Şekil 2-36 Zemin kat döşemesi ve döşeme kirişlemesi örneği [67].....	40
Şekil 2-37 Döşemenin temel duvarının iç yüzeyine oturtulması alternatifleri [67].....	41
Şekil 2-38 Su basman hatılına dik doğrultuda kirişlemenin oturtulması. [86]	41
Şekil 2-39 Su basman hatılına paralel doğrultuda kirişlemenin oturtulması. [86].....	42
Şekil 2-40 Ara kat döşemesi kirişlemeleri. [67]	43
Şekil 2-41 Taşıyıcı duvara dik doğrultuda ara kat döşeme kirişlemesi [67]..	44
Şekil 2-42 Taşıyıcı duvara paralel ara kat döşeme kirişlemesi [67].....	44
Şekil 2-43 İç taşıyıcı duvar üzerinde döşeme kirişlemesi [67]	45
Şekil 2-44 Taşıyıcı duvar dikmesi üzerine oturtulan ve C profil takozla desteklenen kirişlemeler. [86]	46
Şekil 2-45 Kuşak ve çapraz kuşaklama (<i>X-Bridging</i>) elemanlar ile döşemelerin rijitlenmesi [67]	46
Şekil 2-46 Döşemede boşluk açılması [67]	47
Şekil 2-47 Döşeme boşluğu açılmasında elemanların birleşimi [67]	48
Şekil 2-48 Tipik taşıyıcı duvar oluşturulması örneği [67]	49
Şekil 2-49 Dikmelerin düşey yükler etkisinde burkulmaları [77]	50
Şekil 2-50 Dikmelerin burkulmaya karşı kuşak ve kayıtlarla desteklenmesi [67].....	50
Şekil 2-51 Çapraz kuşaklama (<i>X- Bridging</i>) [67]	51
Şekil 2-52 Duvarın tümüyle çaprazlanması (<i>X- Bracing</i>) [84].....	52
Şekil 2-53 Duvarın tümüyle çaprazlanması [12].....	52
Şekil 2-54 Ara kat döşemesinde üst üste gelen çelik perde duvarların birbirine bulonlanması [67].....	53
Şekil 2-55 Çelik perde duvarın ankrajlı tespiti [67]	54
Şekil 2-56 Taşıyıcı duvar köşe birleşim alternatifleri [67]	55
Şekil 2-57 Taşıyıcı duvarda kesişim alternatif detayları [67]	56

Şekil 2-58 Hafif çelik çatı kuruluşu [86]	56
Şekil 2-59 Hafif çelik çatı kuruluşunda merteklerin gergiler ile desteklenmesi [86].....	57
Şekil 2-60 Hafif çelik çatılarda saçak ve mahya detayı [12]	57
Şekil 2-61 Hafif çelik sistemlerde çatı kesiti örneği. [86, s.79].....	58
Şekil 2-62 Çatı merteklerinin payandalar ile desteklenmesi, [67].....	58
Şekil 2-63 Çatı mahyasında, mahya profilsiz detay [67]	59
Şekil 2-64 Hafif çelik elemanlar ile, büyük açıklık geçen çatı makaslarının oluşturulması [67]	59
Şekil 2-65 Hafif çelik elemanlar ile, büyük açıklık geçen çatı makaslarının oluşturulması [67]	59
Şekil 2-66 (A) Kanada, Ottawa'da konvansiyonel çelik strüktürlü bir yapının çatısının, (B) A.B.D.'de betonarme strüktürlü bir yapının çatısının, büyük açıklık geçen hafif çelik makaslar ile oluşturulması. [138],[139].....	60
Şekil 2-67 Büyük açıklıklı hafif çelik makaslar ile eğrisel formların oluşturulması.[130]	60
Şekil 2-68 Profil gövdesinde delik açılması.....	61
Şekil 2-69 Profillere delik açılmasında özel durumlar. [94].....	62
Şekil 2-70 Kirişler arasında düzenlenen tesisatın kirişlere bağlanması. [103]	62
Şekil 2-71 Tesisatın profil gövdesinde açılan deliklerden geçirilmesi [127, s.144].....	63
Şekil 2-72 Tesisatın döşeme altından geçirilmesi [18, s.22]	63
Şekil 2-73 Ön üretim esnasında, hafif çelik konstrüksiyon içine tesisatın montajı. [103].....	64
Şekil 2-74 Elektrik ve su tesisatının profiller arası boşlukta düzenlenmesi ve profillerde açılan deliklerden geçirilmesi. [43], [72, s.92].....	64
Şekil 2-75 Tesisat elemanlarının düzenlenebilmesi için oluşturulmuş hafif çelik çift duvar [103].....	65
Şekil 2-76 Dikmeler arasında servis paneli düzenlenmesi [3, s.29]	65
Şekil 2-77 Doğrusal elemanlı hafif çelik inşaatı. [42].....	66
Şekil 2-78 Doğrusal (<i>stick-built</i>) elemanlı sistem. [103].....	67

Şekil 2-79 Doğrusal elemanlı hafif çelik inşaatı [42].....	67
Şekil 2-80 Pano yapım sisteminde yapı bileşenlerinin bir bütün olarak (A) ve modüler elemanlar (B) olarak şantiyeye getirilmesi.	68
Şekil 2-81 Izgara pano yapım sistemi. [143]	69
Şekil 2-82 Şantiyede hafif çelik prefabrike duvarın montajı [105].....	69
Şekil 2-83 Her iki yüzeyi OSB kaplanmış pano yapım sistemi elemanı [143]	70
Şekil 2-84 Bir yüzeyi OSB kaplanmış pano yapım sistemi [103], [105]	70
Şekil 2-85 Bitmiş döşeme elemanın şantiyede montajı [103, s.20]	70
Şekil 2-86 Duvar montajının ardından yapılan geçici destek payandaları ve çaprazlama [84, s.21]	71
Şekil 2-87 Prefabrikasyon ile üretilmiş hafif çelik kapalı modüler hücrelerin bir araya getirilmesi. [104], [110].....	72
Şekil 2-88 Kapalı hücre yapım sistemi ile toplu konut inşası, (Mimar:Michael Lauer, Darmstadt, Almanya) [109].....	73
Şekil 2-89 Kapalı hücrelerin yan yana gelmesi, sistem detayı, (Mimar:Michael Lauer, Darmstadt, Almanya) [109].....	73
Şekil 2-90 Hafif çelik açık hücrelerin bir araya getirilmeleri.	74
Şekil 2-91 Açık yüzleri sıcak hadde çelik profiller ile desteklenmiş hafif çelik hücreler.....	74
Şekil 3-1 Şerit veya levha çelikte gerilme-şekil değiştirme diyagramı. (a) Keskin akma (b) Yavaş akma [1, s.30]	84
Şekil 3-2 Gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının idealleştirilmesi [1, s.31]	87
Şekil 3-3 Gerilme-şekil değiştirme diyagramında, gerilmenin plastik bölgede kaldırılması ve pekleşme olayı [127].....	88
Şekil 3-4 Soğuk şekillendirilmiş profil üzerinde Soğuk şekillendirme işleminin etkisi (U profil) [1, s.33], [61]	89
Şekil 3-5 Pekleşmenin ve soğuk şekillendirme deformasyonunun gerilme-şekil değiştirme karakteristiği üzerine etkisi [1]	90
Şekil 3-6 Eğilme momenti altında kirişlerde oluşan basınç gerilmeleri sonucunda meydana gelen lokal burkulmalar. [1, s.37]	92

Şekil 3-7 Dikmelerde aksenal yük etkisi (basınç) sonucu oluşan deformasyonlar. (A) Flanş ve gövdede lokal burkulma, (buruşma) (B) Flanşlarda lokal burkulma (C) Burulma [102]	92
Şekil 3-8 Profillerde aksenal basınç etkisi ile oluşan deformasyon [102]	93
Şekil 3-9 Hafif çelik profil kesitinde mesnet-mafsalsal noktaları [103].....	93
Şekil 3-10 Profil kesitinde etkin genişlik [2, s.49].....	94
Şekil 3-11 Hafif çelik elemanların büküm noktaları ile güçlendirilmesi	95
Şekil 3-12 Profil gövdesinde mesnet noktası [1]	96
Şekil 3-13 Profil gövdesinde mesnet noktası ve ara bükümlerle takviye edilmiş profil gövdesi	97
Şekil 3-14 Sıcak hadde profil elemanlardan oluşan konvansiyonel çelik çerçeve kuruluşu [69, s.6].....	97
Şekil 3-15 Hafif çelik çerçeve kuruluşu [79, s.8].....	98
Şekil 3-16 Hafif çelik yapılarda çaprazlama veya kaplama ile perde kuruluşu [103].....	100
Şekil 3-17 Yatay ve düşey yük karşısında rijit bağlantılı çerçeve çalışması	100
Şekil 3-18 Düşey yük altında hafif çelik bileşenlerin strüktürel davranışı ...	101
Şekil 3-19 Yatay yük altında hafif çelik bileşenlerin strüktürel davranışı. ...	102
Şekil 3-20 Düşey taşıyıcı elemanlarda aksenal yükün dış merkezliği [103]	104
Şekil 3-21 Duvar panosunu oluşturan soğuk şekillendirilmiş çelik profil çerçeve	107
Şekil 3-22 Rüzgarın yapı üzerinde neden olduğu yükler ve etkiler [13, s. 459]	110
Şekil 3-23 Düşey ve eğilme yüklerinin etkilediği deney numunesi	111
Şekil 3-24 Profillerde lokal burkulma (Kaplama deney sonrasında kaldırılmıştır.) [77]	112
Şekil 3-25 Nominal statik yükleme kesme dayanımı, montaj aralığı, kaplama boy-en ilişkisi [3, s.5] (Grafikteki sayısal değerler S.I. sistemine çevrilmiştir.).....	117
Şekil 3-26 Kaplamaların düşey ve yatay düzenlemesi	118
Şekil 3-27 Boşluksuz hafif çelik duvara göre, boşluk açılmış duvarların dayanım oranları [4].....	119

Şekil 3-28 Döşeme kesiti örneği detayı [103]	122
Şekil 3-29 Döşeme diyaframı kaplama bağlantı detayı [53]	125
Şekil 3-30 Yatay yük altında döşeme diyaframı	126
Şekil 3-31 (a-b) Yanal yükleme altında döşeme deformasyonları [53]	127
Şekil 3-32 (a-b) Yanal yükleme altında döşeme deformasyonları [53]	128
Şekil 3-33 1999 Tayvan Chi-Chi Depremi sonrası hasarlı yapı yüzdesi [65]	132
Şekil 3-34 1995 Japonya Kobe Depremi sonrası hasarlı yapı yüzdesi [126]	133
Şekil 3-35 ISO 834 ve ASTM EI 19'e göre zaman-yangın sıcaklığı ilişkisi [46, s.21]	140
Şekil 3-36 Normal akma dayanım gerilmesine göre sıcaklık etkisinde çelik dayanımlarındaki azalma [92, s.4]	141
Şekil 3-37 Yangın dayanım deneyi döşeme kuruluşu [10, s.2]	144
Şekil 3-38 Yangın etkisinde hafif çelik döşeme [10, s.3]	145
Şekil 3-39 Yangın etkisinde hafif çelik profillerde termal eğilmeler [10, s.3]	146
Şekil 3-40 Yangın yüzü ile karşı yüz arasında, sıcaklık farkı (yalıtım uygulanmış ve uygulanmamış örnek) [103]	146
Şekil 3-41 Hafif çelik duvar yüzeyinde yalıtım uygulaması [103]	148
Şekil 3-42 Hafif çelik duvar yüzeyinde çelik levha ve mineral lifli alçı levha uygulaması [103, s.55]	148
Şekil 3-43 Döşeme ile duvar arasında duman ve gaz sızdırmazlığı sağlanması [103]	149
Şekil 3-44 Hafif çelik yapılarda, duman ve sıcak gazların, duvar ve döşemelerde yayılması [103]	150
Şekil 3-45 (1) Duvarlarda elektrik tesisat kutularından sıcak gaz ve duman geçişi, (2),(3),(4) Dumanın diğer mekana geçmesinin engellenmesi [103]	151
Şekil 3-46 Hafif çelik konstrüksiyonun iç yüzey sıcaklıkları - ısı köprüsü olayı [103, s.40]	154
Şekil 3-47 Soğuk şekillendirilmiş çelik profil gövdesinde açılan yarıklar ile ısı iletiminin azaltılması, thermo-profil [103, s.41]	159

Şekil 3-48 Thermo-profillerin hafif çelik konstrüksiyonda kullanımı [44, s.88], [103, s.42].....	159
Şekil 3-49 Köşede dikmelerin ısı köprüsü oluşturması ve önlenmesi [103, s.41].....	160
Şekil 3-50 Hafif çelik kuruluşu için ısı diyagramı	163
Şekil 3-51 Hafif çelik konstrüksiyon içinde yoğuşma oluşması [103, s.44].	165
Şekil 3-52 Köşelerde, ısı köprüsünün engellenerek yoğuşmanın önlenmesi [103].....	165
Şekil 3-53 Hafif çelik yapı kabuğunda, su ve su buharı etkisi karşı önlem alınması gereken yüzeyler [103, s.43]	166
Şekil 3-54 Hafif çelik sistemlerde darbe sesi ve sesin iletilmesi [86, s.26] .	170
Şekil 3-55 Hafif çelik duvar kuruluşunda çelik profiller ile kaplama arasında esnek montaj profili uygulaması [103, s.24].....	174
Şekil 3-56 Akustik-profil örnekleri [103].....	174
Şekil 3-57 Profillerin şaşırtılarak düzenlenmesi ile ses köprülerinin engellenmesi [54].....	175
Şekil 3-58 Ses yalıtımı için çift duvar uygulaması [103]	175
Şekil 3-59 Hafif çelik döşemelerde, asma tavan uygulaması ile ses yalıtımı.[103]	175
Şekil 3-60 Hafif çelik döşemelerde ses yalıtımı [103].....	176
Şekil 3-61 (1) Duvardan direkt geçen ses, (2) Sürekli duvar boyunca iletilen ses [103, s.30]	176
Şekil 3-62 (1) Duvar boyunca ses iletimi. (2) Kaplamaların kesintiye uğratılması ve çelik profil ile kaplama arasında ses izolatörü uygulaması [103].....	177
Şekil 3-63 (1) Döşeme kaplamalarının kesintiye uğratılması; (2) Döşemenin duvarlar tarafından kesintiye uğratılması ile elde edilen ses yalıtımı. [103, s.32]	179
Şekil 3-64 İklimlendirme ve havalandırma cihazları gibi ses üreten makinelere, hafif çelik duvarda ses üretmesi ve alınacak önlemler. [103]	180

Şekil 3-65 Hafif çelik yapıda, borulu tesisatın esnek elemanlar ile yatayda ve düşeyde yerleştirilmesi [103, s.35].....	180
Şekil 3-66 Tesisat elemanlarının hafif çelik konstrüksiyon içinde düzenlenmesi ve ses izolasyonunun sağlanması. [103, s.36].....	181
Şekil 3-67 Tesisat elemanlarının taşıyıcı duvardan ayrı bir tesisat yüzeyinde veya tesisat duvarı içinde düzenlenmesi [103, s.35].....	181
Şekil 3-68 Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller üzerinde, esnek fitil ve contalar [103, s.31].....	182
Şekil 3-69 Dar ve/veya geniş açılı plan geometrisinde döşeme ve duvarlar	188
Şekil 3-70 Hafif çelik dikme, kirişleme ve başlık profillerinin, ağırlık merkezlerinden geçen akslara göre konumlandırılmaları.....	189
Şekil 3-71 Açılı plan geometrisinde, kirişlemelerin, duvar bağlantısı. [67]..	189
Şekil 3-72 Geniş açılı köşe birleşimi alternatifleri.....	190
Şekil 3-73 Dar açılı köşe birleşimi alternatifleri.....	190
Şekil 3-74 Dik açılı olmayan plan geometrili hafif çelik yapılarda, duvar bağlantıları için özel olarak üretilen profiller	191
Şekil 3-75 Hafifçelik sistemlerin eğrisel plan geometrisinde düzenlenmesi.	191
Şekil 3-76 Hafif çelik eğrisel duvar kuruluşu [83],[132].....	192
Şekil 3-77 Hafif çelik eğrisel duvar kuruluşu [132].....	192
Şekil 3-78 Eğrisel duvarlar için özel başlık elemanı (esnek profil) [83].....	193
Şekil 3-79 Eğrisel başlık profillerinin rijitlenmesi [132].....	193
Şekil 3-80 Eğrisel başlık profillerinin rijitlenmesi ve duvar kuruluşu [83],[132]	193
Şekil 3-81 Eğrisel plan geometrisinde kaplamaların dikme aralıklarına bağlı olarak parçalı şekilde düzenlenmesi.	194
Şekil 3-82 Eğrisel plan geometrisinde kaplamaların lamine olarak düzenlenmesi.....	194
Şekil 3-83 Manderscheid, Almanya'da konut, 1998, Mimari: 3L, Klaus Th. Luig, Veronika Lenze, Menden [111]	195
Şekil 3-84 Mesnetlenmemiş maksimum taşıyıcı duvar uzunlukları.	197
Şekil 3-85 Taşıyıcı olmayan duvar kuruluşu. [67].....	198

Şekil 3-86 Taşıyıcı olmayan duvarın, döşeme kirişlemelerine dik veya açılı düzenlenmesi.....	199
Şekil 3-87 Taşıyıcı olmayan duvarın döşeme kirişlemelerine paralel düzenlenmesi. [67].....	199
Şekil 3-88 Taşıyıcı olmayan duvarlarda uygulanabilecek köşe ve T kesişim birleşmeleri [67]	200
Şekil 3-89 Bölücü duvarların üst başlığının, döşeme altı kaplamasına monte edilmesi [86].....	201
Şekil 3-90 İç taşıyıcı duvar üzerinde sürekli olmayan döşeme kirişlemesi [67]	202
Şekil 3-91 Taşıyıcı duvar dikmesi üzerine oturtulan ve C profil takozla desteklenen kirişlemeler [67], [86]	202
Şekil 3-92 Hafif çelik sistemlerde ek oluşturulması ve dilatasyon kuruluşu [67]	204
Şekil 3-93 Hafif çelik sistemlerde ek oluşturulması ve dilatasyon kuruluşu	204
Şekil 3-94 Hafif çelik sistemlerde, boşluk genişliği ile dikme modülasyonu ilişkisi.	205
Şekil 3-95 Hafif çelik yapıda cephe kuruluşu, Aydos-Pendik'te konut. [143]	209
Şekil 3-96 Hafif çelik konut, (Rudolstadt, Almanya, 1999) [112].....	210
Şekil 3-97 Hafif çelik konut, Almanya, [104].....	210
Şekil 3-98 Hafif çelik sistemlerde cephe ve boşluk oranlarının strüktürel kuruluş ile ilişkisi (Mimari: Architektbüro Ilg & Partner, 2000, Münih) [105]	211
Şekil 3-99 Çift cidarlı bir hafif çelik cephe, (Sedef, Belçika) [44],[103]	212
Şekil 3-100 Hafif çelik pano yapım sistemiyle inşa edilmiş konut, ve pano konstrüksiyonu, Ontorio, Kanada [39].....	213
Şekil 3-101 Hafif çelik elemanların oluşturduğu bileşik profiller [67].....	214
Şekil 3-102 Taşıyıcı duvarda 120 cm'den geniş pencere boşluğu açılması [67].....	214
Şekil 3-103 Taşıyıcı duvarda pencere ve kapı boşluğunda lento kuruluşu [67]	215

Şekil 3-104 Taşıyıcı duvarda pencere boşluğu açılması köşe detayı (Bileşik profil ile) [67]	215
Şekil 3-105 Taşıyıcı duvarda 120 cm'den büyük kapı boşluğu [67]	216
Şekil 3-106 Taşıyıcı duvarda kapı boşluğu açıldığında kapı çerçevesinin alt başlık (track profil) ile birleşim detayı [67]	217
Şekil 3-107 Taşıyıcı duvarda 120 cm'den küçük pencere boşluğu açılması [67]	218
Şekil 3-108 Taşıyıcı duvarda 122 cm'den küçük kapı boşluğu açılması [67]	218
Şekil 3-109 Taşıyıcı duvarda küçük boşluk açılmasında lento detayı [67] .	219
Şekil 3-110 Taşıyıcı duvarda küçük boşluk açılması pencere alt köşe detayı [67]	219
Şekil 3-111 Köşede boşluk açılması , Rautaruuki Oyj, Finlandiya [103, s.5]	220
Şekil 3-112 Manderscheid, Almanya'da konut, 1998, (Mimari: 3L, Klaus Th. Luig, Veronika Lenze, Menden) (111)	221
Şekil 3-113 Yatay yük etkisinde, hafif çelik duvarlarda oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin karşılanması	222
Şekil 3-114 Yatay boşluk açılmış, hafif çelik taşıyıcı duvarda, yanal yük etkisi	222
Şekil 3-115 Düşey boşluk açılmış, hafif çelik taşıyıcı duvarda, yanal yük etkisi	222
Şekil 3-116 (Quebec, Kanada, 1999, mimari: Drolet Zerounian Architects) [41]	223
Şekil 3-117 Hafif çelik yapıda yatay geometride boşluk düzenlenmesi, (Calmont Yönetim Binası, Edmonton, Kanada, mimari: ACI Architecture) [40]	223
Şekil 3-118 Yatay boşluklar içinde, taşıyıcı dikmelerin sürekli olarak yer alması ve taşıyıcı duvarın yanal yük etkisinde davranışı.	224
Şekil 3-119 Hafif çelik yapım sisteminde, eğimli arazide yarı bodrum kat oluşturulması.	226

Şekil 3-120 Arazi eğimine bağlı olarak, kademeli betonarme perde duvarları [139].....	226
Şekil 3-121 Hafif çelik dikmelerin, betonarme duvara oturması [67]	227
Şekil 3-122 Hafif çelik yapıların çelik ayaklar ile zeminden kaldırılması [139]	227
Şekil 3-123 Hafif çelik bileşik profil (kutu profil) ayakların ankraj bulonları ile betonarme tekil temellere montajı. [139].....	228
Şekil 3-124 Eğimli arazide, temel derinliklerinin düzenlenmesi. [13].....	228
Şekil 3-125 Hafif çelik sistemlerde kütleli hareket olanakları.....	229
Şekil 3-126 “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998 Deprem Yönetmeliği”ne göre plan düzleminde yapı düzensizliği. [20, s.11].....	230
Şekil 3-127 Taşıyıcı sistemin bölümlere ayrılması [116, s.84] [127, s.119]	230
Şekil 3-128 Taşıyıcı sistemi bölümlere ayıran perde duvar hattında, boşluk ve çaprazlamaların düzenlenmesi.[31]	231
Şekil 3-129 Farklı kat yüksekliği (A) ve kat adedinin (B) oluşturduğu kütleli hareket.....	231
Şekil 3-130 Farklı zeminlere oturan yapı bölümlerinin yarattığı kütleli hareket.....	232
Şekil 3-131 (A) Döşemelerin ortak taşıyıcı duvara oturduğu durum. (B) Dilatasyon derzi ile döşemelerin ayrı taşıyıcı duvarlara oturması	233
Şekil 3-132 Döşeme kırılganlığı doğrudan doğruya çıkma yapılması [67].....	234
Şekil 3-133 Döşeme kırılganlığına dik doğrultuda çıkma yapılması [67]	236

TABLO LİSTESİ

Tablo 1-1 Demir ve çeşitli çelik malzemelerin özellikleri [35, s.296].....	5
Tablo 2-1 Hafif çelik “ <i>gauge</i> ”, sınıflandırmasının, inch, Mil, milimetre karşılıkları	19
Tablo 2-2 CABO ve ICBO standartlarına göre flanş boyutuna bağlı olarak minimum kullanılabilecek çelik kalınlığı ve dudak boyutu.	19
Tablo 2-3 Vida numarası ve vida çapı [67].....	24
Tablo 2-4 bulon çapına bağlı olarak delik boyutları [8, s. 7].....	25
Tablo 2-5 Montaj elemanlarının karşılaştırılması	30
Tablo 2-6 Hafif çelik, doğrusal, pano ve hücreli yapı sistemleri.....	75
Tablo 3-1 Düşey taşıyıcı C profili eleman için eksenel yük altında dayanım değerleri [103, s.15],[107]	105
Tablo 3-2 Farklı kaplama malzemelerinin eksenel yük dayanımına etkisi [77, s.Appendix B-1]	108
Tablo 3-3 “Tamamen Kaplanan, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Duvar Kuruluşunda, Kombine Edilmiş Eksenel ve Eğilme Yüğü Deneyleri” Sonuçları [77, s.5].....	112
Tablo 3-4 Rüzgar yüküne karşı hafif çelik perde duvarlar için nominal kesme kuvveti dayanımı (Statik yükleme test sonuçları) [3]	114
Tablo 3-5 Sismik yüğe (deprem yüküne) karşı hafif çelik perde duvarlar için nominal kesme kuvveti dayanımı (Tekrarlı yükleme test sonuçları) [3].....	115
Tablo 3-6 deney sonuçları [4, s.12].....	121
Tablo 3-7 Hafif çelik kirişlerin geçebileceği iki mesnet arası açıklıklar [103]	123
Tablo 3-8 Yatay yük altında döşeme dayanım ve deformasyon değerleri [43, s.13].....	126
Tablo 3-9 Hafif çelik taşıyıcılı ve betonarme taşıyıcılı yapıların ağırlıkları [18, s.35].....	130
Tablo 3-10 Deprem bölgeleri ve etkin zemin ivmesi katsayıları [20]	131
Tablo 3-11 Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları [15].....	139

Tablo 3-12 Hafif çelik yapılarda kullanılan eleman/malzemelerin yanıcılık sınıfları	139
Tablo 3-13 Kompozit yapı elemanlarının yangın dayanımlarına göre sınıflandırılması	141
Tablo 3-14 Hafif Çelik Döşeme kuruluşunda yangın dayanım süreleri [92, s.56], [38].....	142
Tablo 3-15 Hafif çelik döşemelerin yangın dayanımı test sonuçları [10, s.2]	144
Tablo 3-16 Hafif çelik duvarların ısı iletkenlik değerleri [103, s38]	156
Tablo 3-17 Kagir duvarların ısı iletkenlik değerleri (Hafif çelik bileşenlerin ısı iletkenlik değerleri ile karşılaştırma amacıyla).....	157
Tablo 3-18 Hafif çelik çatıların ısı iletkenlik değerleri [103, s38]	157
Tablo 3-19 Çeşitli konstrüksiyon malzemelerinin ses geçirimsizlik sınıfı [92, s.7]	169
Tablo 3-20 Çeşitli hafif çelik döşeme kuruluşlarının ses tutuculuk ve darbe sesi iletme değerleri [103, s.26]	171
Tablo 3-21 Ses geçirimsizlik değerinin sağladığı, ses yalıtım performansı [92, s.7].....	172
Tablo 3-22 Hafif çelik sistemlerde, ses yalıtım değerini belirleyen hususlar [103, s.24].....	173
Tablo 3-23 Zemin katta, döşemede süreksizliğin sağlanması ve elde edilen ses geçirimsizlik değerleri [103, s.32]	178
Tablo 3-24 Hafif çelik yapı sistemi için değişebilirliğin sınıflandırılması	196
Tablo 3-25 Kaplama boyutu-taşıyıcı elemanlar arasında modüler koordinasyon	207
Tablo 3-26 Hafif çelik pano yapım sisteminde kaplama boyutu (pano boyutu)- taşıyıcı elemanlar arasında modüler koordinasyon.....	208
Tablo 3-27 180x220 cm boyutlarındaki kontrplak, OSB ve alçı levhalar ile hafif çelik elemanlar arasındaki modüler koordinasyon ilişkisi	208
Tablo 3-28 Topografya şartlarına bağlı olarak farklı kütle kuruluşları.....	225
Tablo 4-1 Hafif çelik yapım sistemleri için yapı yükleri	238

Tablo 4-2 Hafif çelik taşıyıcılı ve betonarme taşıyıcılı aynı büyüklükteki iki yapının ölü yüklerinin karşılaştırılması.[18, s.35]	238
Tablo 4-3 Taşıyıcı sistem açısından analiz ve değerlendirme	239
Tablo 4-4 Yapı fiziği etkileri açısından analiz ve değerlendirme	240
Tablo 4-5 Mimari tasarım olanakları açısından analiz ve değerlendirme ...	241

ÖZET

Geçmişten günümüze değerlendirildiğinde, Endüstri Devrimi'nin mimarlık ve mühendislik alanlarında önemli değişimler yarattığı görülmektedir. Yapı üretiminde endüstrileşme, farklı kaynakların ve ürün olanaklarının artmasıyla, benzer gereksinimleri karşılayacak çok sayıda seçeneğin ortaya konmasını sağlamıştır. Çeliğin yapı malzemesi olarak kullanımı ise bu sürecin sonucunda gündeme gelmiştir.

Çelik malzeme ve elemanlar; elastiklik, çekme ve basınç dayanımı, düktilite, kalite kontrol avantajları ve yapım sırasında sağladıkları standartlaşma ve prefabrikasyon olanakları ile ön plana çıkmaktadırlar. Çelik, bu özelliklerinin yanı sıra, deprem gibi yatay yüklere karşı elastik davranmakta ve az malzeme ile daha etkin bir strüktür ortaya koymaktadır. Kısaca, yapıların – betonarme gibi başka strüktürlere göre- daha hafif olmalarını sağlamaktadır. Bu özellik, Türkiye'deki gibi yüksek deprem riski taşıyan bölgelerde oldukça önemlidir. Ancak, sıcak hadde çekme yöntemi ile üretilen konvansiyonel çelik yapı elemanlarından oluşan çelik strüktürlü yapı sistemlerinin mühendislik açısından ekonomik ve etkin bir strüktür olarak kullanılabilmesi çok katlı ve/veya büyük açıklıkların geçildiği yapılarda mümkün olmaktadır. Buna karşın, az katlı ve küçük açıklıklı yapılarda (konut, ofis vb.) konvansiyonel çelik strüktürlerin kullanılması, ekonomik olmayacak biçimde malzeme, yapı ağırlığı ve işçilik gerektirmektedir. Bu noktada, çeliğin strüktürel avantajlarından optimal düzeyde faydalanmak üzere, soğuk şekillendirilmiş çelik profiller (*cold formed steel*) kullanılarak çeşitli hafif çelik yapı sistemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, genel olarak, Türkiye için yeni bir kavram olan hafif çelik yapım sistemlerinin (*light gauge steel construction technology*), konstrüktif kuruluşunun açıklanması ve belirlenen değerlendirme kriterleri çerçevesinde analiz edilmesi hedeflenmiştir. Özetle, yapılan analizler sonucunda, hafif çelik

yapım sisteminin avantaj ve dezavantajları, hangi tür yapılar için uygun olduğu ve Türkiye şartlarına uyumu araştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, konu ile ilgili genel bilgiler verilmiş; tezde kullanılan terimler tanımlanmış ve hafif çelik sistemin gelişimi ve kullanım alanları anlatılmıştır.

İkinci bölümde, hafif çelik yapım sisteminin malzeme, eleman ve bileşenlerine değinilerek konstrüktif kuruluşu ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde ise, hafif çelik yapı sistemlerinin; taşıyıcı sistem ve statik açısından, yapı fiziği etkileri ve sorunları açısından ve mimari tasarımda sağladıkları olanaklar açısından analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışmanın sonuç bölümde ise, üçüncü bölümde yer alan analiz verilerinden ve değerlendirme kriterlerinden yola çıkılarak dünyadan ve Türkiye'den örnekler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik, Hafif Çelik Yapım Sistemi, Yapı Teknolojisi

SUMMARY

It can be seen that Industrial Revolution has had significant impact in the areas of engineering and architecture, when its past and today is evaluated. Industrialization in the production of buildings with the increase in the availability and diversity of material and products, resulted in more options becoming available to fulfil the same requirements. Steel has come to use as a construction material at the end of this period.

The elasticity, resistance to stretch and pressure, ductility of steel combined with the quality control advantages and the fact that steel can easily be standardized enables it to be used for prefabrication techniques and its products to be easily applicable in constructions. In addition to these properties of steel, it also has higher elastic resistance to horizontal forces that are applied during earthquakes and provides the ability to allow more efficient structures with less material. In short, it allows the buildings to be lighter compared to other structural materials such as concrete. This property of steel makes it an important material to be used especially in high risk earthquake areas like in Turkey. It is possible to use the steel structure systems composed of conventional structure units (hot rolled steel sections) that are manufactured using “hot roll process” in a cost efficient and effective manner only in buildings that have many levels, and/or wide open spaces. On the other hand, the usage of conventional steel structures for buildings that do not require many levels and/or wide open spaces (e.g. houses) is not efficient due to increase in the cost and the labor required to construct the building and it yields heavier buildings. For this reason, light gauge steel systems that are composed of cold formed steel profiles and that optimize the structural advantages of steel are developed for such buildings.

This research targets to explain the usage of light gauge steel construction technology –which is new to the Turkish market– and to analyze it based on selected criteria. In summary, based on our analytical experiment results the

advantages and disadvantages of light gauge steel systems, their suitability to different structures, and their applicability to the needs of Turkey is researched.

The first section defines the terminology used in this thesis, and provides a summary of background information on the topic.

In the second section, the light gauge steel construction technology in terms of the materials and the structure units used in such systems is defined

In the third section, light gauge steel structure systems are analyzed in terms of their structure and static properties, their positive and negative impact on the physics of the structure, and the opportunities that they provide in architectural design.

In the last section, examples from around the world and in Turkey are evaluated based on the analysis results obtained from the third section.

Key Words: Steel, Cold Formed Steel, Light Gauge Steel, Light Weight Steel, Cold Formed Steel Frame, Construction Technology.

GİRİŞ

Strüktür, mimarinin en önemli gereksinimlerinden biridir. Romalı bir mimar olan Marcus Vitruvius, M.Ö.25 yılında, mimarlığı “dayanıklılık, uygunluk ve güzellik” kavramları ile tanımlamıştır. Günümüzde ise strüktürün getirdiği form, artık yalnızca bir barınak, bir koruyucu şemsiye değil aynı zamanda insan etkinliğinin bir iletişim biçimi ve bir simgesi haline gelmiştir. Strüktür, yeni bir çerçeve ve kılıf yaratmaktan daha fazlasını ifade etmektir. Seçilen malzemeler ve bunların farklı çağrışımlar uyandıracak şekilde bir araya getirilişleri bir kültürün kendisine ve tarihle ilişkisine dair sahip olduğu bakış açısının bir parçasıdır. Her çağın kendi teknolojisi ve özgün strüktür anlayışı vardır. Bu nedenle, farklı yapım teknolojilerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi önemlidir.

Strüktürün temel işlevi, yapıya etkiyen yükleri, doğrudan zemine aktarmak olarak görülebilir. Ancak, bu işlevini yerine getirirken strüktürün etkinliği ön plana çıkar. Aslında bu etkinlik malzemeye bağlı gibi görünse de, kullanılan teknoloji tarafından belirlenmektedir. Giderek daha hafif ve ince elemanları kapsayan etkin bir strüktür yaratma arzusunun sebebi olarak -ilk etapta- işlevsel ihtiyaçlar ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, ekonomi de bir diğer unsurdur. Daha az malzeme ile yaratılan etkin strüktür, tasarruf ve daha az yapı yükü anlamına gelir. Bu ise daha az malzemeye ihtiyaç duyulmasını sağlar ve böylece strüktürün gelişim devinimi oluşur.

Korunma ve barınma ihtiyacını sağlayacak şekilde, bir strüktürün ve yapım sisteminin organize edilmesindeki değerlendirme kriterleri şu başlıklar altında toplanabilir:

- Taşıyıcı sistem açısından, deprem yüklerine karşı hafiflik, rijitlik; yapı yüklerine karşı mukavemet;
- Yapı ve insan konforu açısından, yangın güvenliği, ısı, ses, nem konforu;
- Mimari açıdan esneklik, değişebilirlik, form ve kütleli etki serbestliği;

Bu kriterler çerçevesinde değerlendirildiğinde, yapım teknikleri, malzemeleri, strüktürel kuruluşlar, malzeme ve konstrüksiyon detayları ile yapım teknolojisinin geliştiği görülmektedir. Tüm bunlar, yapı malzemelerini, elemanlarını, bileşenlerini ve sistemlerini daha etkin bir şekilde kullanma ihtiyacından doğar.

Endüstri Çağı'nın gereği olarak, yapı üretimindeki endüstrileşme, farklı kaynakların ve ürün olanaklarının artmasıyla, benzer gereksinimleri karşılayacak çok sayıda seçeneğin ortaya konmasını sağlamıştır. Çeliğin, yapı malzemesi olarak kullanımı ise bu sürecin sonucunda gündeme gelmiştir. Asırlardan beri bilinen bir malzeme olması ile birlikte, taşıyıcı sistemin tamamen çelik ile oluşturulması endüstri devrimi ile gerçekleşmiştir.

Endüstri Devrimi'nden sonra hızla geliştirilen çelik; büyük açıklıklı köprüler, asma sistemler, büyük açıklıklı büro ve endüstri yapıları, kuleler ve çok katlı yapılarda, öncelikli olarak kullanılan malzeme ve strüktür olmuştur. Çelik malzeme ve elemanlar; elastiklik, çekme ve basınç dayanımı, duktilite, kalite kontrol avantajları ve yapım sırasında sağladıkları standartlaşma ve prefabrikasyon olanakları ile, çağımızda kullanılan diğer yapı elemanları arasından ön plana çıkmaktadır. Çelik, bu özelliklerinin yanı sıra, deprem gibi yatay yüklere karşı kısmen elastoplastik davranmakta ve az malzeme ile daha etkin bir strüktür ortaya koymaktadır. Kısaca, yapıların –başka malzemelerin kullanıldıkları strüktürlere göre- daha hafif olmalarını sağlamaktadır. Bu özellik, Türkiye gibi yüksek deprem riski taşıyan bir ülkede oldukça önemlidir.

Ancak, sıcak hadde çekme yöntemi ile üretilen konvansiyonel çelik yapı elemanlarından oluşan çelik strüktürlü yapı sistemlerinin; mühendislik açısından ekonomik ve etkin bir strüktür olarak kullanılmalrı, çok katlı ve/veya büyük açıklıklı yapılarda mümkün olmaktadır. Buna karşın, az katlı ve küçük açıklıklı yapılarda (konut, ofis vb.) konvansiyonel çelik strüktürlerin kullanılması, ekonomik olmayacak biçimde malzeme, yapı ağırlığı ve işçilik

gerektirmektedir. Bu noktada, çeliğin strüktürel avantajlarından optimal düzeyde faydalanmak üzere, soğuk şekillendirilmiş çelik profiller (*cold formed steel*) kullanılarak çeşitli hafif çelik yapı sistemleri geliştirilmiştir. 30 yılı aşkın süredir gelişmiş ülkelerde ve özellikle deprem bölgelerinde yoğun olarak kullanılan hafif çelik yapı sistemleri bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Hafif çelik sistemlerinin, diğer yapım sistemlerine bir alternatif olarak değerlendirilebilmesi için, ayrıntılı olarak araştırılması, tasarım kriterlerinin ortaya konması gereklidir. Böylece ihtiyaca göre, etkin strüktürde ve ekonomik olarak uygun yapım sistemi tercih edilebilir.

Çalışmada, hafif çelik yapım sistemlerinin, bir alternatif olarak diğer yapım sistemleri ile karşılaştırılabilmesini sağlamak için;

- taşıyıcı sistemin getirdiği olanakları, yapı fiziği etkilerini ve mimari tasarım olanaklarının irdelenmesi ve ortaya konulması,
- ortaya konulan ve irdelenen bu kriterlere göre avantaj ve dezavantajların belirlenmesi,
- ve bunlardan yola çıkarak sistemin Türkiye şartlarına uygunluğu ve gerekliliğinin araştırılması, amaçlanmaktadır.

Yöntem

Çalışmanın temel aldığı yöntem ise, hafif çelik konusu ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili kaynakların taranması sonucunda bir çerçeve oluşturulup; bunun yapı elemanları üzerinde somut karşılığını aramak, irdelemek ve yorumlamak; yapısal analizler yapmak esasına dayanmaktadır.

Hafif çelik sistemlerin, yapı üretimi kapsamında ve temel yapı elemanları düzeyinde analiz ve değerlendirmelerinin yapılabilmesi için konstrüktif kuruluşu açıklanmıştır. İkinci aşamada, taşıyıcılık, yapı fiziği sorunları ve mimari tasarım verileri ışığında belirlenen kriterlere göre ayrıntılı irdelemeler yapılmış ve tespit edilen sorunlara ilişkin çözüm önerileri getirilmiştir.

Kriterlerin ortaya konma aşamasında, özellikle literatürde yer alan hafif çelik yapılar veya yapı elemanları ile ilgili deneysel çalışmalar baz alınmıştır.

Sonuç bölümünde sistemin taşıyıcılık özellikleri, yapı fiziği etkileri ve mimari tasarım olanakları açısından irdelenerek, yapım sisteminin getirdiği avantaj ve dezavantajlar ortaya koyulmuş ve Türkiye şartlarına uygunluğu değerlendirilmiştir. Ayrıca bu değerlendirme sırasında sistemin Türkiye için gerekliliği ve Türkiye'deki yönetmelikler ve yasal ortam ele alınmıştır.

Kapsam,

Bu çalışma kapsamında, öncelikle araştırmanın konusuna ilişkin bazı ana kavramlar, sorun alanının belirlenmesi ve çerçevesinin gösterilmesi amacıyla tanımlanmıştır. Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar, betonarme, konvansiyonel çelik gibi yapılarda, giydirme cephe veya hafif bölücü eleman konstrüksiyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu elemanların taşıyıcı özelliği olmayıp, asıl strüktür tarafından taşınmaktadırlar. Bu çalışmada konu edilen ise, soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların taşıyıcı sistemi oluşturduğu yapılardır. Hafif çelik yapılarda, taşıyıcı sistem, tamamen soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlardan oluşturulmaktadır.

1 GENEL BİLGİLER

1.1 Çelik Malzemenin Genel Özellikleri

Çelik, demirin %0.5-1.5'i oranında karbon ve %0.5'i oranında manganez alaşımı ile elde edilen bir malzemedir. Çelik, malzeme tüm metaller gibi kristal yapılıdır. Bir metal kristali, atomların üç boyutlu bir kafes sisteminde ve denge konumları uzaklığında yer almaları sonucu, düzgün sıralar halinde dizilmesi ile oluşur. Metallerin genel özelliği olan serbest veya sabit elektronlardan kurulu yoğun dokulu kristal yapı, homojen olarak her noktada ve izotrop olarak her yönde aynı özelliği göstermesini sağlar. Çeliğin kristalli yapısı sayesinde, basınç ve çekme özellikleri eşdeğer ve yüksek, ısıl genişleme katsayısı büyüktür. Ayrıca ısıyı, elektriği ve sesi iyi iletir (Tablo 1-1).

Tablo 1-1 Demir ve çeşitli çelik malzemelerin özellikleri [35, s.296]

	Bileşim %	Fiziksel Özellikleri				Mekanik özellikleri		
		Δ gr/cm ³	Erime C ⁰	Isı iletkenlik λ kcal/mhC ⁰	Isı genişleme α 10 ⁻⁶ cm/cmC ⁰	σ_{Kopma} N/mm ²	ϵ kopma uzaması	Sertlik Brinell H N/mm ²
Demir	0.2 C	7.80	1530	61-50	12	300-350	0.12-0.15	830
Çelik	0.3-0.6 C	7.85	1400	35	15.1	400-480	0.25-0.28	990-1240
Sert Çelik	0.6-1.7 C	7.89	1300	40	15	650-750	0.14-0.18	1920-2200

Çeliğin, mekanik etkiler karşısında soğuk şekil değiştirirken, gevrek deformasyon yapmadan elastik ve plastik davranış göstermesi, kristalli yapıda olmasının sonucudur. Çelik, ahşap, beton gibi diğer malzemelere kıyasla çok daha üstün olan elastikliği, çekme ve basınç dayanımı, düktilitesi, kalite kontrol avantajları ve yapım sırasında sağladığı standartlaşma ve prefabrikasyon olanakları ile ön plana çıkmaktadır.

Elastiklik modülü, ahşapta 10200-16200 N/mm², normal beton olarak tanımlanan BS25 sınıfı betonda 30250 N/mm², yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanan BS50 sınıfı betonda 36950 N/mm², çelikte ise 210000 N/mm²'dir. Bu değerlerden, çeliğin sünek bir malzeme olduğu sonucu çıkar. Yük altında mukavemetini kaybetmeden şekil değiştirebilme sığası yüksektir.

Ayrıca, çeliğin bu kısmen elastoplastik özelliği, yük altında şekil değiştirdikten sonra, yük kalkınca eski durumuna dönebilmesine de imkan tanır.

1.2 Tanımlar ve Terimler

Konvansiyonel Çelik ve Hafif Çelik Tanımı

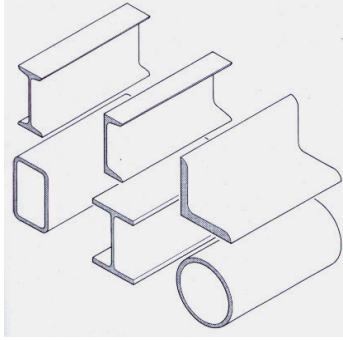
Yapılarda kullanılan çelik elemanlar, sıcak haddelenmiş ve soğuk şekillendirilmiş çelik profiller olarak iki temel grupta ele alınabilir.

Bu çalışmada, sıcak haddelenmiş çelik profiller ve elemanların strüktürü oluşturduğu büyük açıklıklı ve yüksek yapılar -hafif çelik yapılardan ayırmak için- konvansiyonel çelik yapılar olarak nitelenmektedir. Konvansiyonel çelik yapılarda taşıyıcı sistem, kolon ve kirişlerin meydana getirdiği çerçeve, rijit çerçeve veya çaprazlı çerçeveden (kafes, perde) oluşturulur. Sistem tamamen moment dayanımlı çerçeve, perde+çerçeve veya perde (tüp) davranışı gösterir.

Çelik sac ve levhaların oda sıcaklığında bükülmesi veya preslenmesi ile elde edilen soğuk şekillendirilmiş profillerin taşıyıcı sistemini oluşturduğu yapılar ise hafif çelik olarak ele alınmıştır.

Literatürde “*cold formed steel*”, “*light gauge steel*”, “*light weight steel*” olarak isimlendirilen elemanlardan oluşturulmuş yapıım sisteminin Türkçe’de tam karşılığı bulunmamaktadır. Yabancı literatürde, “*cold formed steel frame*”, “*light gauge steel frame*”, “*light weight steel frame*” olarak nitelenen taşıyıcı sistemler için Türkiye’de “hafif çelik” tanımlaması, yaygınlıkla kullanılmaktadır. Burada “çerçeve” tanımlamasının kullanılmamasının nedeni ise sistemin, konvansiyonel çelik strüktürlerde olduğu gibi, tam anlamıyla bir çerçeve çalışması göstermemesidir. Çalışmada, hafif çelik profil, hafif çelik eleman, hafif çelik yapı, hafif çelik strüktür nitelermeleri kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra bazı durumlarda daha açıklayıcı olacağı düşünülerek “soğuk şekillendirilmiş çelik” de kullanılmıştır.

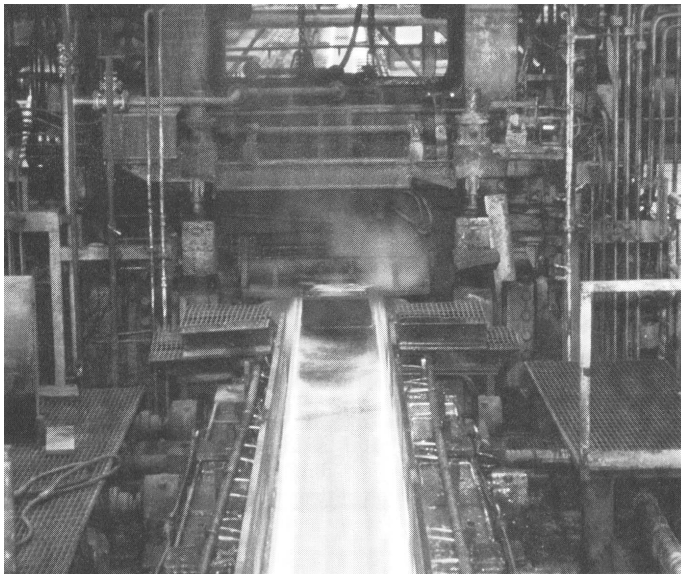
Konvansiyonel çelik malzeme ve profiller: Ergimiş çeliğin tavlانarak, haddeden geçirilmesi ile elde edilen malzeme ve profillerdir. I profiller, U profiller, köşebent, lama, dolu kesitli çubuklar, kutu ve yuvarlak kesitli profiller konvansiyonel çelik malzemeleri oluştururlar. Ayrıca kablo ve çelik levhalar da bu grubun içinde ele alınabilir (Şekil 1-1).



Şekil 1-1 Konvansiyonel çelik elemanlar [69, s.65]

Hafif çelik malzeme ve profiller: Kalınlığı 0.5 mm ile 2 mm arasındaki sacların soğuk hadde, presleme veya bükülmesi suretiyle elde edilen malzeme ve profillerdir. U profiller, C profiller, Σ profiller en yaygın kullanılan elemanlar olmakla birlikte çok daha farklı çeşitlerde profiller de elde edilebilir.

Sıcak hadde çekme: Tavlانmış sıcak çelik kütüklerin, silindirler arasından çekilmek suretiyle profillendirilmesi işlemidir (Şekil 1-2).



Şekil 1-2 Konvansiyonel çelik profillerin sıcak hadde çekme yöntemiyle üretimi. [12]

Soğuk hadde çekme: Sac levhalardan kesilmiş çelik şeritlerin, bir bant boyunca silindirler arasından çekilmesi suretiyle ya da presler ile bükülerek profillendirilmesi işlemidir. (Bu çalışmada “soğuk şekillendirme” olarak bahsedilecektir.)¹

Bunların dışında çalışmada bahsi geçen bazı kavramların da açıklanması ve tanımlanmasının, yararlı olacağı düşünülmüştür.

Çerçeve sistem: Dengede olacak şekilde birleştirilmiş kolon ve kiriş gibi doğrusal elemanların oluşturduğu karkas sistemdir.

Moment dayanımlı çerçeve: Çerçeve elemanlarının düşey ve yatay yükler karşısında moment aktaracak şekilde rijit bağlanması ile elde edilen çerçevelerdir.

Çaprazlı çerçeve (Kafes, perde): Mafsallı ya da rijit bağlantılı çerçeveye diyagonal elemanların eklenmesi yoluyla elde edilen kafes sistemdir. Bu sistemde, çerçeve düşey yükleri, çaprazlamalar ise yatay yükleri karşılayarak bir perde davranışı gösterir.

Taşıyıcı duvar: Yalnız bölücü olmayıp yükleri de taşıyan duvardır. Çevre sistemlerden farklı olarak, hafif çelik yapılarda dikmelerden oluşan karkas duvar bütünüyle ele alındığında, yapı yüklerine karşı yüzeysel davranış gösterir. Bu nedenle hafif çelik karkas duvar, taşıyıcı duvar olarak nitelenir.

Perde duvar: Yanal yüklere karşı rijitliğinin çaprazlamalar ile sağlandığı hafif çelik taşıyıcı duvarlardır.

Hafif çelik döşeme kirişlemesi: “Kirişleme” kelimesi Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğünde; “1. ahşap döşemelerde, yaklaşık 50 cm. ara ile kirişler atma. 2. Atılan kirişlerin tümü.” olarak açıklanmıştır. [49, s.266] Buradan yola çıkarak hafif çelik döşeme kuruluşunun ahşap döşemeler ile benzerlik göstermesi nedeniyle, çalışmada, döşemeyi oluşturan hafif çelik profil kirişlerden “kirişleme” olarak bahsedilmiştir.

¹ “soğukta şekillendirilmiş çelik” olarak da kullanılabilir.

Yapı gereci, yapı malzemesi: Yapı bileşenlerinin yapılmasında kullanılan işlenmemiş doğal (kum, çakıl, tomruk vb.) veya bir yapı elemanı niteliği kazanamayacak kadar az işlenmiş (ham demir, ham çelik, kereste, çimento, kireç, vb.) madde, yapı malzemesi. [49, s.479]

Yapı elemanı, yapı ögesi : Bir yapının, biçimlendirilmemiş yapı gereçlerinden meydana gelen ilksel parçası. Tuğlalar, briketler, kiremitler, karolar, büzler, madeni profiller (çelik, demir, alüminyum, vb.), ahşap ya da prekast beton parçalar yapı elemanlarıdır. [49, s.479]

Yapı bileşeni: Yapı elemanlarının çeşitli yöntemlerle, çeşitli şekillerde bir araya getirilmeleriyle yapılan ve yapı elemanı olarak adlandırılmayacak kadar karmaşık olan yapı parçası. Duvar, döşeme, kapı, pencere, çatı, temeller yapı bileşenidir. [49, s.479]

Yapım sistemi: Yapı öğelerinin bir bütün meydana getirecek tarzda düzenlenmesi, inşa sistemi: 'kutuçerçeve' bir yapı sistemidir, 'ahşap döşemeli yığma yapı' bir başka sistemdir. [49, s.479]

1.3 Çeliğin ve Hafif Çelik Sistemlerin Kullanım Alanları

Dövme ve su verme gibi yöntemlerle sertleştirilen demir ve alaşımlarının, yüzlerce yıldır geniş bir kullanım alanı vardır. Bu malzeme, 19. yüzyıla kadar mimaride, sadece kenet, gergi demiri veya korkuluk gibi tamamlayıcı, yardımcı veya süsleme elemanı olarak kullanılmıştır.

Endüstri Devrimi'nin getirdiği teknolojik gelişmeler, yeni bir malzeme olarak demirin mimaride strüktürel kullanımına ve bu sayede geniş açıklıklar geçilmesine olanak sağlamıştır. Tamamen metal taşıyıcılı yapıların ilki olarak gösterilen, İngiltere'de Severn Nehri üzerinde 31 m geçen, dökme demir köprü'nün yapım tarihi 1779'dur. Çelik, daha sonra, sağlamlık, esneklik ve uzama nitelikleri sayesinde dökme demirin yerini almıştır.

Yapısal çelik tarihinde kilometre taşı olarak kabul edilen yapı, Joseph Paxton tarafından, 1851'de Londra Hyde Park'ta yapılan "*Crystal Palace*"dır (Uluslararası Endüstri Fuarı Binası). Cam ve çelikten oluşan, 70.000 m²'lik yapı, 4 ay gibi o zamanın şartlarına göre kısa bir sürede bitirilmiştir. Hafifliği, şeffaflığı ve kısa sürede inşa edilmesi en önemli özellikleridir. [70] Bu ve benzeri örnekler, çelik strüktürün gelişiminin incelenmesi açısından önemlidir.

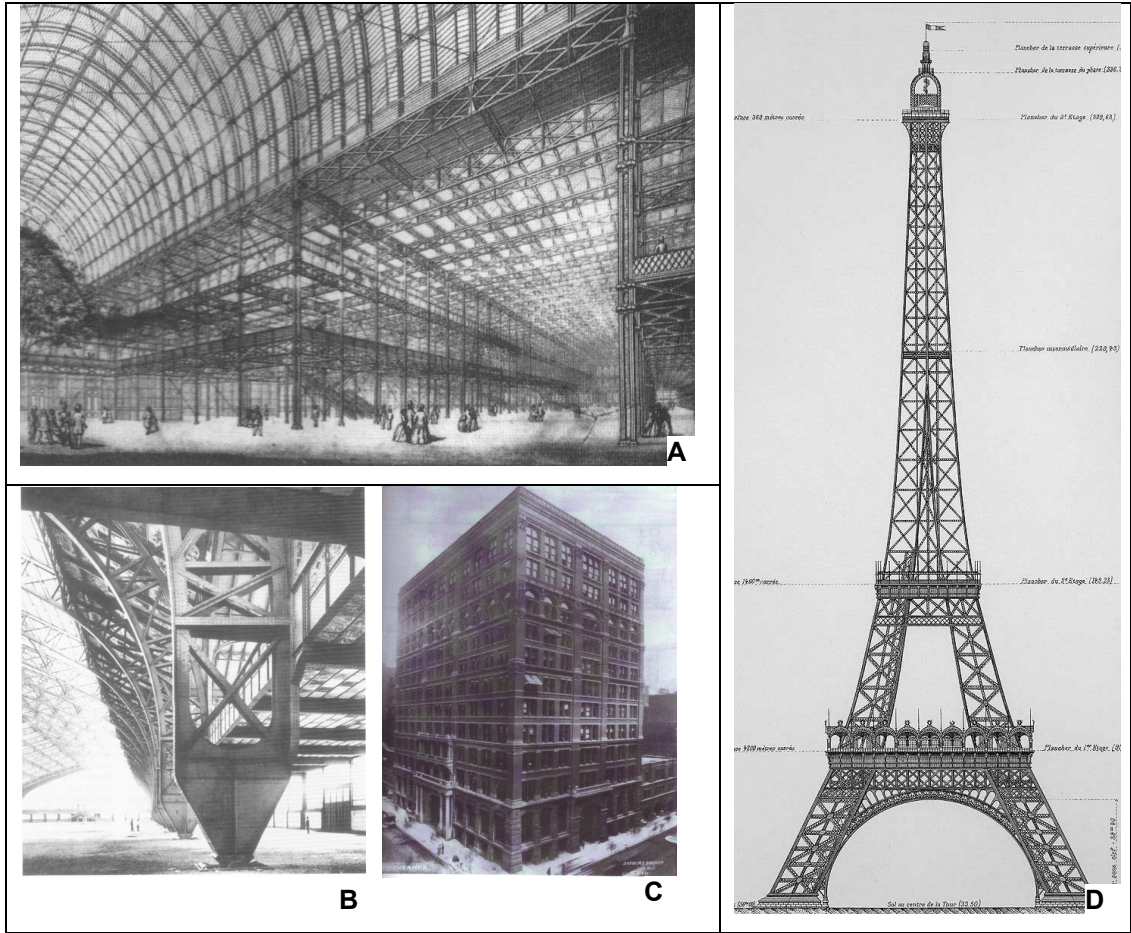
Endüstri Çağı'yla birlikte, geleneksel yapım yöntemleri yerlerini, çeliğin de aralarında bulunduğu endüstriyel yapı malzemeleri ve teknolojilerine bırakmıştır. Metallerin bina yapımında taşıyıcı eleman olarak kullanımı, 19. yüzyılın ilk yarısı itibariyle Kuzey Amerika ve Avrupa'da başlamıştır. Fakat dökme demirin kırılgan, dövme demirin ise pahalı olmasından ötürü çok sınırlı alanlarda kullanılmışlardır.

Çeliğin ucuzlaması ve kolay elde edilebilir olması, 1850'lerde Bessemer yönteminin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Bu yöntemde, dökme demire, saflığını bozan maddeleri yakmak amacıyla sıcak hava verilir. Bu, 20 dakika gibi bir sürede, çok miktarda demirin çeliğe dönüştürülmesi anlamına

gelmektedir ve sonuçta oluşan çeliğin taşıyıcı özellikleri dökme demirinkinden çok daha üstündür. Diğer bir ekonomik çelik üretim yöntemi de, 1868'de Avrupa'da geliştirilen ve yakın zamanda da Amerika'da kullanılmaya başlanan açık ocak yöntemidir. [33, s.13]

1855 yılında Bessemer, 1856 yılında Martin, 1878 yılında da Thomas olarak adlandırılan üretim yöntemlerinin geliştirilmesi, çeliğin endüstriyel üretimini yaygınlaştırmış ve mimaride ve mühendislikte çok geniş olanaklar sağlamıştır. [124]

Mimar Charles Dutert ve mühendis Victor Contamin tarafından, 1889 yılında tasarlanan Paris Dünya Fuarı Makine Galerisi'nin 47 m. yüksekliğindeki ve 117 m. açıklık geçen kemer şeklinde kafes kiriş çerçeveleri, geniş açıklıklarda çelik malzeme kullanımına önemli bir örnek teşkil etmektedir. 1891 yılında, Gustav Eiffel'in Paris Fuarı için tasarladığı Eiffel Kulesi ve William LeBaron Jenney tarafından tasarlanan, gerçek anlamda ilk gökdelen sayılan çelik çerçeve strüktürlü "*The Home Insurance Co. Building*" çelik yapım teknolojisinin kilometre taşlarıdır. [12] (Şekil 1-3)



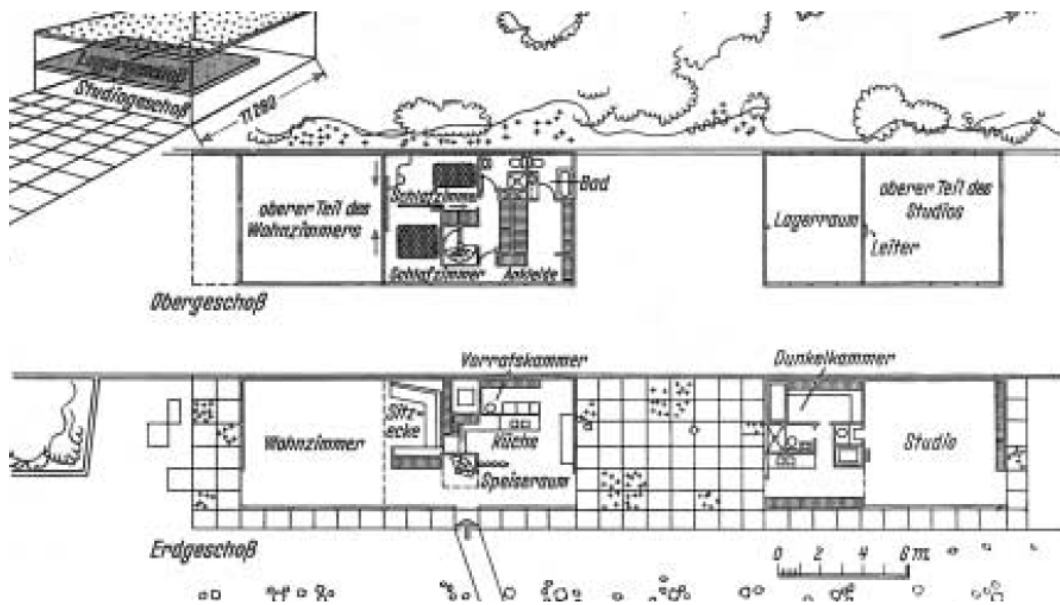
Şekil 1-3 (A) Crystal Palace, (B) Paris Dünya Fuarı Makine Galerisi , (C) “The Home Insurance Co. Building”, (D) Eiffel Kulesi [12]

Çeliğin yapıda kullanımı, 30’lu yıllardaki ekonomik bunalımdan ve 2. Dünya Savaşı’ndan olumsuz etkilenmiştir. Ancak, sonraki yıllarda geniş açıklıklı ve yüksek yapılar başta olmak üzere, yaygınlıkla kullanılan bir malzeme olmuştur. ABD’de, 2. Dünya Savaşı sonrasında, konvansiyonel çelik profiller genellikle çok katlı büro binalarında kullanılmıştır.

Eames gibi mimarlar ise konut yapılarında çeliğin kullanılmasına öncülük etmişlerdir (Şekil 1-4, Şekil 1-5). Ancak konvansiyonel çelik profiller ile yapılan konutlar ancak prestij yapı alanında kalmıştır. [57]



Şekil 1-4 Charles ve Ray Eames, Eames evi, Los Angeles, Kaliforniya, ABD, 1949. [104]



Şekil 1-5 Charles ve Ray Eames, Eames evi modüler planı, Los Angeles, Kaliforniya, ABD, 1949. [104]

Hafif Çeliğin Mimaride Kullanımı

Soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanlardan oluşan hafif çelik yapıların ortaya çıkışı, 20. yüzyılın başında uçak endüstrisinin hem hafif hem de taşıma kapasitesi yüksek elemanlara ihtiyaç duymasına dayanmaktadır. Bu konu ile ilgili araştırmaların artmasına ve tekniğin gelişimine önayak olan diğer bir sektör de otomobil endüstrisidir. 1. Dünya Savaşı sonrasında, soğuk şekillendirilmiş ince levhalar, gerektiğinde demiryolu vagonlarında ve otomobil endüstrisinde kaporta malzemesi olarak kullanılmıştır.

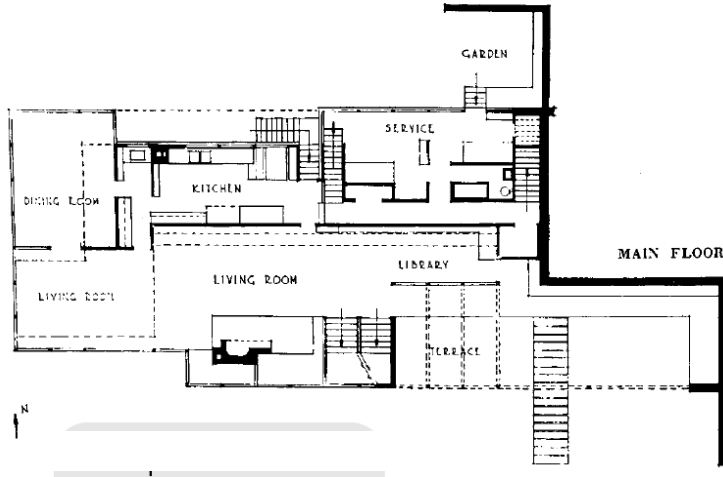
Çeliğin elde edilme yöntemlerinin geliştirilmesi ve yapılarda yoğun şekilde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, soğuk şekillendirilmiş çelik profiller de konstrüksiyonlara girmeye başlamıştır. Daha sonra, 2. Dünya Savaşı'nda ortaya çıkan çelik malzeme azlığı, soğuk şekillendirme tekniğinin daha da gelişmesine ve yaygınlaşmasına neden olmuştur.

Hafif çeliğin yapı endüstrisine girişi, soğuk şekillendirilmiş çelik panel malzemelerin çatı kaplaması ve (kör döşeme diye de adlandırılan) çelik yapıların iskelet döşemesi olarak kullanılmaya başlanması ile olmuştur. ABD'deki yapı üreticileri, ahşap yapı teknolojisinden de yararlanarak hafif bükme profillerle hafif çelik yapı teknolojisini geliştirmişlerdir. [33, s13]

Hafif çelik yapı sistemlerinin ilk uygulamaları ABD ve İngiltere'de inşa edilen, yanmaz film stüdyosu konstrüksiyonları olmuştur. Bu sıralarda Richard Neutra tarafından tasarlanan Lovell Evi, hafif çelik sistem prensipleriyle çok kısa bir zamanda tamamlanmış ve çok popüler olmuştur (Şekil 1-6, Şekil 1-7). Hafif çelik sistemli ilk prefabrike yapı, ABD'de, Chicago'da 1933 yılında düzenlenen yapı fuarında resmi olarak tanıtılmıştır. [33, s14-15]



Şekil 1-6 Lovell Evi, Richard Neutra, 1929 [48, s.191]]



Şekil 1-7 Lovell Evi planı, Richard Neutra, 1929 [104, s.5]

Hafif çeliğin kullanımı, yakın tarihte, özellikle ABD ve İngiltere’de giderek artmış; diğer Avrupa ülkeleri de bu gelişimi izlemiştir. Ancak bu yapım tekniğinin boyutlandırma kurallarının konvansiyonel çelik yapılardan farklı olması ve göz önünde bulundurulması gereken mekanizmaların fazlalığı nedeniyle uygulama hızı üreticilerin beklentisinin altındadır. [26, s.24]

Soğuk şekillendirilmiş hafif çelik malzemeler, 1950’lerden sonra, konvansiyonel çelik yapıların döşeme, bölücü duvar ve cephe sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1-10). Hafif çelik profillerin strüktür kuruluşunu oluşturduğu ve “*light gauge steel systems*” olarak nitelenen yapılar, 1970 sonrasında, Kuzey Amerika’da hızla –özelikle konut alanında-

üretmişlerdir. Bugün, bu yöntem, Amerika başta olmak üzere Almanya, İngiltere, Japonya ve Kuzey Avrupa ülkelerinde, özellikle az katlı ve küçük yapılarda kullanılmaktadır (Şekil 1-8, Şekil 1-9). Bunun dışında, hafif çatı makasları ve giydirme cephe konstrüksiyonlarında da sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 1-8 1950'li yıllarda Japonya'da hafif çelik sistem ile inşa edilmiş apartman. [137]



Şekil 1-9 1950'li yıllarda Japonya'da hafif çelik sistem ile inşa edilmiş okul. [137]



Şekil 1-10 Hafif çelik profillerin giydirme cephe kuruluşunda kullanımı. [12]

2 HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNİN KONSTRÜKSİYON KURULUŞU

Hafif çelik sistemlerin yapısal özelliklerinin incelenmesi bu çalışmanın ana eksenini oluşturmaktadır. Bu amaçla, hafif çelik yapı sistemlerinin konstrüksiyon kuruluşları, yapısal özellikleri temel alınarak 4 ana başlık altında incelenecektir. Birinci başlık altında elemanlar, ikincide yapı sistemi bileşenleri, üçüncüde taşıyıcı sistem kuruluşu ve yapım yöntemleri, dördüncü ve son başlıkta da diğer strüktürlerle kompozit kullanım olanakları irdelenecektir.

2.1 Kullanılan Elemanlar ve Özellikleri

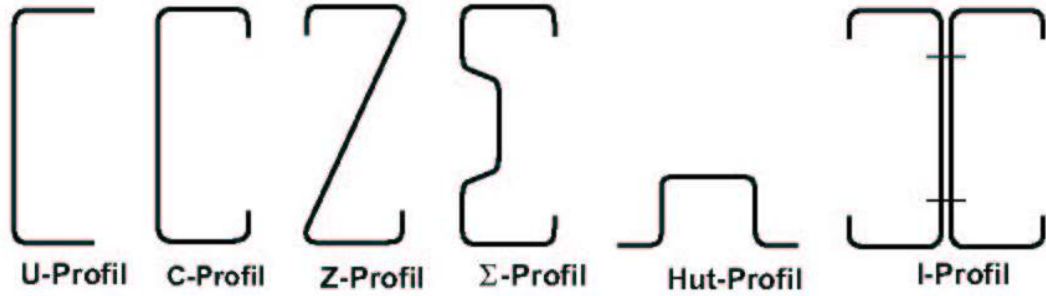
Hafif çelik yapı sistemlerinin kuruluşunda kullanılan elemanlar; hafif çelik yapı elemanları, montaj elemanları ve tamamlayıcı elemanlar olarak özetlenebilir.

2.1.1 Hafif Çelik Yapı Ürünleri ve Elemanları

Yapılarda, ana taşıyıcı konstrüksiyonu oluşturan soğuk şekillendirilmiş profiller ile gergi, kayıt, kuşak, çaprazlama gibi rijitleyici ya da yardımcı elemanlar hafif çelik yapı elemanları içinde yer alır. Ayrıca çeşitli çelik sac ve levhalar da hafif çelik yapı elemanları başlığı altında incelenebilirler. Genellikle döşeme kuruluşunda kullanılan trapez veya oluklu levhalar yine çelik sac veya levhaların soğuk bükümü, veya preslenmesi ile oluşturulurlar.

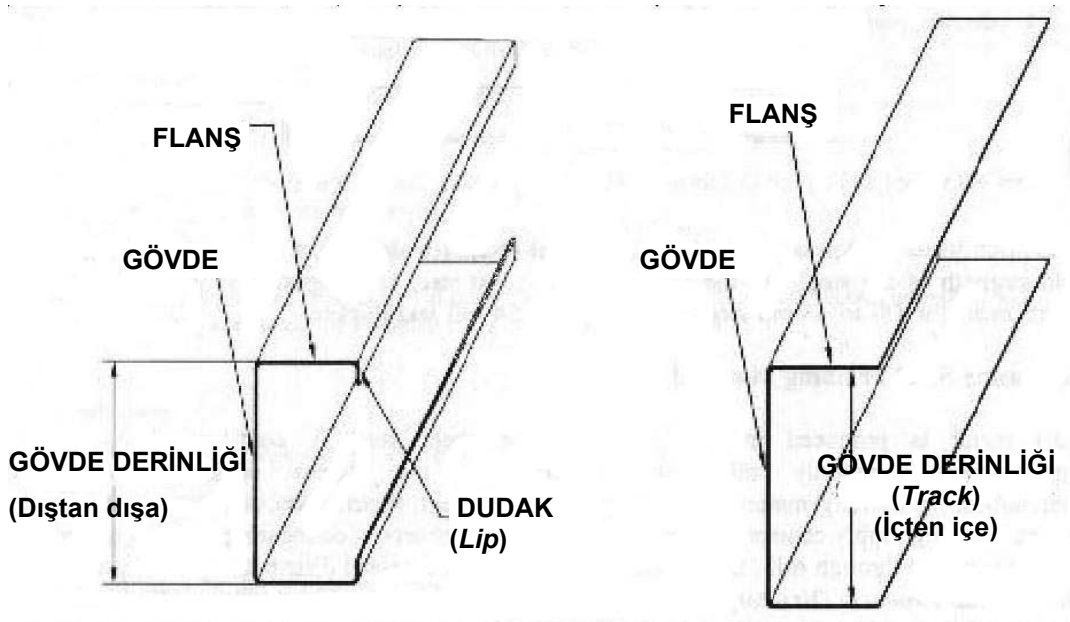
2.1.1.1 Hafif Çelik Profiller

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



Şekil 2-1 Hafif çelik yapılarda kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik profiller. [103]

Hafif çelik yapıda sıklıkla kullanılan C profilleri flanş (başlık) (*flange*), gövde (*web*), ve dudak (*lip*) kısımlarından oluşur ve ölçülendirilmeleri flanşların dışından dışındadır. U (*track*) profilleri ise sadece flanş ve gövde kısımlarından oluşup, ölçülendirilmeleri flanşların içinden içinedir (Şekil 2-2).



Şekil 2-2 C ve U profillerini oluşturan kısımlar. [84]

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

Amerika, Kanada ve İngiltere gibi ülkelerde kullanılan inch, feet, gibi ölçü birimlerinin, hesaplar sırasında virgülden sonraki rakamların karışıklık yaratması sebebi ile flanş, gövde ve dudak boyutları gerçek boyutun 100 katı ile ifade edilir. Profil kalınlığı ise, 1000 katı ile, “Mil” adı verilerek ifade edilir. Örneğin gövde boyu 5.5 inch, flanş genişliği 1,62 inch ve kalınlığı 0.054 inch olan bir profil 550-162-54 Mil olarak ifade edilir. Ayrıca elemanın kullanacağı açıklıklar için çelik kalınlıkları, Amerikan soğuk şekillendirilmiş çelik üreticileri tarafından “Gauge”² olarak sınıflandırılır. [84] Buna göre kullanılan minimum kalınlıklar Tablo 2-1’deki gibidir:

Tablo 2-1 Hafif çelik “gauge”, sınıflandırmasının, inch, Mil, milimetre karşılıkları

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

Tablo 2-2 CABO ve ICBO standartlarına göre flanş boyutuna bağlı olarak minimum kullanılacak çelik kalınlığı ve dudak boyutu.

Çelik kalınlığı	Flanş genişliği (inch)	Dudak genişliği (inch)
0.0179”- 0.0329 inch	1.125” inch	0.1875” inch
Tüm kalınlıklar	1.375” inch	0.375” inch
Tüm kalınlıklar	1.625” inch	0.500” inch
Tüm kalınlıklar	2.000” inch	0.625” inch
Tüm kalınlıklar	2.500” inch	0.625” inch

² Gauge kelimesinin, Türkçe karşılığı olarak ölçü kelimesi kullanılabilir.

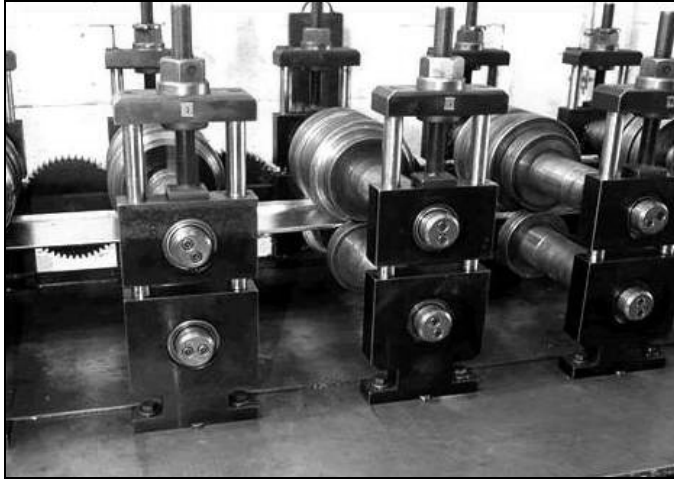
Alman DAST-Richtlinie 016 ve (Avrupa Birliği'nde kullanılan) Eurocode 3 Standartları'nda, hafif elik eleman olarak taşıyıcı sistemde kullanılabilir elik kalınlığı; minimum 1 mm olmak üzere 1 mm ile 2.5 mm arasında belirlenmiştir. Standartlar, 0.6 mm ile 1 mm arasında cidar kalınlıkları olan profillerin taşıyıcı olmayan bölücü duvarlarda (*akustikprofile*) veya bölücü elemanlarda kullanılmalarına izin vermiştir. [34]

Hafif elik sistemlerde kullanılan elik malzemenin üretimi, fabrikalarda, endüstriyel standartlara göre seri olarak yapılır. Ergimiş elik, üretim bandında silindir veya presleme yöntemi ile levha ya da rulo sac haline dönüştürölür. Üretim sırasında uygulanan silindir veya presleme işlemi, çeliğin kristal yapısındaki boşlukları nispeten ortadan kaldırdığı için elik malzemenin homojenlik, izotrop ve dayanım özelliklerine katkıda bulunur. Bu aşamadan sonra levha veya rulo sac halindeki elik uygun boyutlarda kesilir. Kesilmiş levha elik, pres kalıp, silindir kalıp veya bükme işlemi (soğuk şekillendirme yöntemi, *Cold-Forming*) ile profillendirilir (şekil 2-3, şekil 2-4, şekil 2-5). şantiye alanında kesme işlemini en azda tutmak için profiller, üretim esnasında uygun boyutlarda kesilir. Üretici firmanın ayrıntılı bir kesim listesinin bulunması, şantiye süresinin kısalmasına yardımcı olur. Daha çok pano elemanlı sistemler veya hücreli sistemlerde profiller, projeye göre üretim aşamasında kesildikleri için şantiyede ayrıca kesme işlemi yapılmasına gerek duyulmaz. elik, levha halindeyken galvanizleme işlemine tabi tutulabildiği gibi uygun profillendirilmiş ve kesme tablosuna göre boyutlandırılmış elemanlar şeklinde de galvanizlenebilir.

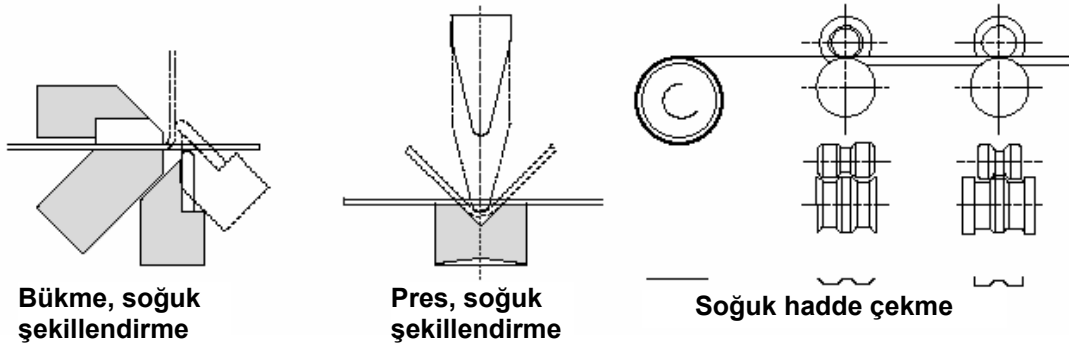
Pano elemanlı sistemler veya hücreli sistemlerde olduğu gibi, hafif elik elemanlar, tüm şekillendirme, kesme, delme ve prefabrikasyona göre boyutlandırma işlemlerinin ardından galvanizlendiği taktirde, sonradan kesme veya delme yapılmasına ihtiyaç duyulmadığından çinko kaplamanın zarar görmesi engellenmiş olur.



Şekil 2-3 Çelik levhanın bükülerek soğuk şekillendirilmesi. [143]



Şekil 2-4 Üretim bandında silindir presler ile soğuk şekillendirme. [113]

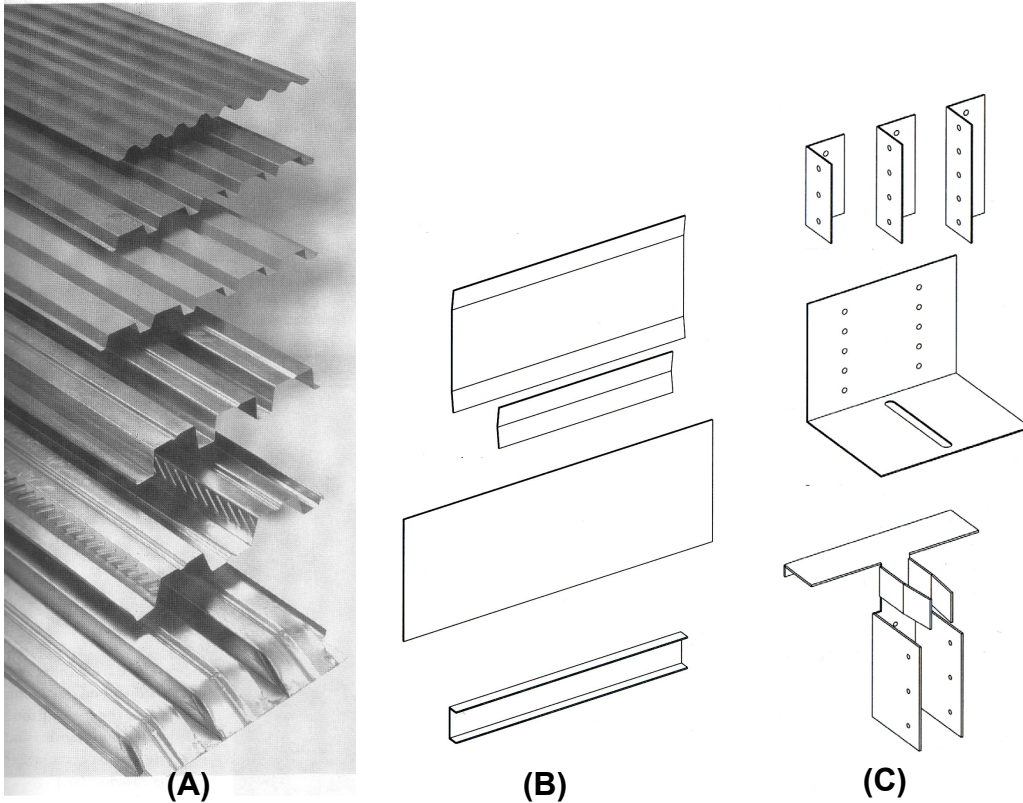


Şekil 2-5 Hafif çelik profillerin üretimi. [103],[113]

2.1.1.2 Levhalar, Trapez Levhalar ve Şeritler

Hafif çelik çerçevelerin çaprazlamalar ile dikme veya kirişlerin birleşim noktalarında, bağlantı yüzeyini artırmak amacıyla çelik levhalar kullanılabilir. Bu levhalar, kullanılan profillerden ince olmayacak şekilde boyutlandırılırlar. Bağlantı noktalarının rijitliğini artırmak için kullanılan köşebentler, çelik levhalardan oluşturulurlar (Şekil 2-6-(C),). Çelik şeritler ise, çaprazlamalar şeklinde veya dikmeler, kirişlemeler arasında kuşaklamalar şeklinde kullanılır (Şekil 2-6-(B),).

Trapez levhalar, profillerin aksine doğrusal değil yüzeyel elemanlardır. Profiller gibi çelik sac ve levhaların soğuk şekillendirilmesi ile oluşturulurlar (Şekil 2-6-(A)). Ağırlıklı olarak döşeme kuruluşunda kullanılırlar.



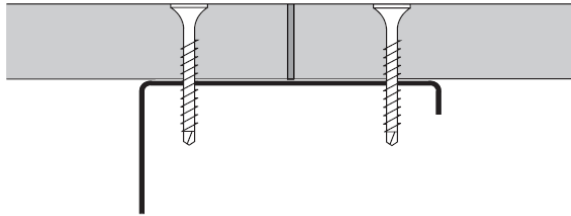
Şekil 2-6 Çeşitli, soğuk şekillendirilmiş trapez levhalar (A), çelik levha ve şeritler (B), köşebent ve çeşitli bağlantı elemanları (C). [12, s.385],[103]

2.1.2 Montaj Ürünleri ve Elemanları

Hafif çelik yapı elemanlarının montajında kullanılan elemanlar, sağlamlık, ekonomiklik ve üretim hızı bakımından önemlidir. Montaj elemanları ve yöntemleri, vida ve bulon, perçin, çivi, kaynak gibi bağlantı elemanları ile ankraj elemanları olarak ele alınabilir.

2.1.2.1 Vidalar

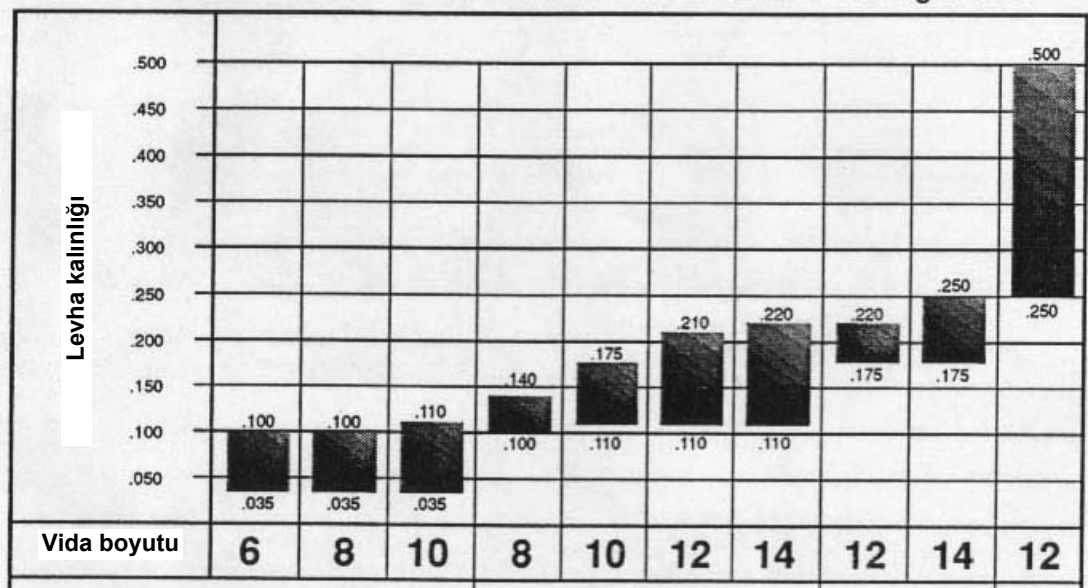
Hafif çelik yapıların montajında kendinden delme özelliği olan vidalar (*Self-Drilling Screws*) kullanılır (Şekil 2-7). Bir vidanın delebileceği malzeme kalınlığı vidanın ucundaki kesici kısmın uzunluğuna bağlıdır (Şekil 2-8, Şekil 2-9). Vida başları, farklı amaçlarda kullanılmak üzere çok çeşitli olarak üretilirler. Çeliğin yine çelik ile tespitinde düz başlı vidalar kullanılırken (Şekil 2-12), kaplama malzemelerinin birbirine ya da kaplama malzemesinin çeliğe tespitinde konik başlı vidalar tercih edilir (Şekil 2-11). Bazı vidalar çok amaçlı olarak kullanılabilir (Şekil 2-10). 0.0359 inch'ten (0.88 mm) daha ince levhalarda, kendinden delme özelliği olan vidalar kullanılmaz. [27],[8]



Şekil 2-7 Kendinden delme özelliği olan vidalar ile montaj. [103]



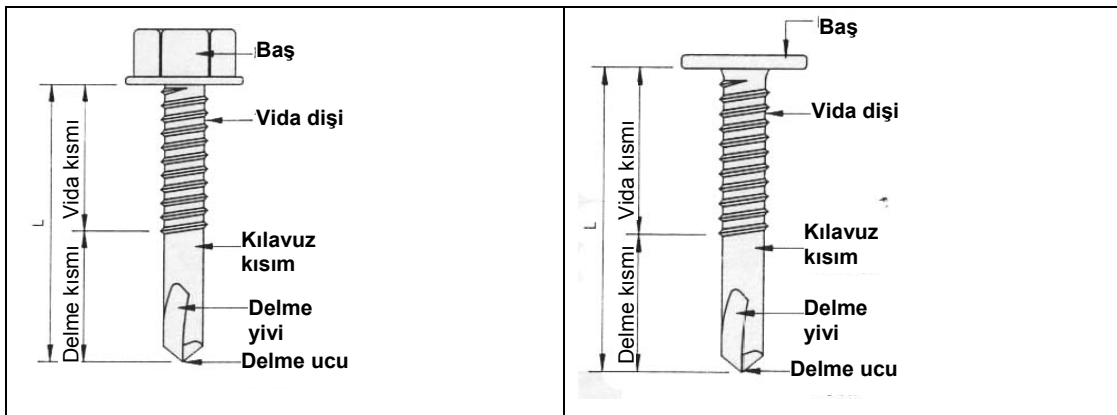
Şekil 2-8 Kendinden delme özelliği olan vida ve 0.88 mm'den ince kalınlıklarda kullanılabilen vida [67]



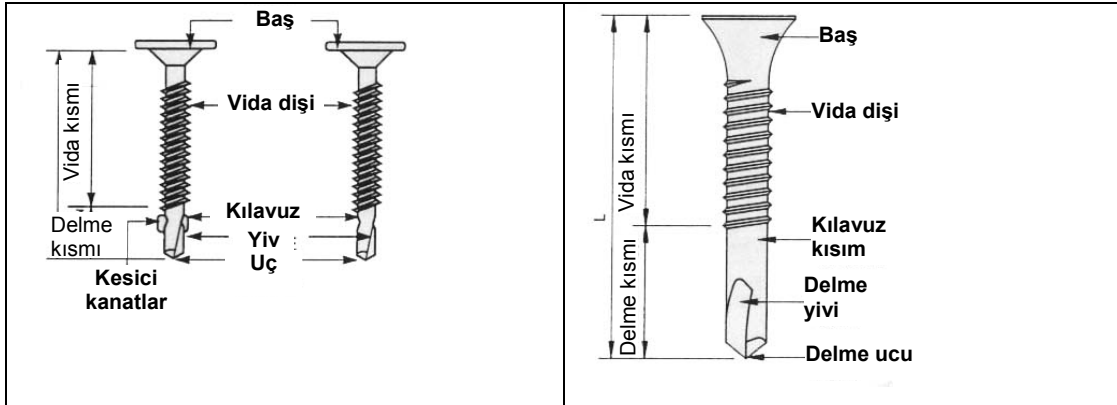
Şekil 2-9 Standart, kendinden delme özelliği olan vidalar için levha kalınlığı tablosu [67]

Tablo 2-3 Vida numarası ve vida çapı [67]

Vida numarası	6#	8#	10#	12#	14#
Vida çapı	0.138" (3,5 mm)	0.164" (4,2 mm)	0.190" (4,8 mm)	0.216" (5,5 mm)	0.250" (6,4 mm)



Şekil 2-10 Çelik-çelik ve kaplama- çelik tespitinde kullanılan farklı başlı vidalar [67]



Şekil 2-11 Sadece kaplama- çelik tespitinde kullanılan vidalar [67]



Şekil 2-12 Sadece çelik-çelik tespitinde kullanılan vidalar [67]

2.1.2.2 Bulonlar

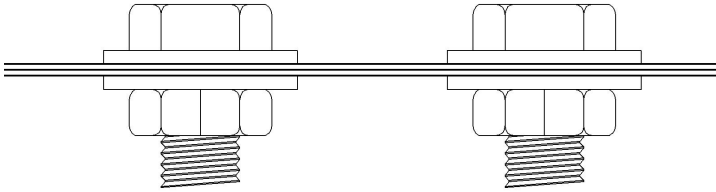
Hafif çelik sistemlerde bulonlu bağlantılar genellikle hafif çelik elemanların, beton veya diğer çelik elemanlar ile birleşimlerinde (Şekil 2-13) kullanılır.[8] Bunun dışında hafif çelik elemanların hafif çelik elemanlara bağlantısında da pek yaygın olmamakla birlikte kullanılır.(Şekil 2-14) Bulonlar ile bağlantı, hafif çelik elemanlarda önceden hazırlanmış deliklerden bulonların geçirilmesi ve diğer ucuna somun takılıp bir anahtarla sıkıştırılması ile gerçekleştirilir. Hafif çelik elemanlar üzerine açılan bulon delikleri, bulon çapından biraz daha geniş olmalıdır (Tablo 2-4).

Tablo 2-4 bulon çapına bağlı olarak delik boyutları [8, s. 7]

Bulon Çapı	Standart Delik çapı
½ " küçük bulon çapı	d + 0,8 mm
½ " büyük bulon çapı	d + 1,6 mm



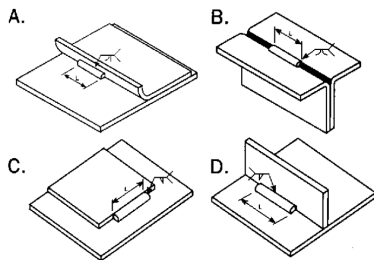
Şekil 2-13 Hafif çelik profil dikmelerin beton zemine, bulonlu montajı. [95]



Şekil 2-14 Hafif çelik sistemlerde bulonlu birleşim [96]

2.1.2.3 Kaynak

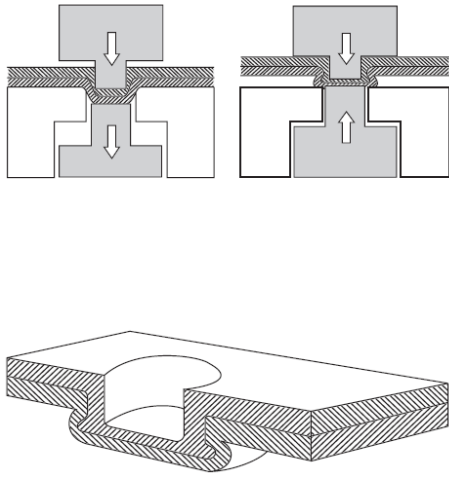
Kaynak, hafif çelik sistemlerde vida ve bulonlardan sonra en çok kullanılan bağlantı şeklidir. Elektrik arkı ile elde edilen yüksek ısı vasıtasıyla çelik elemanların bağlantı noktalarında eriyerek birbirine kaynaması sağlanır (Şekil 2-15). Elde edilen bağlantı vida ve bulonlara göre daha rijittir. Ancak, kaynak sırasında galvaniz kaplamalarının zarar görmesi, şantiye şartlarında kalite kontrolünün zor olması, ağır kaynak makinesinin taşınma güçlüğü, dezavantajlarıdır. [8],[32] Ayrıca vida ve bulonlar ile yapılan montaja göre daha fazla zaman alır ve sökülmesi ve değiştirilmesi güçtür.



Şekil 2-15 Kaynak ile montaj [8]

2.1.2.4 Punto ve Perçinler

Punto ile montaj, çelik-çelik birleşiminde kullanılan yöntemlerden biridir (Şekil 2-16). Hidrolik veya hava kompresi ile çalışan özel punto aletleri ile, çelik levhaların birbirine noktasal preslenmesiyle montaj gerçekleştirilir (Şekil 2-17). Punto³ ile montaj, aslında bir tür soğuk şekillendirmedir. Bu tür bir montajda daha sonradan elemanların sökülmesi kolay değildir ve sökülen elemanların tekrar kullanılması zordur. [55] Ayrıca punto noktalarında, ezilen profillerin galvaniz kaplaması zarar görebilir.



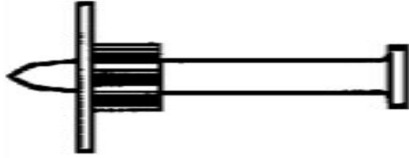
Şekil 2-16 Punto ile montaj [103, s.21]



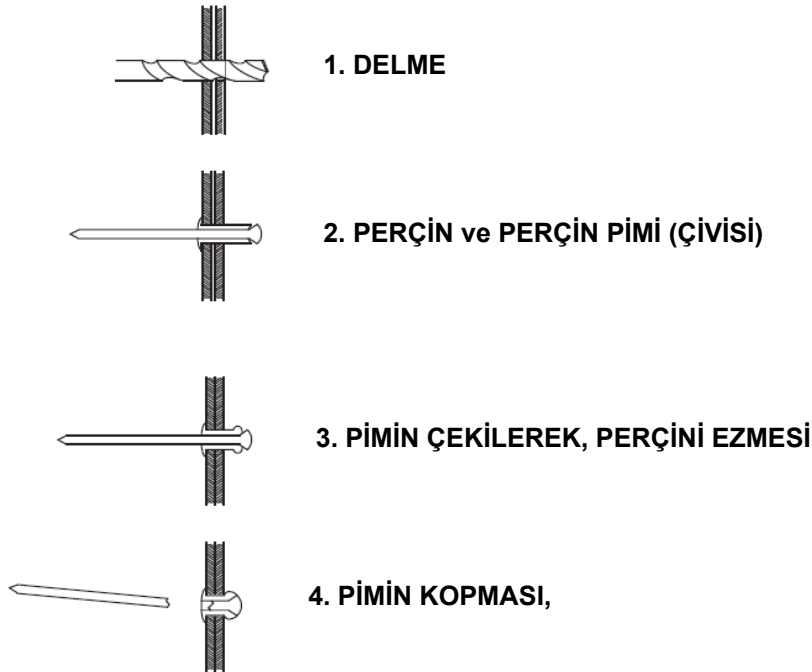
Şekil 2-17 Hidrolik veya hava kompresi ile çalışan punto aleti [55]

³ Punto, yabancı kaynaklarda "clinched" olarak geçmektedir.

Perçin ile montaj, hafif çelik profiller üzerinde önceden açılan deliklere yerleştirilen sert alüminyum veya yumuşak çelik alışımlı perçinlerin ezilmesi ile gerçekleştirilir. Özel tabancalar vasıtasıyla perçin içinden kopuncaya kadar çekilen perçin pimi (çivisi), perçini ezerek sıkıştırır ve böylece montaj gerçekleştirilmiş olur (Şekil 2-18),(Şekil 2-19). Perçin ile montajda, elemanların sonradan birbirinden ayrılması, ancak perçinin kesilmesi ile mümkündür.[8] Kendinden delme özelliği olan vidalar ve puntolar ile kıyaslandığında, perçinler ile montaj, perçin yuvası için önceden delme gerektirdiğinden, daha yavaştır. Ayrıca, kopan ve atılan perçin pimi (çivisi), malzeme kaybına neden olur.



Şekil 2-18 Perçin ve perçin pimi (çivisi) [8]



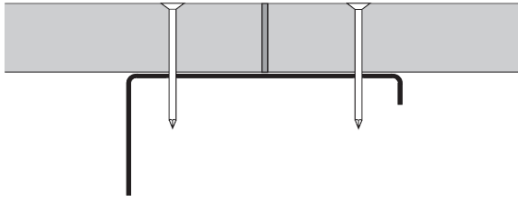
Şekil 2-19 Perçin ile montaj aşamaları [103]

2.1.2.5 Çiviler

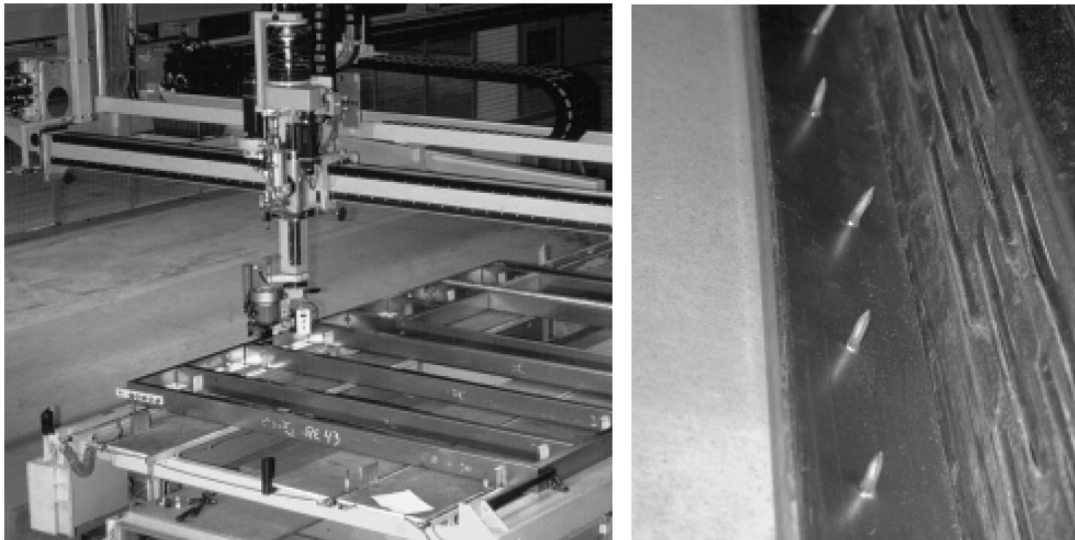
Özel yivli çiviler ile montaj -pek yaygın olmamakla birlikte- hafif çelik elemanların montajında kullanılan yöntemlerden biridir (Şekil 2-20). Genellikle kaplamaların, hafif çelik profillere montajında kullanılır (Şekil 2-21)i Hava kompresi ile çalışan çivi tabancalarıyla montaj, oldukça hızlı gerçekleştirilir. Ayrıca robot kollar ile yapılan seri üretime kolay uyarlanabilir (Şekil 2-22).[103]



Şekil 2-20 Hafif çelik elemanların montajında kullanılan yivli çivi [8]



Şekil 2-21 Kaplama elemanların, profillere çiviler ile montajı [103]



Şekil 2-22 Hafif çelik sistemlerde robotlar ile montaj- Çiviler ile montaj [103, s.22]

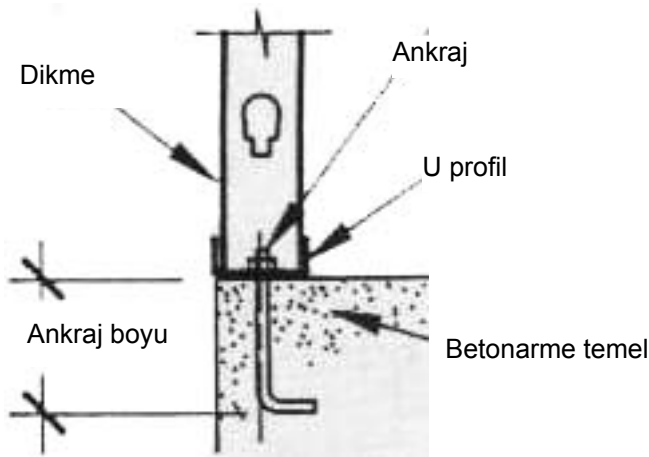
Montaj elemanları, Tablo 2-5'de olduğu gibi özetlenebilir.

Tablo 2-5 Montaj elemanlarının karşılaştırılması

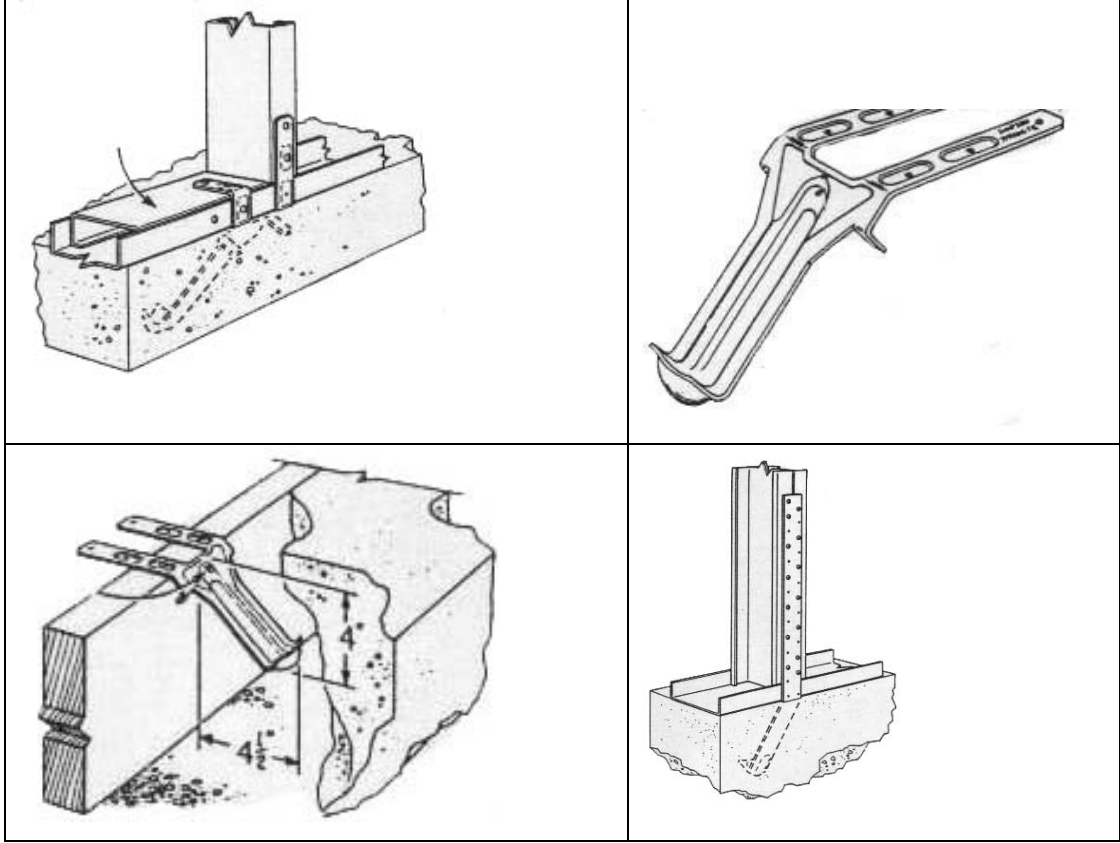
	Uygulama kolaylığı	Montaj aşamaları	Montaj hızı	Bağlantı rijitliği	Tekrar sökülebilirlik	Özel ekipman gerekliliği
Vida	Kolay	Bir aşamalı (delme ve montaj birlikte)	Hızlı	Orta	Kolay sökülebilir	
Bulon	Orta	İki aşamalı 1. delme 2. montaj	Orta	Yüksek	Kolay sökülebilir	
Punto	Kolay	Bir aşamalı 1. ezme	Hızlı	Orta	Sökülemez	Gerekli
Perçin	Orta	İki aşamalı 1. delme 2. montaj	Orta	Orta	Sökülmesi zor	Gerekli
Çivi	Kolay	Bir aşamalı (delme ve montaj birlikte)	Hızlı	Düşük	Kolay sökülebilir	
Kaynak	Zor	Dört aşamalı 1. temizleme 2. montaj 3. düzeltme 4. temizleme	Yavaş	Yüksek	Sökülemez	Gerekli

2.1.2.6 Ankraj Bulonları

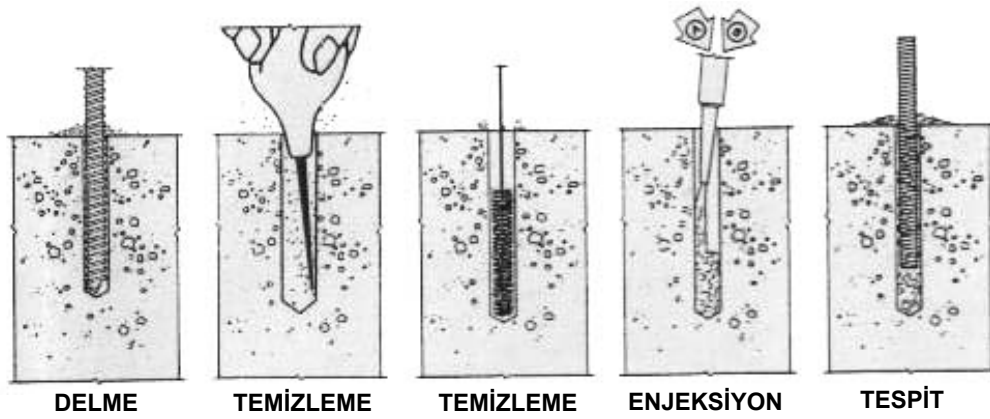
Hafif çelik yapı sistemlerinde, duvarlar temellere ankrajlar ile monte edilirler (Bkz. 2.2.1 Temeller). Kullanılan ankrajın, betonarme olarak inşa edilen temelin içine giren kısmının boyu en az 10 inch (25.5 cm) olmalıdır. Temel içinde, boyunun en az üçte bir uzunluğunda, büküm oluşturmalı ve bu noktalardan betonarme donatısına bağlanmalıdır. Ankraj çubuklarının çapı minimum 0.5 inch (12.5 mm) olmalıdır (Şekil 2-23). Bunun dışında, temele ankre edilen özel elemanlar da vardır (Şekil 2-24). Bu elemanlar ile dikmelerin de temele bağlanabilmeleri sağlanır. [67] Hafif çelik strüktüre özel bu elemanların teknik özellikleri ve montaj şartları üretici firmalarca belirtilmiştir. Ayrıca kimyasal dübeller kullanılarak da tespit yapılabilir. Kimyasal dübel kullanılarak yapılan montajlarda delme derinliğinin en az 4.5 inch (11.5 cm) ve çubuk uzunluğunun en az 0.5 inch (12.5 mm) olması gerekir (Şekil 2-25). Farklı karışımlardan oluşan kimyasal dübel yerleştirildikten sonra, 38 °C sıcaklıkta 12 saat ve 5 °C sıcaklıkta 72 saat sonra beton içinde tam bir aderans oluşturur. [67] Kimyasal bağlayıcılar genellikle, epoksi esaslıdır.



Şekil 2-23 Betonarme ankraj [67]



Şekil 2-24 Özel ankraj elemanları ile dikme ve alt başlıkların tespiti [67]



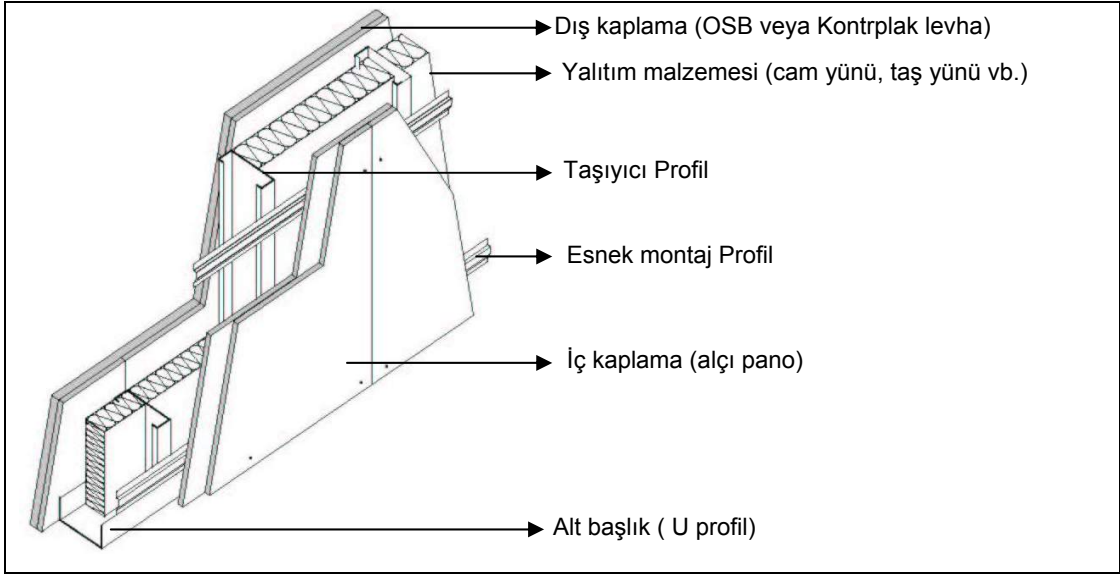
Şekil 2-25 Kimyasal dübel ile montaj aşamaları [67]

2.1.3 Tamamlayıcı Malzemeler ve Elemanlar

Hafif çelik yapı sistemlerinin konstrüktif kuruluşunda, kaplama elemanları, çeşitli yalıtım ve bitirme malzemeleri tamamlayıcı olarak kullanılırlar. Taşıyıcı çerçeve ve döşeme yüzeyleri genellikle kontrplak (*plywood*), OSB (*Orient Strand Board*) veya alçı levhalardan oluşturulur. Alçı levhalar; 120, 122 veya 125 cm eninde, 200cm ile 400 cm arasındaki boylarda, 9.5, 12.5, 15 ve 18 mm kalınlıklarda üretilir. OSB levhalar ve kontrplak (*plywood*) levhalar ise; 120x240cm, 120x360cm, 122x244cm, 122x366cm, 125x250cm, 170x220cm ve 180x220cm gibi farklı boyutlarda; 10mm ile 15 mm arasındaki çeşitli kalınlıklardadır. Bunların dışında farklı kalınlık ve boyutlarda da yapay ahşap levhalar üretilebilir.

Kullanılacak alçı levhaların yangına dayanıklı B1 sınıfı (alev almaz) DIN 4102 ve TS 452 standartlarına uygun olması, yapay ahşap levhaların TS180, TS2129 ve TS46 standartlarında belirtilen özelliklere sahip olması gerekir. Yangın direncinden ötürü alçı levhalar genellikle iç yüzeylerde duvar kaplaması olarak tercih edilirken, OSB veya kontrplak dış kaplama, döşeme ve çatı kaplaması olarak kullanılabilir. Döşeme ve duvarlarda hafif çelik konstrüksiyon arasında, 50-80 mm kalınlıklarında A sınıfı, (yanmaz) (DIN 4102) cam yünü, taş yünü gibi yalıtım malzemeleri kullanılarak ısı ve ses yalıtımı sağlanır.

Bunun yanı sıra, özellikle çatıda, su sızdırmazlık için bitüm esaslı membran, buhar kesici olarak da PVC polietilen levhalar kullanılır (Şekil 2-26). Dış duvarlar, genellikle 20-35 mm kalınlıktaki polistren üzerine cam elyaf kanaviçe ve ince sıva uygulanarak (B1 sınıfı, alev yürümez, DIN 4102) tamamlanabilir. Islak hacimlerde döşeme, membran ile su yalıtımı sağlandıktan sonra 3-4 cm kalınlıkta şap atılarak istenilen tür ıslak hacim döşeme kaplamasına (örneğin seramik malzeme) hazır hale getirilir. Kaplamanın ve hafif çelik elemanların oluşturduğu döşeme elemanlarının ısı geçirgenlikleri TS825 standardına uymalıdır.



Şekil 2-26 Hafif çelik yapı sisteminde duvar katmanlarını gösteren kesit örneği [44, s.88]

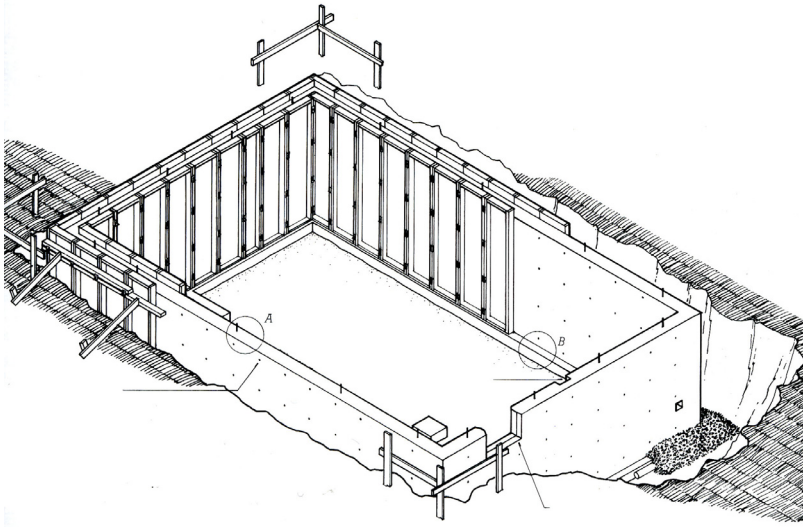
2.2 Hafif Çelik Yapı Sistemi Eleman ve Bileşenleri

Hafif çelik yapı sistemini oluşturan bileşenler; temel, döşeme, duvar, çatı ve tesisat ana başlıkları altında incelenebilir.

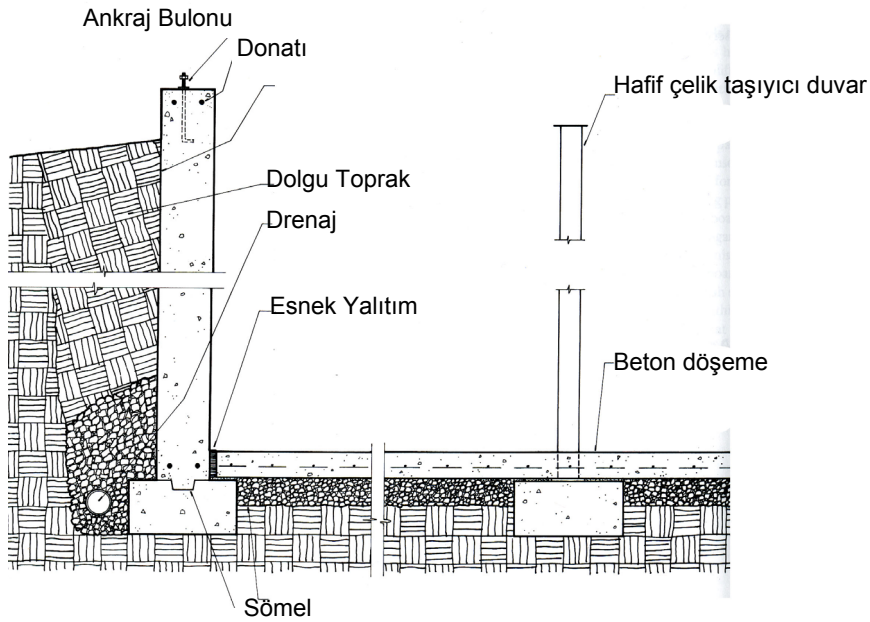
2.2.1 Temeller

Hafif çelik yapılarda temeller genellikle betonarme olarak inşa edilir. Temel duvarı, sömel ve su basman hatlı; zemin durumu ve yapı yüklerine bağlı olarak yapılır ve boyutlandırılır. Hafif çelik yapılarda, yapı ölü yükünün diğer sistemlere kıyasla az olması, temellerin de hafif ve küçük olmasını sağlar. Hafif çelik sistemlerde, zemin durumuna bağlı olarak, bazı durumlarda sömel yapılmasına gerek duyulmayabilir. Temeller ve sokl, bodrum katı yapılıp yapılmamasına göre de farklılık gösterir.

Hafif çelik yapılarda temeller, sürekli (mütemadi) olarak düzenlenir. Bodrum katı yapılması durumunda, zemin kat döşemesi, ekonomi ve hafiflik açısından genellikle, hafif çelik elemanlardan oluşturulur. Bodrum katında, dış temel duvarları sürekli betonarme perde olarak düzenlenir (Şekil 2-27). Zemin kat döşemesi, bu betonarme temel duvarları üzerine mesnetlenir.[93] Bodrum katında taşıyıcı hafif çelik duvarların altında, sürekli sömel yapılması gerekir (Şekil 2-28).

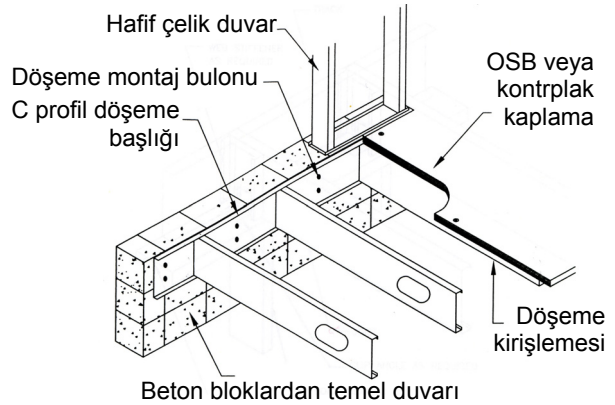


Şekil 2-27 Bodrum katı, perde temel duvarları [12]



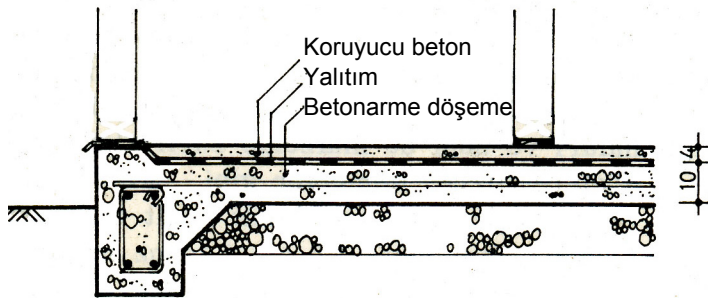
Şekil 2-28 Bodrum katı, perde temel duvarları ve hafif çelik taşıyıcı duvarlar altında sömel düzenlenmesi [12]

Bodrumda temel duvarları, betonarme olabildiği gibi, beton bloklardan da oluşturulabilir (Şekil 2-29). Temel duvarlarının beton bloklardan oluşturulduğu durumda, radye temel yapılması yararlı olacaktır. [25]



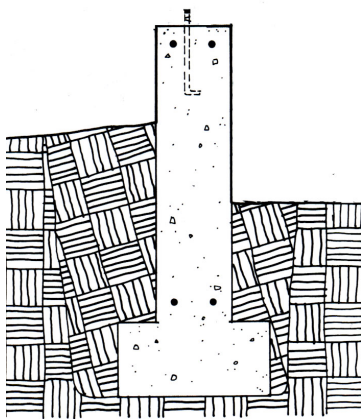
Şekil 2-29 (A) Bodrum temel duvarlarının beton bloklardan oluşturulması [12] (B) hafif çelik döşeme bağlantısı [25],[79],

Bodrum katının yapılmadığı durumlarda, zemin kat döşemesi, hafif çelik döşeme veya betonarme olarak oluşturulabilir. Betonarme döşeme yapılması durumunda, hafif çelik yapılar, az katlı, küçük ve hafif olduğu için, sadece dış duvarların altında temel düzenlenmesi yeterlidir. İç duvarlar ise, Şekil 2-30'de görüldüğü gibi betonarme zemin tabliyesi üzerine oturtulabilir.

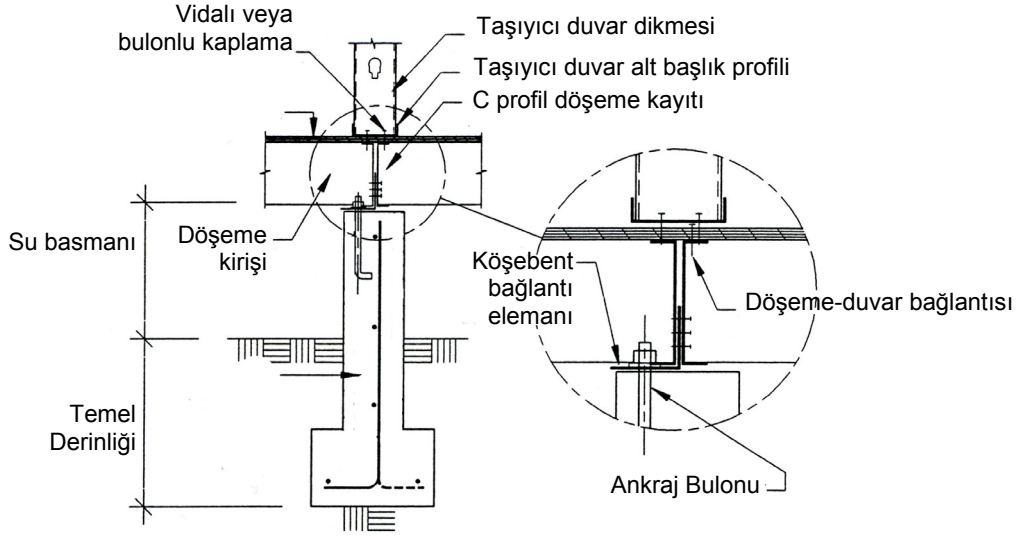


Şekil 2-30 Hafif çelik sistemlerde betonarme temel ve zemin kat tabliyesi [36]

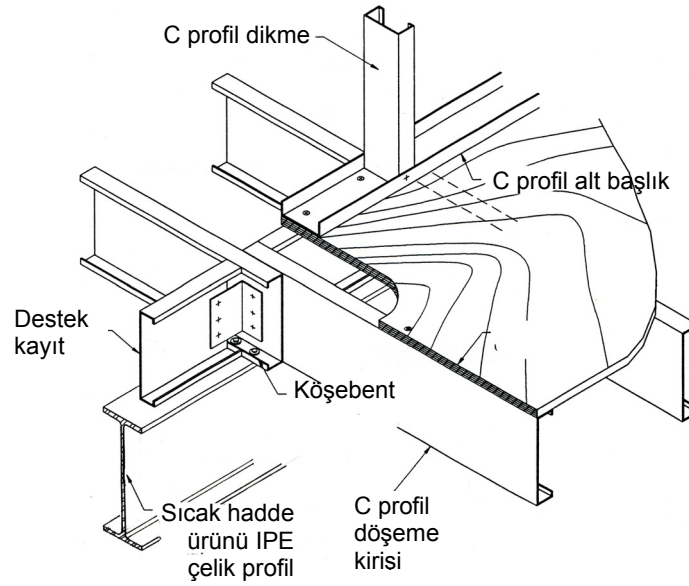
Eğer zemin kat döşemesi, hafif çelik olarak oluşturulacaksa; betonarme su basman hatılı, temel duvarı ve sömeller, dış duvarlar altında sürekli olarak düzenlenirler (Şekil 2-31). Hafif çelik zemin döşemesi altında bir boşluk kalacağı için, hafif çelik taşıyıcı iç duvarlar, döşeme tarafından tek başına taşınamaz. Bu amaçla taşıyıcı iç duvarların altında da sürekli olarak bir betonarme temel düzenlenebilir (Şekil 2-32). Bununla birlikte, taşıyıcı iç duvarların altında bir betonarme temelin yapılmasına ihtiyaç göstermeyecek çözümler, sıklıkla uygulanmaktadır. Bu çözümlerden birisi, taşıyıcı iç duvarların, dış betonarme temel duvarlarına mesnetlenen sıcak hadde çelik kiriş üzerine oturtulmasıdır (Şekil 2-33). [67] Sıcak hadde çelik kirişlerin, açıklık geçebilme özeliğinden faydalanılarak, betonarme temel yapılmasına göre çok daha ekonomik bir çözüm sağlanır. Bu çözüm, bodrum kat yapılması durumunda da kullanılabilir. Böylece bodrum katında, duvar düzenlenmesine gerek kalmayabilir. Tek bir hacim olarak düzenlenebilen bodrum katının, garaj olarak kullanılabilme olanağı da sağlanmış olur.



Şekil 2-31 Hafif çelik sistemlerde betonarme temel [12]



Şekil 2-32 Taşıyıcı duvarların betonarme temeller ile desteklenmesi. [67]

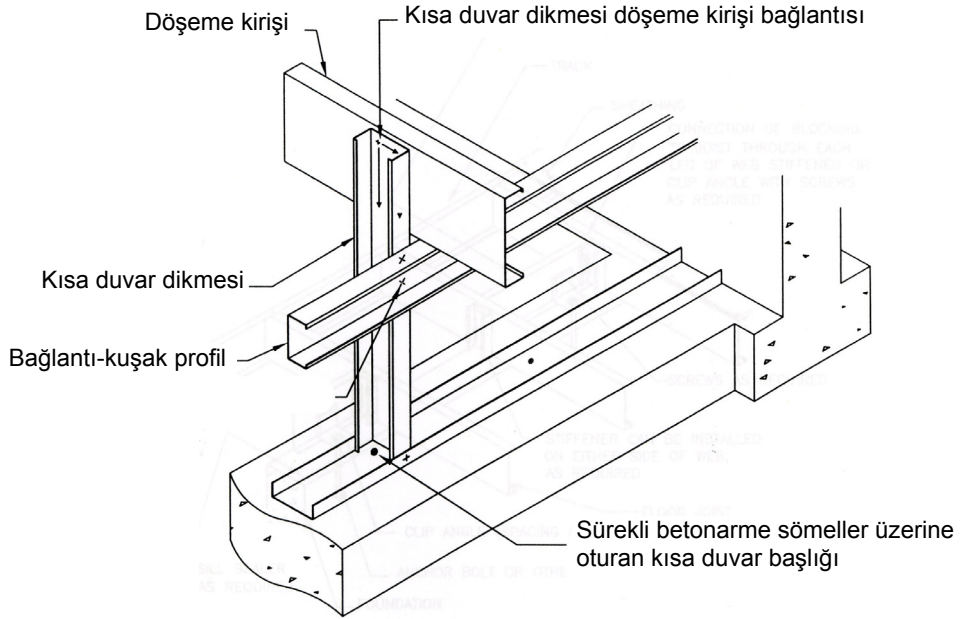


Şekil 2-33 Taşıyıcı duvarların sıcak hadde çelik kirişler ile desteklenmesi. [67],[86]

Taşıyıcı iç duvarların, sürekli olarak düzenlenmiş sömellere oturan, hafif çelik kısa duvarlara (*pony wall*) taşılması ise bir diğer temel çözümdür (Şekil 2-34). [67]

Hafif çelik sistemlerde, tekil (münferit) temeller, yapının topografya şartlarına göre, ayaklar üzerine kaldırılması gerektiği durumlarda uygulanabilir. Tekil temeller, hatılları ile birbirine bağlanmalıdır.[13] Yapı yüklerini, betonarme

münferit temellere aktaran sıcak hadde çelik kolonlar, ankraj elemanlarına bulonlanır. Hafif çelik konstrüksiyon ise, bu kolonlar ve kolanları birbirine bağlayan sıcak hadde çelik kirişlerin oluşturduğu çerçeveye taşıtılır.



Şekil 2-34 Taşıyıcı duvarların hafif çelik kısa duvarlar ile desteklenmesi. [67]



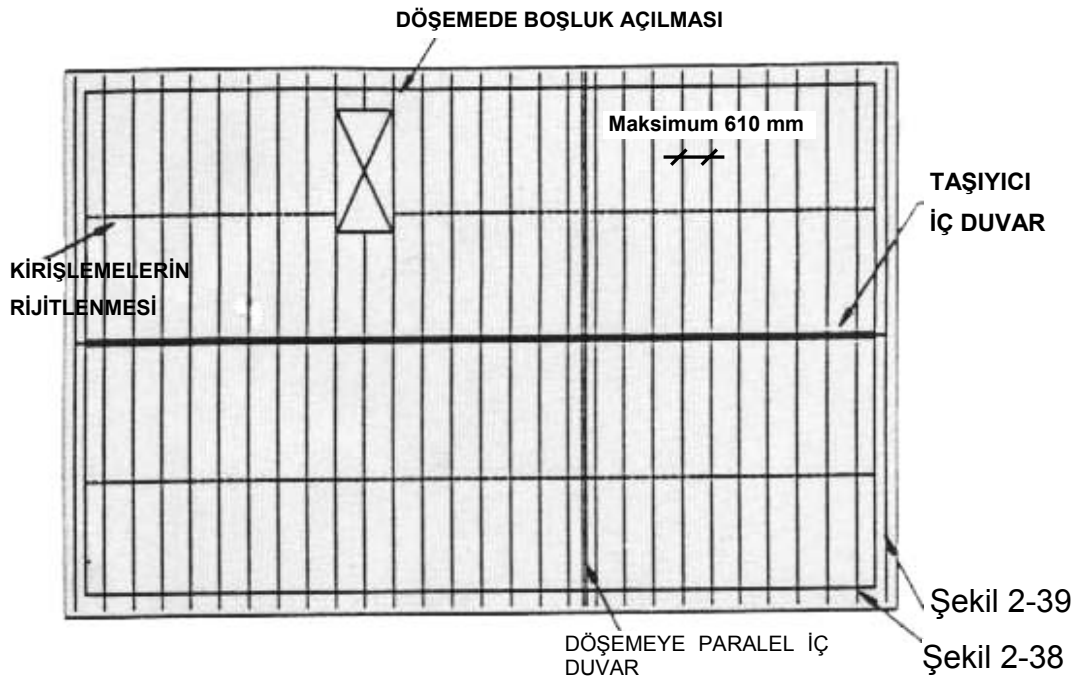
Şekil 2-35 Hafif çelik sistemlerin, münferit temellere oturan konvansiyonel çelik çerçeve ile kompozit strüktür oluşturması. [137]

2.2.2 Döşemeler

Hafif çelik yapı sistemlerinde döşeme konstrüksiyonu ilkeleri, sonraki başlıklarda da bahsedileceği üzere, zemin katta ve ara katta çeşitli ortak ve farklı özellikler gösterir. Konstrüksiyonda, yatay yüklere karşı rijitleme ve boşluk oluşturma ilkelerine bağlı kalınmaktadır.

2.2.2.1 Zemin Katta Döşeme Kuruluşu

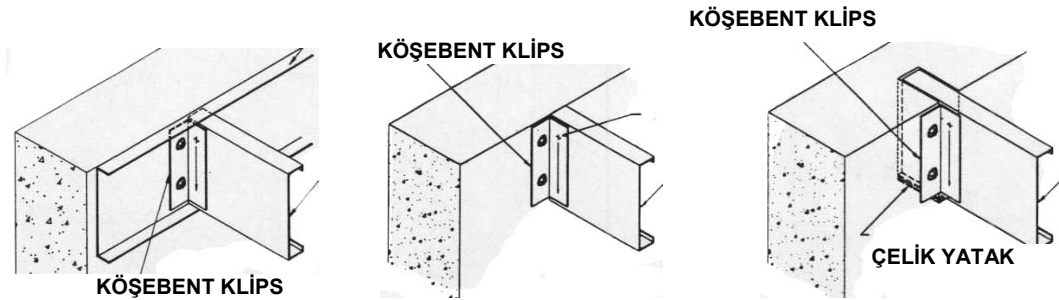
Gövde (*web*) genişlikleri en az 185 mm ve cidar kalınlıkları en az 1.1 mm olan C veya Σ profil döşeme kirişlemeleri, maksimum 610 mm aralıklarla oluşturulur. Kirişlemeler uygun boyutlandırıldıkları takdirde 6.5 m'ye yakın bir açıklığı geçebilir. Kirişlemeler yatay yüklere karşı kuşaklar veya kayıtlar ile rijitlenmelidir.[67],[86]



Şekil 2-36 Zemin kat döşemesi ve döşeme kirişlemesi örneği [67]

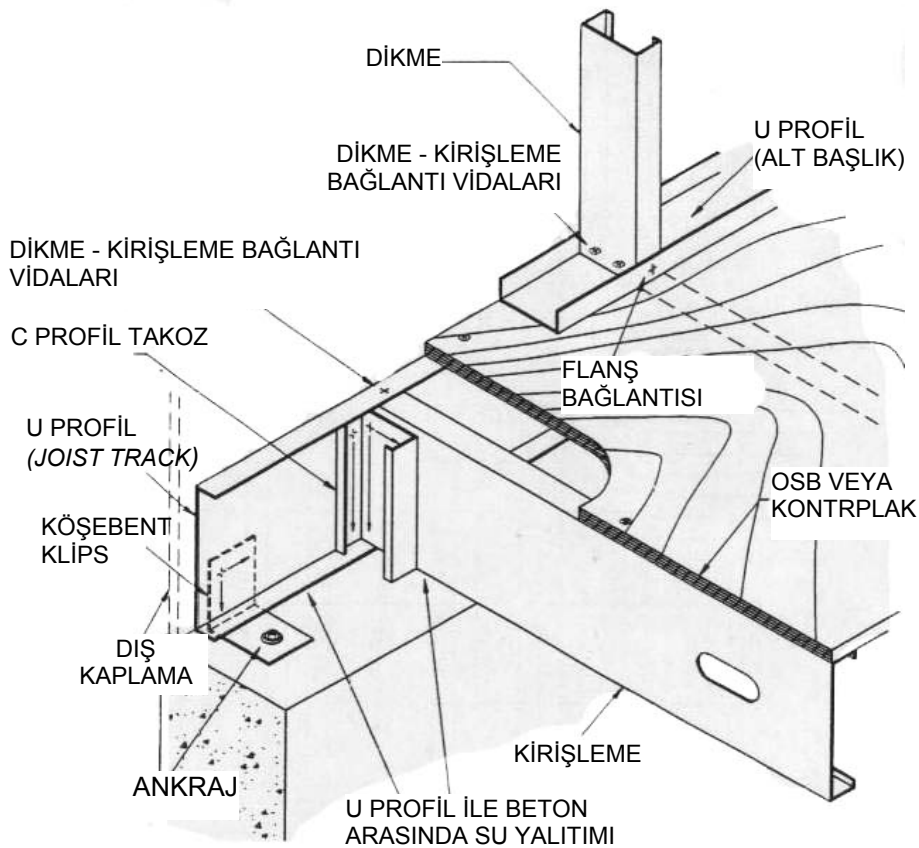
Zemin katta döşeme, temellere azami 80 cm aralıklar ile ankre edilir. Döşeme betonarme temel ve su basman hatılı üzerine oturtulur. Su basman hatılına dik oturan kirişlemeler, betonarme duvar üzerinde U profil ile (*Joist Track*) birbirlerine bağlanır; C profil takoz ile desteklenir ve bağlantı rijitliği sağlanır (Şekil 2-38). Su basman hatılına paralel konumda ise döşeme kutu profille

veya I profile betonarme temel duvarına oturtulur (Şekil 2-39). Pek tercih edilmese de istenirse, döşeme zemin katta betonarme temel duvarının iç yüzeylerine oturtulabilir.[67] Su basman hatılına dik kirişlemeler bu durumda, betonarme temel duvarının iç yüzeyine bir U profil veya yardımcı elemanlar ile monte edilebildiği gibi hazırlanacak yuvalara da oturtulabilir (Şekil 2-37).

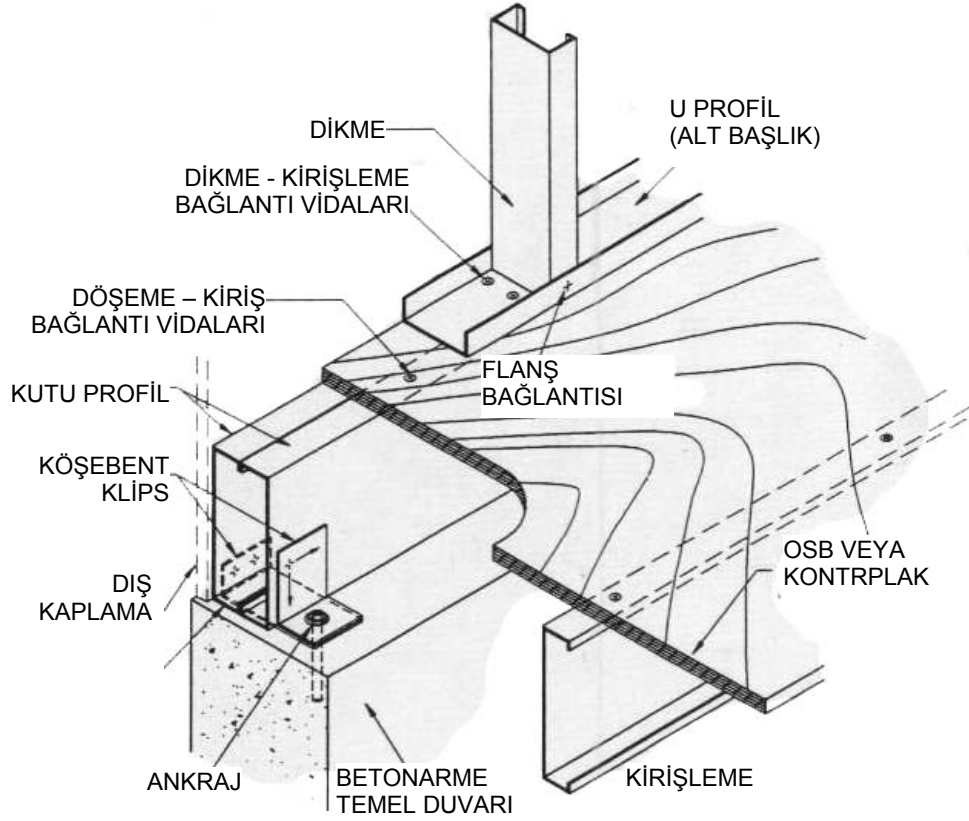


Şekil 2-37 Döşemenin temel duvarının iç yüzeyine oturtulması alternatifleri [67]

Temel inşa edilirken döşemenin durumuna göre, kirişlemeler su basman hatılına dik ya da paralel olarak oturtulabilir (şekil 2-18, 2-19).[67],[86]



Şekil 2-38 Su basman hatılına dik doğrultuda kirişlemenin oturtulması. [86]

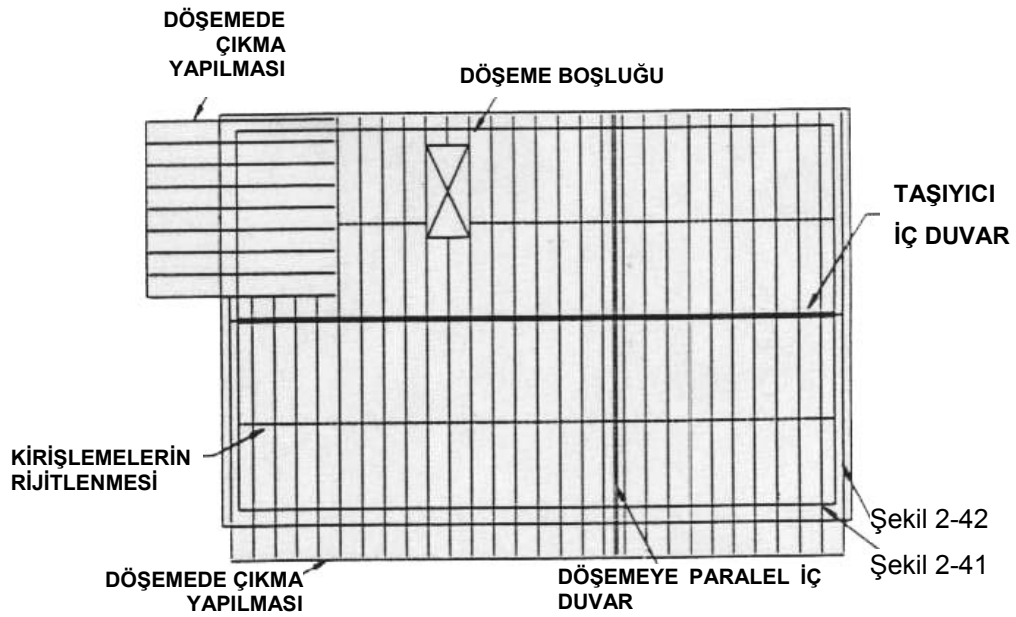


Şekil 2-39 Su basman hatılına paralel doğrultuda kirişlemenin oturtulması. [86]

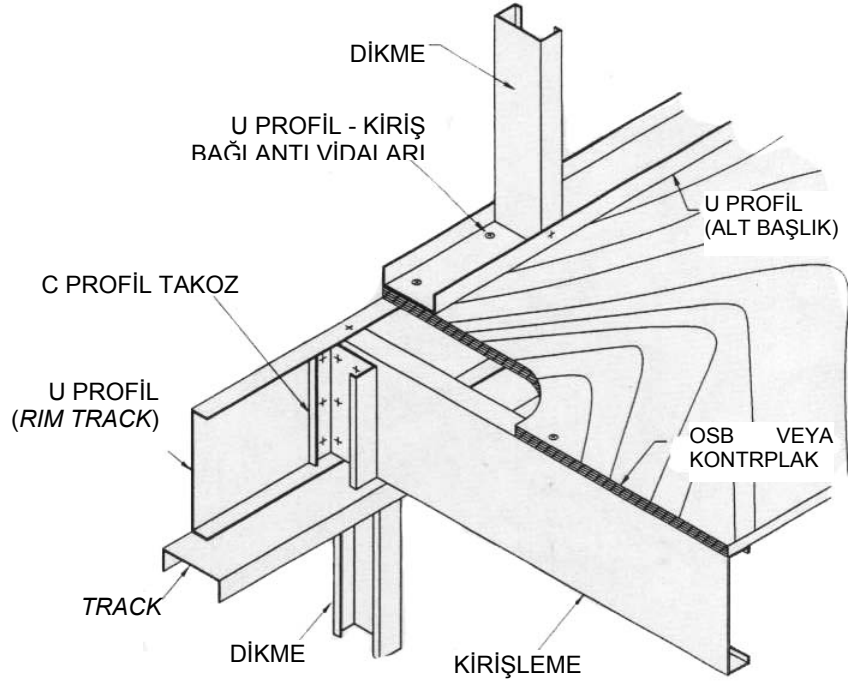
Zemin katta hafif çelik döşeme kuruluşu alternatifleri dışında, zemin kat döşemesi betonarme olarak da oluşturulabilir. Zemin katta duvarlar bu betonarme döşeme üzerine oturtulur. [93]

2.2.2.2 Ara Katta Döşeme Kuruluşu

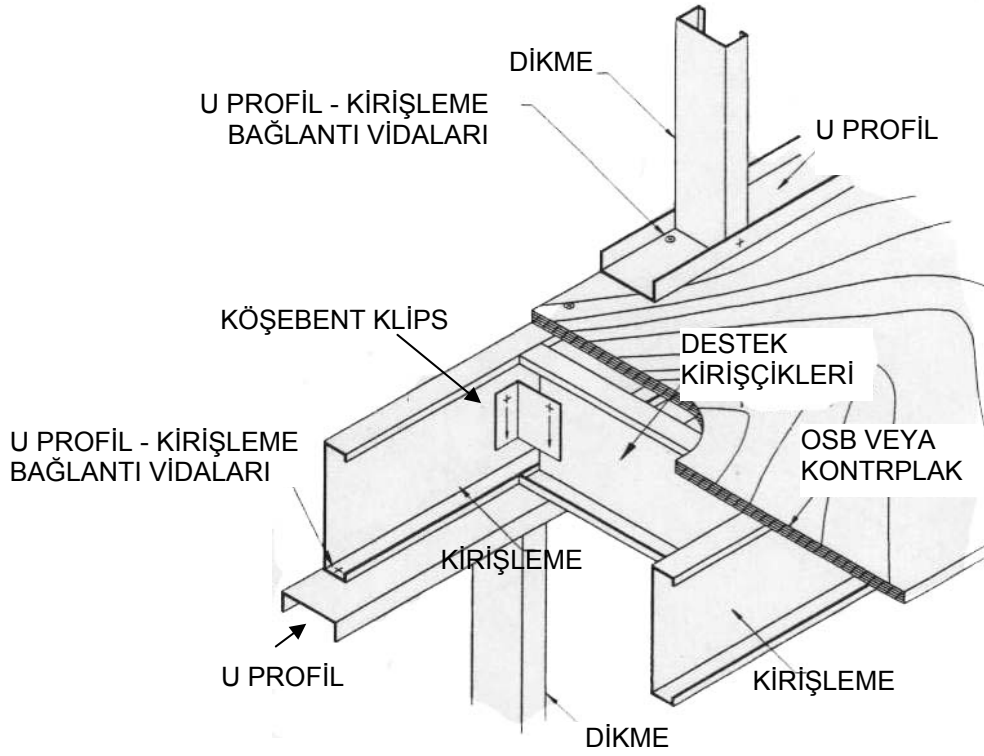
Ara katta, kirişlemelerin boyutlandırılması ve düzenlenmesi zemin kat döşeme kirişlemelerinde olduğu gibidir (Şekil 2-40). Kirişlemeler mutlaka dikmeler ile aynı eksende olmalıdır. Dışta taşıyıcı duvara dik doğrultuda kirişleme yapılırken, taşıyıcı duvar üzerine yerleştirilen U profil (*Rim Track*) ile birbirine bağlanır ve C profil takoz ile desteklenir (Şekil 2-41). Taşıyıcı duvara paralel doğrultuda ise, son kirişleme taşıyıcı duvarın üzerine oturur. Duvar üzerine oturan kirişleme ile bir önceki kiriş birbirine, (ahşap karkas sistemdeki yavru kirişler gibi) destek kirişleri yardımı ile bağlanır. Destek kirişleri de döşemede uygulanan kirişleme aralıkları ile düzenlenir (Şekil 2-42).[67]



Şekil 2-40 Ara kat döşemesi kirişlemeleri. [67]

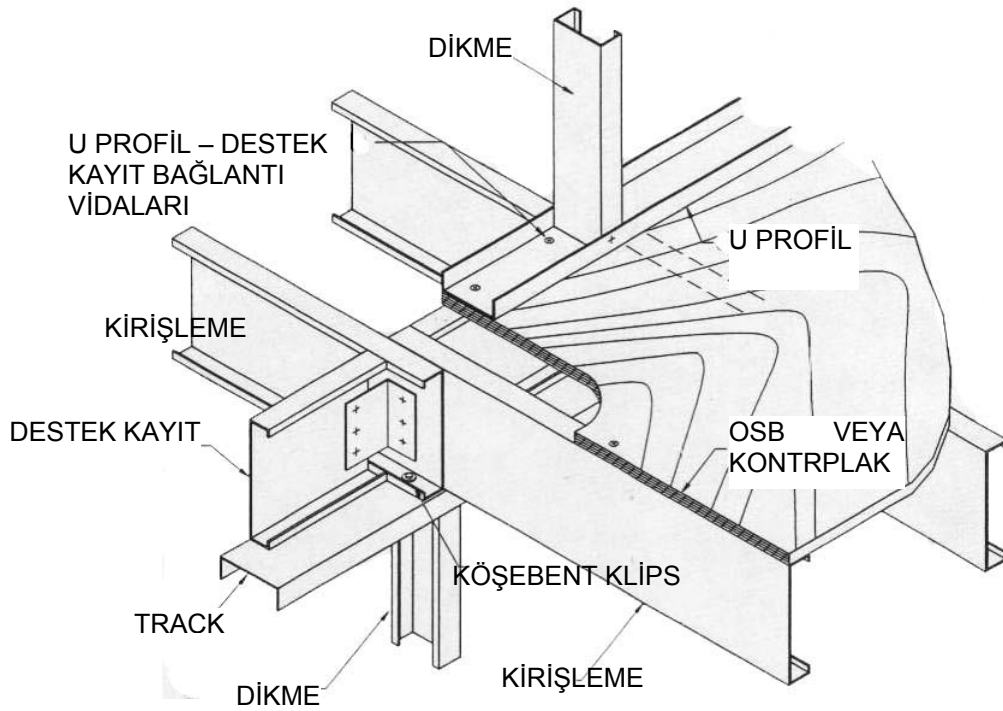


Şekil 2-41 Taşıyıcı duvara dik doğrultuda ara kat döşeme kirişlemesi [67]



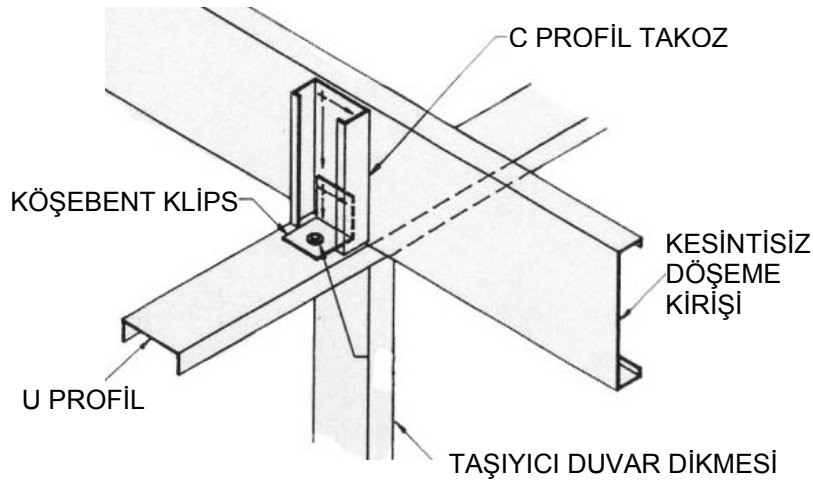
Şekil 2-42 Taşıyıcı duvara paralel ara kat döşeme kirişlemesi [67]

Döşeme kirişleri birbirlerine, iç taşıyıcı duvarlar üzerinde bağlanırlar. C profil döşeme kirişleri, sırt sırta gelecek ve taşıyıcı dikmelerin eksenine oturacak biçimde monte edilmelidirler (Şekil 2-43). Bağlantı noktasında kaymaları engellemek ve rijitliği artırmak için, taşıyıcı duvarın ekseninde olmak üzere kirişler arasına C profil destek kayıtları yerleştirilir. Kayıtlar, tüm döşeme bağlantısı doğrultusunda ve aynı ekseninde devam ettirilir.



Şekil 2-43 İç taşıyıcı duvar üzerinde döşeme kirişlemesi [67]

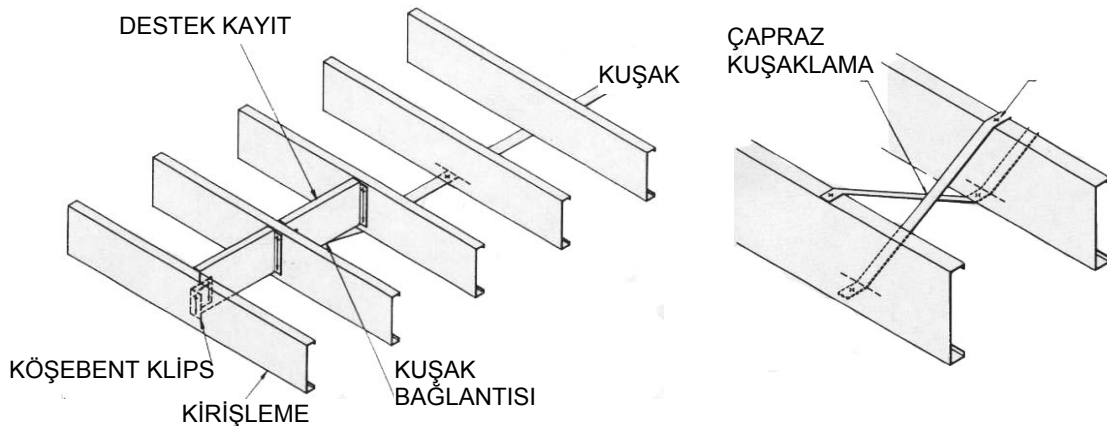
Kirişler taşıyıcı duvar üzerinde kesintisiz devam edebiliyorsa yine taşıyıcı duvarın dikmeleri üzerine oturtulmalı ve C profil takozlar ile desteklenmelidirler (Şekil 2-44). [67]



Şekil 2-44 Taşıyıcı duvar dikmesi üzerine oturtulan ve C profil takozla desteklenen kirişlemeler. [86]

2.2.2.3 Döşemelerin Yatay Yüklere Karşı Rijitlenmesi

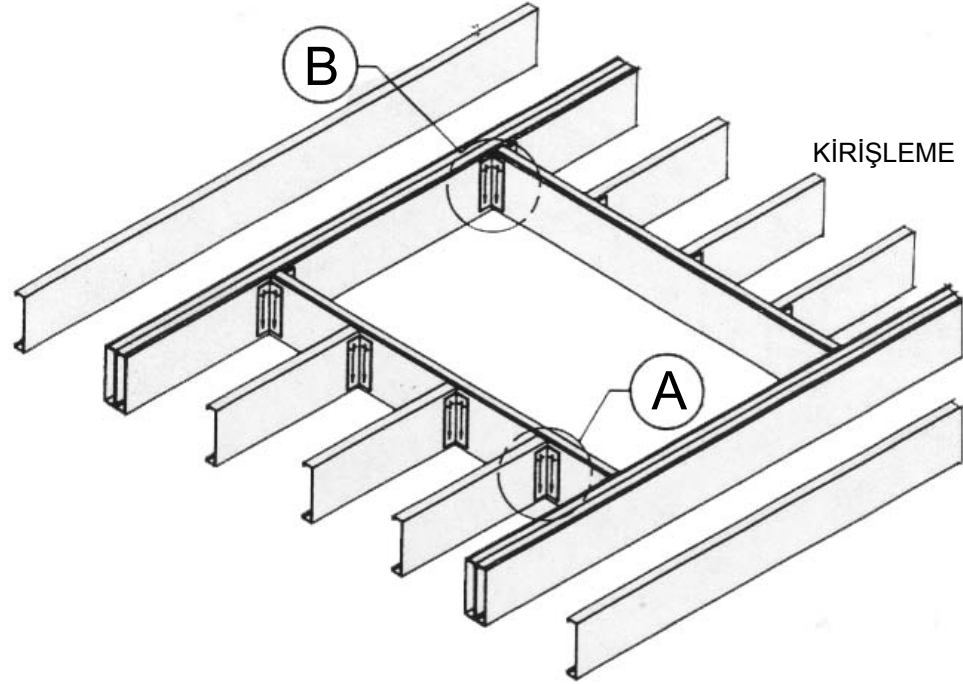
Döşeme kirişleri -taşıyıcı duvarlarda olduğu gibi- yatay yüklere karşı rijitlenmelidirler. Rijitleme kuşaklar veya kayıtlar şeklinde yapılabilir. Eğer kuşaklarla yapılacak ise kuşağın başlangıcındaki ve sonundaki ikişer kiriş aralığına C profilden destek kayıt yerleştirilmelidir. Kat döşemesi yüzeyinin iki yüzü de levha kaplanmayacaksa -yani tavan kaplaması olmayacaksa- kuşak, döşeme kirişlerinin her iki yüzeyinden de geçirilmelidir. Kayıtlar tüm döşeme boyunca devam ettirildiği takdirde daha etkin bir rijitleme gerçekleştirilmiş olur. Taşıyıcı duvarlarda olduğu gibi kuşakların çaprazlamalar şeklinde yapıldığı sistem de oldukça etkilidir (Çapraz kuşaklama) (*X bridging*) (Şekil 2-45).[67]



Şekil 2-45 Kuşak ve çapraz kuşaklama (*X-Bridging*) elemanlar ile döşemelerin rijitlenmesi [67]

2.2.2.4 Döşemede Düşey Dolaşım İçin Boşluk Oluşturulması

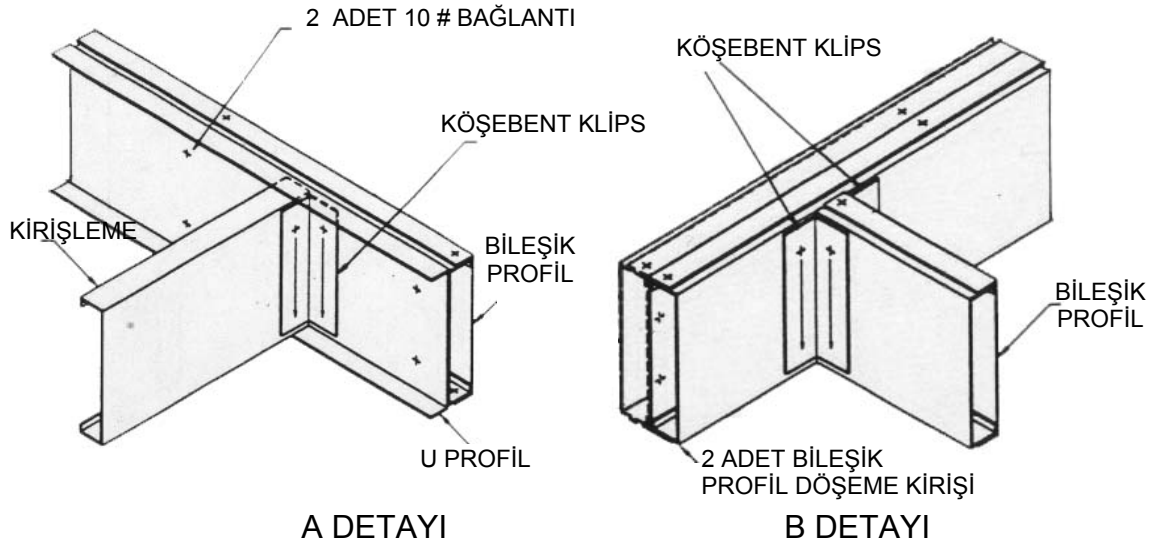
Hafif çelik yapım sistemi ile oluşturulmuş döşemelerde, düşey dolaşım amaçlı olarak boşluk açılabilir. Açılan boşluğun döşemenin taşıyıcılığına zarar vermemesi için; üzerine gelen yükleri aktarabilecek bir çerçeve oluşturulmalıdır (Şekil 2-46).[67]



Şekil 2-46 Döşemede boşluk açılması [67]

Boşluğun kirişleme doğrultusundaki kenarlarına gelen kirişler iki adet bileşik kirişten oluşmalıdır. Boşluğa dik doğrultudakilerin saplandığı kiriş ise kirişlerin oturabilmeleri için bir adet U profilden ve bir adet bileşik kirişten oluşmalıdır.[67]

Döşemede açılan boşluğun rijitliği bileşik ve dik doğrultudaki kirişlerin birleşim detaylarına bağlıdır (Şekil 2-47).



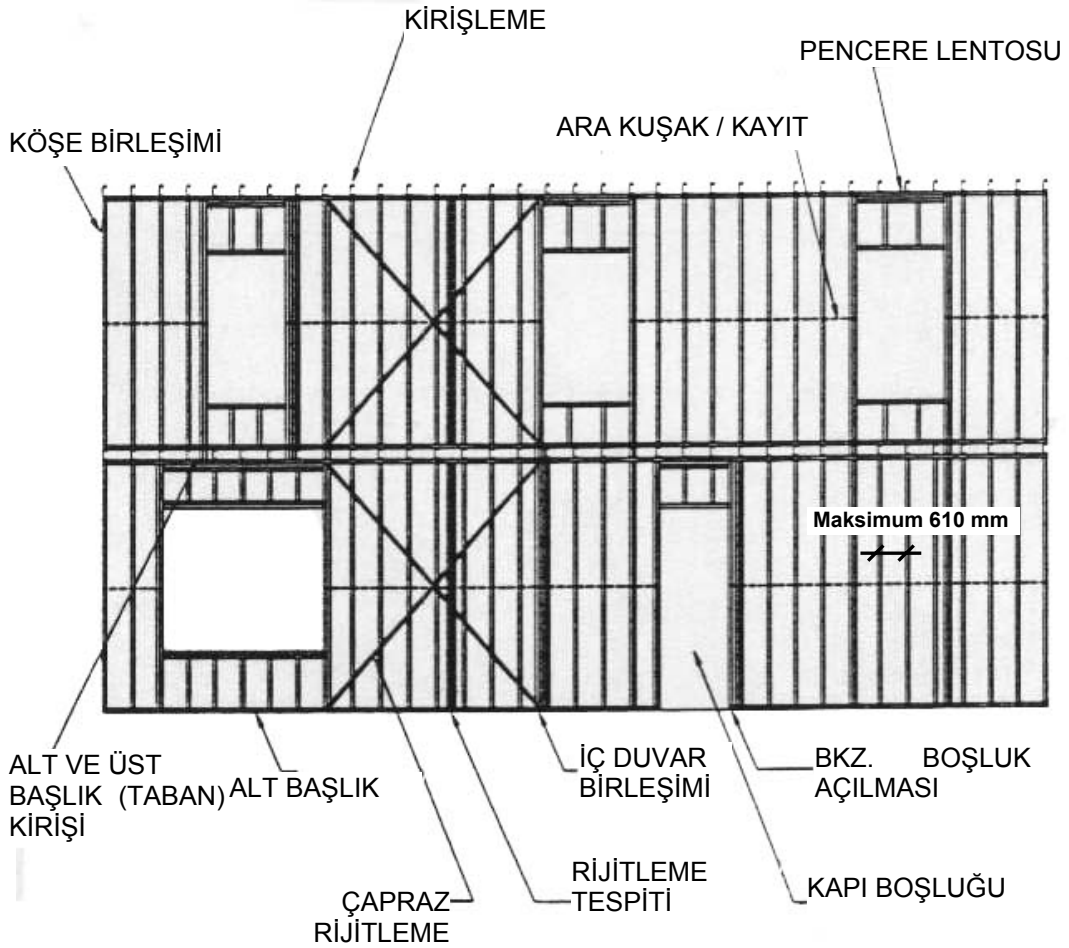
Şekil 2-47 Döşeme boşluğu açılmasında elemanların birleşimi [67]

2.2.3 Duvarlar

Düşey taşıyıcı ve perde duvar kuruluşunda yatay yüklere karşı rijitleme yapmak ve boşluk açılırken rijitliğin kaybolmamasına dikkat etmek önemlidir.

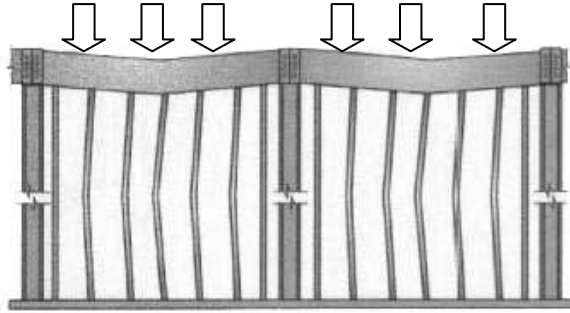
2.2.3.1 Taşıyıcı Duvar Kuruluşu

Taşıyıcı duvarlar, gövde genişlikleri minimum 90 mm olan C profil dikmelerin, maksimum 610 mm aralıklarla alt ve üst başlıklara rijit bağlantılarıyla oluşturulur (Şekil 2-48).[67],[86]



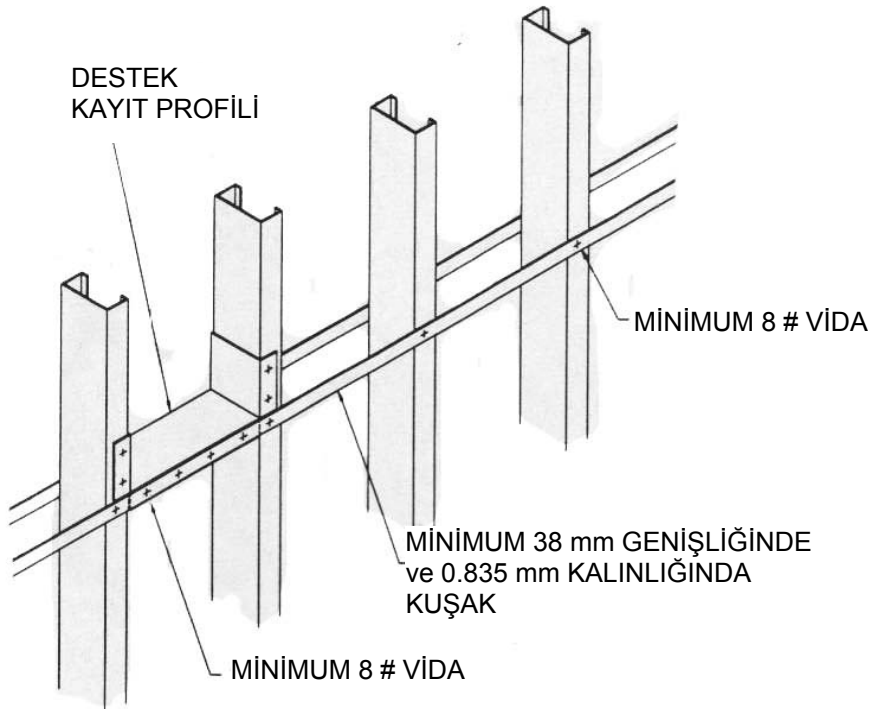
Şekil 2-48 Tipik taşıyıcı duvar oluşturulması örneği [67]

Dikmeler, düşey yüklerin sebep olabileceği burkulmalara karşı ara kuşak/ kayıtlar ile rijitlenmelidir (Şekil 2-49).



Şekil 2-49 Dikmelerin düşey yükler etkisinde burkulmaları [77]

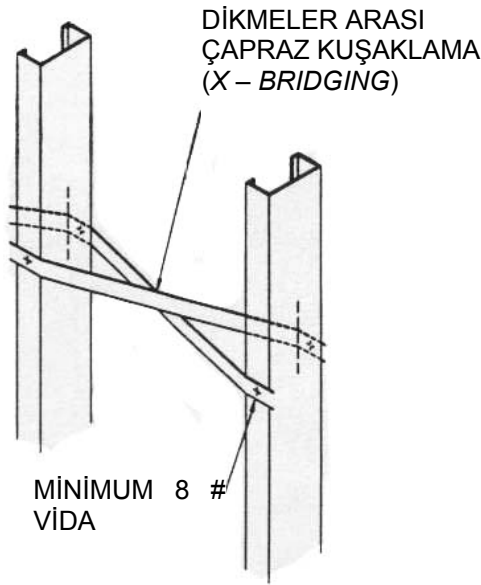
Duvarlar, dikme yüksekliğinin 240 cm'e kadar olduğu durumlarda kayıtlar ortaya gelecek şekilde ile rijitlenebilir. Dikmelerin 240 cm'den daha uzun olduğu durumlarda, duvarlar dikmelerin üçte bir oranına gelecek şekilde kayıtlar veya kuşaklar ile rijitlenmelidir.[34] Genişliği, en az dikmelerin flanşları kadar olan kuşaklar (minimum 38 mm genişlikte ve 0.835 mm kalınlığında), duvar boyunca devam etmelidir (Şekil 2-50).



Şekil 2-50 Dikmelerin burkulmaya karşı kuşak ve kayıtlarla desteklenmesi [67]

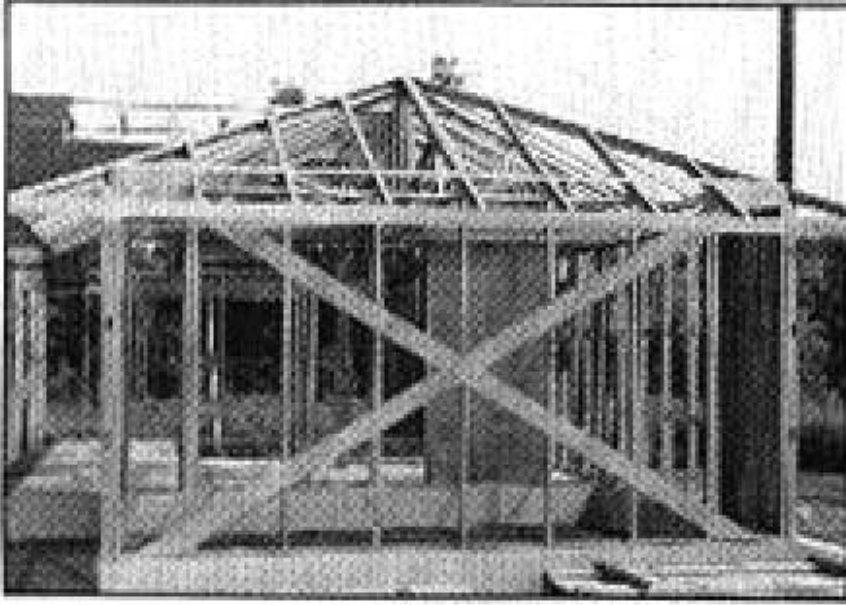
2.2.3.2 Yatay Yüklere Karşı Rijitleme ve Perde Duvar Kuruluşu

Yatay yükler yapıda yatayda ötelenmelere ve düşeyde çekme gerilmelerine neden olur. Bu yüklerle karşı çerçevelerin rijitliğinin artırılması gerekir. Düşey yüklerin dikmelerde yarattığı burulma etkisine karşı yapılan kuşaklar nispeten de olsa bu yüklerin karşılanmasında yardımcı olur.[67] Kuşaklar dikmeler arasında çapraz kuşaklama (*X- Bridging*) şeklinde düzenlenerek etkinlikleri artırılabilir (Şekil 2-51).



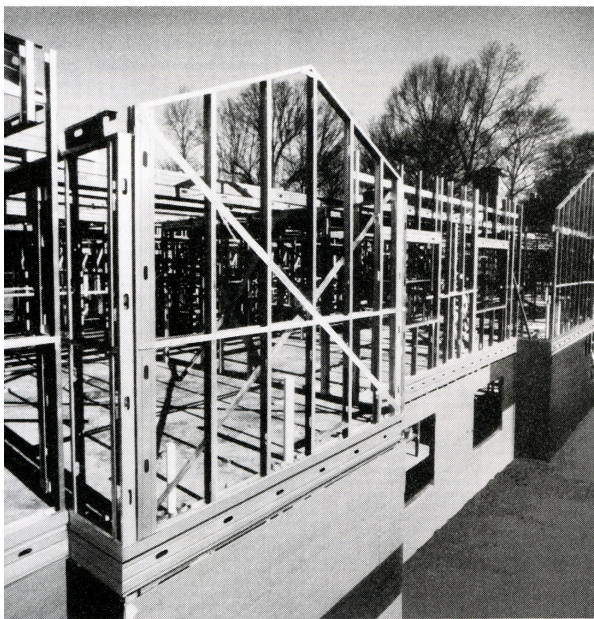
Şekil 2-51 Çapraz kuşaklama (*X- Bridging*) [67]

Ancak, dikmeler arasında yapılan çapraz kuşaklama (*X- Bridging*) sisteme belli bir ölçüde yardımcı olur. Yatay yüklerle karşı daha etkin bir strüktür oluşturmak için taşıyıcı çerçeve, çaprazlamalar ile çelik perde duvar veya kafes kiriş/ makas haline getirilebilir. [12] Çaprazlamalar duvarın belli bölümlerinde yapılabildiği gibi duvarın tümü de çaprazlanabilir (*X- Bracing*) (Şekil 2-52, Şekil 2-53). [84] Çapraz rijitlemeler, başlıklar ile birleştikleri noktalarda, ankraj yardımıyla temele veya bulonlar ile ara kat döşemesinde, üst üste gelen taşıyıcı duvarlarda birbirlerine tespit edilmelidir (Şekil 2-54, Şekil 2-55).[67]

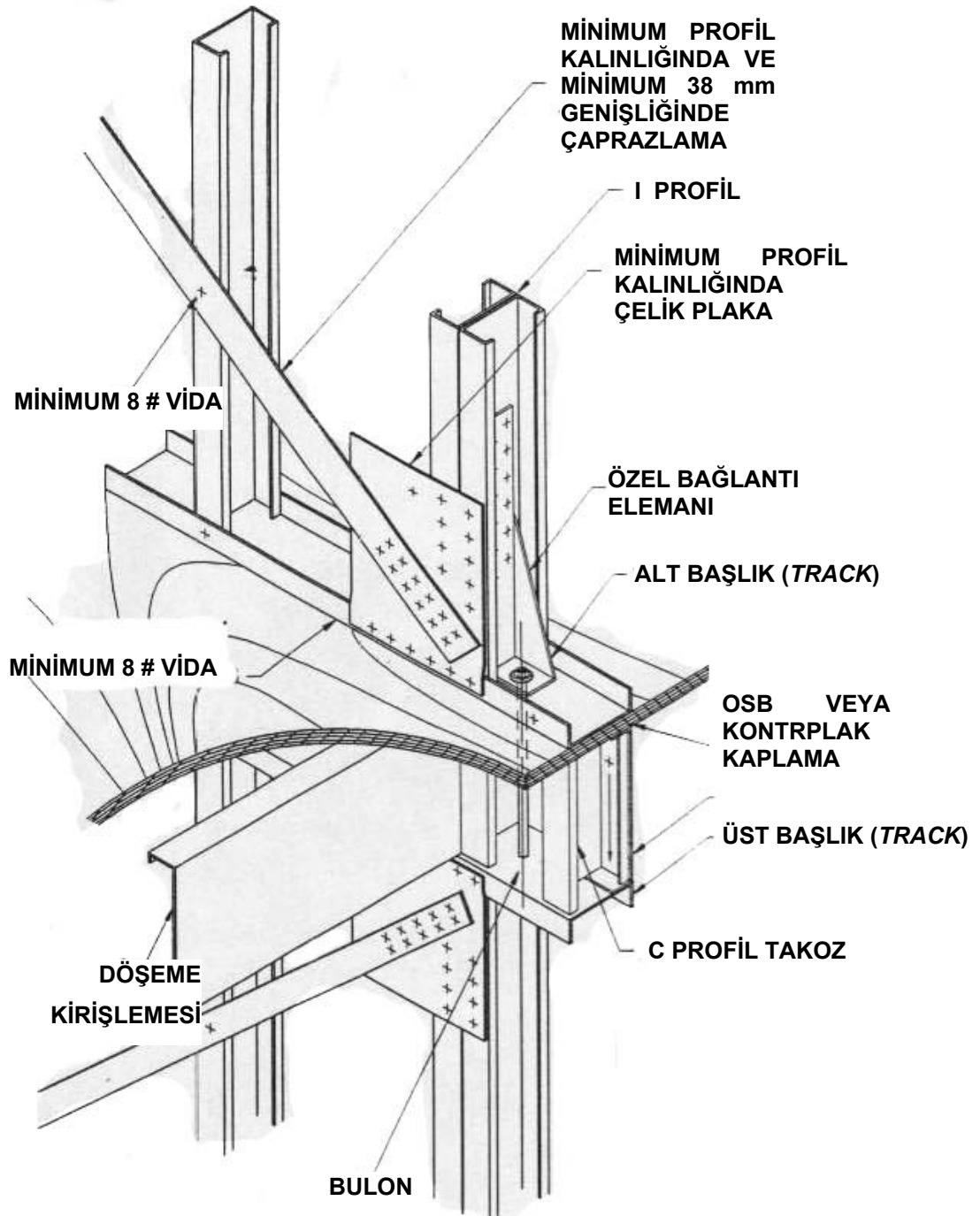


Şekil 2-52 Duvarın tümüyle çaprazlanması (X- Bracing) [84]

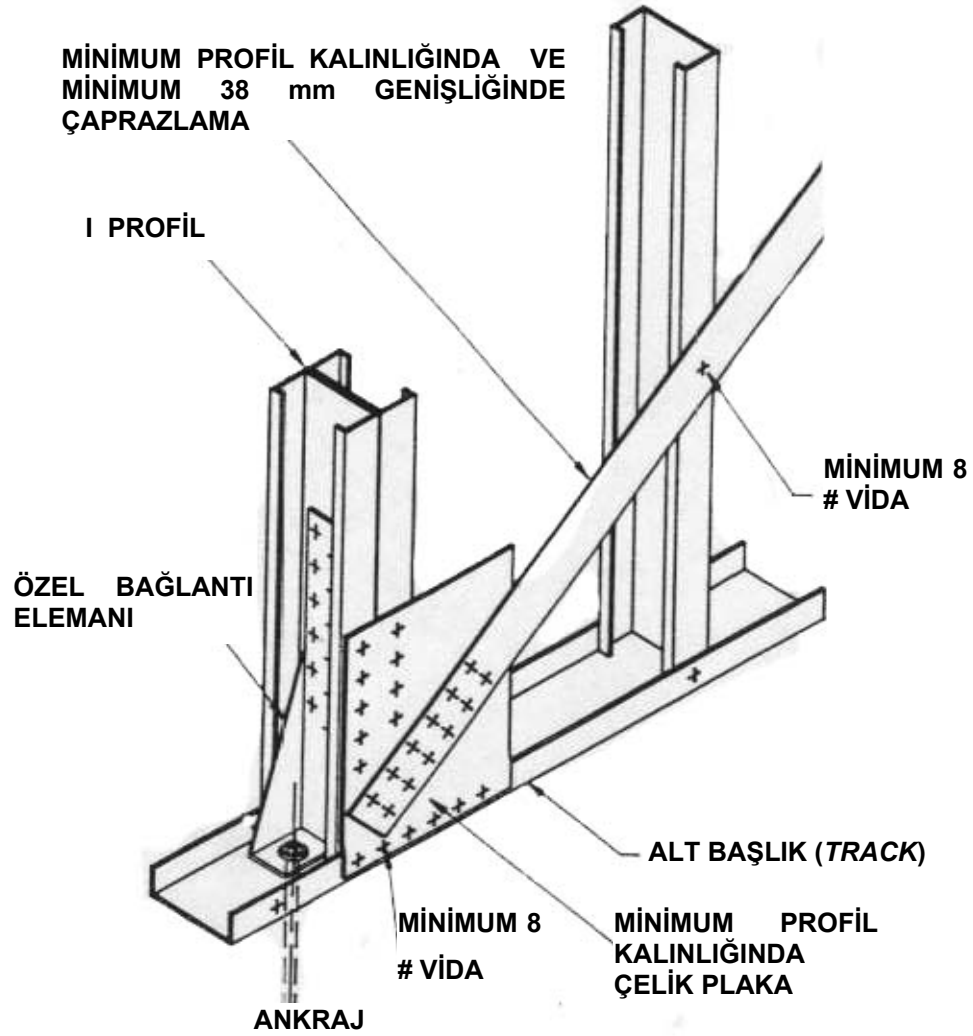
Ayrıca üst ve alt başlık arası C profil takozlar ile desteklenmeli; çaprazlı çerçevenin başında ve sonunda I profil kullanılmalıdır. Çaprazlamaların bağlantı yüzeyini artırmak ve dikmeler ile U profil alt ve üst başlıklar arasındaki bağlantı rijitliğini sağlamak için çelik plakalar kullanılır (Şekil 2-54, Şekil 2-55). [67] Ancak, sistemin tümüyle çaprazlanması kapı ve pencere boşluklarına daha az olanak tanır.



Şekil 2-53 Duvarın tümüyle çaprazlanması [12]



Şekil 2-54 Ara kat döşemesinde üst üste gelen çelik perde duvarların birbirine bulonlanması [67]



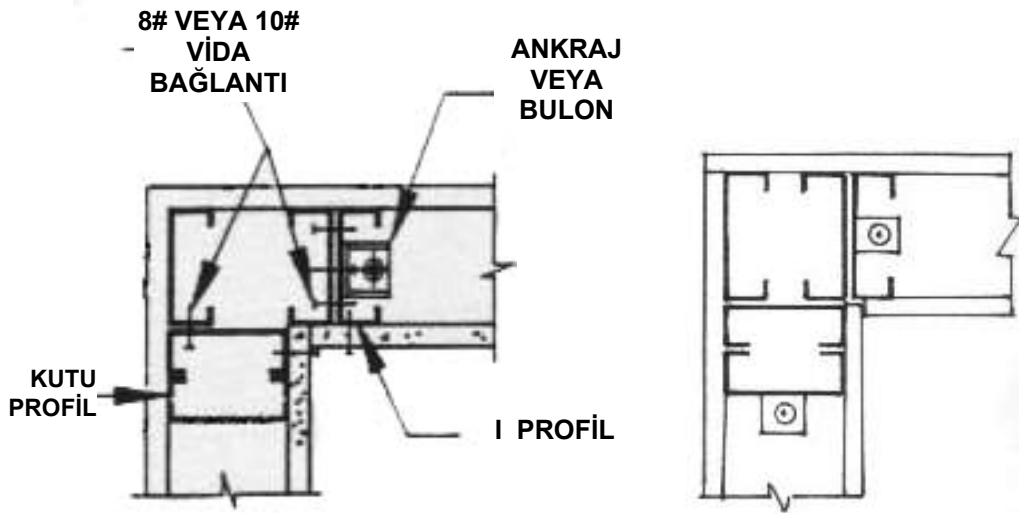
Şekil 2-55 Çelik perde duvarın ankrajlı tespiti [67]

Yatay kuvvetlere karşı perde duvar oluşturulması çaprazlamalar ile sağlanabildiği gibi duvar yüzeylerine monte edilecek kaplama levhaları yardımıyla da olabilir. Kaplama levhaları ile perde duvar oluştururken tüm dış duvarların her iki yüzü, kalınlığı en az 12.5 mm kalınlığında OSB veya kontrplak levha ile kaplanmalıdır. Ayrıca iç duvarlarda ve dış duvarların iç yüzeylerinde kalınlığı minimum 15 mm olan alçı levhalar da kullanılabilir.

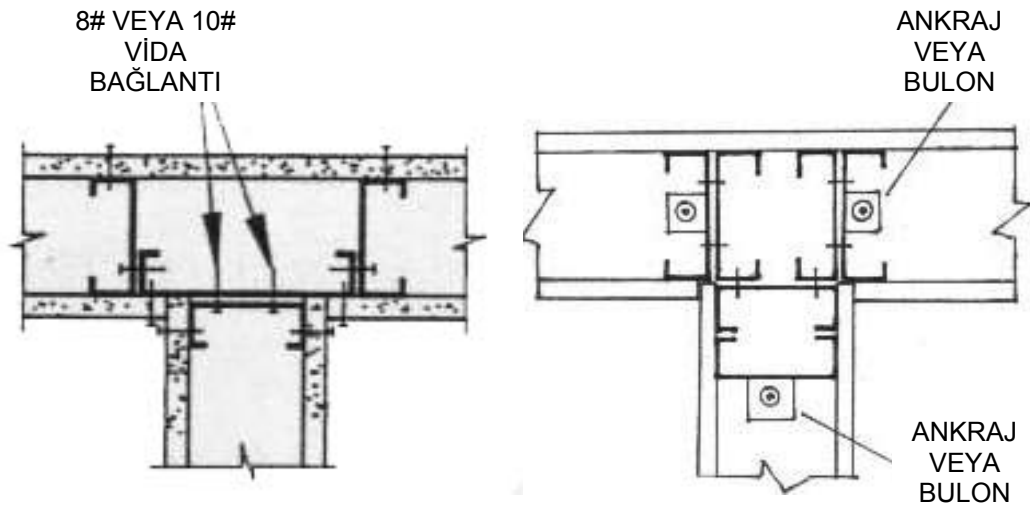
Levhalar kat yüksekliğinde olmalı ve döşemeden tavana kadar tek parça halinde uzanmalıdır. [34]

Perde duvarlar, mümkün olduğunca kapı veya pencere boşluklarıyla zayıflatılmamalıdır. Pencere ve kapı arasındaki perde duvarın uzunluğu minimum 130 cm olmalıdır. Kaplama panoları, dayandıkları hafif çelik elemanın flanşları ile en az 1.25 inch (32 mm) genişliğinde yaslanma yüzeyi oluşturmalıdır.[34]

Taşıyıcı duvarların oluşturduğu köşe ve ara birleşimlerde dikmeler birbirine mutlaka 8# ve 10#'luk vidalar ile tespit edilmelidir (Şekil 2-56, Şekil 2-57). Köşe ve kesişim noktaları, zemin katta ankrajla temele, ara katlarda ise üst üste gelen taşıyıcı duvarların başlıklarına bulonla bağlanarak rijitlenmelidirler. Taşıyıcı duvarların başlangıç kısımları mutlaka kutu veya I profil oluşturacak biçimde detaylandırılmalıdır. Birleşim noktalarında duvar, taşıyıcı dikmeler, birleştirilen diğer duvarın taşıyıcı dikme elemanları ile bağlantı kuracak şekilde detaylandırılmalıdır. Birleşimlerin, inşaat yöntemi ve sırasına göre, bir çok alternatifi olabilir.[67]



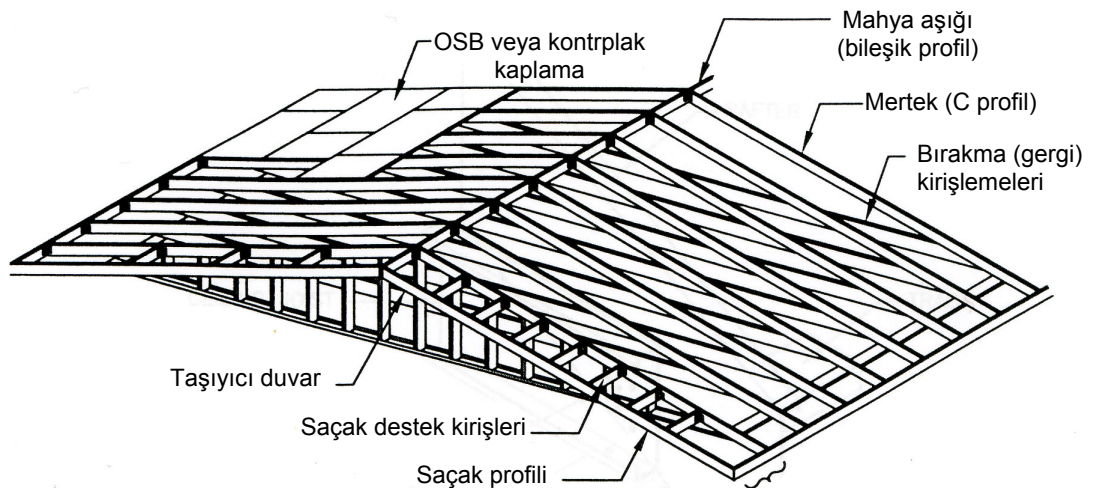
Şekil 2-56 Taşıyıcı duvar köşe birleşim alternatifleri [67]



Şekil 2-57 Taşıyıcı duvarda kesişim alternatif detayları [67]

2.2.4 Çatılar

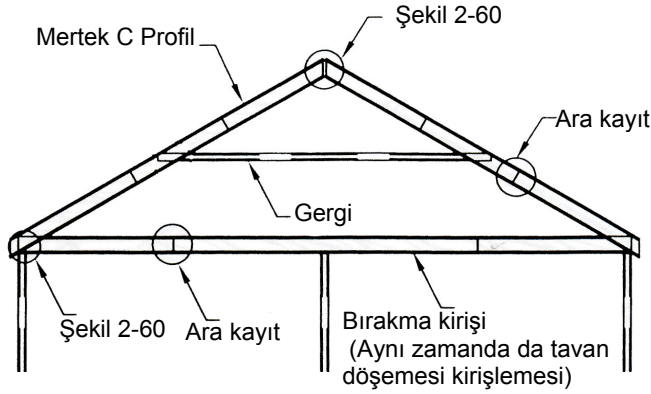
Çatı konstrüksiyonu kuruluş ilkeleri, ara katta döşeme kuruluşu ile benzerlik gösterir. Mertek profillerini bağlayan gergi profilleri, bir çerçeve oluşturarak çatının rijitliğini sağlar. Bu gergi profillerin oluşturduğu kirişleme, döşeme gibi düşünülebilir. Çatı eğimine dik yöndeki saçaklarda destek kirişlemeler yapılarak saçığın stabilitesi sağlanır.[86] Saçak destek kirişlemelerin, çatı eğimine dik yönde düzenlenmesi, saçakta yer alan merteklerin, gergi ile birbirine bağlanamamasından kaynaklanır (Şekil 2-58).



Şekil 2-58 Hafif çelik çatı kuruluşu [86]

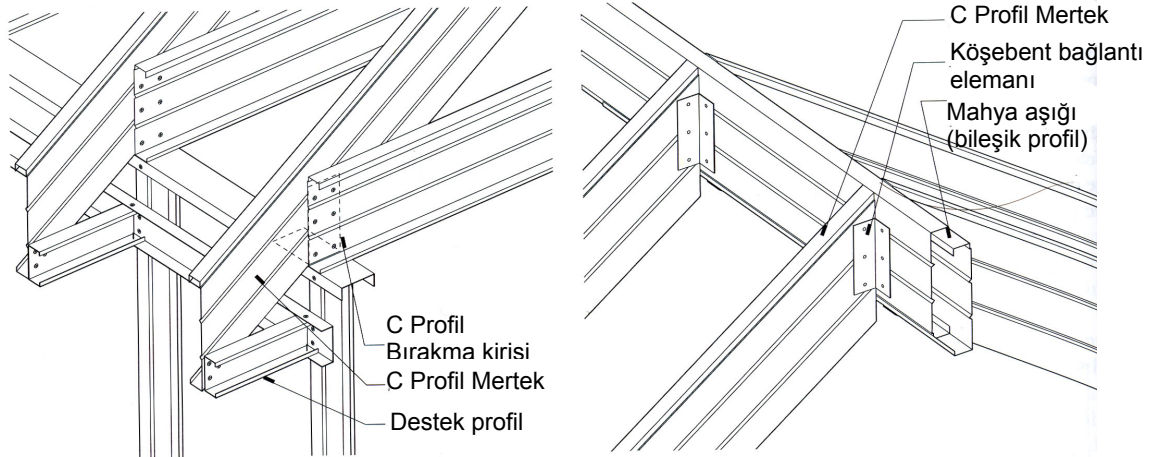
Çatı eğimi ve açıklığına bağlı olarak çatının rijitliği, gergi ve bırakma kirişleri ile sağlanırken, mertekler arasında düzenlenen kayıtlarla bu rijitlik artırılır.

Kayıtlar aynı zamanda bırakma kirişlemeleri (tavan arası döşemesi) arasında da düzenlenir (Şekil 2-59).



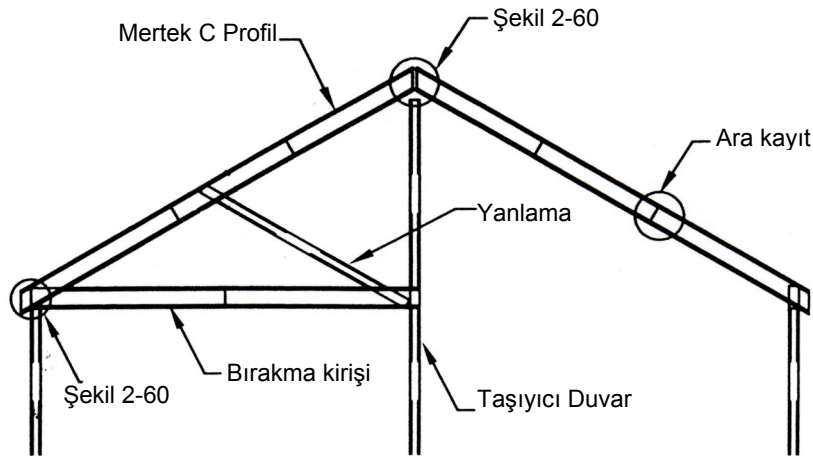
Şekil 2-59 Hafif çelik çatı kuruluşunda merteklerin gergiler ile desteklenmesi [86]

Bileşik profilden oluşturulan mahya profiline, mertekler köşebent elemanlar ile bağlanır. Mertekler, saçak uçlarında, destek profilleriyle dikmeleri birbirine bağlayan kayıt profiline bağlanır (Şekil 2-60). [12]



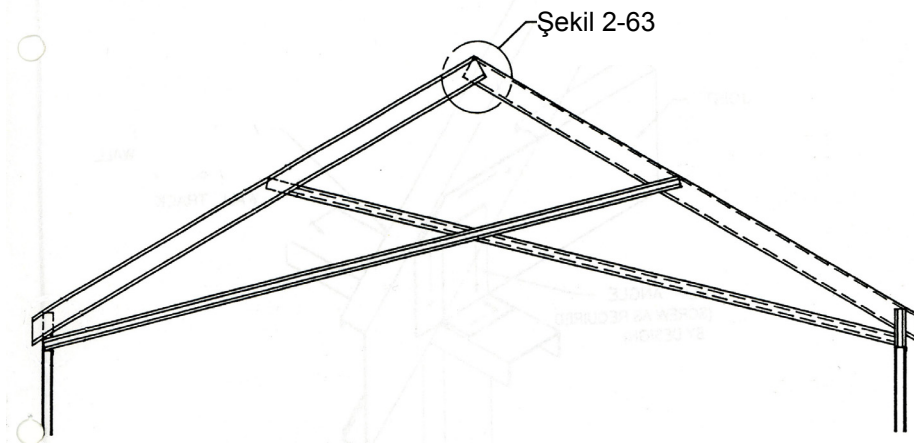
Şekil 2-60 Hafif çelik çatılarda saçak ve mahya detayı [12]

Çatı konstrüksiyonu, düzenlenen açıklığa ve çatı altındaki mekanlara göre farklılık gösterir. Mertekleri destekleyen yanlamalar ile çatı yüklerinin bir kısmı taşıyıcı iç duvarlara aktarılabilir (Şekil 2-61). Gergi-bırakma kirişi olarak görev yapan tavan arası döşeme kirişlemeleri, aynı zamanda tavan kaplamasının monte edilebileceği yüzeyi de oluşturur. Bunun yanında, tavan kaplaması yapılmayıp, çatı eğiminin mekan içinden görülebildiği düzenlemeler yapmak da mümkündür.

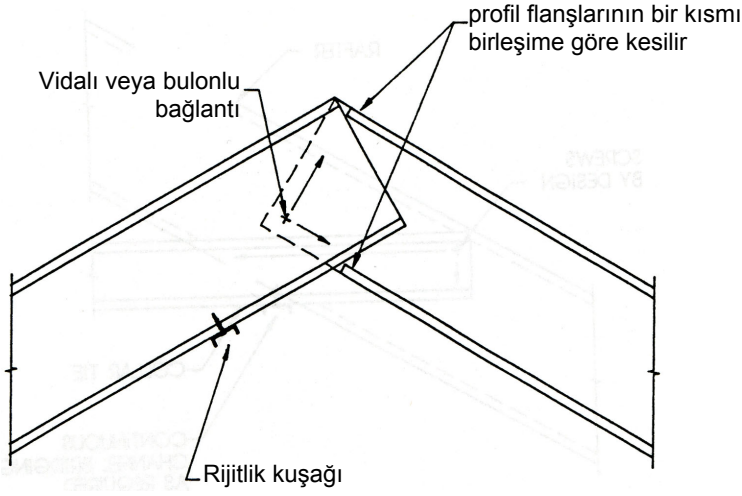


Şekil 2-61 Hafif çelik sistemlerde çatı kesiti örneği. [86, s.79]

Hafif çelik elemanlar ile arada mesnet noktası olmaksızın açıklığın bir defada geçilmesi mümkündür. Açıklığın genişliğine bağlı olarak, hafif çelik elemanlar, bir makas oluşturacak şekilde düzenlenirler. Açıklık üzerinde düzenlenen makaslar birbirlerine, kayıtlar, gergiler ve eğime dik yönde düzenlenmiş kirişlemeler ile bağlanır. Çatı makasları arasında düzenlenen kirişlemeler, çatı kaplamasının monte edileceği yüzeyi oluştururlar. Çatı makasının formuna bağlı olarak, farklı noktasal detaylara başvurulabilir. [67] Bazı çözümlerde mahya profiline ihtiyaç duyulmayabilir (Şekil 2-62, Şekil 2-63). Ancak temel ilke, düşey veya yatay yüklere karşı rijitliğin ve stabilitenin sağlanmasıdır.

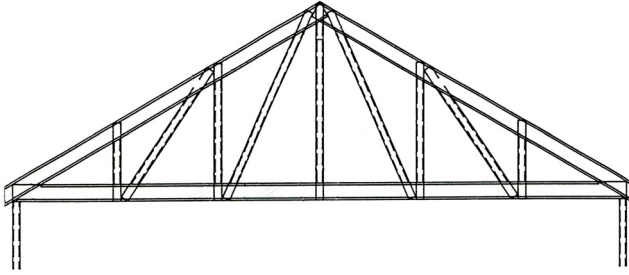


Şekil 2-62 Çatı merteklerinin payandalar ile desteklenmesi, [67]

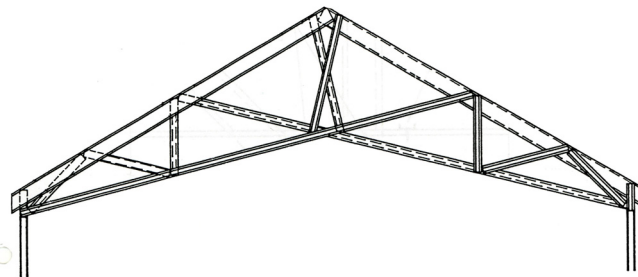


Şekil 2-63 Çatı mahyasında, mahya profilsiz detay [67]

Hafif çelik elemanlardan oluşturulmuş, çatı makasları ile büyük açıklıkların geçilmesi mümkündür (Şekil 2-64, Şekil 2-65). Hafif çelik çatı makaslarının, hafiflik, kolay taşınabilirlik ve kısa sürede montaj yapılabilme özellikleri, inşaat aşamasında büyük avantaj sağlar. Hafif çelik çatı makasları, hafif çelik sistemlerin dışında konvansiyonel çelik, betonarme veya yığma yapıların çatılarında sıklıkla uygulanmaktadır (Şekil 2-66).



Şekil 2-64 Hafif çelik elemanlar ile, büyük açıklık geçen çatı makaslarının oluşturulması [67]



Şekil 2-65 Hafif çelik elemanlar ile, büyük açıklık geçen çatı makaslarının oluşturulması [67]



Şekil 2-66 (A) Kanada, Ottawa'da konvansiyonel çelik strüktürlü bir yapının çatısının, (B) A.B.D.'de betonarme strüktürlü bir yapının çatısının, büyük açıklık geçen hafif çelik makaslar ile oluşturulması. [138],[139]

Hafif çelik elemanlar ile oluşturulan büyük açıklıklı çatılar, planda eğrisel formların üzerini geçebilecek şekilde de düzenlenebilir (Şekil 2-67).



Şekil 2-67 Büyük açıklıklı hafif çelik makaslar ile eğrisel formların oluşturulması.[130]

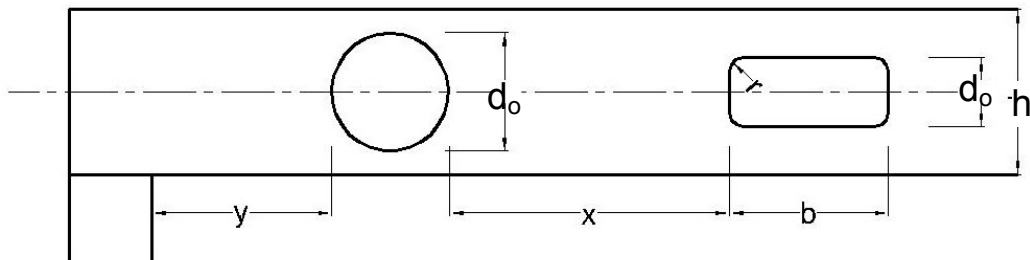
2.2.5 Alt Sistemlerin Bütünleştirilmesi ve Tesisat Bileşenleri

Binalarda, günümüzde kullanılan tesisat ihtiyacı, kablolu sistem, borulu sistem, kanal ve bacalar olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu sistemler ile elektrik, haberleşme kabloları, pis ve temiz su, havalandırma ve ısıtma gibi servisler gereken yerlere ulaşır.

2.2.5.1 Soğuk Şekillendirilmiş Elemanlarda Delik Açılması

Profiller üzerinde, tesisat sistemi geçirmek için delikler açılabilir. Ancak, delikler profil kesitini zayıflattığı için, delik açılması aşağıdaki limitler doğrultusunda uygulanmalıdır. [1,s.47], [2,s.53], [79s.12], [84,s.26], [94,s.3]

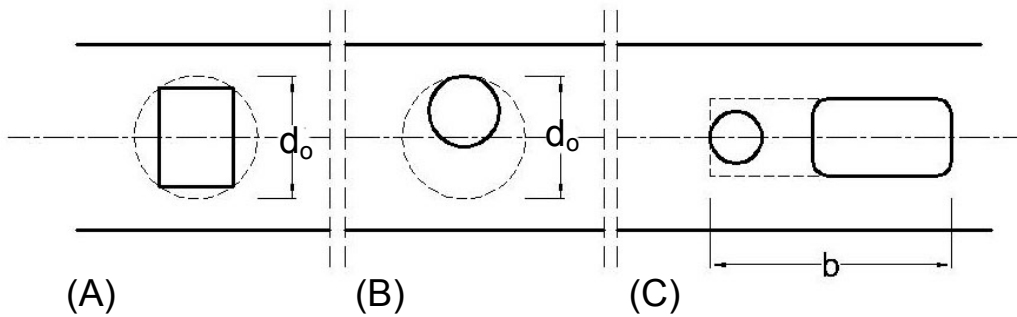
- Delikler sadece profil gövdesinde açılabilir.
- Delik merkezleri, profil eksenini üzerinde yer almalıdır.
- Gövde derinliği, levha kalınlığı oranı, $h / t \leq 200$.
- Levha kalınlığı en az, $t \geq 0.043$ inch (1,09 mm).
- Delik çapı veya delik eni, gövde derinliği oranı, $d_o / h < 0.7$.
- Profil sonuna veya mesnetlere uzaklık en az, $y \geq 12$ inch (304 mm).
- Delikler arasındaki temiz açıklık en az, $x \geq 3h$ veya $x \geq 18$ inch (457 mm).
- Dairesel delik çapı, $d_o \leq 6$ inch (152 mm).
- Dairesel olmayan deliklerde, delik boyu, $b \leq 4.5$ inch (114 mm), delik eni, $d_o \leq 2.5$ inch (64 mm).
- Dairesel olmayan deliklerde delik boyunun delik enine oranı $b/d_o \leq 2.67$.
- Dairesel olmayan deliklerde, köşe yarı çapı⁴, $r \geq 2t$, olmalıdır.



Şekil 2-68 Profil gövdesinde delik açılması

⁴ Missouri- Rolla Üniversitesi (UMR) bünyesinde yürütülen testlerde, dikdörtgen deliklerin keskin köşelerinin, potansiyel yüksek gerilme konsantrasyonunu taşıdığı görülmüştür. [1, s 47]

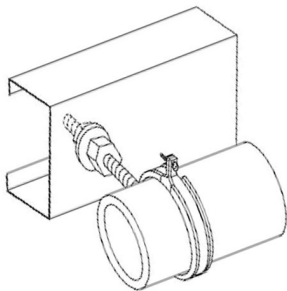
Bu sınırlamalara karşın, özel durumlar olabilir. Şekil 2-69(A)'daki örnekte dikdörtgen deliğin eni, 2.5 inch'den (64 mm) fazladır. Bu durumda, dikdörtgen delik, kabul edilebilir sınırlarda bir dairesel delik olarak varsayılır. [1, s.48] Benzer şekilde deliğin profil aksında açılmadığı durumda, (Şekil 2-69 (B)) deliğin sınırları, hesaplamalarda ekseninde yer alan limitlere uygun bir dairesel delik kadar büyütülür. [94, s.3] Birbirine yakın olarak delik açılması gerektiği durumlarda ise delikler $d_o=2.5$ inch ve $b=4.5$ inch sınırlarını sağlayan tek bir dikdörtgen delik olarak ele alınır (Şekil 2-69 (C)).



Şekil 2-69 Profilere delik açılmasında özel durumlar. [94]

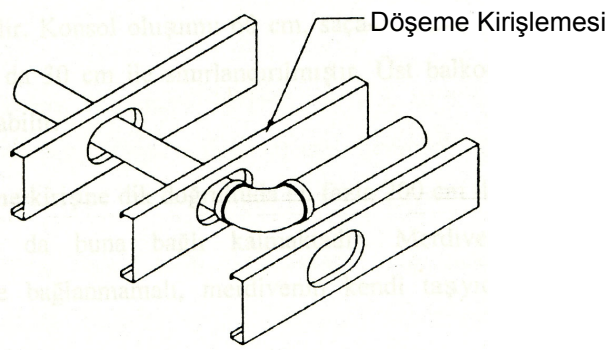
2.2.5.2 Tesisatın Yatayda Yerleştirilmesi

Hafif çelik yapılarda döşeme, bükme profil kirişlemelerden oluşur (Bkz. 2.2.2 Döşemeler). Gerekli servislerin yatay dolaşımı için döşeme ve tavan kaplamaları arasında yer bırakılmalıdır. Ancak, uygulama sırasında, boru ve kabloların taşıyıcı sisteme değmemesine dikkat edilmelidir. [46, s.28] Döşeme kirişlemelerine paralel yönde tesisat elemanları düzenlenirken, kirişler arasında kalan boşluk kolaylıkla kullanılabilir. Bu tesisat elemanları, hafif çelik kirişlere bağlantı elemanları ile asılır. Bu bağlantı elemanları, gerekli yalıtımı sağlar nitelikte olmalıdır (Şekil 2-70).

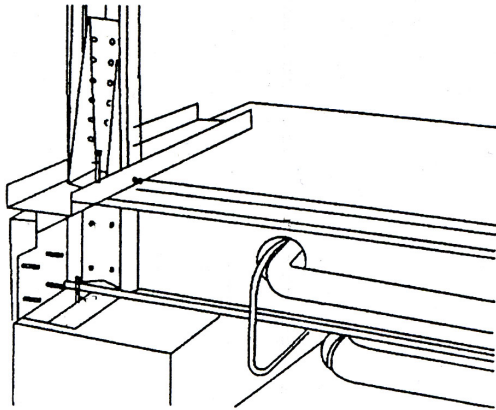


Şekil 2-70 Kirişler arasında düzenlenen tesisatın kirişlere bağlanması. [103]

Tesisat elemanlarının kirişlemelere dik yönde düzenlenmesi, profillerin gövdelerinde açılan boşluklar vasıtasıyla gerçekleştirilir (Şekil 2-71). Ancak, profillerin gövdelerinde açılacak delikler, tesisat elemanlarının geçmesi için, yeterli olmayabilir. Bu durumda, tesisat elemanları, kirişlerin altından geçirilir. Tesisat elemanlarının görünmemesi için asma tavan yapılabilir. Zemin kat hafif çelik döşemesi altındaki temel boşluğu, tesisat elemanlarının düzenlenmesine olanak verir (Şekil 2-72).



Şekil 2-71 Tesisatın profil gövdesinde açılan deliklerden geçirilmesi [127, s.144]



Şekil 2-72 Tesisatın döşeme altından geçirilmesi [18, s.22]

2.2.5.3 Tesisatın Düşeyde Yerleştirilmesi

Hafif çelik yapıların düşey yüklerini taşıyan bükme profiller, yapı yükü ve kaplama malzemelerinin özelliklerine göre belirli aralıklarda yerleştirilirler. Ancak, bu servisler, duvar ve döşeme boşluklarından geçirilirken çeliğin ısı, elektrik ve ses açısından iletken olduğu unutulmamalıdır. Uygulama sırasında, gerekli yalıtımlar dikkatli bir biçimde sağlanmalıdır (Bkz. 3.2. Yapı

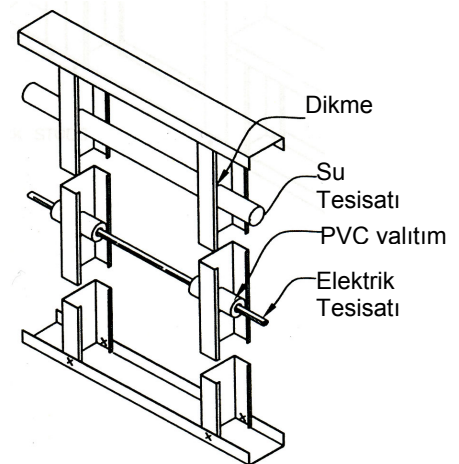
Fiziği Sorunları Açısından Analiz ve Değerlendirme). Elektrik tesisatının - başka malzemeden duvarlarda olduğu gibi- plastik boru içinden geçmesi gerekmektedir. Elektriğin –özellikle herhangi bir afet sonrası- devreden çıkacağı sigorta sisteminin devreye sokulması unutulmamalıdır. [57, s.28]

Prefabrikasyonun yüksek olduğu hafif çelik yapılarda, elektrik tesisatının duvar konstrüksiyonu içinde hazır olarak şantiyeye getirilmesi mümkündür (Şekil 2-73).



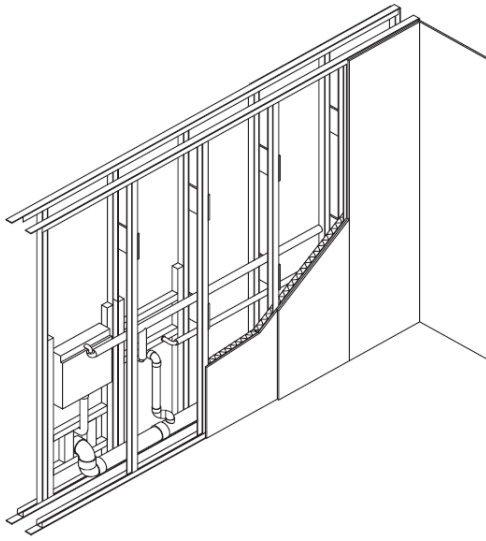
Şekil 2-73 Ön üretim esnasında, hafif çelik konstrüksiyon içine tesisatın montajı. [103]

Tesisat elemanlarının, hafif çelik dikmelere dik yönde geçirilmesi, döşemelerde olduğu gibi, profillere açılan deliklerden gerçekleştirilir. Düşey yönde ise, dikmeler arasındaki boşlukta düzenlenir (Şekil 2-74).

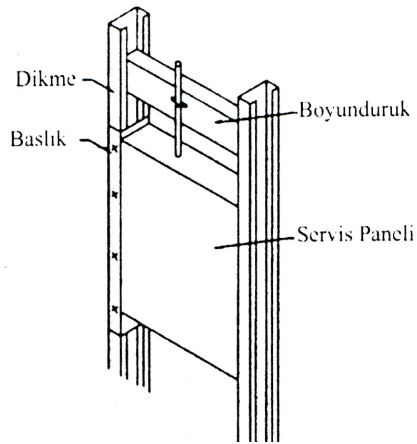


Şekil 2-74 Elektrik ve su tesisatının profiller arası boşlukta düzenlenmesi ve profillerde açılan deliklerden geçirilmesi. [43], [72, s.92]

Duvar konstrüksiyonu arasında kalan boşluğun ve profil gövde genişliklerinin tesisatın geçirilmesine olanak tanımadığı durumlarda, çift duvar düzenlenir. Çift duvar, tesisat elemanlarının yoğun olduğu durumlarda da uygulanabilir. [103] Böylece profil gövdesine çok fazla sayıda delik açılarak zayıflatılması engellenmiş olur (Şekil 2-75). Duvar konstrüksiyonu içindeki tesisat elemanlarına, arıza, bakım gibi nedenlerle ulaşılabilmesi için dikmeler arasında tesisat panelleri düzenlenmesinde yarar vardır (Şekil 2-76).[3, s.29]



Şekil 2-75 Tesisat elemanlarının düzenlenebilmesi için oluşturulmuş hafif çelik çift duvar [103]



Şekil 2-76 Dikmeler arasında servis paneli düzenlenmesi [3, s.29]

2.3 Taşıyıcı Sistem Kuruluşu ve Yapım Sistemleri

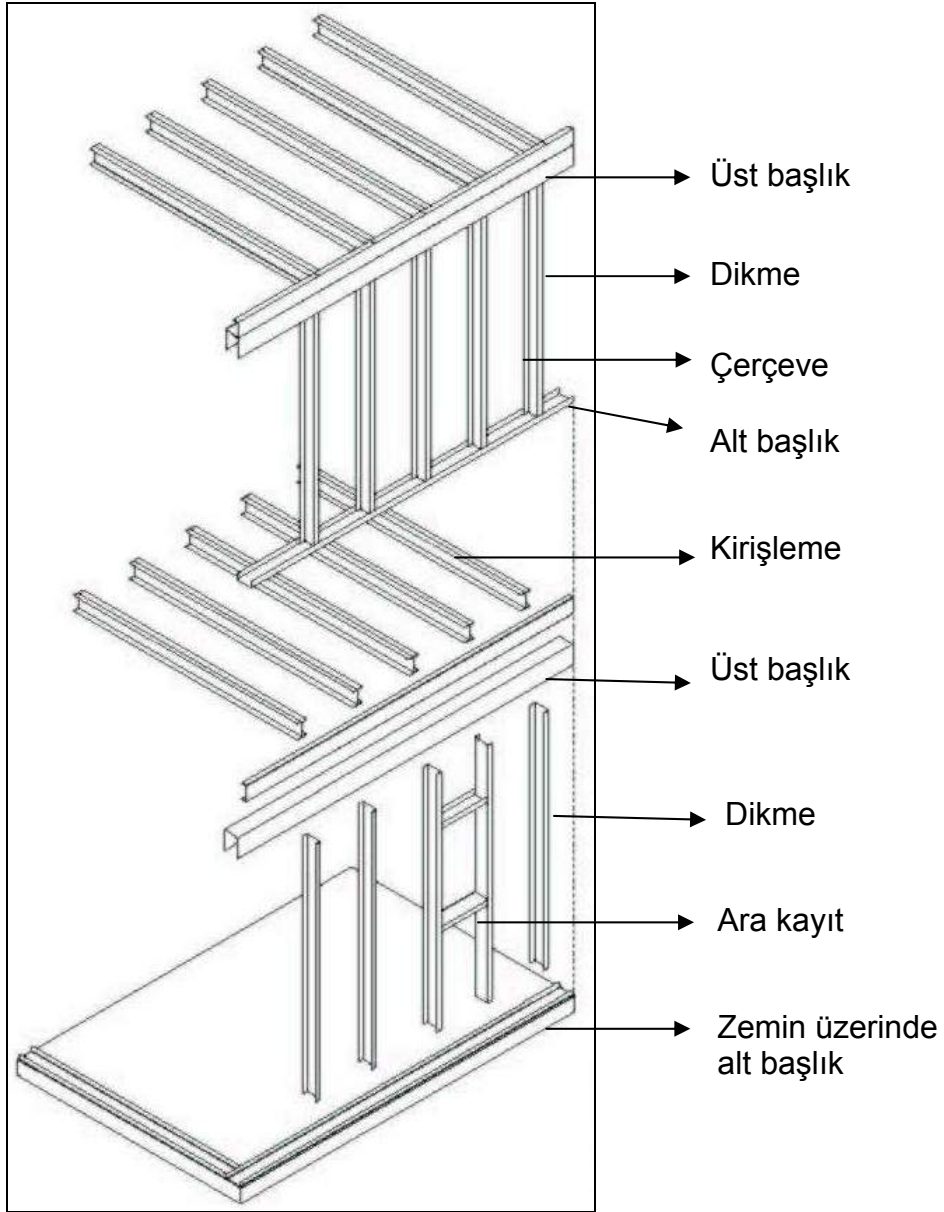
Hafif çelik yapılarda, taşıyıcı sistem, doğrusal, yüzeysel ve hücresel olmak üzere üç farklı yapım sistemine göre kurulabilir.

2.3.1 Doğrusal Yapım Sistemi

Doğrusal elemanlı sistemler “yarı prefabrike” veya “prefabrike olmayan” alt olarak iki alt başlıkta incelenebilir. Yarı prefabrike sistemlerde, yapı uygulama projesine göre fabrikada hazırlanmış, yapıya özel boyutlarda hafif çelik elemanlar kullanılır. Prefabrike olmayan sistemde, üreticinin kesim tablosunda standart boyda yer alan hafif çelik elemanlar şantiyede kesilerek boyutlandırılır. Yatay ve düşey taşıyıcı elemanlar şantiyede bir araya getirilerek taşıyıcı bileşenler oluşturulur. Çoğunlukla kendiliğinden delme özelliği olan vidaların (*Self-drilling screws*) kullanılması tercih edilir. Kaynak işlemi çok gerekmedikçe yapılmaz. Taşıyıcı çerçeve, betonarme temel veya döşemenin üzerine ankrajlar ile tespit edilmiş U profil bir alt başlık üzerine dikmelerin montajı ve dikmelerin üzerine gelen yine bir U profil üst başlık ile oluşturulur. Çerçevelerin yatay yüklere karşı rijitlenmesinin ardından, çerçeve yüzeylerinin kaplanması gerçekleştirilir (Şekil 2-77, Şekil 2-78,). Ayrıca düşey yükler sonucu dikmelerin eğilmelerini önlemek için ara kayıtlar ile takviye edilirler.



Şekil 2-77 Doğrusal elemanlı hafif çelik inşaatı. [42]



Şekil 2-78 Doğrusal (*stick-built*) elemanlı sistem. [103]

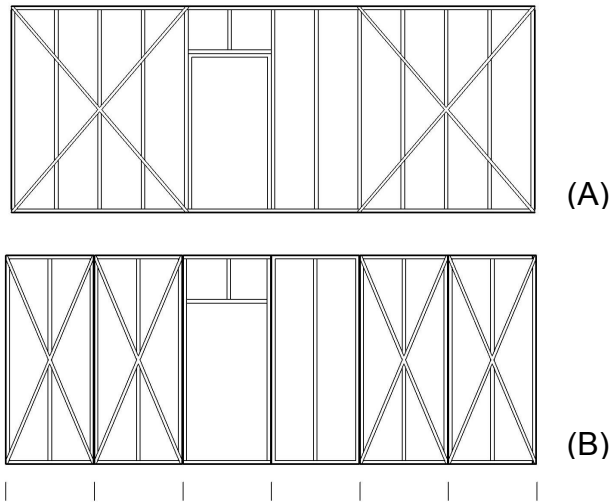


Şekil 2-79 Doğrusal elemanlı hafif çelik inşaatı [42]

Süre olarak hücresel ve pano yapım sistemlerine göre daha uzun sürede (birkaç ay) inşa edilir. Profillerin galvaniz kaplamalarının zarar görme olasılığı diğer sistemlere göre daha fazladır. [117]

2.3.2 Pano Yapım Sistemi

Pano yapım sistemi, fabrika ortamında taşıyıcı çerçevenin hazırlanıp, yüzeylerinin kaplanması suretiyle oluşturulan panoların, şantiyede montajının gerçekleştirildiği yapım sistemidir. Duvar veya döşemeler bütün olarak imal edilebildiği gibi, modüller halinde de olabilir (Şekil 2-80). Duvar ve döşemeler tek parça hazırlandıkları takdirde nakliye güçlüğü göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 2-80 Pano yapım sisteminde yapı bileşenlerinin bir bütün olarak (A) ve modüler elemanlar (B) olarak şantiyeye getirilmesi.

Pano yapım sistemi, dünyada en yaygın kullanılan sistemdir. Doğrusal yapım sistemine göre pano yapım sisteminin planlama esnekliğini kısmen kısıtlı olsa da şantiye süresinden büyük tasarruf sağlanır. Panolar hafif olması nedeniyle 2-3 işçi tarafından rahatlıkla taşınıp monte edilebilmektedir. 5-6 kişilik kalifiye bir ekip tarafından iki katlı standart ölçülerde bir konutun taşıyıcı sistemi birkaç gün içinde tamamlanabilmektedir. Sistem kolay ve hatalara mahal vermeyecek şekilde temiz bir şantiye ortamı sağlar. [117] Elemanlar bitmiş olarak geldikleri için şantiyede sadece montaj işlemleri gerçekleştirilir. Ek bir kesme vb. işleme tabi tutulmalarına gerek yoktur. Panolar şantiyeye bir yüzü

bitirilmiş, her iki yüzü bitirilmiş şekilde getirilebilir (Şekil 2-83, Şekil 2-84, Şekil 2-85). Veya şantiyede kaplanmak üzere sadece çerçeve (ızgara pano) olarak da üretilebilirler (Şekil 2-81, Şekil 2-82,). Ancak bu durumda prefabrikasyon düzeyi düşecektir.



Şekil 2-81 Izgara pano yapı sistemi. [143]



Şekil 2-82 Şantiyede hafif çelik prefabrike duvarın montajı [105]



Şekil 2-83 Her iki yüzeyi OSB kaplanmış pano yapım sistemi elemanı [143]



Şekil 2-84 Bir yüzeyi OSB kaplanmış pano yapım sistemi [103], [105]



Şekil 2-85 Bitmiş döşeme elemanın şantiyede montajı [103, s.20]

Genelde, hafif çelik yapıların inşaatında, elemanlar, yerde montajları tamamlandıktan sonra, kaldırılarak yerlerine yerleştirilir. Böylece, inşa kolaylığı ile birlikte, daha hassas çalışılması da mümkündür (Şekil 2-82, Şekil 2-85). Ancak duvarların yerlerine kaldırma işlemleri sırasında meydana gelebilecek deformasyonları ve gerilmeleri önlemek için duvar yüzeyine geçici çaprazlamalar monte edilmelidir. Yüzeyleri önceden kaplanmış duvar elemanlarında böyle bir sorun nispeten daha azdır. Yerde montajı tamamlanmış duvar yerine kaldırıldıktan sonra payandalar ile desteklenmelidir. Duvarlar birbirlerine ve döşemeye monte edilip, döşeme kirşlemeleri yerleştirildikten sonra destek payandaları ve çaprazlamalar sökülebilir (Şekil 2-86). [84, s21]



Şekil 2-86 Duvar montajının ardından yapılan geçici destek payandaları ve çaprazlama
[84, s.21]

2.3.3 Hücresel Yapım Sistemi

Hücresel yapım yönteminde, yapı elemanları, modüler hücreler şeklinde, tamamıyla bitirilmiş üniteler halinde şantiyeye getirilirler. Sistemin yapısal çalışma ilkeleri hafif çelik çerçeve sistem ile aynıdır.[117] Ancak her ünite kendi içinde rijit bir kafes oluşturur. Ünitelerin bir araya gelmesi ile yapı sistemin strüktürel rijitliği oluşur. Prefabrikasyon derecesinin % 90'a kadar yükselebilmesi, inşaat süresinin oldukça kısa olmasını sağlar. Ünitelerin prefabrikasyonu, genellikle tesisat elemanlarını da içerir.

Üretilen ünitelerin, yangın dayanımını artırmak için hazırlanan özel ısı yalıtım sistemleri ve ek çelik bağlayıcılar sayesinde sistem altı kata kadar yapı yapılmasına imkan vermektedir. Hücre elemanların vinçler ile taşındığı sistemde, üst üste konulan modüller dıştan çelik kablo veya farklı gergi elemanları ile birbirlerine sabitlenerek hafif çok katlı yapı oluşumu sağlanmaktadır. [117]

Nakliye, montaj şartları ve sistemin ekonomisi arasında bir denge göz önüne alındığında, genellikle 8 x 3.2 m hücre boyutları tercih edilir. Hücrelerin tekrar kullanıma uygun, yer değiştirebilecek şekilde tasarlanmaları önemli bir avantaj oluşturur.[117]

Diğer yapım yöntemlerinden daha çok uzmanlaşmış işçilik getirmesi, nakliye zorluğu, montajda kaldırmalar sırasında oluşan ek gerilmeler ve planlama esnekliğinin olmayışı ise sistemin dezavantajlarıdır. Hücresel sistemde üniteler yüksek fabrikasyon içerdiği için, ekonomik, seri üretimin çok sayıda yapılmasına bağlıdır. Bu yüzden genelde toplu konutlar, okul, sıra evler, ofis binaları veya ıslak hacimler gibi plan tekrarlarının olduğu yapılarda tercih edilir (Şekil 2-87).[110]



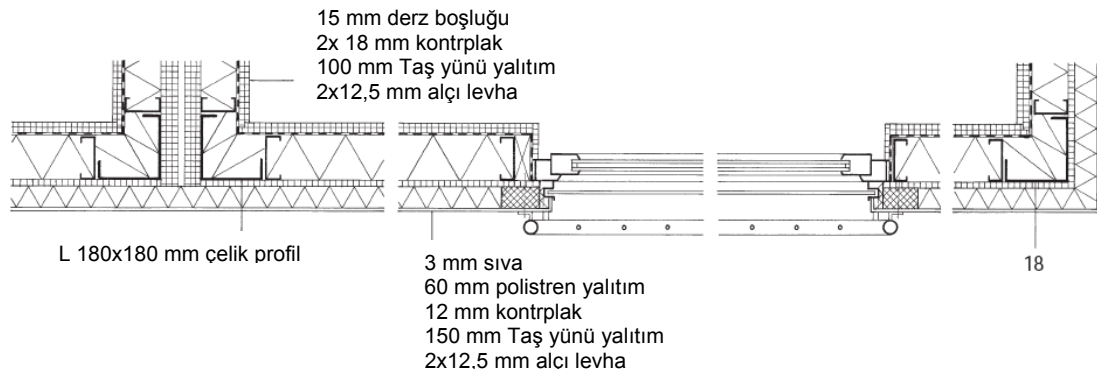
Şekil 2-87 Prefabrikasyon ile üretilmiş hafif çelik kapalı modüler hücrelerin bir araya getirilmesi. [104], [110]

Hücre yapım sisteminde üniteler, “kapalı hücreler” ya da “açık hücreler” şeklindedir.

Kapalı modüler hücrelerde, ünitenin her tarafı tamamen sınırlandırılarak, mekan büyüklüğü belirlenmiş olur. Hücrenin büyüklüğü, taşınabilme imkanı ile sınırlıdır. Hücrelerin genişliği, kara yolu ile taşınması esnasında, trafik kanunlarının izin verdiği ölçüde olabilir. Bu durumda modüllerin bir yöndeki boyunun 2.40 m veya 3.30 m daha fazla olmamalıdır. Mekan boyutlarında bu genişliğe bağlı kalacağı için genelde konut yapıları için daha uygundur (Şekil 2-88).



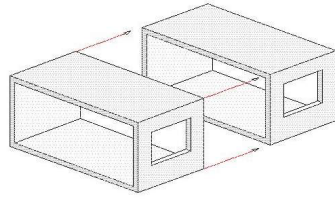
Şekil 2-88 Kapalı hücre yapım sistemi ile toplu konut inşası, (Mimar:Michael Lauer, Darmstadt, Almanya) [109]



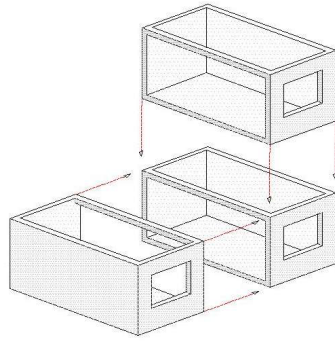
Şekil 2-89 Kapalı hücrelerin yan yana gelmesi, sistem detayı, (Mimar:Michael Lauer, Darmstadt, Almanya) [109]

Açık hücreler de ise hücreler tamamı ile sınırlandırılmamışlardır. Sınırlanan taraflar, taşıyıcı duvar veya taşıyıcı iç duvar olabilir. Hücrelerin sınırlandırılmayan tarafı, diğer hücre ile birleşerek daha büyük bir mekan oluşturulmasına imkan verir. Bunun amacı modüler hücrenin nakliyesinin kolaylaştırılması yada tek hücre modülünden oluşan birim mekandan

başlayarak, birleşmiş çok sayıda hücrenin oluşturduğu büyük mekanlara doğru planlama esnekliğinin sağlanmasıdır. Konut yapıları gibi tek bir bireyin konut ihtiyacından, kalabalık ailelerin konut ihtiyacına kadar çeşitlilik gösteren mekan ihtiyacı, modüllerin farklı sayıda ve kombinasyonda bir araya getirilmesiyle çözülebilir (Şekil 2-90).



A)Modüler Hücrenin dış duvarları taşıyıcı olduğu sistemde, yan duvarlar sınırlandırılmayarak, mekanların modüler olarak büyütülmesine imkan tanınmaktadır. Yapı enine bölünmüş modüller şeklindedir ve modül boyu yapı boyunu oluşturmaktadır. Mekanlar taşıyıcı olmayan duvarlar ile birbirinden ayrılabilir.



B)Modüller birleşerek daha büyük mekanlara imkan verir. Böylece açık modüler hücrelerin birleşmesiyle ihtiyaç duyulan daha büyük mekanın taşınma ve imalat problemleri çözülmüş olur. Modülün üst kısmı da sınırlandırılmayarak, malzeme tasarrufu sağlanmış olur. Üsteki modülün zemini, alt modülün tavanını oluşturacaktır.

Şekil 2-90 Hafif çelik açık hücrelerin bir araya getirilmeleri.

Hafif çelik açık hücreler ile yapım sisteminde dikkat edilmesi gereken önemli bir konu, hücrelerin yapısal rijitliğidir. Kapalı hücrelerin aksine hücrelerin tüm yüzleri, hafif çelik duvarlar ve döşemeler ile kapalı olmadığı için hücrelerin açık yüzleri, sıcak hadde çelik çerçeveler ile desteklenmelidir. Bu durum yapı stabilitesi ile birlikte, hücrelerin taşınma sırasındaki rijitliklerini koruyabilmesi içinde gereklidir (Şekil 2-91).



Şekil 2-91 Açık yüzleri sıcak hadde çelik profiller ile desteklenmiş hafif çelik hücreler.

Hafif çelik doğrusal, pano ve hücreli yapı sistemleri Tablo 2-6'da olduğu gibi özetlenebilir.

Tablo 2-6 Hafif çelik, doğrusal, pano ve hücreli yapı sistemleri.

	Elemanlar			Eleman kesitleri	Eleman boyutları	Montaj şekli	Uygulama alanı
Doğrusal yapı sistemi	Prefabrike	Hafif çelik profiller		Standart profil kesitleri	Atölyede projeye göre hazırlanmış, standart profiller, (çeşitli boylarda)	Vida Bulon Kaynak Perçin, Punto	Plan tekrarı olmayan yapılar, müstakil konut, villa vb.
	Prefabrike olmayan	Hafif çelik profiller		Standart profil kesitleri	Şantiyede kesilmek üzere, standart profiller (tek tip standart uzunlukta)	Vida Bulon Kaynak Perçin, Punto	Tekrarı olmayan bir defaya özgü, yapılar
Pano yapı sistemi	Bitmiş pano	Pano duvar	Büyük	Standart profil kesitleri	H:240-340 cm ve bileşen boyunda	Geçmeli veya bulonlu	Toplu konut, ofis, okul vb. yapılar veya prefabrike katalog evler
			Modüler	Standart profil kesitleri	H:200-340 cm En: 120 cm	Geçmeli veya bulonlu	
		Pano döşeme	Büyük	Standart profil kesitleri	Döşeme büyüklüğünde	Geçmeli veya bulonlu	
			Modüler	Standart profil kesitleri	Döşeme açıklığında ve 120 cm eninde	Geçmeli veya bulonlu	
	Izgara pano	Pano duvar	Büyük	Standart profil kesitleri	H:240-340 cm ve bileşen boyunda	Bulonlu veya vidalı	
			Modüler	Standart profil kesitleri	H:240-340 cm En: 120 cm	Bulonlu veya vidalı	
		Pano döşeme	Büyük	Standart profil kesitleri	döşeme büyüklüğünde	Bulonlu veya vidalı	
			Modüler	Standart profil kesitleri	Döşeme açıklığında ve 120 cm eninde	Bulonlu veya vidalı	
Hücreli yapı sistemi	Açık hücre üniteleri			Standart profil kesitleri + sıcak hadde profiller	H:240-340cm Maksimum 800 x 320 cm boyutlarında	Dıştan çelik çaprazlama, özel bağlantı elemanları ve bulonlu birleşimler	Toplu konut, gibi farklı ihtiyaçlara göre farklı mekan büyüklükleri gerektiren yapılar
	Kapalı hücre üniteleri			Standart profil kesitleri	H:240-340cm Maksimum 800 x 320 cm boyutlarında	Dıştan çelik çaprazlama, özel bağlantı elemanları ve bulonlu birleşimler	Toplu konut Sıra ev Okul Ofis gibi plan tekrarı olan yapılar.

3 HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Çalışmanın bu bölümünde, hafif çelik yapı sistemleri üç farklı açıdan analiz edilmektedir. Konu, ilk başlıkta taşıyıcı sistem, ikincide yapı fiziği sorunları ve son başlıkta da mimari kuruluş açısından ele alınmaktadır.

3.1 Taşıyıcı Sistem Açısından Analiz ve Değerlendirme

Hafif çelik yapı sistemleri, taşıyıcı sistem açısından değerlendirilirken; yapı yükleri ve statik hesap tasarım yöntemleri, strüktür etkinliğini ve davranışını belirleyen unsurlar öncelikle ele alınmalıdır.

3.1.1 Yapı Yükleri ve Statik Hesaplama-Boyutlandırma Yöntemleri

Hafif çelik yapı sistemlerinde, taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında yapı yükleri ve malzemenin karakteristik dayanımı esastır. Yükler, kullanım süresi boyunca yapıyı etkileyebilecek ve tasarımda göz önüne alınması gereken, çeşitli fiziksel etkilerdir. (Düşey yükler, rüzgar, deprem gibi yatay yükler, farklı temel oturmaları, sıcaklık değişiklikleri, sünme ve büzülme vs. sonucu oluşan şekil değişme etkilerinin yanında kullanım kaynaklı yükler vb.)

Yükler, hesap yöntemlerinde, kalıcı yükler ve hareketli yükler olarak ele alınır. Kalıcı Yük (Ölü yük): Yapının taşıyıcı (kolon, kiriş, döşeme vb.) veya taşıyıcı olmayan kalıcı elemanlar (döşeme, duvar kaplamaları vb.) ile sabit mobilya benzeri elemanları kapsayan yüklerdir.

Hareketli Yük: İnsan, mobilya, makine, araç, rüzgar, kar, deprem gibi yüklerdir. Ancak rüzgar ve deprem etkisi ile oluşan yatay yükler, hareketli yükler dışında ayrıca bir faktör olarak ele alınır. [121]

Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlardan oluşan hafif çelik yapılar için Türkiye’de ilgili bir standart veya yönetmelik olmamasına karşın, Kanada, ABD ve Meksika’yı kapsayan “Kuzey Amerika Soğuk Şekillendirilmiş

Strüktürel Elemanların Tasarım Şartnamesi”nde⁵ birden fazla yöntemden bahsedilmektedir. Bu yöntemler, Türkiye’de konvansiyel çelik veya diğer yapı türleri için kullanılan yöntemlerle paralellik göstermektedir.

Kuzey Amerika Şartnamesi’nde hesap yöntemleri;

- “Kabul Edilebilir Gerilim” Yöntemi (*Allowable Strength Design, ASD*)
- “Yük ve Dayanım Faktör” Yöntemi (*Load and Resistance Factor Design, LRFD*)
- “Limit Durumu” Yöntemi (*Limit States Design, LSD*)

olarak ele alınmıştır.⁶

“Kabul Edilebilir Gerilim” Yöntemi

“*Allowable Strength Design, ASD*”, Türkiye’de Çelik yapılar için “Elastik Teori” veya “Emniyet Gerilmeleri Yöntemi” olarak adlandırılan hesap ve boyutlandırma yöntemi ile benzer prensiptedir.

ASD yönteminde, strüktürel elemanlardaki, gerekli kabul edilebilir gerilmeler, (eğilme momenti, aksenal kuvvet, kesme kuvveti) nominal veya çalışma yüklerinin kombinasyonlarının strüktürel analizi ile hesaplanır. Bu gerekli kabul edilebilir gerilmeler, şartnamenin sınırladığı kabul edilebilir tasarım gerilmelerini aşamaz. Kabul edilebilir tasarım gerilmeleri, nominal gerilmelerin 1.0’dan büyük bir güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilir. [1, s.21]

$$\sigma \leq \sigma_n / \Omega$$

σ = Gerekli kabul edilebilir gerilme

σ_n = Nominal gerilme dayanımı⁷

Ω = Güvenlik katsayısı

⁵ “*North American Specification for The Design of Cold-Formed Steel Structural Members*” (Tezde kısaca “Kuzey Amerika Şartnamesi” olarak kullanılacaktır.

⁶ Bu yöntemler içinde, ABD ve Meksika’da ASD veya LRFD yöntemlerinden birisi kullanılabilirken, LSD yöntemi sadece Kanada’da kullanılmaktadır.

⁷ Nominal gerilme dayanımı (Çelik karakteristik dayanımı): İstatistiksel verilere dayanılarak belirlenen bir değerdir. (Kullanılan çelik türü için yönetmeliklerde ön görülen en küçük akma dayanım değeridir).

Yapı yüklerinin etkisindeki eleman ve bileşenlerin kesit ve bağlantı noktaları, güvenlik katsayısı ile çarpılmış nominal gerilme dayanımını aşmayacak şekilde boyutlandırılır.

Güvenlik katsayısının esası, yapı bileşenlerinin tasarımları, üretimleri ve uygulamalarındaki belirsizliklerle birlikte, etkiyen yapı yüklerine ilişkin belirsizlikleri de dengelemektir. Hafif çelik yapılar için uygun güvenlik katsayıları Kuzey Amerika Şartnamesinde belirtilmiştir. Deneyimlerden yola çıkarak, güvenlik katsayılarının tatmin edici sonuçlar sağladığı görülmüştür. Dikkate alınması gereken bir husus da, ASD yönteminde, yük türünün göz önüne alınmayıp, sadece bir güvenlik katsayısı kullanılmasıdır. [1, s.21]

Gerekli kabul edilebilir gerilmeler hesaplanırken, yapı ölü yükü ve deprem, rüzgar, kar, termal gerilmeler, insan, araç vb. hareketli yükler göz önüne alınır.⁸

Yük ve Dayanım Faktörü Tasarım Yöntemi

“*Load and Resistance Factor Design, LRFD*”, Türkiye’deki “Taşıma Gücü Yöntemi” ile aynı prensiptedir. Çelik yapılar için TS 4561’de “Plastik Teori” olarak da adlandırılmaktadır.

Plastik teoriye göre hesap; çelik gibi elastoplastik malzemeden yapılmış elemanların oluşturduğu taşıyıcı sistemlerin tasarımında, taşıma sınır durumu kıstas alınarak uygulanan, kesit boyutlandırma metodudur. Taşıma sınır durumu (*limit state*) ise, bir taşıyıcı sistem veya sistem bölümünde yeterli sayıdaki elemanın art arda plastikleşmesiyle yıkılma mekanizmasının oluşması durumudur. Kesit momentlerinin belirli bir sınır değere ulaşması

⁸ “Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği Standardı”nın (*American Society of Civil Engineers Standard*) yayınlamış olduğu “Yapılar ve Diğer Strüktürler İçin Minimum Tasarım Yükleri, ASCE 7 (ASCE 1998)” standardında; ölü yük hariç olmak koşuluyla, iki veya daha fazla hareketli yükün toplam etkisi, 0,75 faktörü ile çarpılarak azaltılabileceğinden bahsedilmektedir. Ancak “çarpım sonucu azaltılmış bileşke hareketli yük, herhangi bir hareketli yükten az olmaz” koşulu da getirilmiştir. Bu azaltma iki veya daha fazla hareketli yükün aynı zamanda maksimum değere ulaşma ihtimalinin düşük olmasına dayanır. Yapı, maksimum rüzgar yükü altındayken, aynı zamanda bir deprem gerçekleşme ihtimalinin az olması, bu duruma örnek olarak verilebilir.[2]

sonucunda, kesit momentinde belirgin bir artış olmamakla birlikte, kesitte büyük ve geri dönüşü olmayan deformasyonlar plastik mafsalları oluşturur. Bir taşıyıcı sistem üzerinde, etkisi altında olduğu yükleri kararlı olarak taşıyamayacak kadar çok plastik mafsalları oluşması durumunda yıkılma mekanizması meydana gelir. [123, s.1-3] Çelik malzemenin plastikleşme sınırı olarak çeliğin akma sınırı kabul edilebilir.

Limit durumunda, taşıyıcı eleman veya bileşenlerin strüktürel kullanılabilirliği o kadar zayıflamıştır ki strüktür kullanıcıları için tehlikeli olmaya veya strüktür bileşenleri tasarlanan işlevleri yerine getirememeye başlar. Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar için tipik limit durumu, aşırı deformasyonlar, akma, burkulma ve maksimum gerilmenin aşılması sonrası ortaya çıkan lokal burkulmalardır. [1, s.21] Stabilitate kaybı denilen bu duruma, lokal olarak kesitlerde akma veya kopmanın yanı sıra, sistemde lokal veya global burkulma sonucu ortaya çıkan büyük yer değiştirmeler de yol açabilir. [34, s.10] Bu limit durumları, pratikteki veya laboratuvarlardaki gözlemlerden yola çıkılarak ortaya konulmuştur. Bu gözlemler, analitik ve deneysel araştırmalar ile desteklenmiştir. [1, s.21]

Yük ve dayanım faktörü yönteminde iki tür limit durumu göz önüne alınır:

(1) Gerilmelerin, strüktürün öngörülen ömrü boyunca ekstrem yüklere karşı dayanabilmesini sağladığı limit durumu.

(2) Strüktürün ömrü boyunca ön görülen işlevlerini yerine getirebilme özelliğinin sağladığı limit durumu.⁹ [1, s.22]

LRFD yöntemi için gerilim limit durumu aşağıdaki gibidir.

LRFD yöntemi için gerilim limit durumu:

$$\sum \gamma_i P_i \leq \Phi \sigma_n$$

σ_n = Nominal gerilme dayanımı

Φ = Gerilme dayanım katsayısı¹⁰

⁹ Bu iki limit durumu genellikle “gerilimin limit durumu” ve “kullanılabilirlik limit durumu” olarak anılır. [1, s.22] ASD metodu gibi LRSD metodunda üzerinde odaklandığı “kullanılabilirlik limit durumu”ndan ayrıca bahsedilecektir.

γ_i = Yük güvenlik katsayısı

P_i = Yük etkisi

$\Phi \sigma_n$ = Tasarım gerilme dayanımı

Yapıların taşıyıcı sisteminin taşıma gücünün limit durumuna karşı yeterli güvenlikte olması gerekir. Bu güvenlik, yapılan hesap ve boyutlandırmalarda, bir taraftan yükler 1,0'dan büyük yük güvenlik katsayısı¹¹ (γ_i) ile çarpılırken diğer taraftan nominal gerilme dayanımı¹² (çelik karakteristik dayanımı), 1.0'dan küçük bir katsayı (Φ) ile çarpılarak sağlanır. [2]

LRFD yönteminin avantajları:

- (1) Yük ve dayanımların, çeşitli tiplerdeki belirsizlik ve değişkenlikleri birbirlerinden farklıdır. Örneğin, ölü yükler, rüzgar yüküne göre daha az değişkenlik gösterir. (Rüzgar yükünün şiddeti, yönü, etkiye açısı değişken olabilirken, ölü yükler düşeydedir ve yer çekimi ivmesine bağlıdır.) Bu yüzden, bu farklılıklar, çoklu katsayılar kullanılarak hesaba katılmış olur.
- (2) Olasılıkların hesaba katılmasıyla, tasarımda daha tutarlı bir güvenlik elde edilebilir. Burada, LRFD'nin sağladığı temel, ASD metoduna göre olabildiğince, daha rasyonel ve rafine bir tasarım yöntemi olmasıdır.[2]

“Limit Durumu” Yöntemi

“Limit Durumu” yöntemi (*Limit States Design, LSD*), ilkeler açısından “Yük ve Dayanım Faktörü” yöntemiyle aynıdır. Hesap yöntemleri aynı olmakla birlikte kullanılan güvenlik katsayıları farklıdır. Bu güvenlik katsayılarının farklı olmasının nedeni eleman ve birleşim noktalarındaki ölü yükün hareketli yüke göre oranının yanında “güvenlik endeksi”nin (β , *reliability index*) ülkeden ülkeye farklılık göstermesidir. Güvenlik endeksi; eleman ve bağlantılar üzerindeki yük etkisi ve karşı dayanımın oluşma olasılıklarından yola

¹⁰ Gerilme dayanım katsayısı (Φ), nominal gerilme dayanımının (σ_n) yapısında var olan belirsizlik ve çeşitliliklerin etkisini azaltır.

¹¹ Yük güvenlik katsayısı (γ_i), yapıya etkiyen yüklerin belirsizlik ve çeşitliliğini azaltmak için kullanılan bir faktördür.

¹² Nominal gerilme dayanımı; bileşen veya elemanların gerilmeleri için verilmiş, bir limit durumudur. Bu limit durumu, nominal kesit özelliklerini ve uygun analitik modele göre gerilmeleri tanımlayan minimum malzeme özelliklerini verir.

çıkılarak elde edilen istatistiksel bir değerdir.[2] Bu değer ile birlikte ölü yük/ hareketli yük oranının da hesaba katılması ile yük ve dayanım güvenlik katsayıları elde edilir. Bu çeşitlilik dayanım faktörleri arasındaki farklılıkları açıklar.¹³

LSD yöntemi için gerilim limit durumu,[2]:

$$\sum \gamma_i P_i \leq \Phi \sigma_n$$

σ_n = Nominal gerilme dayanımı

Φ = Gerilme dayanım katsayısı

γ_i = Yük güvenlik katsayısı

P_i = Yük etkisi

$\Phi \sigma_n$ = Tasarım gerilme dayanımı

Tüm bu hesaplama ve boyutlandırma yöntemleri sonucunda elde edilen değerler, daha sonra “**kullanılabilirlik**” (serviceability) açısından da kontrol edilmelidir.

Kullanılabilirlik, bir strüktürün artık istenilen işlevleri yerine getirememesi durumunun sınırıdır. Ancak kullanılabilirlik bir yapının dayanıklılık değerlendirmesi değildir; taşıyıcı sistem bu sınırın üzerinde de ayakta kalır. Bununla beraber, kullanılabilirlik kriterleri, işlevsel performansın ve tasarımın ekonomikliğinin sağlanmasının temelidir.

Kullanılabilirlik kriterlerine göre inceleme gerektiren durumlar şunlardır:

¹³ Örneğin, LSD hesap yönteminin kullanıldığı Kanada’da ölü yük/ hareketli oranı 1/3 ve soğuk şekillendirilmiş strüktürel elemanlar için güvenlik endeksi elemanlarda $\beta=3,0$, bağlantı noktalarında $\beta=4,0$ ’dır. LRFD yöntemi ise ölü yük/ hareketli yük oranını 1/5, elemanlarda güvenlik endeksini $\beta=2,5$, bağlantı noktalarında güvenlik endeksini $\beta=3,5$ olarak kabul eder. Ayrıca tüm bu oran ve endeksler basınca, çekmeye veya eğilmeye çalışan elemanlarda farklı olarak ele alınır. [2]

- Strüktürün işlevsel kullanımını ya da görünümünü etkileyebilecek aşırı eğilme ya da dönmeler. (Strüktürel olmayan elemanlarda zarar yaratabilecek eğilmeler de göz önünde bulundurulmalıdır.)
- Ekipmanın kusurlu şekilde işlemesine veya kullanıcının rahatsızlığına neden olabilecek aşırı titreşimler.
- Görünümün bozulmasını ya da korozyonu da kapsayan türde bozulmalar.[2]

Tasarımcı kullanılabilirliği kontrol ederken, uygun servis yüklerini, strüktürün yanıtını ve binanın kullanıcılarının tepkisini değerlendirmelidir. Servis yükleri; statik yüklerin, kar veya yağmur yüklerinin, ısı dalgalanmalarının ve insan eylemlerinden kaynaklanan dinamik yüklerin, rüzgarın sebep olduğu etkilerin veya ekipmanın faaliyetinin de dahil olduğu değerlendirmeler isteyebilir.

Servis yükleri, herhangi bir zaman aralığında strüktüre etki eden fiili yüklerdir. Kullanılabilirlik sınırı mertebesinin kontrol edilebileceği uygun servis yükleri ancak standart yüklerin bir parçası olabilir.

Strüktürün servis yüklerine etkisi, normal olarak doğrusal elastik davranış kabul edilerek analiz edilebilir. Bununla beraber, servis yüklerinin altında fazla deformasyona uğrayan öğeler bu uzun vadeli davranışın değerlendirilmesini isteyebilirler.

Kullanılabilirlik sınırları kullanıcının algılarına ve strüktürün işlevine bağlı olarak değişir. Mukavemet (dayanıklılık) sınırı mertebesinin tersine, bütün strüktürlere uygulanabilecek genel bir kullanılabilirlik sınırı tanımlamak olası değildir. Şartname kesin şartlar barındırmamakta, bununla beraber kılavuzluk genellikle uygulanabilir yapı şartnamesiyle sağlanmaktadır.[2]

3.1.2 Taşıyıcı Sistem Etkinliğini ve Davranışını Belirleyici Unsurlar

Hafif çelik sistemlerde; çeşitli mekanik özellikler, soğuk şekillendirme sürecinin dayanıma katkısı ve flanş ve gövde genişliğinin levha kalınlığına oranı taşıyıcı sistem etkinliğini ve davranışını belirler.

3.1.2.1 Mekanik Özellikler

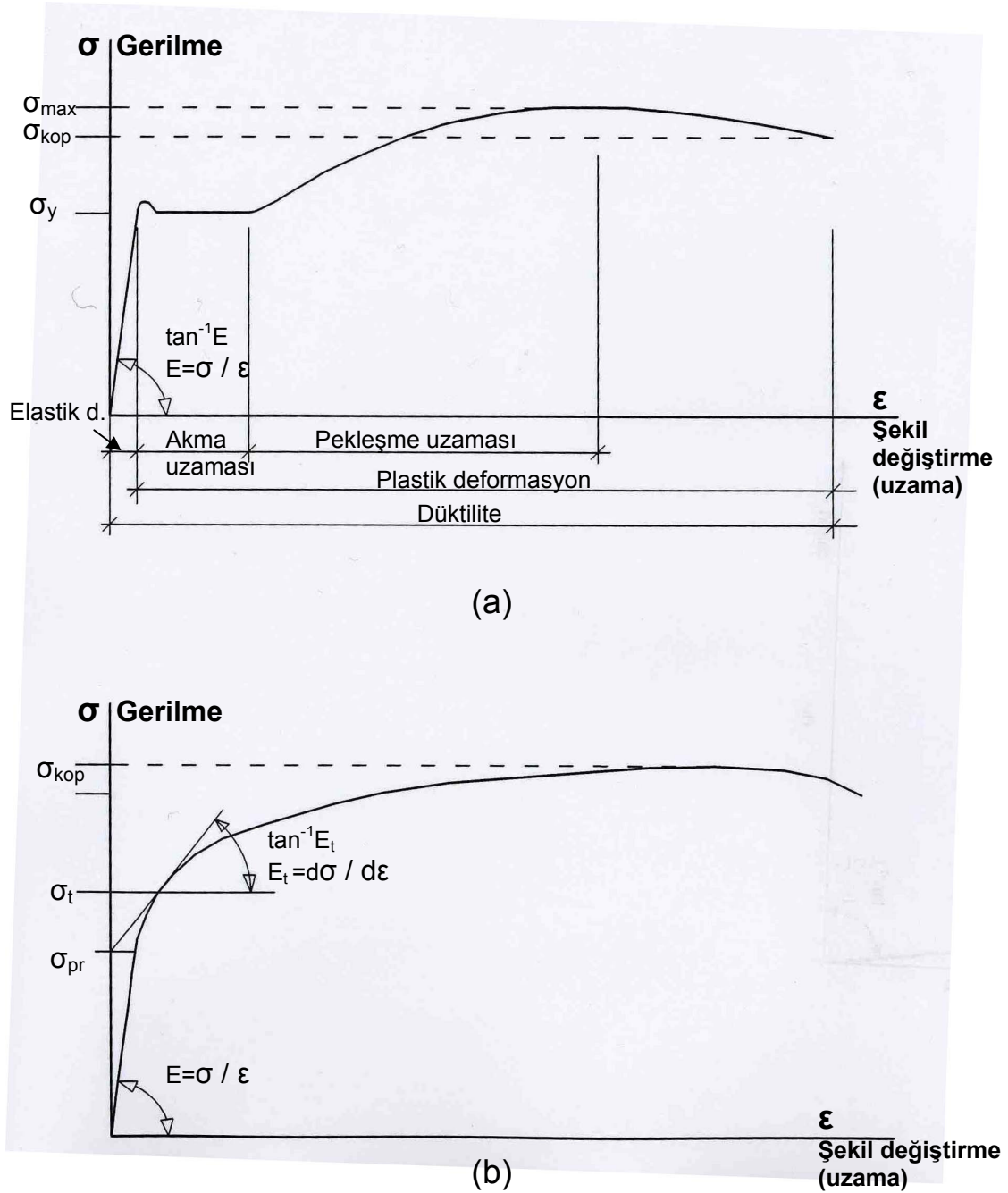
Hafif çelik yapı sistemlerinde, soğuk şekillendirilmiş çelik malzeme için, akma gerilimi, kopma mukavemeti ve düktilite¹⁴ önemli mekanik özelliklerdir. Soğuk şekillendirilmiş çeliğin düktilitesi ASTM¹⁵ standartlarıncı 51 mm (2 inch) uzunluğundaki deney malzemesinin uzama miktarı ile ölçülür. Kopma mukavemeti ile akma gerilmesi arasındaki oran ise bir diğer önemli malzeme özelliğini verir. Bu oran, pekleşme uzaması göstergesi ve malzemenin gerilimleri yeniden pay edebilme yeteneğidir. [1, s.17]

Strüktürel tasarımda ve yapı güvenliğinde belirleyici olan çeliğin mekanik özellikleri, gerilme-şekil değiştirme diyagramı ile belirlenir. Çelik elemana uygulanan gerilme sıfırdan başlayarak, kopma noktasına kadar yavaş yavaş artırılarak Şekil 3-1'deki gerilme-şekil değiştirme diyagramı elde edilir.

Çelik malzemenin çekme gerilmesi-şekil değiştirme diyagramı ile basınç gerilmesi-şekil değiştirme diyagramı simetrik biçimde gerçekleşir. Ancak bu simetri, elemanların basınç gerilmesi altında burkulma veya burulma durumunun göz ardı edildiği durumlarda geçerlidir. Bu kabulden yola çıkarak, gerilme-deformasyon diyagramı şerit veya levha çelik numuneler üzerinde çekme gerilmeleri uygulanarak oluşturulmuştur.

¹⁴Bu özellikler içinde düktilite, kopmaksızın veya kopmadan önce büyük ölçüde şekil değiştirebilme yeteneğidir. Düktilite, hem yapı güvenliği için hem de çeliğin soğuk şekillendirilmesinde önemlidir.

¹⁵ ASTM, American Society for Testing and Materials



Şekil 3-1 Şerit veya levha çelikte gerilme-şekil değiştirme diyagramı. (a) Keskin akma (b) Yavaş akma [1, s.30]

Elastik, lokal veya tam burkulmanın kritik olduğu durumlar dışında soğuk şekillendirilmiş çelik strüktürel elemanların mukavemeti, akma gerilimine veya akma noktasına bağlıdır. Levha veya şerit çelikler için gerilme-şekil değiştirme, keskin akma tipinde (Şekil 3-1(a)) veya yavaş akma tipinde (Şekil

3-1 (b)) olabilir. Bu durum çeliğin alaşım özelliklerine bağlıdır¹⁶. Statik hesap yöntemleri için, keskin akma gösteren çelikte, akma noktası veya yavaş akma gösteren çelikte, akma dayanımı olarak kullanım kararı, ASTM A370 (ASTM,1997) standardına göre verilir. [1, s.29]

Şekil 3-1 (a)'da görüldüğü üzere gerilme değeri akma değerine (σ_y) ulaşıncaya kadar doğrusal elastik davranış gösterir. Bu aralıkta gerilme ortadan kalktığında malzeme ilk boyutuna geri gelir.

Gerilmenin orantılı olduğu bu bölgede bir orantılık sabiti mevcuttur ve elastiklik modülü (E) olarak adlandırılır. Elastik deformasyonlar Hooke kanunu ile formüle edilmişlerdir: [35, s.32]

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Akma gerilmesinin aşılmasının ardından malzemedeki akma ve plastik davranış görülür. Plastik deformasyonda malzeme iç yapısında atomlar arasında bağlar kopmuş, ancak komşu atomlar yeni bağlar ile ilişki kurmuşlardır. Bu ilişki sağlanabildiği sürece malzeme bütünlüğünü korumaya devam eder. Gerilme maksimuma ulaştığında (σ_{max}) yeni bağlar kurulamaz ve kopma gerçekleşir.

Şekil 3-1 (a)'da görüldüğü üzere, keskin akmanın gerçekleştiği diyagramda, akma noktası, gerilmenin bir plato oluşturduğu aşamadır. Yumuşak akan çeliğin, akma dayanımı ise, orantılılığın bittiği gerilme değerinden (σ_{pr}) başlayan grafiğin büküldüğü kısımdır. [1, s.30]

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

¹⁶ Yüksek ve orta karbon çelikleri, sertliklerinden ötürü keskin akma gösterirken, alçak karbonlu çelikler yavaş akma gösterir.

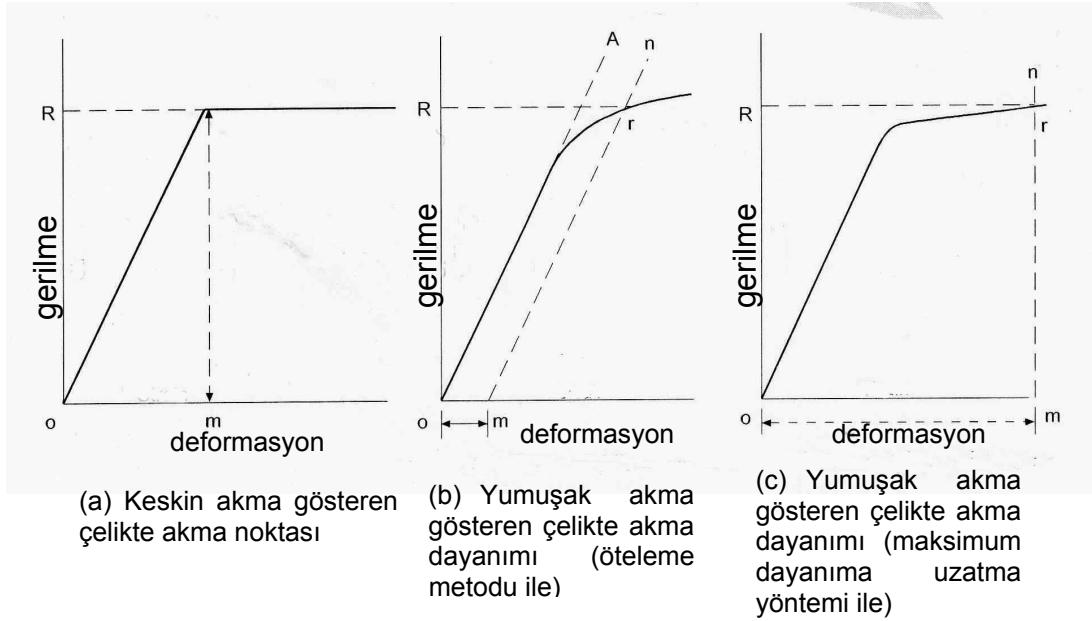
Standart yöntemlere dayanan E değeri, genellikle 2.0×10^6 ile 2.1×10^6 kg/cm² (29000 ile 30000 ksi veya 200 ile 207 GPa) arasındadır.¹⁷[1]

Şekil 3-1 (b) görüldüğü gibi, herhangi bir gerilme değerinde, (σ_t) tanjant modülü (E_t), diyagram eğrisine çizilen teğet ile tanımlanır. Keskin akan çelikte, akma noktasına kadar $E_t = E$ 'dir. Fakat yumuşak akan çelikte, orantılılık sınırına (σ_{pr}) kadar $E_t = E$ 'dir. Bu sınır aşıldıktan sonra başlangıçtaki elastiklik modülüne göre hızlı bir şekilde düşme görülür.

Burulma için standartlarda, "keskin akma gösteren çeliğin orantılılık sınırı, akma noktasının %70'inden daha az olamaz" koşulu yer almaktadır. [1, s.31]

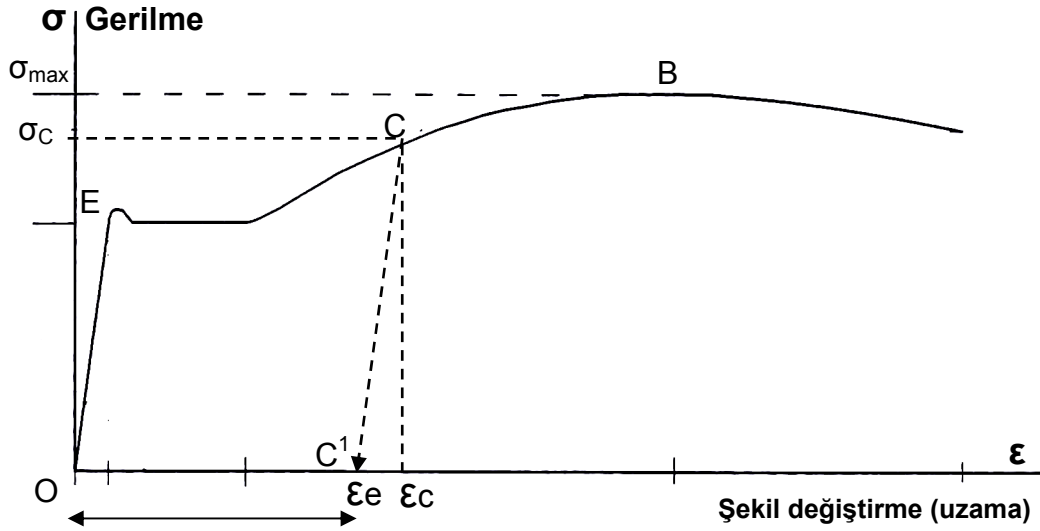
Şekil 3-2'de olduğu gibi gerilme-deformasyon grafiğinde idealleştirme yapılabilir. Bu idealleştirmeye göre akma dayanımı, yumuşak akma gösteren çeliklerde akma dayanımı, orantılık doğrusunun ötelenmesi ya da maksimum dayanıma uzatma yöntemi ile elde edilebilir. Akma dayanımının kabulü hesap yöntemleri ile bağlantılıdır. Öteleme metodunda orantılık doğrusu, "om" kadar ötelenir. "om" ötelemesi, tüm uzunluğun % 0.01'idir ve eğriyi kestiği "r" noktası akma dayanımını verir. [1, s.31]

¹⁷"Kuzey Amerika Şartnamesi"nde 2.07×10^6 kg/cm² (29500 ksi veya 203 GPa) değeri kabul edilmektedir. [2]



Şekil 3-2 Gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının idealleştirilmesi [1, s.31]

Çelik malzeme, plastik bölgede ϵ_C deformasyonu veren bir C noktasına kadar yüklendikten sonra gerilme kaldırıldığında malzeme ilk haline dönmez (Şekil 3-2). Gerilme şekil değiştirme diyagramı EO doğrusuna paralel olan CC^1 doğrusu olur ve malzeme üzerinde ϵ_e kadar deformasyon kalır. Malzeme tekrar yüklendiğinde gerilme-şekil değiştirme diyagramı olarak CC^1B elde edilir. Yani malzeme σ_C gerilmesine kadar doğrusal elastik özellik gösterir. Bu olaya pekleşme denir ve pekleşme sonucu malzemenin sertliği artmış, akma gerilmesi yükselmiş ancak duktilite ϵ_e kadar azalmış olur. [127] Pekleşme, hesap yöntemlerinde ihmal edilmekle birlikte güvenlik açısından gereklidir. Pekleşme plastik şekil değiştirmelerin elemanda çok küçük bir bölgeye yığılmasını, dolayısıyla bu bölgede çok büyük yerel şekil değiştirmelerden oluşan kırılmaları önler.[34]



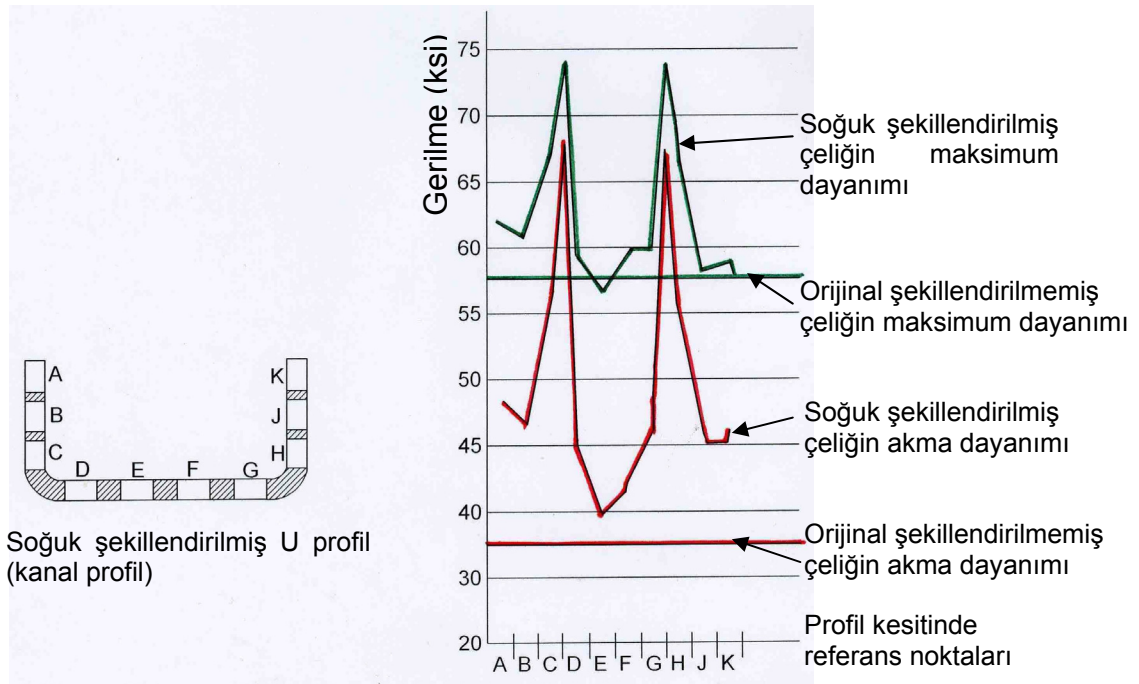
Şekil 3-3 Gerilme-şekil değiştirme diyagramında, gerilmenin plastik bölgede kaldırılması ve pekleşme olayı [127]

Bu durum çelik şerit ya da levhanın bükülerek, preslenerek ya da haddelenerek soğuk şekillendirilme yöntemiyle profil elde edilmesinde önemli bir noktayı oluşturur. Çeliğin bu özelliği, kırılmaksızın soğuk şekillendirmeye olanak tanır. Ancak büküm yerlerindeki pekleşme ve duktilite kaybı profillerin boyutlandırılmasında göz önüne alınmalıdır. [34, s.9]

3.1.2.2 Soğuk Şekillendirme Sürecinin Dayanıma Katkısı

Düz çelik levhaların veya şeritlerin, akma noktası, kopma mukavemeti veya duktilite gibi mekanik özellikleri, soğuk şekillendirilmiş profillere göre farklılık gösterir.

Yapılan deneyler sonucunda oluşturulan Şekil 3-4'de orijinal şekillendirilmemiş çeliğin, soğuk şekillendirme sonrasında maksimum ve akma dayanımındaki artış görülmektedir.[61] Bu farklılık malzemenin soğuk şekillendirilmesi ile ilişkilidir.

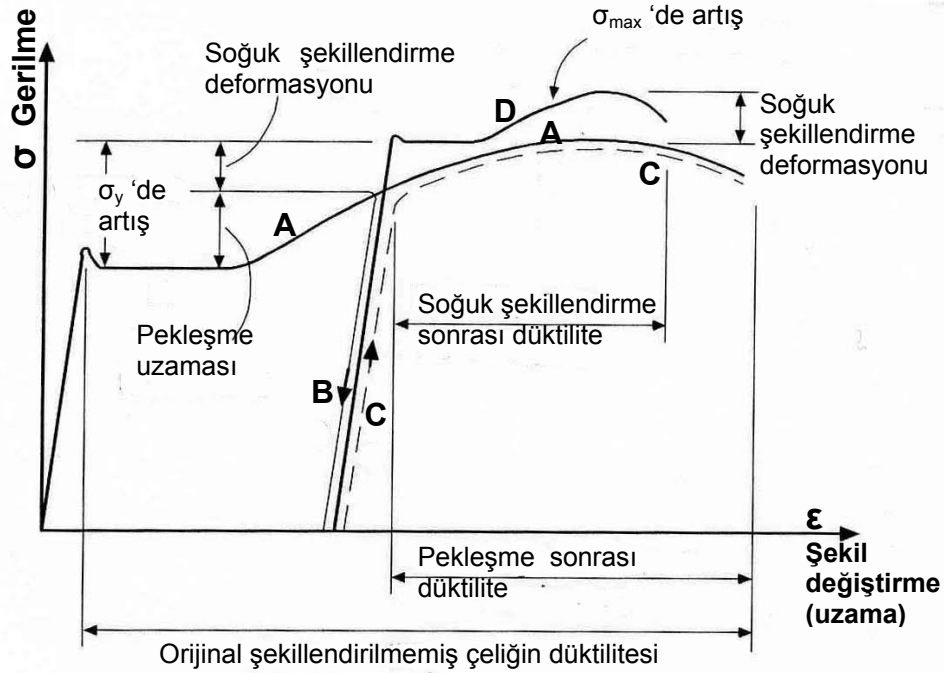


Şekil 3-4 Soğuk şekillendirilmiş profil üzerinde Soğuk şekillendirme işleminin etkisi (U profil) [1, s.33], [61]

1960'larda, Cornell Üniversitesi'nde soğuk şekillendirmenin mekanik özellikler üzerine etkisi, Chajes, Britvec, Winter, Karren ve Uribe gibi araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Araştırmalar sonucunda, mekanik özelliklerdeki değişim, temelde pekleşme uzaması ve soğuk şekillendirme deformasyonuna bağlı olduğu görülmüştür. Bu durum Şekil 3-5'de ifade edilmiştir. Şekilde, A diyagramı, orijinal şekillendirilmemiş malzemenin gerilme-şekil değiştirme diyagramını vermektedir. B eğrisi, pekleşme bölgesinde yükün kaldırılması sonucu ve C tekrar yüklenmesi durumunda elde edilir. D eğrisi ise soğuk şekillendirme sonrasında malzemenin tekrar yüklenmesi durumundaki gerilme-şekil değiştirme grafiğidir. İlginç olan, C ve D eğrilerinde akma noktasının orijinal malzemeye göre daha yüksek, düktilitenin ise daha düşük olmasıdır. [1, s.32]

Konvansiyonel çelik yapılarda, çelik profillerin üretilmesi sıcak hadde çekme yöntemi ile yapıldığı için profillerde üretim sırasında pekleşme ve düktilite kaybı oluşmaz. Hafif çelik yapılarda, profillerde oluşan düktilite kaybı, yapının

daha az sünek olmasına neden olur. Ancak hafif çelik yapılarıdaki düktilite kaybına karşın, elemanların ve yapının daha hafif olması, deformasyonların sınırlar içinde kalabilmesini sağlar.



Şekil 3-5 Pekleşmenin ve soğuk şekillendirme deformasyonunun gerilme-şekil değiştirme karakteristiği üzerine etkisi [1]

Cornell Üniversitesi'nde yapılan araştırmalar, soğuk şekillendirmenin, bükülerek oluşturulmuş köşelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin;

- Çelik tipi
- Gerilme tipi (basınç veya çekme)
- Soğuk şekillendirmenin yönü ile ilgili olarak gerilmenin yönü (enlemesine ya da boylamasına)
- Maksimum dayanım, akma dayanımı oranı (σ_{max} / σ_y)
- Büküm iç yarıçapının, çelik cidar kalınlığına oranı (R / t)
- Soğuk büküm sayısı

ile bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur. [1, s.32]

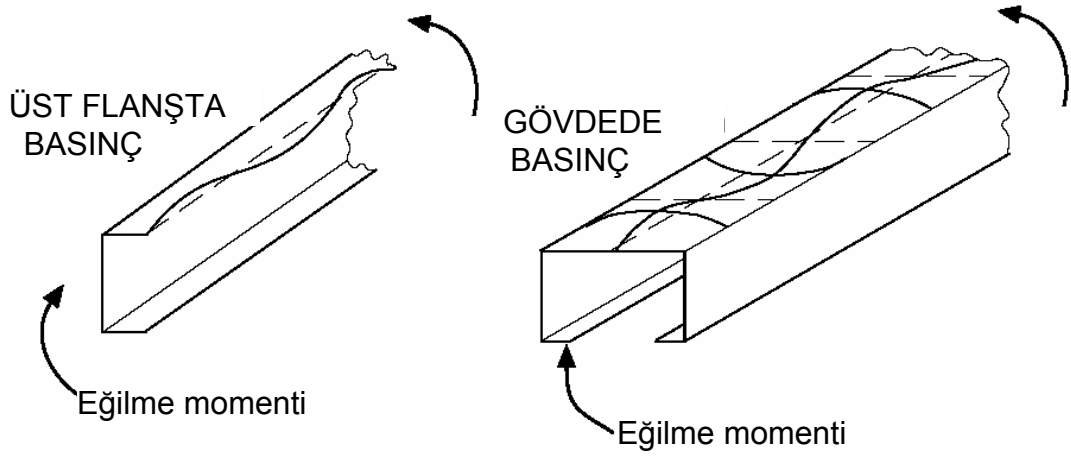
Yukarıda bahsedilen hususlar içinde, σ_{\max}/σ_y ve R/t oranları, soğuk şekillendirilmiş profiller üzerinde, mekanik özellikleri etkileyen en önemli verilerdir. Yüksek σ_{\max}/σ_y oranındaki orijinal şekillendirilmemiş çelik, yüksek pekleşme uzaması potansiyeline sahiptir. σ_{\max}/σ_y oranının artması sonucunda, artan akma dayanımıyla birlikte soğuk şekillendirebilme de artar. Küçük R/t oranı, profil köşelerinde yüksek derecede soğuk şekillendirmeye tekabül eder. Bu durum akma noktasının artmasını sağlar. [1, s.32]

Soğuk şekillendirme süreci, çeliğin mekanik özelliklerine katkısının yanında malzemenin basınç gerilmelerine karşı dayanımında da etkilidir. Soğuk şekillendirme sürecinde, mekanik özelliklerdeki artışın nedeni, sadece çeliğin pekleşmesinden ileri gelen akma noktasının yükselmesi değildir. Bunun yanında oluşan profilin geometrik formunun -tıpkı katlanmış plaklar gibi- eğilme ve basınç gerilmelerine karşı dayanıma katkı oluşturmasıdır. Bu durum, çelik levhaların katlanmasıyla oluşan profilin atalet momentinin, levha halindeki çeliğe göre daha büyük bir değerde olması ile açıklanabilir.

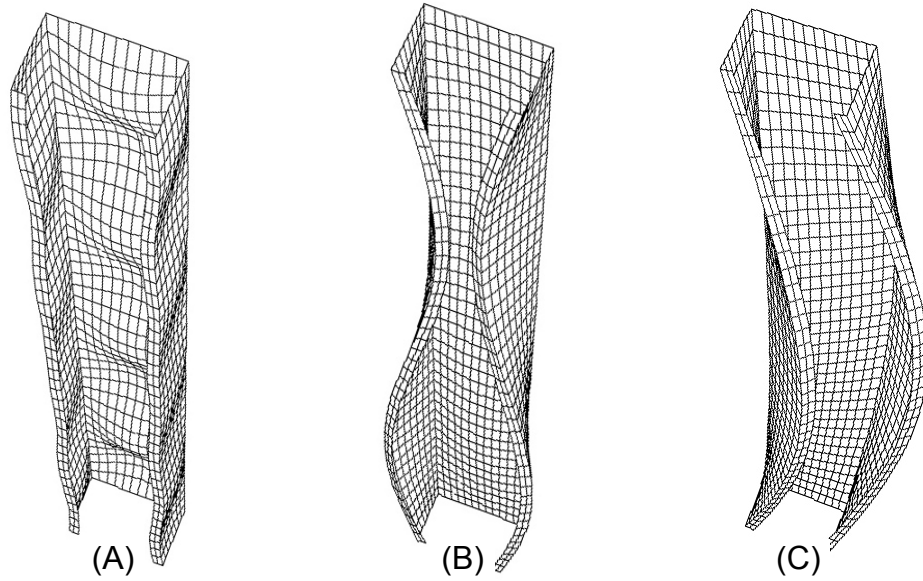
3.1.2.3 Flanş ve Gövde Genişliğinin Levha Kalınlığına Oranı

Strüktürel dayanımda belirleyici faktör, elemanlara etki eden basınç gerilmeleridir. Soğuk şekillendirilmiş çelik konstrüksiyonda, çelik strüktürel bileşenlerin tekil elemanları ince olmakla birlikte, genişlik/ cidar kalınlığı oranı sıcak hadde çelik kesitine göre büyüktür.

Bu ince elemanlar eğilme, aksenal basınç, kesme ve yüklemelerden kaynaklanan basınç gerilmeleri nedeniyle -gerilme değeri, çeliğin akma noktasından daha düşük bir değerdeyken bile- lokal olarak burkulabilirler veya buruşabilirler (Şekil 3-6, Şekil 3-7). [102]



Şekil 3-6 Eğilme momenti altında kirişlerde oluşan basınç gerilmeleri sonucunda meydana gelen lokal burkulmalar. [1, s.37]



Şekil 3-7 Dikmelerde aksenal yük etkisi (basınç) sonucu oluşan deformasyonlar. (A) Flanş ve gövdede lokal burkulma, (buruşma) (B) Flanşlarda lokal burkulma (C) Burulma [102]

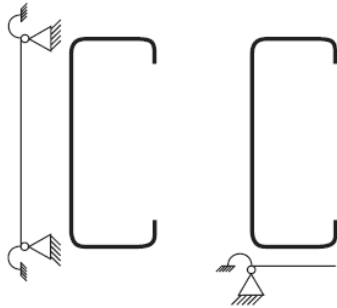
Basınç gerilmeleri nedeniyle meydana gelen lokal burkulma ve buruşmalara karşı, soğuk şekillendirilmiş profillerde her büküm noktası profilin en kesitinde bir rijit mafsallı oluşturur. Bu rijit mafsallar, aksenal basınç gerilmelerini, profilin gövdesine ve flanşlara, en kesit doğrultusunda eğilme momenti olarak aktarır (Şekil 3-8). Bu durumda, oluşan eğilme momentlerine karşı dayanımı,

momentin olduğu iki büküm noktası arasındaki açıklık ve levha kalınlığı belirler.

Profilin imalinde kullanılan levha kalınlığı t ile, profil formundaki kesitte düz olan kısmın (gövde veya flanş) genişliği w ile gösterilirse, w/t oranı profilin iki kıvrılma çizgisi arasındaki narinliğinin ölçüsüdür. [34, s.11] Narinliğin artmasıyla, aksenal basınçtan veya eğilme momentinden kaynaklanan basınç gerilmeleri altında, lokal burkulma profilin taşıma gücünde belirleyici duruma geçer. Burkulan orta bölgede basınç gerilmeleri azalırken gerilmede artış olur (Şekil 3-8).[102]



Şekil 3-8 Profillerde aksenal basınç etkisi ile oluşan deformasyon [102]



Şekil 3-9 Hafif çelik profil kesitinde mesnet-mafsallı noktaları [103]

Hesaplarda, kesitin incelenen bölgesinde düzgün yayılı bir gerilme dağılımı alınarak, o bölge için ölçülen w genişliğinden daha küçük bir değerde olan etkin genişlik esas alınır. Narinlik arttıkça etkin genişlik azalır. Bu husus göz önüne alınarak etkiyen gerilme durumuna göre profil kesitinin etkili alanı, etkili atalet momenti ve etkili mukavemet momenti hesaplanır. [34, s.11] Etkin genişlik b , gerilmeleri karşılayan kesit alanıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır. [2, s.49] Gerilmeleri karşılayan etkin genişlik, büküm noktalarına yakın şekilde odaklanmıştır (Şekil 3-10).

$$b = w \quad \lambda \leq 0.673$$

$$b = \rho w \quad \lambda > 0.673$$

w = Kesitte düz olan kısmın genişliği (Şekil 3-10)

$$\rho = (1 - 0.22/\lambda) \lambda$$

λ narinlik faktörü: $\lambda = \sqrt{f/F_{cr}}$

$$k \pi^2 E$$

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(w/t)^2}$$

E = Çeliğin elastiklik modülü

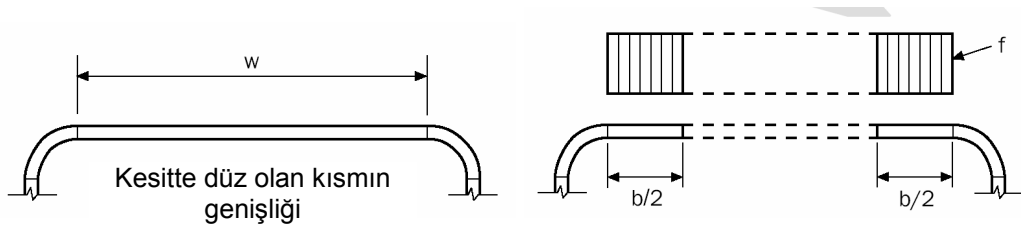
k = Burkulma katsayısı (büküm sayısına ve şekline bağlı katsayı)

t = Levha kalınlığı

μ = Çeliğin Poisson oranı ¹⁸

f = Kesite etkiyen gerilmeler

F_{cr} = Kritik burkulma gerilmesi




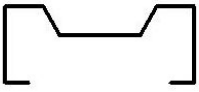



Şekil 3-10 Profil kesitinde etkin genişlik [2, s.49]

Soğuk şekillendirilmiş profillerde cidar kalınlığını artırmadan, gerilmelere karşı daha etkin çözüm sağlanabilir. Büküm noktalarının sayısı artırılarak, kesitte düz olan kısımların genişliğinin azaltılması bu çözümlerden birisidir. Ayrıca her büküm noktası, arasında kalan düz kısma rijitlik görevi yapar (Şekil 3-11). Bunların dışında, profillerin gövdelerinden veya flanşlarından birbirlerine bağlanarak oluşturulan bileşik profiller, birleştirilen yüzlerdeki

¹⁸ Poisson oranı: Gerilmeler altında malzemenin boyunda ve çapında meydana gelen deformasyonlar belli bir sabit orandadır ve bu orana poisson oranı denir. $\mu = \epsilon_{boy} / \epsilon_{çap}$ veya ϵ_{en} . [35]

ötenmeleri kısıtladığı için burkulmalara karşı rijitliğe katkıda bulunur. Bu katkı flanşın veya gövdenin kaplamaya uygun aralıklarla bağlanmasıyla sağlanabildiği gibi kuşak ve kayıtlar da bu görevi yerine getirebilir (Bkz. Bölüm 2.2.3.1).

	Şekillendirilmemiş düz levha
	U profil, (Flanşlar ile her iki uçta rijitlenmiş gövde, gövde flanşları bir uçta rijitlerken flanşların bir ucu serbest)
	C profil, (Flanşlar ile her iki uçta rijitlenmiş gövde, Gövde ve dudaklar ile rijitlenmiş flanşlar)
	Σ profil, (Gövdede büküm sayısı artırılarak kesitte düz olan kısımların genişliğinin azaltılması)
	Ara bükümlerle güçlendirilmiş C profil (Gövdede büküm sayısı artırılarak kesitte düz olan kısımların genişliğinin azaltılması)

Şekil 3-11 Hafif çelik elemanların büküm noktaları ile güçlendirilmesi

Basınç gerilmeleri karşısında burulma, buruşma mekanizmasını belirleyen maksimum w/t oranına, “North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members” şartnamesinde, Avrupa Eurocode 03 standardında ve Alman “Richtlinie 016” yönetmeliğinde, kısıtlamalar getirilmiştir.

Flanşlar için maksimum w / t oranı:

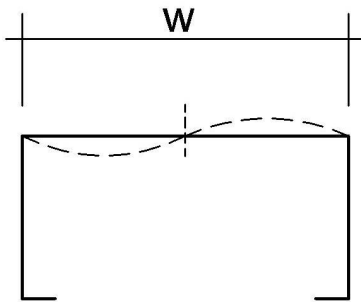
- Boylu boyunca flanşın bir kenarından profil gövdesince desteklendiği, diğer kenarın ise basit dudak ile takviye edildiği durumda, maksimum $w/t=60$ 'dır. (Eğer bir kenarından basit dudak ile takviye edilmiş flanşlarda $w / t = 60$ oranı aşılsa, flanşı desteklemek için dudak genişliğinin artırılması gereklidir. [125] Bu durumda, dudakta oluşacak

erken burkulmaları (*premature buckling*) önlemek için, eğilme kapasitesinde azaltma gereklidir.)

- Boylu boyunca flanşın bir kenarından profil gövdesince desteklendiği, diğer kenarın ise başka bir profil, gövde veya elemanla takviye edildiği ya da sınırlandırıldığı durumda maksimum $w/t=90$ 'dır. (Bu durum, takviye eden elemanın atalet momentinin, flanşın sağladığı atalet momentinden büyük olması halinde geçerlidir.)
- Boylu boyunca flanşın bir kenarından profil gövdesince desteklendiği, diğer kenarın ise serbest olduğu durumda maksimum $w / t = 60$ 'dır. Ancak dikkat edilmesi gerekli durum şudur ki; $w / t = 30$ aşıldığında, tam tasarım gerilmeleri altında, kayda değer deformasyonlar meydana gelebilir. [2, s.47]

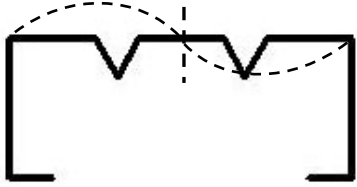
Gövde için maksimum w / t oranı:

- Profil gövdesinin hiçbir şekilde desteklenmediği durumlarda maksimum $w / t = 200$ 'dür. [2, s.47]
- Başka bir eleman, kayıt, profil veya kaplama ile desteklenerek profil gövdesinin burkulmalara ve buruşmalara karşı mesnetlendiği durumlarda (Şekil 3-12), maksimum $w / t = 260$ 'dır. [2, s.47]



Şekil 3-12 Profil gövdesinde mesnet noktası [1]

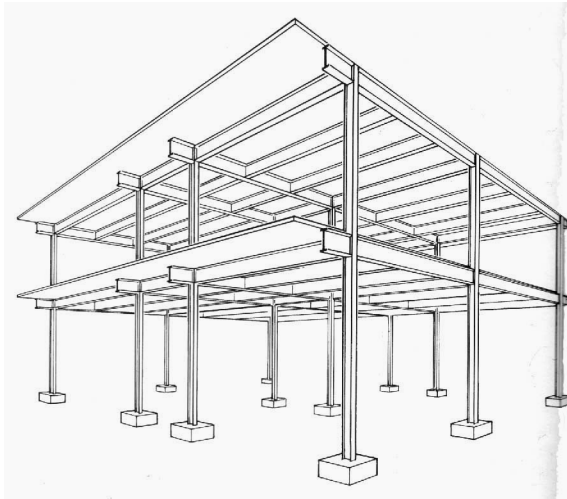
- Bir veya daha fazla mesnet noktası ile desteklenen ve aynı zamanda gövdede ek büküm noktaları ile takviye edilmiş profil gövdesinde $w / t = 300$ 'dür (Şekil 3-13). [2, s.47]



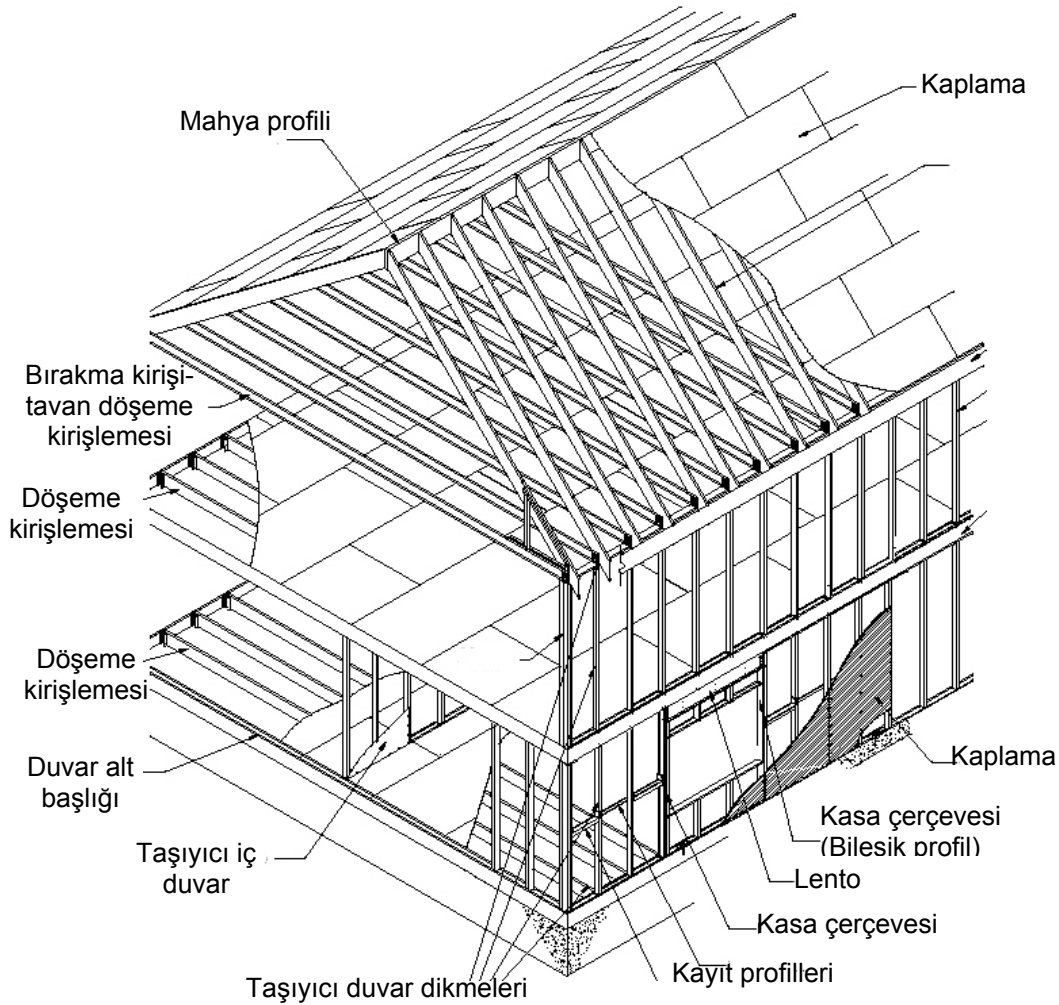
Şekil 3-13 Profil gövdesinde mesnet noktası ve ara bükümlerle takviye edilmiş profil gövdesi

3.1.3 Hafif Çelik Taşıyıcı Sistem Davranışı

Hafif çelik yapılarda taşıyıcı sistem, -konvansiyonel çelik iskelet yapılarda olduğu gibi- elemanların birbirine moment aktardığı rijit bağlantılı çerçeve davranışı gösterir. Ancak sıcak hadde mamulü elemanlardan oluşan konvansiyonel çelik strüktürlerde, yatay ve düşey yükleri karşılayan rijit bağlantılı çerçeve, kolon ve kirişlerden oluşturulurken (Şekil 3-14), hafif çelik strüktürde çerçeveler, kolon ve kirişlere göre daha sık düzenlenmiş dikmeler, kirişlemeler, alt ve üst başlıklardan oluşturulur (Şekil 3-15).



Şekil 3-14 Sıcak hadde profil elemanlardan oluşan konvansiyonel çelik çerçeve kuruluşu [69, s.6]



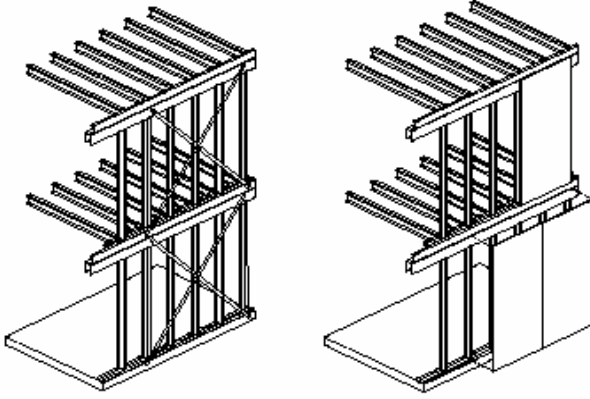
Şekil 3-15 Hafif çelik çerçeve kuruluşu [79, s.8]

Hafif çelik yapılar, temel olarak çerçevelerden oluşan karkas bir yapı olmakla birlikte, yığma yapılar gibi taşıyıcı duvarlardan oluşan sistem davranışı da gösterirler. Taşıyıcı duvarlardan oluşan bir sistem davranışı göstermelerinin nedeni, bu duvarların, aksların belirlediği tek bir büyük çerçeve yerine, birçok küçük çerçeveden meydana gelmesidir. Bunun yanında dikmelerin çaprazlanarak rijitlenmesi ve yüzeye kaplanan yapıy ahşap panolar ile kompozit olarak çalışması da sistemin davranış ilkesini belirler. Buradan yola çıkarak, hafif çelik taşıyıcı sistemi, hem çerçeve hem de taşıyıcı duvarlardan oluşan bir yapı olarak ele alınabilir. Bunu şöyle örnekleyerek açıklayabiliriz: Soğuk şekillendirilmiş elemanlardan oluşan bir duvar, yük altında bütününde bir taşıyıcı duvar olarak ele alınırken, duvarı

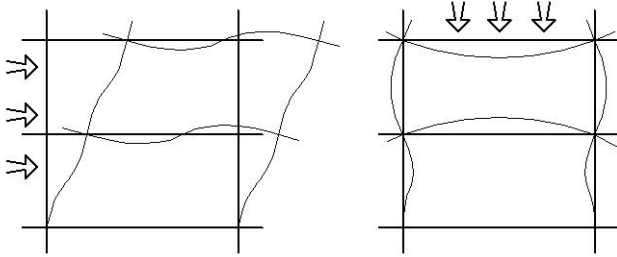
oluşturan dikmeler ve başlıklar taşıyıcı duvar içinde birer çerçeve olarak çalışır.

Hafif çelik karkas strüktürlerin rijitlikleri yatay yüklere karşı perde duvarlar ile artırılmalıdır. Buradan hafif çelik yapılarda taşıyıcı duvar ve perde duvar kavramlarının farklılığı ortaya çıkar. Taşıyıcı duvarlar sadece düşey yük taşıırken, perde duvarlar düşey yükler ile birlikte yatay yükleri de karşılar. Taşıyıcı duvarları oluşturan çerçevelerin bağlantı noktalarının rijitliği yeterli olmadığı için çerçevenin rijitliği kaplama elemanları ve ara kayıtlar ile artırılır. Bu, aynı zamanda dikmelerin düşey yükler altında burkulmalarını da engeller. Rijitlendirme bir yüzde panolar diğer yüzde kayıtlar ya da lamalar kullanılarak da sağlanabilir. Ancak bu tarzda karma bir rijitlendirme uygulanmış duvarlar sadece düşey yük taşımak için kullanılabilirler ve yatay yük alan perde duvar olarak göz önünde bulundurulmazlar. [34, s.15]

Perde duvar olarak yatay yük karşılayan duvarlarda bu kuvvetlere karşı yeterli bir destekleme sağlanmalıdır. Bu destek, duvar yüksekliğince her iki yöndeki yatay kuvvete karşı koyabilecek çaprazlar yardımıyla (*X-bracing*) veya duvarın her iki yüzüne uygun aralıklarla monte edilmiş panolarla (Şekil 3-16) sağlanır. [34,s.15] Döşemeler de, bir diyafram şeklinde çalışarak yatay yükleri karşılamakta sisteme katkıda bulunur. Ancak bu destek görevini yerine getirebilmeleri için döşemelerin de perde duvarlar gibi çaprazlaması ya da her iki yüzeyinin panolar ile kaplanmış olması gereklidir. Aksi durumda döşemelerin sadece düşey yükleri karşılayacağı varsayılır.



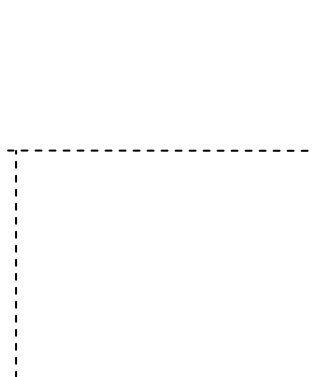
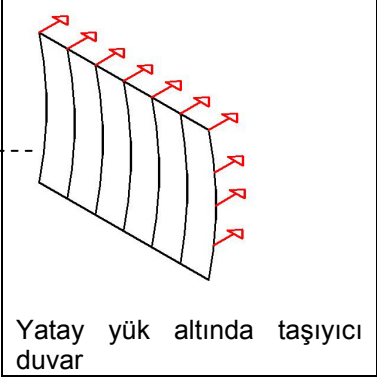
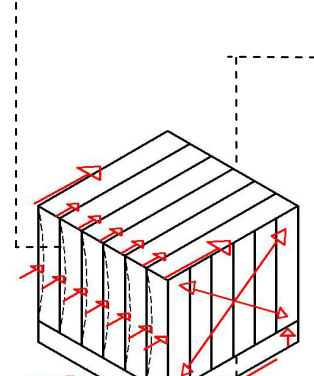

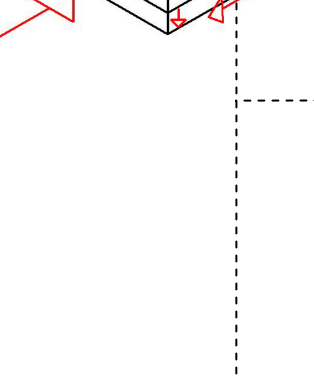
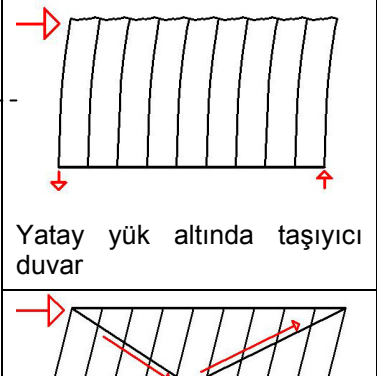
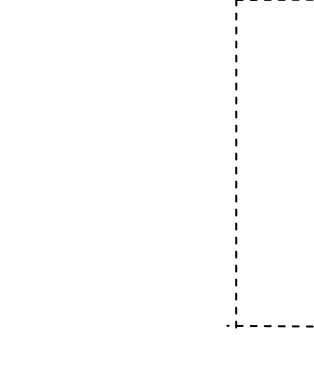
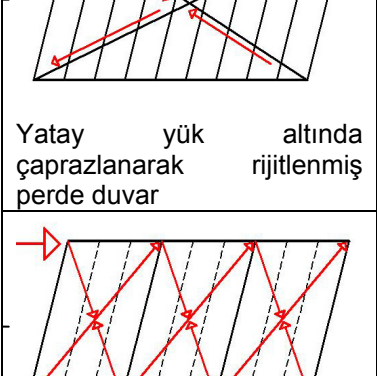

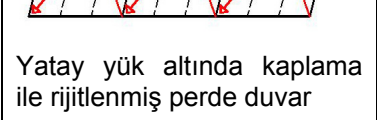
Şekil 3-16 Hafif çelik yapılarda çaprazlama veya kaplama ile perde kuruluşu [103]



Şekil 3-17 Yatay ve düşey yük karşısında rijit bağlantılı çerçeve çalışması

	<p>Düşey yük altında döşeme</p>	<p>Düşey yük altında döşeme eğilmeye çalışan basit kiriş gibi davranır. Yükler döşeme kirişlemeleri vasıtasıyla duvarlara ve dikmelere aktarılır. Duvarlara ve dikmelere moment aktarmadıkları varsayılır. Döşeme sadece açıklık momentlerini karşılar.</p>
	<p>Düşey yük altında taşıyıcı duvar</p>	<p>Düşey yük altında, taşıyıcı duvar, dikmelerde oluşan burkulma etkisine karşı kayıtlar veya lamalar ile desteklenir. Bu lamalar ve kayıtlar, dikmenin burkulma boyunu kısaltarak ara mesnet noktaları ile dikmeyi destekler. Aynı zamanda kayıtlar duvarın bir bütün olarak çalışmasını sağlar. Kayıtlar üzerinde aksel olarak çekme ve basınç gerilmeler oluşur.</p>
	<p>Düşey yük altında kaplama ile rijitlenmiş perde duvar</p>	<p>Yüzeylerin kaplamasıyla oluşturulan perde duvarlarda, bağlantı noktaları, dikmelerin düşey aksel yükler altında burkulmalarını engeller. Bağlantı noktaları dikmelerin burkulma boylarını kısaltarak mesnet noktası oluşturur. Sık düzenlenmiş bağlantı noktaları aynı zamanda dikmeler ile kaplamanın düşey yükleri birlikte karşılamasını sağlar.</p>
	<p>Düşey yük altında çaprazlanarak rijitlenmiş perde duvar</p>	<p>Çaprazlanarak rijitlenmiş perde duvarda, asıl görevi yatay yükleri karşılamak olan çaprazlamalar, düşey yük altında oluşan burkulma gerilmelerine karşı da dikmelere destek olur. Dikmelerin burkulmalarına karşı çaprazlama üzerinde basınç ve çekme gerilmeleri oluşur.</p>

Şekil 3-18 Düşey yük altında hafif çelik bileşenlerin strüktürel davranışı

	 <p>Yatay yük altında taşıyıcı duvar</p>	<p>Özellikle, rüzgar gibi yüzeye dik etki eden yatay yükler karşısında, duvar düşey yük altındaki bir döşeme gibi davranır. Duvar yüksekliğindeki açıklık momentlerini karşılayarak yatay yükleri döşeme diyaframına ve kendisine dik duvarlara kesme kuvveti olarak aktarır.</p>
	 <p>Yatay yük altında döşeme</p>	<p>Yatay yükler altında döşemeler perde duvarlar gibi diyafram çalışması gösterir. Eğer kesme kuvvetlerine karşı yeterli şekilde rijitlenmişler ise sistemin yatay yükleri karşılamasına destek olur. Yatay yükler altında kirişlemelerde aksel kuvvetler burkulmalara neden olabilir. Bu gerilmelere karşı kaplamalar ve/veya kayıtlar destek görevi yapar.</p>
	 <p>Yatay yük altında taşıyıcı duvar</p>	<p>Taşıyıcı duvarların bağlantı noktalarının moment aktaracak kadar rijit bağlanmadığı düşünülse de yatay yükler altında kısmi bir çerçeve davranışı göstererek yatay yüklerin karşılanmasına yardımcı olurlar. Ancak bu hesaplarda göz önüne alınmaz.</p>
	 <p>Yatay yük altında çaprazlanarak rijitlenmiş perde duvar</p>	<p>Çaprazlanarak rijitlenmiş perde duvarda çaprazlamalar üzerinde oluşan basınç ve çekme gerilmeleri yatay yükleri karşılar. Çaprazlamalar, tüm duvar boyunca oluşturulduğu için kesme gerilmelerine karşı duvarın bir bütün olarak çalışmasını sağlar.</p>
	 <p>Yatay yük altında kaplama ile rijitlenmiş perde duvar</p>	<p>Kaplama ile rijitlenmiş perde duvarda yatay yükler kaplama yüzeyinde diyagonal çekme ve basınç gerilmeleri oluşturur. Duvar, kaplama panosu büyüklüğündeki kesme kuvvetini karşılayan birçok perde duvarın bir araya gelmesinden oluşur.</p>

Şekil 3-19 Yatay yük altında hafif çelik bileşenlerin strüktürel davranışı.

3.1.3.1 Yatay ve Düşey Yük Altında Taşıyıcı ve Perde Duvarlar

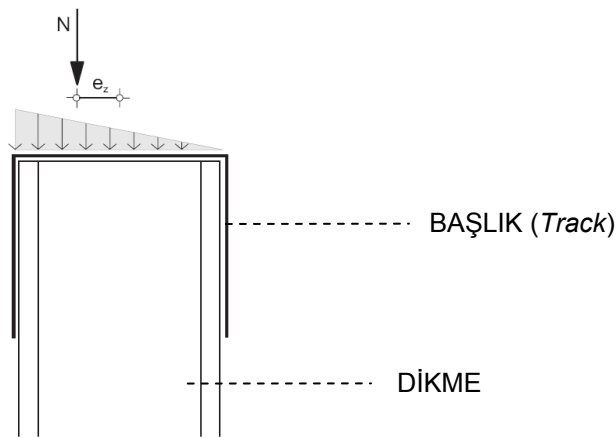
Yatay ve düşey yük altında taşıyıcı ve perde duvarların strüktürel etkinliği, bir çok etkene bağlıdır. Bu belirleyici unsurlar, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çelik dikmelerin ve başlıkların profil boyutları
- Çelik dikmelerin ve başlıkların cidar kalınlıkları
- Çelik dikmelerin düzenlenme sıklığı
- Çelik dikmelerin profil tipi
- Ara kayıtların düzenlenme sıklığı
- Çaprazlamanın cidar kalınlığı ve boyutları
- Rijitleme yöntemi
- Kaplama malzemesi cinsi
- Kaplama malzemesi kalınlığı
- Kaplama elemanların büyüklükleri ve oranları
- Kaplama şekli (her iki yüzde veya tek yüzde)
- Kaplama elemanlarının düzenlenme biçimi (yatay veya düşey)
- Montaj sıklığı
- Montaj yöntemi ve montaj elemanı boyutları
- Duvar boyutları
- Duvarda açılan boşluk oranı
- Duvarda açılan boşluk boyutları
- Yükün yönü, biçimi ve dış merkezliği.

Hafif çelik sistemlerde taşıyıcı ve perde duvarların strüktürel etkinliğini belirleyici bu kadar çok faktörün olması, analitik hesaplamaları güçleştirmektedir. Yine de bir çok üniversite ve yapı araştırma kurumunda hafif çelik sistemler üzerine yapılan deneyler ile dayanım ve davranışına ilişkin sonuçlar elde edilmektedir. Bu sonuçlar bir yandan, hafif çelik sistemlerin projelendirme ve uygulama aşamaları için bir kıstas oluştururken, diğer yandan da analitik hesap yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

“Alman Soğuk Şekillendirilmiş Yapısal Çelik Standardı” (*Deutsch DAST-Richtlinie*) 016’ya uygun olarak gerçekleştirilmiş; aksenal yük altında, dikme boyuna ve aksenal yükün konumuna (dış merkezliği) bağlı olarak profillerin dayanımını gösteren çalışma, Tablo 3-1’de özetlenmiştir.

Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü’nün (AISI) hazırlamış olduğu “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Strüktürel Elemanlar İçin Kuzey Amerika Şartnamesi” minimum 0.033 inch (0.84 mm) kalınlığında çelik kullanılmasına izin verirken, Alman DAST-Richtlinie 016 ve Avrupa Eurocode 3 standartları strüktürel elemanlarda minimum 1,0 mm olması koşulu getirmiş ve tablolar buna göre hazırlanmıştır.¹⁹ Ayrıca, elemana etkiyen yükün dış merkezliği²⁰ (e_z) (Şekil 3-20), düşey yükleri taşıyan elemanların boyutlandırılmasında bir etken olarak tablolarda yer almaktadır.

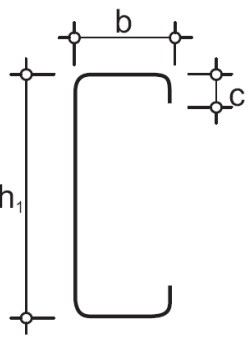


Şekil 3-20 Düşey taşıyıcı elemanlarda aksenal yükün dış merkezliği [103]

¹⁹ Tablolarda, karakteristik akma gerilmesi $f_{yk} = 320 \text{ N/mm}^2$ ve Fe E 320 G standardında çelik kullanılmıştır. Düşey taşıyıcı elemanlarının boyları 260 cm, 300 cm ve 350 cm olarak ele alınmış ve herhangi bir ara kayıt veya kaplama malzemesi ile burkulmanın engellenmediği durum ortaya konulmuştur.

²⁰ Dış merkezlik, moment ve burulma gerilmesi yarattığı için $e_z = 0$, $e_z = h/12$ ve ilgili Alman DAST-Richtlinie 016 ve Eurocode 3 standartlarıca maksimum kabul edilen $e_z = h/6$ tabloda belirtilmiştir. Ayrıca, Alman yönetmeliği imalat hatalarını göz önünde bulundurmak üzere levha kalınlıklarını hesaplamalarda 0.04 mm azaltılması koşulu getirmiştir. Böylece (t) hesap cidar kalınlığı elde edilmiştir. [103]

Tablo 3-1 Düşey taşıyıcı C profili eleman için eksenel yük altında dayanım değerleri [103, s.15],[107]

		<p> h_1 = Gövde genişliği b = Flanş genişliği c = Dudak genişliği t_0 = Cidar kalınlığı t = Hesap cidar kalınlığı e_{pz} = Ağırlık merkezinin gövde kenarına uzaklığı [mm] A_{eff}^D = Etkin basınç alanı [mm²] A_{eff}^B = Etkin eğilme alanı [mm²] $W_{eff,y}$ = Mukavemet momenti [mm³] L = Profil boyu [cm] e_z = Dış merkezlik $N_{R,d}$ = Tasarım dayanımı [kN] </p>							
PROFİL	t	A_{eff}^D	A_{eff}^B	$W_{eff,y}$	e_{pz}	L	$N_{R,d}$	$N_{R,d}$	$N_{R,d}$
$h \times b \times c \times t_0$	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ³]	[mm]	[cm]	[kN] $e_z=0$	[kN] $e_z=h/12$	[kN] $e_z=h/6$
C 100 x 50 x 10 x 1,0	0,92	106,7	163,1	4,75	7,28	260	27,2	21,9	19,9
						300	24,6	20,2	18,5
						350	21,5	17,8	16,5
C 100 x 50 x 10 x 1,5	1,42	217,4	287,4	8,74	2,71	260	54,4	43,8	39,6
						300	48,7	39,7	36,2
						350	41,8	34,5	31,9
C 100 x 50 x 10 x 2,0	1,96	338,7	397,0	12,13	2,18	260	76,4	61,5	55,6
						300	68,3	55,6	50,7
						350	58,4	48,2	44,5
C 150 x 50 x 10 x 1,0	0,92	106,7	163,4	7,35	14,67	260	31,0	24,1	21,2
						300	29,7	23,4	20,7
						350	27,9	22,3	20,0
C 150 x 50 x 10 x 1,5	1,42	220,2	338,0	14,36	5,43	260	64,1	56,2	48,8
						300	64,1	54,4	47,8
						350	64,1	51,7	46,3
C 150 x 50 x 10 x 2,0	1,96	350,0	493,2	20,80	2,96	260	101,8	86,0	74,4
						300	101,8	83,3	73,2
						350	99,1	78,6	70,2

Not:

(1) Eksenel yüklemeye karşı, profillerin tek başına gösterdikleri dayanım ifade edilmiştir.

Tablodaki değerler incelendiğinde,

- dikme boyundaki ve dış merkezlik miktarındaki artışın, taşıma gücünü olumsuz etkilediği;
- levha kalınlığı ve profil boyutlarındaki artışın ise olumlu etkilediği görülür.

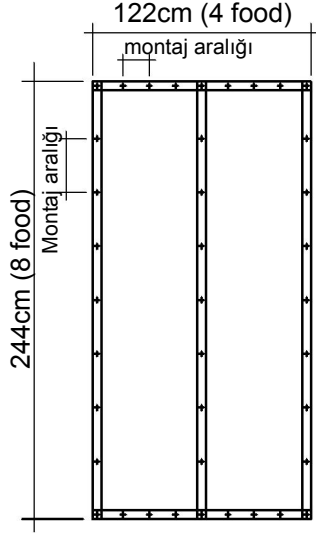
Ancak, tablo dikkatli incelendiğinde, cidar kalınlığındaki artışın, profilin gövde genişliğindeki artışa göre taşıma gücüne daha fazla katkıda bulunduğu görülür. Bu durum profil kesitindeki etkin basınç alanının, gövde genişliğinin narinliğine bağlı olması ile açıklanabilir (Bkz. Bölüm 3.1.2.3 Flanş ve gövde genişliğinin levha kalınlığına oranı).

NAHB Araştırma Merkezi tarafından, AISI için gerçekleştirilmiş “Tamamen Kaplanan, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Duvar Kuruluşunda, Kombine Edilmiş Eksenel ve Eğilme Yüğü Deneyleri”²¹ sonuç raporunda, [77] rüzgar yüğü gibi yanal etki ile birlikte, duvarın düşey taşıyıcılığı incelenmiştir. Bu deneyler öncesinde, farklı kaplama malzemelerinin, ara kayıtların, yükün dış merkezliğinin ve montaj aralıklarının düşey taşıyıcılığa (eksenel yük dayanımına) etkisinin araştırıldığı pilot deneyler yapılmıştır. Pilot çalışmada, örnek üzerine sadece eksenel yük etki ettirilmiş, yanal yükleme yapılmamıştır.[77]

Pilot deneyler, 4 feet (122 cm) eninde, 8 feet (244 cm) yüksekliğinde, taşıyıcı duvar panoları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Panolar, 33 mil (0,083 mm) levha kalınlığında, 2x4 inch (yaklaşık 50x100 mm) boyutlarında üç adet dikme ile birlikte alt ve üst başlıklardan oluşturulmuştur (Şekil 3-21).[77] Kaplamalar çelik profil çerçeveye monte edilirken, başlıklarda ve dikmelerde montaj aralıkları ayrı ayrı ifade edilmiştir (Tablo 3-2). Eksenel yükün dış merkezliği, duvarın iç yüzüne yakın ve duvar kalınlığının üçte birine gelecek şekildedir.

²¹ “Combined Axial and Bending Load Tests of Fully-Sheathed Cold-Formed Steel Wall Assemblies”

Bu durum yönetmelikler tarafından ön görülen maksimum dış merkezlik miktarıdır.²²



Şekil 3-21 Duvar panosunu oluşturan soğuk şekillendirilmiş çelik profil çerçeve

²² Kuzey Amerika, Almanya ve Eurocode 3 şartnamelerine göre, dış merkezlik profil merkezinden, profil genişliğinin altıda birinden ve 19 mm'den daha uzağa konumlanamaz. $e \leq 19\text{mm}$, $e \leq h/6$ (Şekil 3-20)

Tablo 3-2 Farklı kaplama malzemelerinin aksenal yük dayanımına etkisi [77, s.Appendix B-1]

DENEY NUMARASI	DUVAR İÇ YÜZEYİ			DUVAR DIŞ YÜZEYİ			YÜK DİŞ MERKEZLİĞİ	EKSENEL YÜKLEME DENEY DAYANIMI [kN]
	Kaplama malzemesi veya rijitleme elemanı	Kaplamanın alt ve üst başlıklara montaj aralığı	Kaplamanın dikmelere montaj aralığı	Kaplama malzemesi veya rijitleme elemanı	Kaplamanın alt ve üst başlıklara montaj aralığı	Kaplamanın dikmelere montaj aralığı		
1	YOK	-	-	YOK	-	-	e=h/6	34,2
2	12,7 mm GWB	30,5 cm	30,5 cm	11 mm OSB	15,25 cm	30,5 cm	e=h/6	81,39
3	Ara kayıt	-	-	11 mm OSB	15,25 cm	30,5 cm	e=h/6	56,13
4	12,7 mm GWB	30,5 cm	30,5 cm	Ara kayıt	-	-	e=h/6	88,15
5	Ara kayıt	-	-	Ara kayıt	-	-	e=h/6	50,08
6	12,7 mm GWB	61 cm	61 cm	11 mm OSB	15,25 cm	30,5 cm	e=h/6	79,17
7	12,7 mm GWB	30,5 cm	30,5 cm	12 mm kontrplak	15,25 cm	30,5 cm	e=0	106,97
8	12,7 mm GWB	30,5 cm	30,5 cm	12,7 mm GWB	30,5 cm	30,5 cm	e=h/6	83,09
9	Ara kayıt	-	-	11 mm OSB	15,25 cm	30,5 cm	e=0	65,11

Not:

[1] GWB (*gypsum wall board*): alçı pano, OSB (*oriented strand board*); lif aglomera prese levha

[2] Dış merkezlik, duvarın iç yüzüne doğru alınmıştır.

[3] Tüm deneylerde 2 x 4 inch – 33 mil (50 x 100 mm-0,83 mm) profil kullanılmıştır.

[4] 6 numaralı deneyde, GWB levhanın montajında, vidalama ile birlikte kimyasal yapıştırıcı da kullanılmıştır.

[5] 3,5,9 numaralı deneylerde ara kayıt bir adet olmak üzere dikmelerin orta kısmında yer almaktadır.

[6] Elde edilen değerler, duvar panosunun gösterdiği dayanım değerleridir.

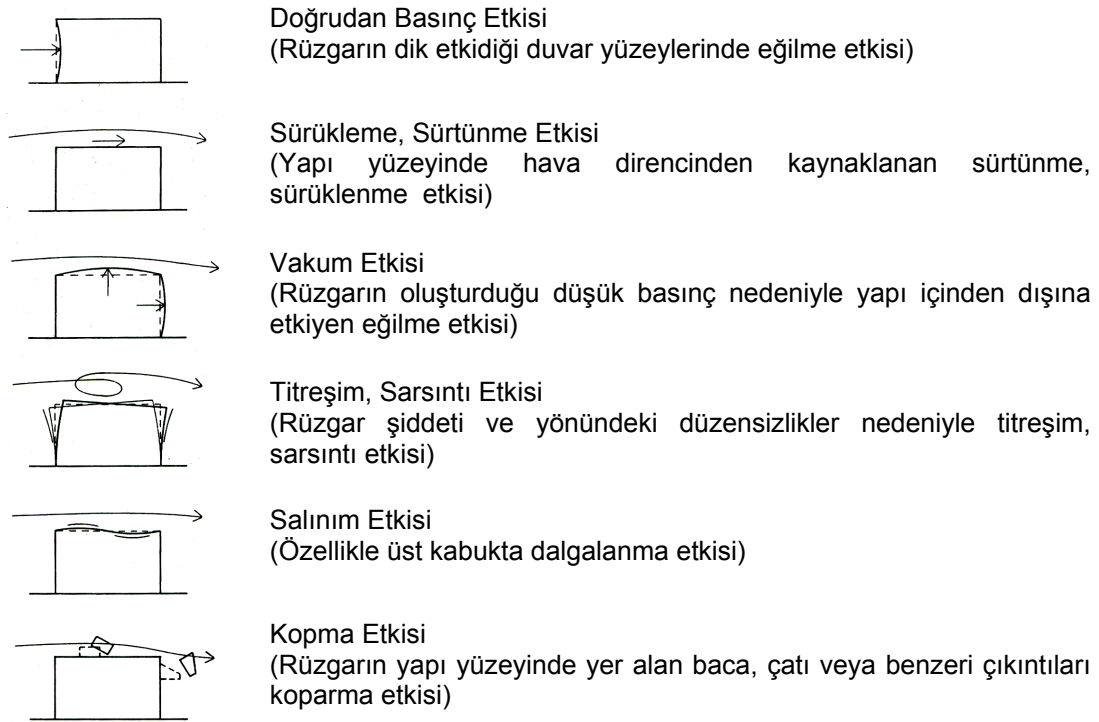
[7] Tablodaki tüm değerler, yararlanılan kaynaktan metrik sisteme çevrilerek kullanılmıştır. (1inch=2,54cm) (1lb, paund =0,004448 kN)

Deney sonuçları incelendiğinde;

- Duvar yüzeyinde uygulanan kaplama veya kayıtların duvarın düşey yüklere karşı dayanımına önemli ölçüde katkıda bulunduğu;
- 5 numaralı deney numunesine bakıldığında; OSB, kontrplak veya alçı levha kaplamaların, burulmaya karşı dikmeleri, ara kayıt elemanlara göre daha fazla desteklediği;
- 2 ve 6 numaralı deneyler karşılaştırıldığında, montaj sıklığındaki artışın dayanıma katkıda bulunduğu;
- 3 ve 9 numaralı deneyler karşılaştırıldığında ise dış merkezliğin taşıma gücünü olumsuz etkilediği görülür.

Bir yüzü OSB gibi ahşap esaslı levha ile diğer yüzü alçı levha ile kaplanmış duvarlarda, ahşap esaslı eleman kaplanmış tarafın rijitliği, alçı levha kaplanmış tarafa göre daha fazladır. Bu rijitlik farkı, duvarı oluşturan profillerin alçı levha tarafının daha hızlı bir şekilde akmasına neden olur. Bir tarafın diğer tarafa göre daha hızlı akma eğilimi göstermesi, duvara uygulanan dış merkezliği artırıcı bir rol oynar. Bu teori, 4 numaralı deney ile 3 numaralı deney arasındaki dayanım farklılığını açıklayabilir. [77, s. Appendix B-2]

Yapı düşey yüklerini karşılayan taşıyıcı duvarlar, aynı zamanda yatay yüklere karşı da dayanım göstermelidir. Hafif çelik yapıların, ölü yapı yükünün, betonarme, çelik veya kagir yığma gibi yapılara göre daha az olması, deprem yüküne kıyasla rüzgar yükünü ön plana çıkartır. Bu durum, yapı yüksekliğinin az olmasına rağmen hafif çelik yapı sistemi için önemli bir sorundur. Rüzgar, yapıda sürtünme, sürüklenme, titreşim, sallanma, salınım, koparma, vakum ve doğrudan basınç etkileri meydana getirir (Şekil 3-22). Bu etkiler içinde doğrudan basınç ve vakum etkisi, rüzgarın dik etki ettiği duvar yüzeylerinde eğilme yükü oluştururken, bu yüklerin aktarıldığı, rüzgar yönüne paralel duvarlarda kesme gerilmeleri meydana getirir (Şekil 3-19). [13]

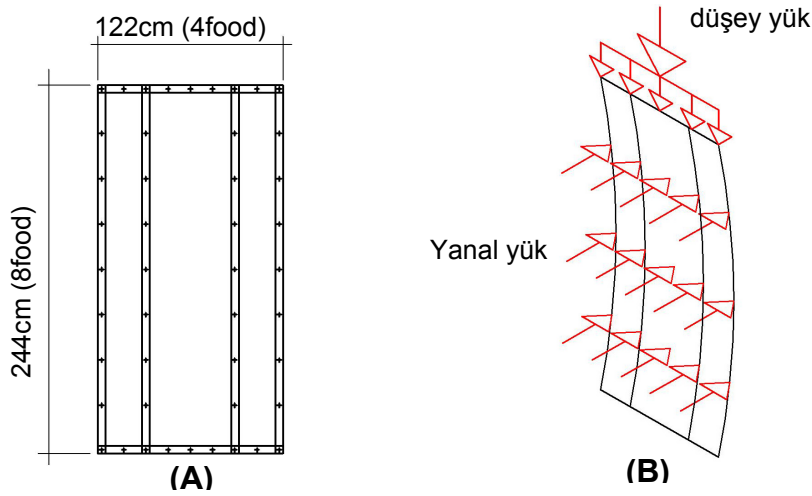


Şekil 3-22 Rüzgarın yapı üzerinde neden olduğu yükler ve etkiler [13, s. 459]

“Tamamen Kaplanan, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Duvar Kuruluşunda, Kombine Edilmiş Eksenel ve Eğilme Yükü Deneyleri” ile yanal yük etkisindeki taşıyıcı duvarların eksenel yük dayanımlarını araştırılmıştır. [77] Burada konu edilen yanal yük; rüzgarın doğrudan basınç etkisinin veya vakum etkisinin meydana getirdiği içerden dışarıya etkiyen eğilme yüküdür.

Deneylerde kullanılan profillerin çelik karakteristik gerilme dayanımı 33ksi'dir. (22,75 kN/cm²) 4x8 foot (122x244 cm) boyutlarında, soğuk şekillendirilmiş çelik duvar panoları test edilmiştir. Panoların hafif çelik konstrüksiyonu; sırasıyla yaklaşık 12 inch (30,5cm), 24 inch (61 cm) ve 12 inch (30,5cm) aralıklarla düzenlenmiş 4 adet dikmeden ve bu dikmeleri bağlayan başlıklardan meydana getirilmiştir (Şekil 3-23-A).[77] Dikmeler alt ve üst başlıkların flanşlarına #8'lik vidalar ile monte edilmiştir. Tüm duvar panolarının iç yüzü, #6'lık vidalarla, 12 inch (30,5 cm) arayla monte edilmiş 12,7 mm kalınlığında alçı levha ile kaplanmıştır. Duvar dış yüzleri ise 11 mm kalınlığında OSB ile kaplanmıştır. OSB levhalar #8'lik vidalar ile monte

edilmiş, vidalar alt ve üst başlıklarda 6 inch (~15 cm), dikmelerde 12 inch (30,5 cm) arayla uygulanmıştır. Deney numunelerine 25 psf (1,197 kN/m²) ve 50 psf (2,394 kN/m²) yanal yük uygulanmış ve yanal yük etkisinde düşey dayanımı ölçülmüştür (Şekil 3-23-B). Yanal yükler, duvarın OSB kaplı yüzeyine (duvar dış yüzü) uygulanarak rüzgarın direkt etkisinin; alçı levha kaplı yüzeyine uygulanarak da vakum etkisinin simülasyonu amaçlanmıştır. [77]



Şekil 3-23 Düşey ve eğilme yüklerinin etkilediği deney numunesi

Deney sonuçlarının ortalamaları Tablo 3-3'deki gibidir. Deney sonuçlarından;

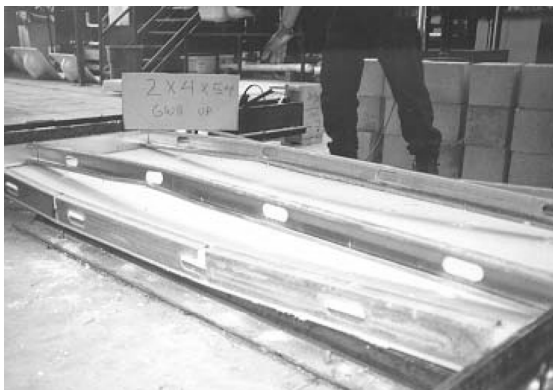
- Yanal yük etkisinin duvarın düşey taşıma gücünü olumsuz etkilediği,
- Yanal yük etkisinin, düşey yük altında dikmelerde oluşan burkulma mekanizmasını tetiklediği (Şekil 3-24);
- Yanal yük etkisi altında, dikmelerin akma gerilmelerine ulaşmadan önce burkulduğu ve duvarın dayanımını burkulma mekanizmasının belirlediği;
- 50 psf (2,394 kN/m²) yanal olarak yüklenen, 2x4 inch - 33 mil (50x100mm-0,083mm) profillerden oluşturulmuş duvar panoları haricinde, tüm duvarların kabul edilebilir L/240 (244 cm/240=1,016 cm) sehim değeri sınırları içinde kaldığı (deney 4 ve 5),[77]
- 4. ve 5. deney sonuçları hariç olmak üzere; genel olarak yanal yüklemenin OSB kaplanmış taraftan yapıldığı durumda, düşey

dayanımın daha fazla olduğu görülür. Buradan, rüzgarın neden olduğu vakum etkisinin, rüzgarın doğrudan etkisine göre yapıyı daha fazla zorlayacağı sonucu çıkarılabilir.

Tablo 3-3 “Tamamen Kaplanan, Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Duvar Kuruluşunda, Kombine Edilmiş Eksenel ve Eğilme Yüğü Deneyleri” Sonuçları [77, s.5]

	PROFİL	YATAY YÜK VE YÖNÜ	SEHİM	EKSENEL YÜK DAYANIMI [kN]
1	2 x 4 x 33 (50 x 100 x 0,83 mm)	0	0	29,56
2	2 x 4 x 33 (50 x 100 x 0,83 mm)	1,197 kN/m ² -OSB	0,714 cm	26,43
3	2 x 4 x 33 (50 x 100 x 0,83 mm)	1,197 kN/m ² -GWB	0,737 cm	21,34
4	2 x 4 x 33 (50 x 100 x 0,83 mm)	2,394 kN/m ² -OSB	1,499 cm	13,23
5	2 x 4 x 33 (50 x 100 x 0,83 mm)	2,394 kN/m ² -GWB	1,628 cm	14,35
6	2 x 4 x 54 (50 x 100 x 1,37 mm)	0	0	65,69
7	2 x 4 x 54 (50 x 100 x 1,37 mm)	1,197 kN/m ² -OSB	0,488 cm	58,74
8	2 x 4 x 54 (50 x 100 x 1,37 mm)	1,197 kN/m ² -GWB	0,579 cm	54,14
9	2 x 4 x 54 (50 x 100 x 1,37 mm)	2,394 kN/m ² -OSB	0,988 cm	51,02
10	2 x 4 x 54 (50 x 100 x 1,37 mm)	2,394 kN/m ² -GWB	1,008 cm	43,39

Not: Tablodaki tüm değerler, yararlanılan kaynaktan metrik sisteme çevrilerek kullanılmıştır. (1inch=2,54cm) (1lb, paund =0,004448 kN)



Şekil 3-24 Profillerde lokal burkulma (Kaplama deney sonrasında kaldırılmıştır.) [77]

Deprem veya rüzgar yönüne paralel duvarlarda, yanal yükün meydana getirdiği kesme kuvvetine karşı, duvarın dayanımını araştıran bir çok deney yapılmıştır. Bu araştırmalarda, genellikle, kaplama malzemesinin çeşidi, boyutları, montaj aralığı ve sıklığı ile kaplama elemanın en-boy oranının dayanma etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, kaplama malzemesinin yatay veya dikey konumlandırılmasının (dikmelere paralel ya da dikmelere dik) etkisi de araştırılmıştır. Tablo 3-4 ve Tablo 3-5’de R. Serrette (1997, 1996, 1994) ve J. Tissell (1993) tarafından gerçekleştirilmiş deney sonuçlarının bir araya getirildiği özet yer almaktadır. [3], [97], [98], [99]

Yanal yüklerin oluşturduğu kesme kuvveti, perde duvarlar tarafından karşılanır. Yaygın olarak, perde duvar tasarım değerleri statik yükleme test sonuçlarına dayanır. Ancak bilinen şudur ki; deprem etkisi sık tekrarlayan yükleme şeklinde gerçekleşir. Bu doğrultuda tasarım verisi olarak tekrarlayan yükleme (*cyclic load*) sonuçlarının göz önüne alınması yararlı olacaktır. Her ne kadar, rüzgar da tekrarlayan yüklere neden olsa da statik test sonuçlarına göre değerlendirilebilir. Bunun nedeni; rüzgar yükleri için, tekrarlayan yükleme deneylerinin, pratik olmayışıdır. (Rüzgar yükü tekrarlayan yükleme deneylerinin çok sayıda ve geniş bir aralıkta olması nedeniyle.) [3]

Ele alınan deneyler içinde, kaplama oranının 4:1 olduğu ve/veya kaplamanın yatay düzenlendiği ve/veya çelik sac kaplandığı perde duvarlar dışındaki diğer duvar konstrüksiyonları, ilgili yönetmeliklerin öngördüğü biçimdedir. Ancak, bu yönetmelik dışı konstrüksiyon kuruluşundaki perde duvarlar, ilgili şartnamelere ve standart kurumlarına öneri niteliğindedir. [3]

Tüm perde duvarlar 24 inch (61 cm) arayla düzenlenmiş dikmelerden oluşturulmuştur. Duvarlar tamamıyla mesnetlenmiştir. Tekrarlayan yükleme deneylerinde, yükün tekrarlama aralığı 1,5 saniyedir. [3]

Tabloda yer alan deney sonuçları, ASD yöntemi için, Ω , güvenlik katsayısı çarpılarak veya LRFD yöntemi için Φ dayanım faktörüne bölünerek kullanılabilir.²³ [2],[3]

²³ AISI “Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Strüktürel Elemanların Dizayn Şartnamesi”nde, deprem için; $\Omega=2,5$ veya $\Phi=0,60$, rüzgar için $\Omega=2,0$ veya $\Phi=0,65$ alınmalıdır. [2], [3]

Tablo 3-4 Rüzgar yüküne karşı hafif çelik perde duvarlar için nominal kesme kuvveti dayanımı (Statik yükleme test sonuçları) [3]

Referans no:	Kaplama veya rijitleme elemanı	Kaplama elemanın boy-en oranı	Kaplama elemanların dikmelere göre düzenlenmesi	Kaplamaların başlıklara ve yan dikmelere montaj aralığı	Kaplamaların ara dikmelere montaj aralığı	Nominal kesme dayanımı [kN/m]
1	12 mm kontrplak (bir yüzde)	2:1	dikey	15,25 cm	30,5 cm	15,5
2	11 mm OSB (bir yüzde)	2:1	yatay	15,25 cm	30,5 cm	14,9
3	11 mm OSB (bir yüzde)	2:1	dikey	15,25 cm	30,5 cm	13,3
4	11 mm OSB (bir yüzde)	2:1	dikey	10 cm	30,5 cm	20,6
5	11 mm OSB (bir yüzde)	2:1	dikey	7,5 cm	30,5 cm	25,3
6	11 mm OSB (bir yüzde)	2:1	dikey	5 cm	30,5 cm	27,9
7	11 mm OSB (bir yüzde)	4:1	dikey	15,25 cm	30,5 cm	7,8
8	11 mm OSB (bir yüzde)	4:1	dikey	10 cm	30,5 cm	15,0
9	11 mm OSB (bir yüzde)	4:1	dikey	7,5 cm	30,5 cm	20,8
10	11 mm OSB (bir yüzde)	4:1	dikey	5 cm	30,5 cm	26,6
11	0,45 mm çelik sac (bir yüzde)	4:1	dikey	15,25 cm	30,5 cm	7,2
12	0,68 mm çelik sac (bir yüzde)	4:1	dikey	10 cm	30,5 cm	14,6
13	0,45 mm çelik sac (bir yüzde)	2:1	dikey	15,25 cm	30,5 cm	7,0
14	11 mm OSB 1,27mm GWB	2:1 2:1	dikey dikey	15,25 cm 18 cm	30,5 cm 18 cm	17,4
15	11 mm OSB 1,27mm GWB	2:1 2:1	dikey dikey	10 cm 18 cm	30,5 cm 18 cm	22,8
16	11 mm OSB 1,27mm GWB	2:1 2:1	dikey dikey	5 cm 18 cm	30,5 cm 18 cm	27,5
17	1,27mm GWB 1,27mm GWB	2:1 2:1	yatay yatay	18 cm 18 cm	18 cm 18 cm	8,5
18	1,27mm GWB 1,27mm GWB	2:1 2:1	yatay yatay	10 cm 10 cm	10 cm 10 cm	12,4
19	114mm X 0,84mm çelik şerit bir yüzde çaprazlama	2:1	-	-	-	9,8
20	190mm X 0,84mm çelik şerit bir yüzde çaprazlama	2:1	-	-	-	12,8

Not:

[1] Tablodaki tüm değerler, yararlanılan kaynaktan metrik sisteme çevrilerek kullanılmıştır. (1inch=2,54cm) (1lb/m, paund / metre =0,01459 kN/m)

[2] Duvarı oluşturan, dikme profili 3,5x1,4x0,033 inch (89x35x0,84mm), başlık profili 3,5x1,25x0,033inch (89x32x0,84mm)

[3] OSB, çelik ve kontrplak levhaların montajında #8'lik vida, GWB (alçı levha) montajında #6'lık vida kullanılmıştır.

[4] Deneyler 8x8 foot, 4x8 foot, 2x8 foot duvar panoları üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3-5 Sismik yüke (deprem yüküne) karşı hafif çelik perde duvarlar için nominal kesme kuvveti dayanımı (Tekrarlı yükleme test sonuçları) [3]

Referans no:	Kaplama veya rijitleme elemanı	Kaplama elemanın boy-en oranı	Kaplamaların başlıklara ve yan dikmelere montaj aralığı	Kaplamaların ara dikmelere montaj aralığı	Kenar dikme profil cidar kalınlığı	Ara dikme profil cidar kalınlığı	Alt ve üst başlık profil cidar kalınlığı	Nominal kesme dayanımı [kN/m]
1	11 mm OSB	4:1	15,25 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	10,2
2	11 mm OSB	4:1	10 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	13,3
3	11 mm OSB	4:1	7,5 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	18,6
4	11 mm OSB	4:1	5 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	24,8
5	12 mm kontrplak	4:1	15,25 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	11,4
6	12 mm kontrplak	4:1	10 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	14,4
7	12 mm kontrplak	4:1	7,5 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	21,3
8	12 mm kontrplak	4:1	5 cm	30,5 cm	II 0,84mm	0,84mm	0,84mm	23,7
9	12 mm kontrplak	2:1	7,5 cm	30,5 cm	1,1 mm	0,84mm	0,84mm	25,9
10	12 mm kontrplak	2:1	5 cm	30,5 cm	1,1 mm	0,84mm	0,84mm	31,9
11	11 mm OSB	2:1	7,5 cm	30,5 cm	1,1 mm	0,84mm	0,84mm	22,2
12	11 mm OSB	2:1	5 cm	30,5 cm	1,1 mm	0,84mm	0,84mm	30,0
13	12 mm kontrplak	2:1	15,25 cm	30,5 cm	1,1 mm	1,1 mm	1,1 mm	13,0
14	12 mm kontrplak	2:1	15,25	30,5 cm	1,4 mm	1,4 mm	1,4 mm	13,2
15	12 mm kontrplak	2:1	5 cm	30,5 cm	1,1 mm	1,1 mm	1,1 mm	19,0
16	0,45 mm çelik sac	2:1	15,25 cm	30,5 cm	0,84mm	0,84mm	0,84mm	5,7
17	0,68 mm çelik sac	4:1	10 cm	30,5 cm	0,84mm	0,84mm	0,84mm	14,6
18	0,68 mm çelik sac	4:1	7,5 cm	30,5 cm	0,84mm	0,84mm	0,84mm	15,8
19	0,68 mm çelik sac	4:1	5 cm	30,5 cm	0,84mm	0,84mm	0,84mm	17,0
20	114mm X 0,84mm çelik şerit	2:1	-	-	0,84mm	0,84mm	0,84mm	12,0
21	190mm X 0,84mm çelik şerit	2:1	-	-	0,84mm	0,84mm	0,84mm	12,2

Not:

[1] Tablodaki tüm değerler, yararlanılan kaynaktan metrik sisteme çevrilerek kullanılmıştır. (1inch=2,54cm) (1lb/m, paund / metre =0,01459 kN/m)

[2] Profiller, 3,5x1,4inch (89x35mm)'dir.

[3] OSB, çelik ve kontrplak levhaların montajında #8'lik vida kullanılmıştır.

[4] Deneyle 8x8 foot, 4x8 foot, 2x8 foot, duvar panoları üzerinde gerçekleştirilmiştir.

[5] Kaplamalar ve rijitleme elemanları duvarın sadece bir yüzüne uygulanmış, diğer yüz, dikme yüksekliğinin yarısında, 38 mm genişliğinde ve 0,84 mm kalınlığında bir adet şerit ile rijitleştirilmiştir.

Statik ve tekrarlı yükleme deney sonuçları incelendiğinde:

(1) Kaplama türünün ve rijitleme yönteminin dayanıma etkisi:

- Tablo 3-5'de 1-4 arasındaki numuneler ile 5-8 arasındaki numuneler karşılaştırıldıklarında, 12 mm kontrplak kaplamanın 11 mm OSB kaplamaya göre perde duvara daha yüksek dayanım sağladığı görülür. Aynı sonuç, Tablo 3-4'de 1. ve 2. deneyler arasında da mevcuttur.
- Çelik levha kaplamaların, OSB veya kontrplak kaplamalar ile karşılaştırıldığında tatmin edici sonuçlar vermedikleri, ancak 0,68 mm çelik sac kaplı numunelerin, kullanılabilir düzeyde oldukları görülür. 0,68 mm'den daha kalın çelik sac kaplamanın ise ekonomik olmayacağı açıktır. 0,68 mm'den daha kalın çelik sac kaplama yapmak yerine, 0,83 mm kalınlığında çelik şerit çaprazlama ile yeterli strüktürel etkinlik sağlanır.[3]
- Statik yükleme (Tablo 3-4) ve tekrarlı yüklemelerde (Tablo 3-5), çelik şeritler ile duvarın bir yüzünde yapılan çaprazlamalar diğer rijitlendirme yöntemlerine göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni, sadece bir tarafın çaprazlanmasından kaynaklanan dış merkezliktir. Deneylerde, 114x0,84 mm çelik şerit ile çaprazlanmış duvarların kenar dikmelerinde, 190x0,84 mm çelik şerit ile çaprazlanmış duvarlarda ise üst başlık ve kenar dikmelerde lokal burkulma görülmüştür. Dış merkezlik sonucu, meydana gelen bu lokal burkulmaların dayanımı belirlediği tespit edilmiştir.[3] Kaplamalar, çaprazlamalara göre de dikme ve başlıkların burkulmalarını engellemekte daha etkilidir. Bu nedenle, bu dış merkezlik duvarın tasarımında göz önüne alınmalıdır. Bu dış merkezliği azaltacak biçimde her iki yüzde yapılacak çaprazlamalar ile bu sorun giderilebilir.
- Tablo 3-4'de bir yüzü OSB, diğer yüzü alçı levha (GWB) kaplı deney numuneleri (deney 14,15,16) ile aynı özellikte sadece bir yüzü OSB kaplı duvarlar (deney 3, 4, 5) karşılaştırıldığında, alçı kaplamanın dayanıma katkısı olduğu görülür. Ancak bu karşılaştırmada, OSB

kaplamaların montaj aralıkları azaldıkça alçı kaplamanın etkisinin azaldığı açıktır. [3]

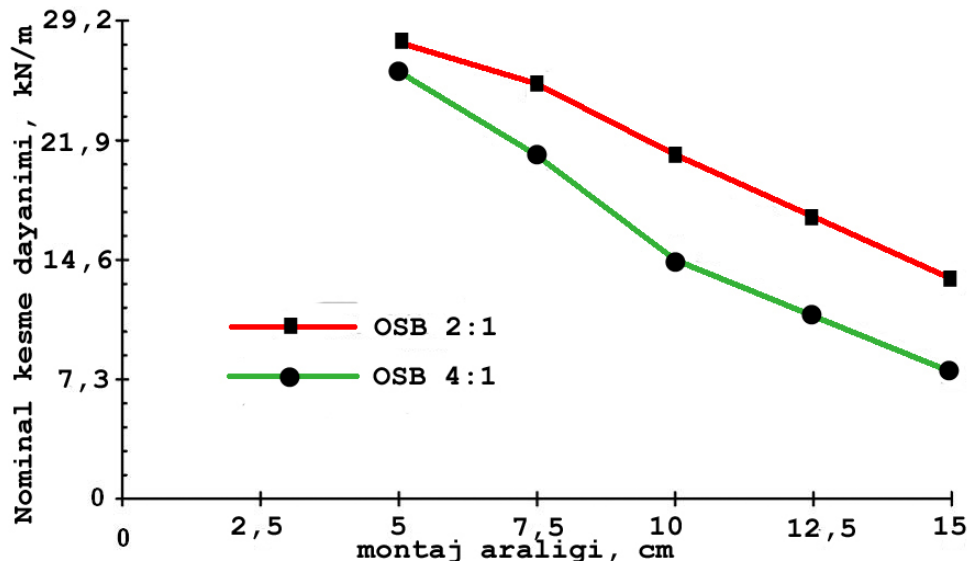
- Her iki yüzü de alçı levha (GWB) kaplı numuneler ile bir yüzü ahşap elemanlarla kaplanmış numuneler karşılaştırıldığında alçı levha kaplı numunelerin dayanıma katkıları daha azdır. Ancak, taşıyıcı sistemin içinde belirtilen sınır değerler altında kalacak şekilde konumlandırılabilir. [3]

(2) Kaplama elemanlarının montaj aralığının dayanıma etkisi:

- Örnek olarak, Tablo 3-5'de 1,2,3,4 numaralı deneyler incelendiğinde montaj aralığı azaldıkça dayanımın arttığı görülür. Bu sonuç, diğer deney sonuçlarında da izlenebilir. Dayanım-montaj aralığı ilişkisi, montaj noktalarının çelik profillere burkulma etkisine karşı bir mesnet noktası oluşturması ile açıklanabilir.[3]

(3) Kaplama elemanlarının boy-en oranının dayanıma etkisi:

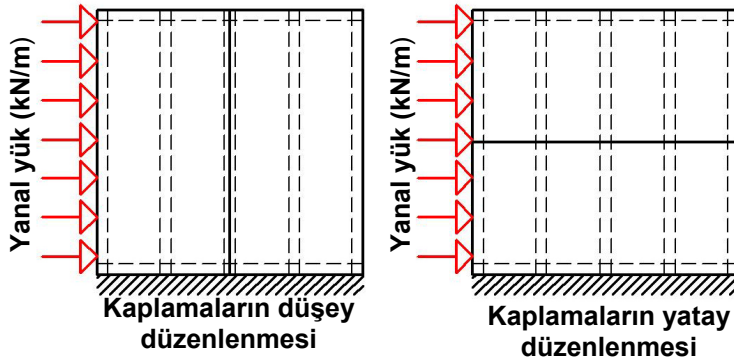
- Boy-en oranı 2/1 olan kaplamaların, boy-en oranı 4/1 olan kaplamalara göre dayanıma daha fazla katkı sağladığı görülür. Bu sonuç, kaplama oranları dışında aynı nitelikteki duvarların karşılaştırılmasından çıkarılabilir. Ancak, montaj aralığı azaldıkça, kaplama oranının dayanıma etkisi de azalır (Şekil 3-25). [3, s.5]



Şekil 3-25 Nominal statik yükleme kesme dayanımı, montaj aralığı, kaplama boy-en ilişkisi [3, s.5] (Grafikteki sayısal değerler S.I. sistemine çevrilmiştir.)

(4) Kaplama elemanlarının dikmelere göre düzenlenmesinin dayanıma etkisi:

- Tablo 3-4'de, kaplamaların yatay (dikmelere dik yönde) düzenlediği 2 numaralı duvar ile kaplamanın düşey (dikmelere paralel yönde) düzenlendiği 3 numaralı deney karşılaştırıldığında (Şekil 3-26), kaplamaların yatay yönde düzenlemiş duvarın dayanımının yaklaşık %11 daha fazla olduğu görülür.[3] Buna karşın, halihazırdaki yönetmelikler kaplama levhalarının kat yüksekliğinde, döşemeden tavana kadar eksiz olması ve boyuna doğrultuları düşey olacak şekilde (dikmelere paralel) yerleştirilmesi gerektiğini belirtmektedir. [34. s16]



Şekil 3-26 Kaplamaların düşey ve yatay düzenlenmesi

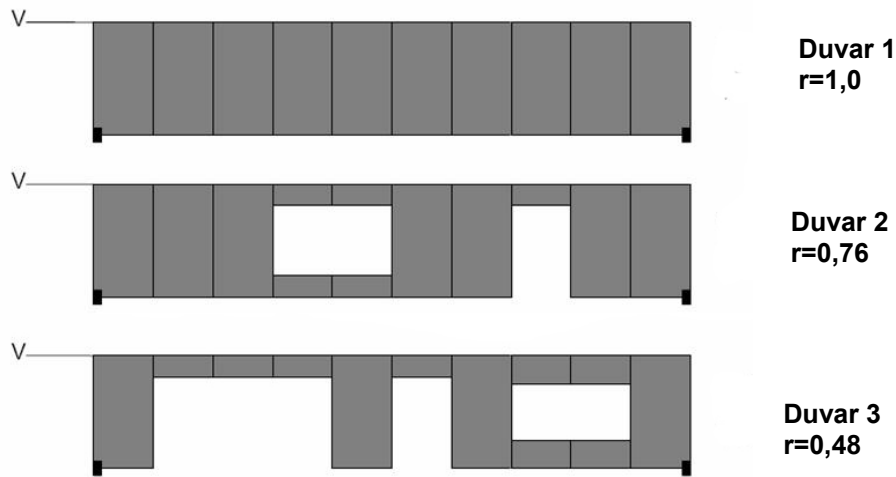
(5) Statik yüklenme ve tekrarlayan yüklemenin dayanıma etkisi:

- Tekrarlayan yüklemelere karşı duvarların kesme dayanımı, statik yüklemelerde elde edilen sonuçlardan daha düşüktür.[3]

Tüm bunların dışında, pencere, kapı gibi boşluklar da perde duvarın yatay kuvvetlere karşı dayanımında belirleyici rol oynarlar. Perde duvarın bir bütün olarak çalışmasını engelleyen cephe boşluklarının, kesme dayanımını ne ölçüde etkiledikleri araştırma konusudur. Üzerinde herhangi bir boşluk bulunmayan, dolu perde duvarların yanal yüklere karşı dayanımları hakkında, ilgili standartlardan analitik hesaplamalar ışığında bir fikir edinilebilir. Ancak perde duvarlarda açılan boşlukların şekil, boyut ve perde duvara göre

oranlarının çok sayıda varyasyon içermesi, bu şekildeki perde duvarların dayanımı hakkında bir fikir edinilmesini güçleştirmektedir.

Bu amaçla boşluk oranının dayanıma etkisini ampirik bir hesaba bağlamak üzere NAHB²⁴ Araştırma Merkezi tarafından AISI²⁵ için bir dizi deney gerçekleştirilmiştir: “*Monotonic Tests of Cold-Formed Steel Shear Walls With Openings*” [4] Deneyler 40 foot (12,2 m) genişliğinde ve 8 foot (2,44 m) yüksekliğinde perde duvarlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma, boşluksuz perde duvar ile üzerinde çeşitli büyüklüklerde kapı, pencere boşlukları açılmış perde duvarların dayanımlarının kıyaslanması şeklindedir (Şekil 3-27).[4]



Şekil 3-27 Boşluksuz hafif çelik duvara göre, boşluk açılmış duvarların dayanım oranları [4]

Duvarın yatay yüklere karşı dayanımında, “kaplama alanı oranı” belirleyicidir. “r” ile ifade edilen kaplama alanı oranı aşağıdaki gibi ifade edilir. [4]

$$r = \frac{1}{1 + \frac{A_o}{H \sum L_i}}$$

A_0 =Toplam boşluk alanı

²⁴ “The National Association of Home Builders Research Center”: Konut İnşaatçıları Ulusal Kurumu Araştırma Merkezi

²⁵ “The American Iron and Steel Institute” : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

H= Duvar yüksekliği

L_i = Duvar yüksekliğince tam olarak kaplanmış kısımların uzunluğu

Özet olarak “r” yanal yüklere karşı, duvarın etkin alanının, tüm perde duvar yüzeyine oranıdır.[4]

Duvar Özellikleri:

Çelik çerçeve	0,84 mm cidar kalınlığında başlıklar ve 61 cm ara ile düzenlenmiş dikmelerden oluşturulmuştur.
Dış duvar kaplaması	11 mm kalınlığında, 15,25 cm aralıklarla başlık ve yan dikmelere, 30,5 cm aralıklarla ara dikmelere monte edilmiş, 122x244 cm boyutlarında OSB
İç duvar kaplaması	12,7 mm kalınlığında 18 cm aralıklarla başlık ve yan dikmelere, 25 cm aralıklarla ara dikmelere monte edilmiş, 122x244 cm boyutlarında alçı levha.
Duvar 2 boşluk boyutları	Kapı: 122 cm genişinde, 203 cm yüksekliğinde Pencere: 244 cm genişliğinde, 172 cm yüksekliğinde
Duvar 3 boşluk boyutları	Kapı 1: 122 cm genişinde, 203 cm yüksekliğinde Kapı 2: 366 cm genişliğinde, 203 cm yüksekliğinde Pencere: 244 cm genişliğinde, 122 cm yüksekliğinde

Deney sonuçları Tablo 3-6’da incelendiğinde,

- Perde duvarlarda açılan boşluklara bağlı olarak perde duvarın, yanal yüklere karşı dayanımının düştüğü gözlemlenir.
- Tamamı kaplanmış boşluksuz perde duvarlara göre, boşluk açılmış perde duvarların dayanım yüzdesi ampirik olarak bir eşitlikle ifade edilebilir. [4]

Kaplama alanı oranına bağlı olarak, perde duvarın boşluksuz durumuna göre, dayanım yüzdesi, (F);

$$F = \frac{r}{2-r}$$

şeklindedir.[4]

- Bu ampirik hesap yöntemi ile duvarda açılan boşlukların taşıma gücünü ne kadar düşürdüğü hakkında bir fikir sahibi olunabilir (Tablo 3-6).

Tablo 3-6 deney sonuçları [4, s.12]

	DUVAR 1	DUVAR 2	DUVAR 3
Kaplama Alanı Oranı "r"	1,0	0,76	0,48
Tamamı kaplanmış boşluksuz perde duvara göre dayanım yüzdesi (F)	%100	% 62	% 30
Maksimum yük dayanımı	187,7 kN	116,5 kN	55,6 kN

3.1.3.2 Yatay ve Düşey Yük Altında Döşemeler

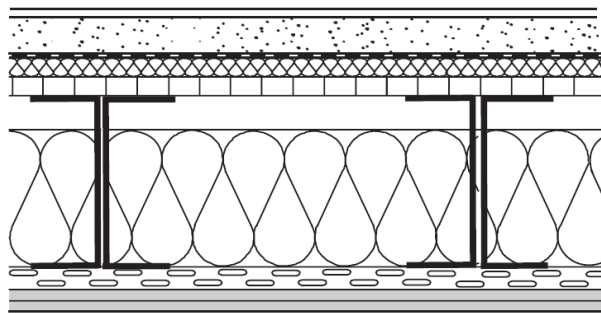
Döşemeler; yapıda açıklıkların geçilmesi, açıklık yüklerinin karşılanması ve düşey elemanlara iletilmesi görevlerini üstlenirler. Ayrıca, diyafram çalışması göstererek, taşıyıcı sistemin yatay yükleri karşılamasına katkıda bulunurlar.

Öncelikli olarak, düşey yüklere karşı, geçilebilecek açıklıklar Tablo 3-7’de incelenebilir. Bu tabloda, Alman Soğuk Şekillendirilmiş Yapısal Çelik Standardı Alman Dast-Richtlinie 016’ya uygun olarak gerçekleştirilmiş, ölü ve hareketli yük altında, profillerin döşemede düzenlenme sıklığına bağlı olarak profillerin geçebilecekleri açıklıkları gösteren çalışma özetlenmiştir.[103]

Yapı türüne bağlı olarak göz önüne alınacak hareketli yükler standartlarda belirtilmiştir. Ancak, ölü yükler yapının konstrüksiyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Hafif çelik sistemlerde taşıyıcılığa katılan profil ve OSB, kontrplak gibi ahşap esaslı kaplamalar ile birlikte, yalıtımlar, şap, harç, döşeme kaplaması gibi ince yapı elemanları ölü yükleri oluşturur.

Şekil 3-28’da örnek bir döşeme konstrüksiyonu ele alınmış ve açıklıklar bu döşemenin ölü yüklerine göre belirlenmiştir. Döşeme ölü yükü $1,55 \text{ KN/m}^2$, hareketli yük 2.0 KN/m^2 ve 3.5 KN/m^2 alınmıştır. Yatay yükler için kullanılacak elemanların boyutları, tabloda 40 ve 60 cm aralıklı döşeme kirişlemelerine göre belirlenmiştir.[103]

Tablolarda, karakteristik akma gerilmesi $f_{yk} = 320 \text{ N/mm}^2$ ve Fe E 320 G standardında çelik kullanılmıştır.[103]



Seramik kaplama 10 mm

Şap/harç 40 mm

Ses izolatörü 20 mm

OSB 2x 13mm=26 mm

Isı yalıtımı 120 mm

Hafif çelik kiriş

Tavan kaplaması 2 x 12.5 mm

Şekil 3-28 Döşeme kesiti örneği detayı [103]

Tablo 3-7 Hafif çelik kirişlerin geçebileceği iki mesnet arası açıklıklar [103]

PROFİL						L [cm]			
BOYUTU (mm)	W_{eff}	I_{eff}	$M_{y,Rd}$	$R_{u1,Rd}$	$V_{z,Rd}$	$q=2,0 \text{ kN/m}^2$		$q=3,5 \text{ kN/m}^2$	
$h \times b \times c \times t_0$	cm^3	cm^3	kNm	kN	kN	$y=40\text{cm}$	$y=60\text{cm}$	$y=40\text{cm}$	$y=60\text{cm}$
C									
150 x 50 x 10 x 1,0	7,35	71	2,14	1,69	5,58	288	235	240	196
C									
150 x 50 x 10 x 1,5	14,36	120	4,18	3,50	20,5	364	318	302	264
C									
150 x 50 x 10 x 2,0	20,80	165	6,05	6,06	40,1	405	354	336	293
C									
200 x 50 x 10 x 1,0	10,07	134	2,93	1,69	4,18	336	270	281	188
C									
200 x 50 x 10 x 1,5	19,41	228	5,65	3,50	15,4	451	381	374	318
C									
200 x 50 x 10 x 2,0	30,37	326	8,84	6,06	40,1	508	444	422	369
C									
250 x 50 x 10 x 1,5	24,95	378	7,26	3,50	12,3	526	432	440	361
C									
250 x 50 x 10 x 2,0	37,96	549	11,04	6,06	32,4	605	529	502	439
Σ									
200 x 65 x 10 x 1,5 36 x 100	29,03	314	8,45	2,17	23,3	502	439	416	364
Σ									
200 x 65 x 10 x 2,0 36 x 100	42,08	434	12,24	5,33	48,3	560	488	464	405
Σ									
250 x 70 x 10 x 1,5 50 x 120	39,75	541	11,56	2,17	19,0	602	526	499	436
Σ									
250 x 70 x 10 x 2,0 50 x 120	58,44	757	17,00	5,33	47,1	673	588	559	488
II									
150 x 50 x 10 x 1,5	28,72	240	8,36	7,00	41,0	459	400	380	332
II									
200 x 50 x 10 x 1,5	38,82	456	11,30	7,00	30,8	568	497	472	412
II									
250 x 50 x 10 x 1,5	49,90	756	14,52	7,00	24,6	673	588	588	488

- 2,0 kN/m² (200 kg/ m²) ve 3,5 kN/m² (350 kg/ m²) hareketli yük altında döşemenin profil boyutu ve düzenlenme sıklığına bağlı olarak ~6,5 metre açıklık geçebildiği, ancak 5 - 5,5 m açıklığın en ekonomik sonucu verdiği görülür. [103] Buna karşın, cidar kalınlığı 2.4 mm olan 50 x 300 mm boyutlarındaki profillerin 30 cm aralıkla düzenlendiği bir hafif çelik döşeme, 9,4 m açıklık geçebilir. Kirişleme profilleri iki adet C profilin birleştirilmesiyle oluşturulan][bileşik profil olması durumunda geçilebilen açıklık 12,5 kadar artabilir.[79, s.33-34]
- İki adet C profilin birleştirilmesinden oluşturulan][profillerin geçebildiği açıklıklar ile cidar kalınlığı 0,5 mm daha kalın Σ profillerin geçebildiği açıklıkların birbirine çok yakın veya aynı değerde olduğu görülür. Bu durumda profil ağırlıkları göz önüne alındığında Σ profillerin daha ekonomik olacağı açıktır.
- Dikmelerin aksine, kirişlerde profil yüksekliğindeki artışın, cidar kalınlığındaki artışa göre dayanıma daha çok katkıda bulunduğu görülür (Bkz. Tablo 3-1). Eğilme momenti etkisindeki kiriş profilleri ile aksinel yük etkisi altındaki dikme profillerinin davranış farklılığı bu sonucu doğurmaktadır.

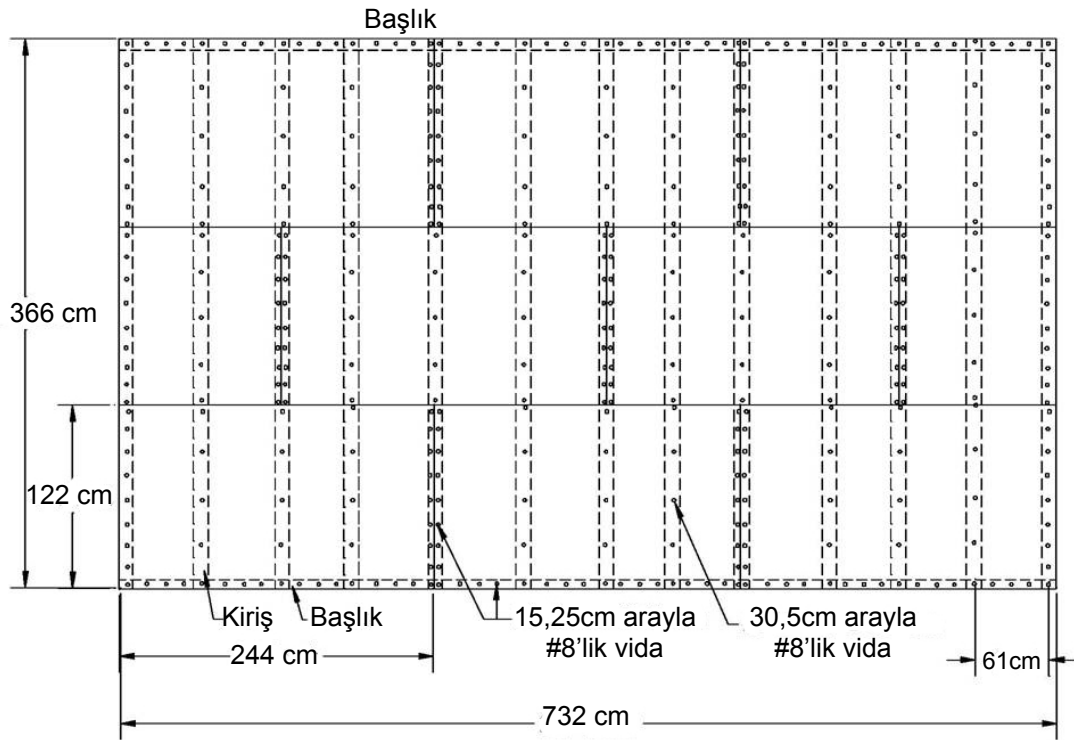
Hafif çelik çerçeve konstrüksiyonlarında, soğuk şekillendirilmiş çelik döşeme kirişlemeleri genellikle kontrplak veya OSB (lif aglomera prese yapay ahşap levha) kaplanmaktadır. Döşeme yüzeyini oluşturan kaplamanın birinci işlevi, ölü, hareketli yükleri ve konstrüksiyon yüklerini strüktüre dağıtmaktır. Çatı kaplaması da, çatı konstrüksiyonunda benzer işlev üstlenir. Kaplamanın çelik kirişlemelere montajı ile, döşeme kesme dayanımlı sistem şeklini alır. Yatay diyafram (*horizontal diaphragm*) olarak nitelenen terim, rüzgar veya deprem yüklerinden kaynaklanan plan düzlemindeki kuvvetlere karşı dayanımı ifade eder. Diyaframın plan düzlemindeki (yatay) yüklere karşı dayanımı, döşemenin mukavemetine ve kesme dayanımı limitine bağlıdır. Diyafram, geniş bir kiriş ile bir ölçüde benzer davranış gösteren, yatay strüktürel kuruluştur. Burada paneller, kesme etkisine karşı bir “profil gövdesi” gibi

davranırken, diyaframın kenar elemanları, eğilme gerilimlerine karşı “flanş” gibi görev yapar. Bu kenar elemanlar, diyafram tasarımında çubuk veya başlık olarak (*chord*) olarak adlandırılır. [53, s.2]

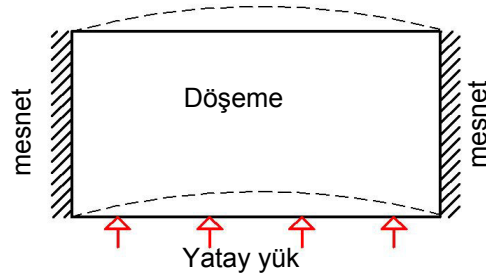
Şekil 3-29'deki döşeme konstrüksiyonun, Şekil 3-30'de olduğu gibi yatay yük etkisinde davranışı ve dayanımı deney ortamında araştırılmıştır. [53, s.14-15]

Döşeme konstrüksiyonunda, 18,3 mm kalınlığında OSB kaplama kullanılmış; akma dayanımı $22,75 \text{ kN/cm}^2$ olan $50 \times 200 \times 1,1$ mm boyutlarında çelik profiller ile akma dayanımı $34,47 \text{ kN/cm}^2$ olan $50 \times 250 \times 1,4$ mm boyutlarında çelik profillerden döşeme konstrüksiyonu oluşturulmuştur. [53, s.14-15]

Gövde yüksekliği 200 mm olan profillerde $17,8 \times 10,8$ cm boyutlarında, gövde yüksekliği 250 mm profillerde $22,8 \times 15,8$ cm boyutlarında tesisat delikleri profil üzerinde 61 cm ara ile düzenlenmiştir. [53, s.14-15]



Şekil 3-29 Döşeme diyaframı kaplama bağlantı detayı [53]



Şekil 3-30 Yatay yük altında döşeme diyagramı

Tablo 3-8 Yatay yük altında döşeme dayanım ve deformasyon değerleri [43, s.13]

Ref. no	Kiriş Profil Boyutu	Maksimum Test Yüğü [kN]	Limit Kesme Dayanımı [kN/m]	Deformasyon [cm]
1A	50x250x1,4mm	128,2	17,5	5,1
1B	50x250x1,4mm	136,6	18,6	5,9
2A	50x200x1,1mm	129,6	17,7	6,0
2B	50x200x1,1mm	127,3	17,4	5,6

1A referans numaralı deneyde; maksimum yüklemeye ulaşıldığında, mesnet noktalarında vidaların OSB kaplamayı yırttığı (Şekil 3-32-a); bu noktalardaki az sayıda vidada ise makaslama etkisinden kaynaklanan kopma görülmüştür. 1B referans numaralı deneyde; maksimum yüklemeye ulaşıldığında, mesnet noktalarında vidaların OSB kaplamayı yırttığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra başlıklar ile kirişler birbirinden ayrılmış ve bu noktalardaki vidalar makaslama etkisi ile kopmuştur (Şekil 3-31-a). Yükleme noktalarına yakın vidalarda da kopmalar görülmüştür. [53, s.14-15]

2A ve 2B referans numaralı deneyde; kenar kirişleri başlıklardan ayrılmış ve vida başlarının kopması ile maksimum yüklemeye ulaşılmıştır. (Şekil 3-34-b) Yükleme noktalarına yakın vidalar OSB kaplama tarafından söküldüğü, başlık kısımlarında vidaların koptuğu, orta kısımlarda ise vidaların kaplamayı yırttığı tespit edilmiştir. (Şekil 3-31-b) [53, s.14-15]

Deney sayısal sonuçlarından ve tespitlerden;

- Dayanım değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülür. Buradan soğuk şekillendirilmiş elemanların boyut ve/veya cidar kalınlıklarının, diyafram dayanımı ve stabilitesi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılır. [53, s.14-15]
- Döşemenin yanal yüklere karşı dayanım mekanizmasının kaplama tarafından sağlandığı, kaplama sayesinde döşemenin yatay yüklere karşı diyafram çalışması gösterdiği sonucu çıkarılabilir. [53, s.14-15]
- Vidaların kesme dayanım kapasitesi, montaj aralıklarına bağlı olarak döşemenin yatay yükler karşısındaki dayanımında belirleyicidir. Aynı şekilde vidaların bağlandığı noktalardaki kaplamanın vidaların yırtma etkisine karşı mukavemeti de döşemenin dayanımında etkilidir. [53, s.14-15]



Şekil 3-31 (a-b) Yanal yükleme altında döşeme deformasyonları [53]



Şekil 3-32 (a-b) Yanal yükleme altında döşeme deformasyonları [53]

3.1.4 Değerlendirme ve Taşıyıcı Sisteme İlişkin Öneriler

Çatı, döşeme, merdivenler için düzgün yayılı hareketli yükler “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” TS 498 Türk standardında, konut, oda ve koridorlar, bürolar, dükkanlar, hastane odaları için $2,0 \text{ kN/m}^2$ (200 kg/ m^2) olarak, konut merdivenleri, muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar ve amfiler için $3,5 \text{ kN/m}^2$ (350 kg/ m^2) olarak belirtilmiştir. [121] Alman DAST-Richtlinie 016 standardı referansında, $2,0 \text{ kN/m}^2$ ve $3,5 \text{ kN/m}^2$ hareketli yükler göz önüne alındığında hafif çelik sistemler, kirişleme doğrultusunda yaklaşık olarak 5-6 m arasında açıklıkları geçebilmektedir. Bahsedilen mekanların boyutları göz önüne alındığında, hafif çelik yapım sisteminin konutlar ve küçük açıklıklı yapılar için uygun olduğu görülür. Bunun yanında 5-6 m boyutlarındaki hastane odası, küçük sınıf ve amfiler için belirtilen hareketli yükler de hafif çelik yapılar tarafından karşılanabilir. Ancak bu tür yapıların koridor ve genel mekanları için standartta belirtilen $5,0 \text{ kN/m}^2$ (500 kg/ m^2) hareketli yük miktarı, hafif çelik sistem için ekonomik olmayan çözümler ile mümkündür. Amerikan standartlarında ise, hafif çelik yapılar için, hareketli yükler; konutların, zemin katında $1,92 \text{ kN/m}^2$, üst katlarda ise $1,44 \text{ kN/m}^2$ ile sınırlandırılmıştır.[1],[79] Amerikan standartlarının belirttiği yüklere göre hafif çelik sistemlerde döşemeler maksimum 9,4-12,5 m açıklık geçebilmesine rağmen [79, s.33-34], bu yük değerleri Türk Yapı standartlarının öngördüğü değerlerin altındadır.

TS 498’de kar yükü değerleri, kar yağış yüksekliğine göre dört bölgeye ve bu bölgelerin deniz seviyesinden yüksekliklerine göre belirtilmiştir. Türkiye’de, IV. bölgede yer alan 1000 m’den yüksek rakımlı bir bölgede kar yükü $1,6 \text{ kN/m}^2 - 1,76 \text{ kN/m}^2$ (160 kg/ m^2 - 176 kg/ m^2) olarak belirtilmiştir. [121] Bu, Türkiye için yerleşim bölgelerinde olabilecek en yüksek değerdir.

Hafif çelik sistemlerin karşılayabilecekleri maksimum kar yükü miktarı ise $3,35 \text{ kN/m}^2$ (335 kg/ m^2)’dir. [79, s. 2],[85, s.6]

Hafif çelik sistemler için “Binalar ve Diğer Strüktürler için Minimum Dizayn Yükleri” ASCE 7-93²⁶ şartnamesinde, şehir içi veya ormanlık alanlardaki hafif çelik yapılar için, rüzgar hızı 177 km/saat, açık alanlardaki hafif çelik yapılar için ise 144 km/saat sınır olarak belirtilmiştir. 144 km/saat ve 177 km/saat hızında esen rüzgar, şiddetli fırtına ve kasırga olarak nitelenir. Saatte 177 km hızla esen rüzgar, yapı cephesinde 1,73 kN/m², saatte 144 km hızla esen rüzgar ise, yapı cephesinde 1,16 kN/m² yatay basınç yaratır. [13, s.458] Yapılan hesaplamalar, deneysel çalışmalar ve uygulama deneyimleri, hafif çelik yapıların bu şiddetteki yatay yüklere dayanabildiklerini göstermiştir. [79]

Hafif çelik yapıların, döşeme kaplaması, harç, şap vb. ince yapı malzemeleri haricinde taşıyıcı konstrüksiyonu oluşturan profil ve kaplamaların ölü yükü, döşeme ve duvarlar için maksimum 0,48 kN/m² (48 kg /m²)’dir. [34], [79 s.2] Bu değer, betonarme, betonarme prefabrikasyon, konvansiyonel çelik veya kagir yığma yapıların ölü yükleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçük bir değerdir. Örnek olarak, hafif çelik taşıyıcılı bir yapı ile aynı büyüklükte ve kat adedindeki bir betonarme taşıyıcılı bir yapının ağırlıklarının karşılaştırması Tablo 3-9’daki gibidir.[18, s.35]

Tablo 3-9 Hafif çelik taşıyıcılı ve betonarme taşıyıcılı yapıların ağırlıkları [18, s.35]

	Hafif Çelik Taşıyıcılı	Betonarme Taşıyıcılı
Taşıyıcı Sistem Ağırlığı (ton)	19	351
Duvar Ağırlığı (kg/m ²)	12	280
Döşeme Ağırlığı (kg/m ²)	26	353
Temel ağırlığı (ton)	170	190

Yapı ağırlığı ile yapının maruz kaldığı deprem yükü arasında doğru orantı vardır. Yapı ağırlığı arttıkça yapının kesitlerinin karşılaması gereken kuvvet miktarı artar. Depremin oluşturduğu zemin ivmesi, zemin durumuna bağlı

²⁶ ASCE; American Society of Civil Engineers, “Minimum Design Load for Buildings and Other Structures” New York, 1993.

olarak, yapının salınım periyodu ile birlikte yapının ağırlığı, yapının karşılaması gereken deprem yükünü belirler. Deprem etkisi, birinci derece deprem bölgesinde 0,4 g büyüklüğündeki zemin ivmesine karşılık gelir. [20]

Tablo 3-10 Deprem bölgeleri ve etkin zemin ivmesi katsayıları [20]

<i>Deprem Bölgesi</i>	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

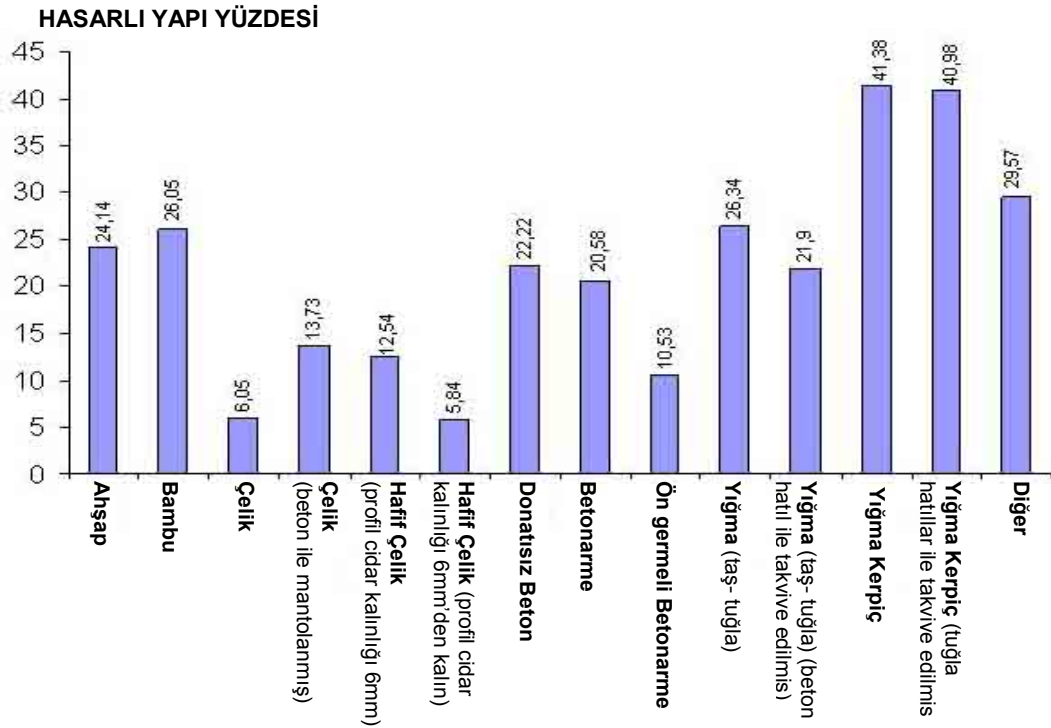
Ampirik olarak yapı ağırlığının, zemin ivmesi ile çarpımı yapının maruz kalacağı deprem yükünü²⁷ verir ($F=m.a$). Deprem zemin ivmeleri göz önüne alındığında, hafif çelik yapıların yapı ağırlıklarının az olması ve çelik yapıların sünek davranış gösterebilmeleri (salınım periyotlarının yüksek oluşları) depreme karşı bir avantaj oluşturur.

Tayvan'da 1999 yılında meydana gelen Chi-Chi depremi sonrası yapılan analiz ve istatistik sonuçlarında²⁸, farklı yapı konstrüksiyonlarının hasarlı yapı yüzdeleri incelenmiştir. [65] Hasar yüzdeleri toplam yapı sayısına göre değil, her konstrüksiyon tipini kendi içinde olacak şekilde ele alınmıştır (Şekil 3-33). İstatistik sonuçlarında, hafif çelik yapılar, konstrüksiyonu cidar kalınlığı 6 mm ve 6 mm'den kalın profillerden kurulmuş olmak üzere ikiye ayrılmıştır. [65] Amerika, Almanya ve Avrupa Birliği'nin ilgili standartları 6 mm cidar kalınlığındaki profillerin taşıyıcı sistemde kullanılmasını kabul etmediği için bu türdeki konstrüksiyonlar göz ardı edilebilir. 6 mm'den daha kalın profillerin kullanıldığı hafif çelik yapıların %5,84'ü hasar görmüştür ve bu oran diğer konstrüksiyonlara göre en düşük hasarlı yapı yüzdesidir. [65] Sonuçlarda ilginç olan, hasarlı ahşap yapı yüzdesinin beklenenden yüksek olmasıdır. Bu durum yapım teknolojisi ve geleneksel tekniklerin bir standarda bağlı

²⁷ Deprem yönetmeliğinde zemin ivmesi, bina önem katsayısı, etkin zemin ivmesi, zemin koşulları ve bina periyoduna bağlı olarak ele alınır.

²⁸ "The Statistics and Analysis of Building Damage on Chi-Chi Earthquake"

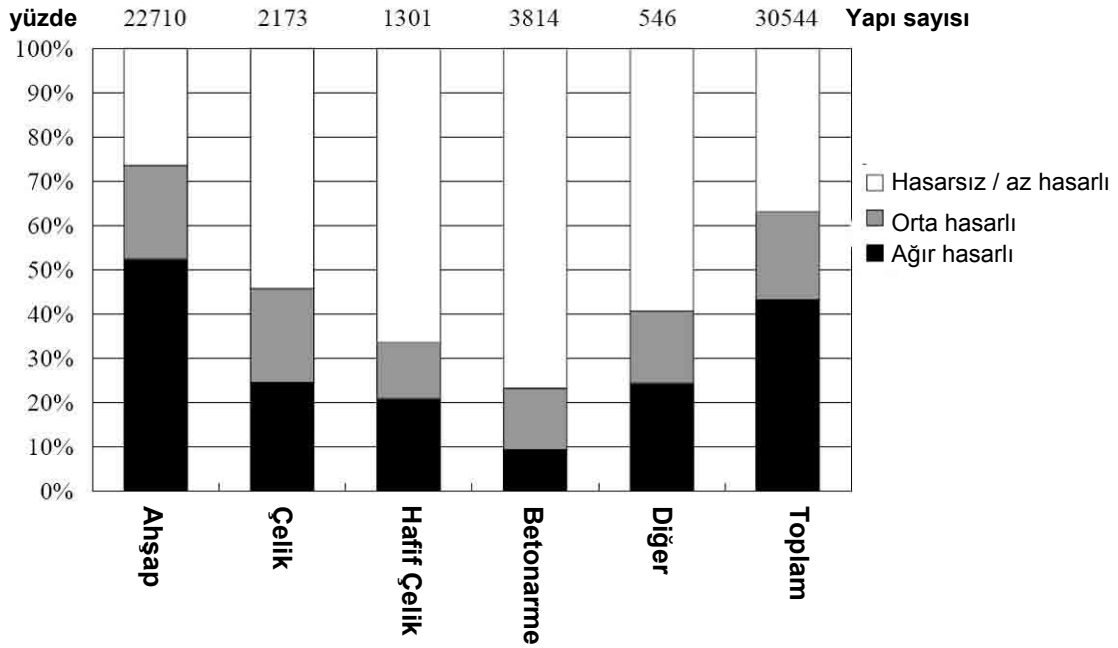
olmamasının yanında ahşap yapıların diğerlerine göre yaşlı olması ile açıklanabilir. [65]



Şekil 3-33 1999 Tayvan Chi-Chi Depremi sonrası hasarlı yapı yüzdesi [65]

Benzer bir araştırma 1995 Kobe depremi için de yapılmıştır²⁹ (Şekil 3-34). [126], [74] Bu istatistikte, sadece bir, iki ve üç katlı yapılar ele alınmıştır. [126] Kobe depreminde ağır hasar gören hafif çelik ve ahşap karkas yapıların büyük çoğunluğu üç katlıdır. İki ve/veya tek katlı hafif çelik yapılar daha az zarar görmüştür. Yapı yüksekliği ve kat adeti artıkça, cidar kalınlığı az olan hafif çelik elemanların burkulma boyları da artmaktadır. Bu da, narinlik etkisinin artmasına ve yapı elemanlarının burkulma etkisine daha kolay maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, hasarlı hafif çelik yapıların yüzdesinin, betonarme yapılara göre daha fazla olmasının nedenini açıklayabilir. [126]

²⁹ "Fragility Curves for Building in Japan Based on Experience from the 1995 Kobe Earthquake"



Şekil 3-34 1995 Japonya Kobe Depremi sonrası hasarlı yapı yüzdesi [126]

Merkez üssü Los Angeles-Kaliforniya yakınlarındaki 1994 Northridge depreminde az katlı konutlarda görülen hasar tiplerinin ve nedenlerinin incelendiği deprem raporunda³⁰; hafif çelik yapılarda görülen hasarların büyük çoğunluğunu, duvara asılı olarak tespit edilmiş termosifon, kasa gibi elemanlar ile tavan arasındaki su deposu gibi ağır eşya veya elemanların oluşturduğu, bu elemanların monte oldukları yapı elemanını tahrip ettikleri gözlemlenmiştir. [80]

Bu veriler doğrultusunda hafif çelik sistemlerin strüktürel kuruluşuna ilişkin öneriler ve değerlendirmeler aşağıda belirtildiği gibidir :

- Kuzey Amerika Çelik Birliği'ne (NASFA) göre hafif çelik yapılar en fazla bir bodrum ve iki kattan oluşabilmektedir. [84] Bu sınırlandırmaya rağmen üç katlı yapılar da hafif çelik yapım sistemi ile inşa edilebilir. Amerika haricinde, Japonya ve Almanya gibi ülkelerde örnekleri vardır. Ancak bu durumda hafif çelik sistemlerin, ekonomi ve strüktürel etkinlik açısından diğer sistemlere göre avantajı azalır.

³⁰ "Assessment of Damage to Residential Buildings Caused by The Northridge Earthquake"

- Hafif çelik yapıların eninin (döşeme kirişlemelerine paralel doğrultuda) en fazla 11 m, boyunun (döşeme kirişlemelerine dik doğrultuda) ise 18 m olması tavsiye edilmektedir. [79, s.2] [85, s.6] Belirtilen boyutlar, aynı zamanda bir duvarın planda kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetlenmemiş duvar uzunluğudur.
- Döşeme kirişlemelerinin kısa açıklık doğrultusunda düzenlenmeleri ekonomik sonuçlar verir.
- Amerikan standartları kat yüksekliğini 3.00 m ile, Alman Standardları ise 3.50 m ile sınırlamaktadır. [79, s.2] [85, s.6]
- Çıkma ve konsolların maksimum 60 cm olması tavsiye edilir. [79, s.2]
- Perde duvarlar mümkün olduğunca pencere, kapı gibi boşluklarla zayıflatılmamalıdır. Kapı ve pencere gibi boşlukların arasında kalan perde duvarın yatay yüklere karşı gerekli rijitliği sağlayabilmesi için, yeterli genişliğe sahip olması gerekir. Bu genişlik, kat yüksekliği 240 cm'ye kadar olan yapılarda en az 110 cm, 270 cm olanlarda en az 120 cm ve 300 cm olanlarda ise en az 130 cm'dir. [34]
- Yapı taşıyıcı ve perde duvarlarının birleştiği köşe noktalarında boşluk açılması tavsiye edilmez.
- Pencere ve kapılar için maksimum lento açıklığı, yapı genişliğine, lentoyu oluşturan profilin tipine ve boyutlarına, yapı hareketli yüklerine bağlı olarak maksimum 300-360 cm arasında olabilir.³¹ [79, s.62-63], [85, s.7-16] Ancak yapı geneli için, optimum çözümü 200-250 cm arasındaki kapı, pencere açıklıkları vermektedir.
- Perde duvarlar yapı köşelerine yakın olarak ve planda düzensizlik yaratmayacak şekilde düzenlenmelidir. Perde duvarların sağladığı rijitlik merkezi ile yapının geometrik merkezi birbirine yakın olmalı, aksi durumda oluşacak yapı burulma düzensizliği hesaba katılmalıdır.[20]

³¹ Örnek olarak; 11m genişliğinde, 2,4 kN/m² kar yükü altında, bir yapının 2 adet 50x305x2,4 mm profilden oluşturulmuş pencere lentoları, 295 cm açıklık geçebilir. [85]

- Hafif çelik yapıların taşıyıcı sistemindeki önemli sorunlardan birisi vibrasyondur. İnce cidarlı ve hafif elemanlardan oluşan taşıyıcı sistem küçük yükler altında dahi vibrasyon etkisi yaratmaktadır. Bu durum yapı için herhangi bir tehlike yaratmamakla birlikte kullanıcıları olumsuz etkilemektedir. Bu sorun döşeme kirişlemeleri tarafından taşınan mikro trapez levha üzerine dökülecek rijitlik betonu ile engellenebilir. [103]

3.2 Yapı Fiziği Etkileri Açısından Analiz ve Değerlendirme

Metallerin genel özelliği olan serbest veya sabit elektronlardan kurulu, homojen ve yoğun dokulu kristal yapı, basınç ve çekme özelliklerinin eşdeğerde ve yüksek olmasını sağlar. Bununla birlikte, çelik malzemenin bu iç yapı özellikleri, ısıl genleşmelerinin yüksek olmasına; ısıyı, elektriği ve sesi iyi iletmelerine de neden olur. Yapı konforu açısından ses ve ısı iletimi önemli bir noktadır. Özellikle çelik malzemenin yüksek ısı iletkenliği, enerji kaybının yanı sıra yoğuşma, nem ve su sorunlarında da etken rol oynar. Bununla birlikte ısıl genleşmeler yapı elemanlarında termal gerilmelere neden olur. Yangın ve korozyon sorunları ise, çelik yapılar için özellikle üzerinde durulması ve önlem alınması gereken konulardır.

Yapı fiziği sorunları açısından analiz başlığı altında, hafif çelik yapılarda yangın etkisi, ısı yalıtımı, nem, su, yoğuşma etkisi, korozyon etkisi, ses etkisi sorunları ve çözüm önerileri incelenecektir.

3.2.1 Hafif Çelik Yapılarda Yangın Etkisi

Yangın, tüm yapı türlerini olduğu gibi çelik yapıları da tehdit eden bir sorundur. Ancak, diğer yapı türlerine kıyasla, çelik yapıları daha fazla etkilemektedir. Çelik yapılar için çözülmesi gerekli önemli tasarım sorunları yaratan yangın etkisinden korunabilmek için öncelikle yangının yayılma mekanizmasının bilinmesi gereklidir. Böylece gerekli önlemler alınabilir; yapı bu şartlara göre tasarlanabilir.

3.2.1.1 Hafif Çelik Yapılarda Yangın Olgusu

Ekzotermik bir tepkime olan yanma esnasında, sürekli olarak ısı üretimi gerçekleşmektedir. Bir süre sonra, zincirleme olarak, bitişik veya çevrede bulunan maddeler tutuşma sıcaklığına ulaşmakta ve onlar da yanmaya başlamaktadır. Bu olayda, ısının yayılmasının üç değişik biçimde

gerçekleştiği görülmektedir. Bunlar taşınım (konveksiyon), iletim (kondüksiyon) ve ışıdır (radyasyon). [15]

Taşınım yolu ile yangının yayılması: Sıcak hava ve dumanın akışkan hareketi ile, yangının ortaya çıkardığı enerjiyi taşımıştır. Sıcak gazların taşıdığı enerji çevrede bulunan maddelerin tutuşma sıcaklığına ulaşmasına ve yangının yayılmasına neden olur. Hafif çelik yapılarda, duvar, döşeme gibi yapı bileşenlerinin boşluklu yapısı ve bu bileşenlerin birleşim noktaları ile kaplama malzemeleri arasında kalabilecek boşluklar sıcak havanın geçişine olanak verir.

İletim yolu ile yangının yayılması: Yangının ortaya çıkardığı enerji ve ısının doğrudan fiziksel temas yolu ile iletilmesidir. Yanmadığı halde yapı döşemesinin, tesisat elemanlarının veya duvarların ısıyı başka bölgelere iletmesi buna örnek gösterilebilir. Bu, çelik gibi iyi ısı ileten malzemelerde ön plana çıkmaktadır. Çelik malzeme tarafından iletilen ısı enerjisi, yangın kaynağından uzak bir noktayı tutuşma sıcaklığına ulaştırarak yangının yayılmasına neden olabilir.

ışıdır yolu ile yangının yayılması: Bir cismi meydana getiren elementer taneciklerin ısı hareketi, elektromanyetik ışımaya şeklinde enerji yaymalarına neden olmaktadır. Sıcaklığın artması, taneciklerin hareketini ve dolayısıyla ışımaya şiddetini artırmaktadır. Yayınlanan ısı ışımaya, aslında radyo dalgaları, ışık, x-ışınları ile aynı tipte olup, yalnızca dalga boyları farklıdır. Yayılan bu enerji dalgalarını soğuran başka bir ortama rastladıklarında, enerjilerini bu ortama transfer etmekte; bu ortamın ısı hareketlerini artırmaktadır. [15] Özellikle hafif çelik yapıların dış cephesindeki bitiş malzemelerinin (çeşitli PVC veya polistren türevi yalıtım ve kaplama malzemeleri) tutuşma sıcaklıklarının düşük olması yangının temas olmaksızın yayılmasına neden olur.

Yangının yayılma mekanizmasının dışında, yapı malzemelerinin yanabilirlikleri ve yangına karşı dayanımları, hafif çelik yapı tasarımında bir diğer önemli konudur.

Çelik; yanmaz bir malzeme olarak düşünülse de, yangın başlangıcından 10 dakika sonra ilk mukavemetinin % 20'sine, 20 dakika sonrada % 10'una düşer. Çeliğin akması sonucu ani çökmeler görülür. [35] Ancak, yüksek sıcaklığa dayanıklı kompozit malzemeler ile bu sürenin uzatılması; taşıyıcı strüktürün sıcaklıktan korunması mümkündür.³²

Yanmaz denilebilecek bir malzeme yoktur. Ancak yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme vardır. Önemli olan yanma süresinin geciktirilmesi ve bu süre içerisinde alınacak önlemler ile yangının söndürülmesidir. [15] Ayrıca bu sürenin uzatılması yapının kullanıcılarının tahliyesine ve yangından kaçışlarına fırsat tanır.

Yapıda kullanılan malzemelerin yangına ilişkin nitelikleri iki ayrı açıdan incelenebilir:

- Yangının yayılmasını besleyecek bir madde olup olmadıkları (malzemenin yanabilirlikleri)
- Yapıda yangın sırasında üzerine düşen görevi (taşıyıcı elemanlar, bölme elemanları vb.) tam güvenle yerine getirebilme süreleri (malzemenin yangın mukavemeti)

Bu iki inceleme açısı birbirine aykırı sonuçlar verebilir. Yanmaz bir malzeme yangına mukavemet göstermediği gibi (metal, çelik elemanlar vb.), yanıcı hatta tutuşucu başka bir malzeme yangında yüksek mukavemete sahip olabilir (masif ahşap elemanlar vb.). [127]

Yapı malzemelerinin yanabilirlikleri, yanmaz, zor yanıcı, zor alevlenici, normal alevlenici ve kolay alevlenici olmak üzere sınıflandırılmıştır (Tablo 3-11). Hafif çelik yapılarda kullanılan malzemeler için yanıcılık sınıflaması ise Tablo 3-12'de gösterilmiştir.

³²Buna karşın, ahşap kolay yanan bir malzeme olmasına karşın taşıyıcılığını uzun süre koruyabilir ve yapının yangın etkisinde çökmesi daha geç gerçekleşir.

Tablo 3-11 Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları [15]

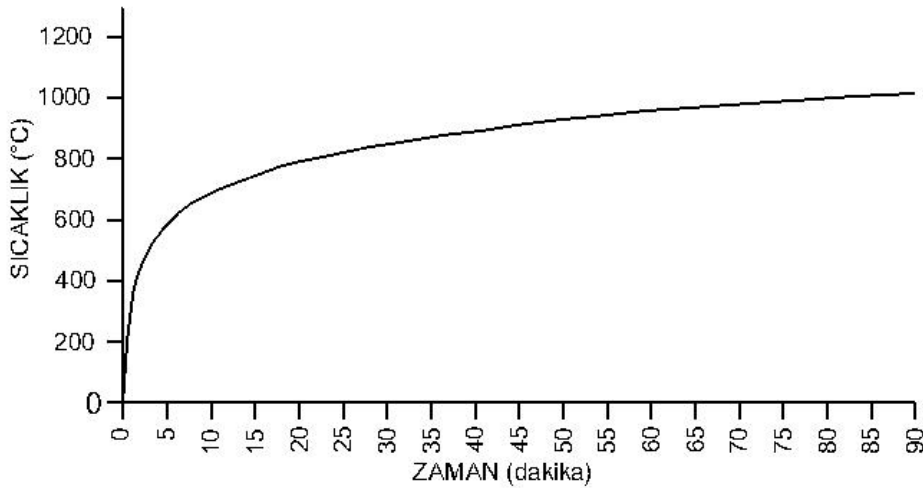
Yanıcılık sınıfı	Yanıcılık tanımı	Yangında gözlenen davranış	Söz konusu sınıfta belirlenmiş yapı malzemeleri
A1	Hiç yanmaz	Alev almaz, yanmaz, kömürleşmez	(a) Kum, çakıl, mil, kil ve doğal taşlar (b) Mineraller, toprak, volkanik cürüfler (c) Çimento, kireç, alçı, genişletilmiş perlit ve vermükulit ile cam, taş ve mineral yünleri (d) Harç, beton, betonarme, gaz beton, gözenekli beton, hafif beton, (e) Organik katkı maddesi içermeyen mineral lifli malzemeler (f) Tuğla, kiremit, seramik (g) Camlar (h) Metal ve metal alaşımları (alkali ve toprak alkali metaller)
A2	Zor Yanıcı	Yanıcı kısımlar içerir, ancak kendileri yanmaz, ateşi iletmez, yangın yüküne katkıda bulunmaz, alev kaynağı kalktıktan sonra yanmayı sürdürmez.	Her durumda özel tahkiki gereken malzemeler, örneğin alçı karton plakları gibi yanmaz dolgu maddeli kompozitler
B1	Zor Alevlenici	Alev kaynağı kalktıktan sonra yanmayı sürdürür.	(a) Ahşap yongası, lifi ve talaşı suni hafif yapı levhaları (b) Çok katmanlı mineral elyafı hafif yapı plakları (tek ve/veya iki yüzeyi mineral elyaf ile kaplı odun yününden yapılmış hafif yapı plağı) (c) Yüzeyi delikli veya deliksiz alçı karton levhalar (d) Yumuşatıcı içermeyen d \geq 3,2 mm sert polivinilklorid (PVC), klorlu polivinilklorid (PVCC) ve polipropilen (PP) den üretilmiş boru ve ek parçaları (e) Ahşap parke, PVC, vinilasbest zemin kaplamaları (h) Asbestli kağıt ve mukavvalar
B2	Normal Alevlenici	Yanıcı duman ve zehirli gaz oluşturur.	(a) Yoğunluğu $\delta \geq 400 \text{ kg/m}^3$ ve kalınlığı $d \geq 2 \text{ mm}$ veya yoğunluğu $\delta \geq 230 \text{ kg/m}^3$ ve kalınlığı $d \geq 5 \text{ mm}$ olan ahşap malzemeler (b) Kalınlığı $d \geq 2 \text{ mm}$ olan ahşap kontrplak veya termoplastik olmayan bir şekilde tüm yüzeyince ahşap kaplanmış veya yüzeyi preslenmiş malzemeler (c) $d \geq 3 \text{ mm}$ olan plastik kaplı odun lifi plaklar (d) Çok katmanlı sert köpük hafif yapı plakları (e) Sert PVC levhalar (f) Asfalt (g) Elektrik kabloları
B3	Kolay Alevlenici	Düşük tutuşma sıcaklığında alev alır, yangını kolay iletir, bu tür malzemeler yapıda hiçbir şekilde kullanılamaz.	Ahşap $d < 2 \text{ mm}$ Kağıt, saz, saman, talaş, pamuk, selüloz lifi, gevşek veya toz halindeki her türlü yanıcı maddeler

Tablo 3-12 Hafif çelik yapılarda kullanılan eleman/malzemelerin yanıcılık sınıfları

	Eleman / malzeme	Yanıcılık sınıfı
Duvar, döşeme taşıyıcı konstrüksiyon elemanları	Çelik profiller, bağlantı elemanları, montaj elemanları	A1
Kaplama elemanları	Alçı plak, alçı karton plak, mineral veya cam lifi içeren alçı plaklar, alçı sıva	A1, A2
	Çimento esaslı plaklar	A1
	Ahşap yongası, lifi, talaşı aglomeralı prese suni ahşap levhalar, OSB, Kontrplak levhalar	B2, B1
	Kalsiyumsilikat esaslı (mermer tozu) hafif yapı plakları	A1
Yalıtım malzemeleri	Mineral yünleri (taş, cam yünü)	A1
	Organik bazlı yalıtımlar	B2

Yangın etkisine karşı, yapı elemanlarının/ malzemelerinin yanıcılık sınıflandırması tek başına yeterli değildir. Bu malzemelerden oluşturulmuş elemanların, yangın sırasında, taşıyıcılık veya bölücülük görevini (yangının diğer tarafa geçmesini önleme) yerine getirme süresi bir diğer kriterdir. Bu amaçla yapı elemanları, yangın sıcaklığı-zaman arasındaki ilişki baz alınarak dayanımlarına göre sınıflandırılır.

ISO 834 yangın standardına göre, yangının ortamda yarattığı sıcaklık ile zaman arasındaki eğri, Şekil 3-35'deki gibidir. Bu diyagramdan görülebileceği üzere, yangın başlangıcından itibaren ilk 10 dakika içinde, ortam sıcaklığı yapı elemanlarının taşıyıcı niteliklerini olumsuz etkileyecek seviyeye ulaşmaktadır. [46] Bu durum, özellikle çelik yapı elemanları için ön plana çıkmaktadır. Tahliyenin gerçekleştirebilmesi için, yapı elemanlarının 800°C sıcaklığa, 30 dakika dayanabilmeleri; yangında kurtarma ve söndürme çalışmalarının, yapı çökmeden gerçekleştirilebilmesi için ise 1000°C sıcaklığa 90 dakika dayanabilmeleri gerekmektedir.[38]



Şekil 3-35 ISO 834 ve ASTM E1 19'e göre zaman-yangın sıcaklığı ilişkisi [46, s.21]

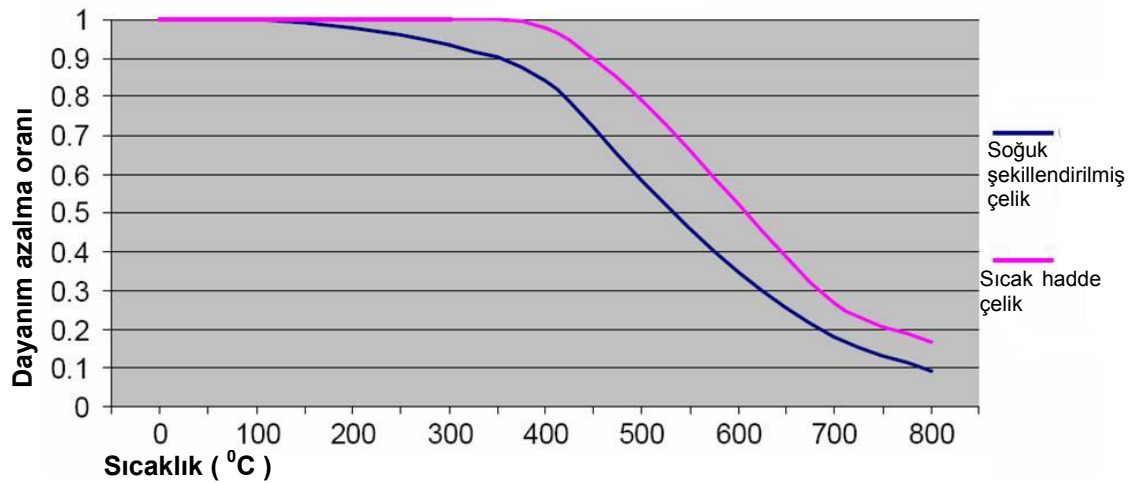
ISO 834'de belirtilen sıcaklık-zaman ilişkisinde yapı malzemeleri, yangın dayanımları zaman (F) ve yanabilirlik (A veya B) belirtilerek sınıflandırılır. Örneğin; F60-A, olarak nitelenen bir yanmaz yapı elemanı, yangına karşı taşıyıcılık ve/veya bölücülük görevini, 60 dakika yerine getirir. Hafif çelik yapılarda sıklıkla karşılaşılan bir durum da yapı elemanlarının bir çok farklı

yanabilirlik sınıfında malzeme ile kompozitlik oluşturmaktadır. Bu durumda yangının etkiyeceği muhtemel yüze³³ göre, yapı elemanları Fx-AB veya Fx-BA olarak nitelenir(x=yangın dayanım süresi)(Tablo 3-13).[103]

Tablo 3-13 Kompozit yapı elemanlarının yangın dayanımlarına göre sınıflandırılması

Fx-A	Yapı elemanın her iki yüzü de yanmaz malzeme ile kaplı (örneğin, her iki yüzü alçı levha kaplı hafif çelik duvar)
Fx-AB	Yapı elemanın yangına maruz kalan yüzü yanmaz, diğer tarafı yanabilir malzeme kaplı (örneğin, iç yüzü alçı levha, dış yüzü OSB veya kontrplak levha kaplı hafif çelik duvar)
Fx-B	Yapı elemanın her iki yüzü de yanabilir malzeme ile kaplı (örneğin, her iki yüzü OSB veya kontrplak levha kaplı hafif çelik duvar)
Fx-BA	Yapı elemanın yangına maruz kalan yüzü yanabilir, diğer tarafı yanmaz malzeme kaplı (örneğin, iç yüzü OSB veya kontrplak levha, dış yüzü ise alçı levha kaplı hafif çelik duvar)

Çelik, diğer metaller gibi yanmaz özellikte olmasına karşın, yangınlarda karşılaşılan yüksek sıcaklıklara uzun süre dayanmamaktadır. 1400⁰C'de eriyen çelik, yüksek sıcaklık karşısında, 300⁰C'de mukavemette düşüş, 400⁰C'de akma dayanım değerinde düşüş, göstermektedir. Mukavemet değeri, 450⁰C'de müsaade edilen asgari değer altına düşmektedir.



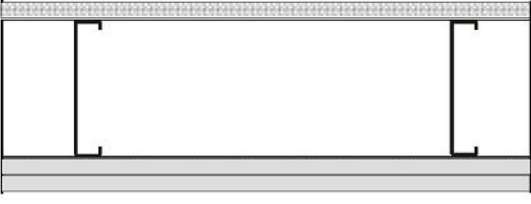
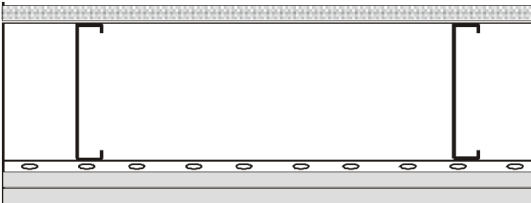
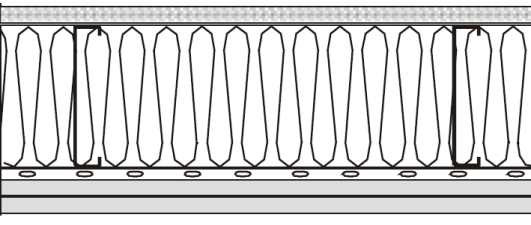
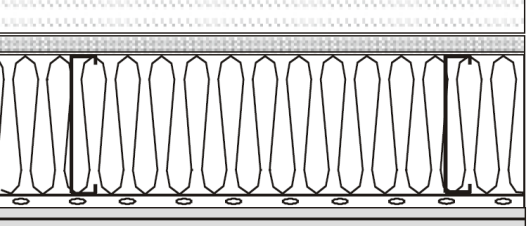
Şekil 3-36 Normal akma dayanım gerilmesine göre sıcaklık etkisinde çelik dayanımlarındaki azalma [92, s.4]

³³Genellikle, yangının yapı içinde başladığı ve elemanların, öncelikle yapı içlerindeki yüzlerinin etkilediği var sayılır.

Elastiklik modülü, 400°C'de %15, 600°C'de %40 oranında düşer. Deformasyonun hızlı artışı, taşıyıcılarda büyük şekil değişikliklerine sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde çelik elemanlarda görülen mukavemet kayıpları, taşıyıcı sistem elemanlarında eğilme, burkulma gibi nedenlerle yapının çökmesine neden olur. [92]

Eğer taşıyıcı sistemde kullanılan çelik elemanlar yangına karşı korunmamışsa, yangının başlangıç evrelerinde dahi deformasyonlar meydana gelmektedir. Bunun dışında, çelik elemanlar taşıyıcılık özelliklerini yitirmeseler bile (yapı çökmese de) termal genleşmeler nedeniyle strüktürel bütünlük zarar görmekte ve kalıcı deformasyonlar oluşabilmektedir.

Tablo 3-14 Hafif Çelik Döşeme kuruluşunda yangın dayanım süreleri [92, s.56], [38]

Döşeme konstrüksiyonu	Döşeme malzemeleri	dk.
	15 mm kontrplak 60 cm arayla 180x40x1,1mm C profil 1,27 mm 2 kat alçı levha	60
	19 mm kontrplak 60 cm arayla 240x40x1,4mm C profil 40 cm arayla esnek montaj profili 1,27 mm 2 kat alçı levha	90
	15 mm kontrplak 60 cm arayla 200x40x1,1mm C profil 9 cm cam yünü izolasyon 40 cm arayla esnek montaj profili 1,27 mm 2 kat alçı levha (Tek kat alçı levha olması durumunda (46) yangın dayanımı 46 dakikadır)	69
	4 cm strüktürel olmayan beton (çap) 15 mm kontrplak 60 cm arayla 200x40x1,1mm C profil 9 cm cam yünü izolasyon 40 cm arayla esnek montaj profili 1,27 mm 2 kat alçı levha	60

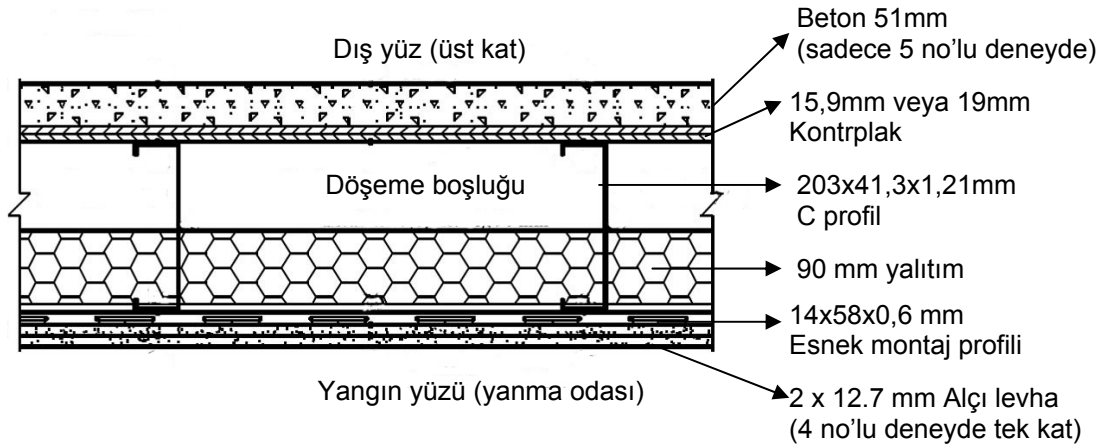
Tablo 3-14'de, çeşitli hafif çelik döşeme kuruluşlarının yangın dayanımları görülmektedir. Döşemenin taşıyıcı özelliklerini koruyabildiği ve yangının yayılmasını engellediği süre, incelenen döşeme konstrüktif kuruluşunun yangın dayanımıdır. Profil gövde yüksekliği, döşeme boşluğunda yalıtım malzemesi uygulaması, esnek montaj profili uygulaması, kaplama malzemelerinin cinsi ve kalınlığı, döşeme kuruluşunda yangın dayanımını belirleyici etkenlerdir.[92], [38]

- Bu etkenler içinde, kaplama malzemesinin cinsi ve kalınlığı birinci derecede belirleyicidir. Alçı levha, alçı karton levha veya mineral-cam lifli alçı levhalar, A1 sınıfı yanmaz ve düşük ısı iletimi özellikleri ile, döşemeyi oluşturan çelik profil taşıyıcı elemanlara, yangın etkisine karşı yeterli koruma sağlamaktadır. [101]
- Çelik taşıyıcı konstrüksiyon ile kaplama elemanlarının, yüksek sıcaklıktan kaynaklanan termal gerilmeleri ve genişleme uzamaları birbirlerinden farklıdır. Kaplamalar ile çelik elemanlar arasındaki bu çalışma farkı, kaplamaların düşmesine ve çelik konstrüksiyonun korumasız kalmasına neden olmaktadır. Bu durumu engellemek için uygulanan esnek montaj profili, esneklik ve genişleme tolerans payı sağlayarak dayanım süresini olumlu etkilemektedir. [92]
- Döşeme boşluğunda, profiller arasında mineral veya cam yünü yalıtım uygulaması, beklenenin aksine, döşemenin yangın dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu tespit, Farid Alfawakhiri³⁴ ve Mohammed A. Sultan³⁵ tarafından yürütülen deneylere dayalı çalışmalarda da ortaya konmuştur. [10], [11] Döşeme ve duvar konstrüksiyonu için iki ayrı çalışma yapılmıştır.

Döşemenin yangın dayanımı için yapılan deneylerde döşeme kirişlemeleri 203x41,3x12,7 mm boyutlarında ve 1,2 mm kalınlığında C profillerden oluşturulmuştur. Döşeme konstrüksiyonu Şekil 3-37'deki gibi, deney sonuçları ise Tablo 3-15'deki gibidir. [10]

³⁴ Araştırmacı, *Canadian Steel Construction Council*, Toronto, Kanada

³⁵ Araştırmacı, Yangın Risk Yönetimi Programı, *Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada*, Ottawa, Kanada



Şekil 3-37 Yangın dayanım deneyi döşeme kuruluşu [10, s.2]

Tablo 3-15 Hafif çelik döşemelerin yangın dayanımı test sonuçları [10, s.2]

	Kiriş aralığı (mm)	Alçı levha kalınlığı (mm)	İzolasyon malzemesi	Döşeme üst kaplaması (mm)	Uygulanan döşeme yükü (kN/m ²)	Yangın etkisinde alçı levhanın yüzeyden ayrılma süresi (dakika)		Strüktürel dayanım süresi (dakika)
						Alt tabaka alçı levha	Üst tabaka alçı levha	
1	406	2 x 1,27	YOK	Kontrplak (15,9)	2,9	66	73	73
2	406	2 x 1,27	Cam yünü	Kontrplak (15,9)	2,9	59	63	67
3	610	2 x 1,27	Cam yünü	Kontrplak (19,0)	1,8	59	65	68
4	406	1 x 1,27	Taş yünü	Kontrplak (15,9)	2,9	35	YOK	46
5	406	2 x 1,27	Cam yünü	Kontrplak (15,9) + beton (51,0)	1,9	49	53	61

Tablo 3-15 incelendiğinde;

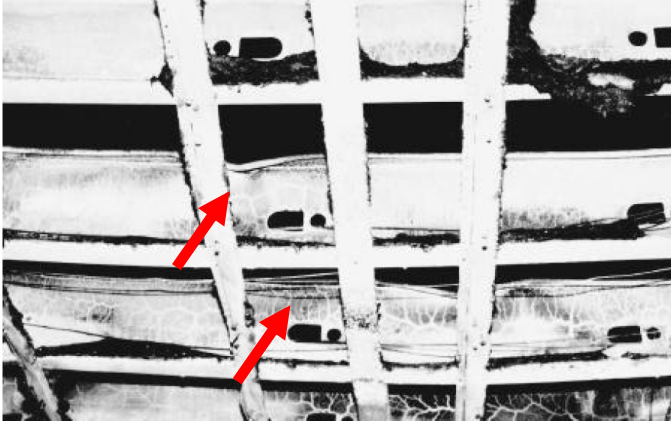
- Deney 2 ve 3 karşılaştırıldığında çelik profil kirişlemelerin düzenlenme aralıklarının yangın dayanımını etkilemediği, [10]
- Deney 4 ile diğer deneyler karşılaştırıldığında, alçı levha kalınlığının yangın dayanımında belirleyici rol oynadığı, [10]
- Hafif çelik sistemlerde yangın dayanımını, alçı panonun yüzeyden ayrılmadan yerinde kalabildiği sürenin belirlediği, [10]
- Alçı panonun yüzeyden ayrılmasından sonra izolasyon olmayan döşemenin strüktürel özelliğini hemen yitirdiği; yalıtım olan döşemelerde ise 3 ila 11 dakika daha dayanabildiği; bu sürenin yüksek

sıcaklıkta eriyebilen cam yünü ve yüksek sıcaklıkta erimeyen taş yünü yalıtıma bağlı olduğu, [10]

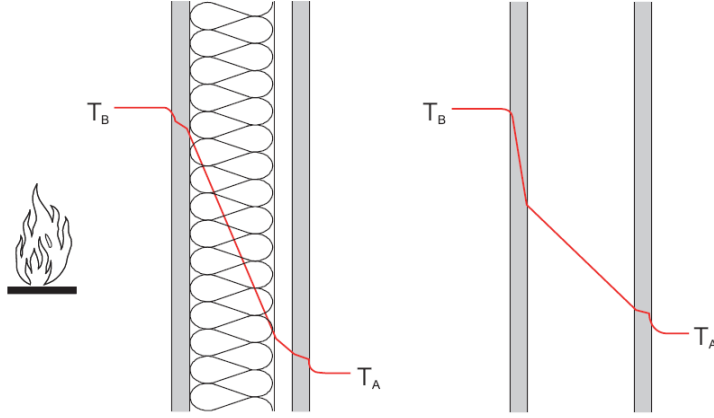
- Deneylerin ara katmanlarındaki sıcaklık değerleri incelendiğinde, çelik profilin alt flanşındaki sıcaklık yükselmesini, bir katmandan oluşan alçı levhanın 15 dakika, iki katmandan oluşan alçı levhanın 40 dakika ertelediği, [10, s.4]
- Deneylerin ara katmanlarındaki sıcaklık değerleri incelendiğinde, alt flanşın 800°C sıcaklığa ulaştığında dahi yük dayanımının etkilenmediği, ancak üst başlıktaki sıcaklık yükselmesi ile kritik duruma geldiği, [10, s.5]
- Arasında yalıtım olan döşemelerde, yangın etkisine maruz kalmayan tarafta sıcaklığın daha az yükseldiği, buna karşın yangın dayanımlarının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, şöyle açıklanabilir: Yalıtım malzemelerinin yüksek derecede ısı izolasyon özelliği, çelik profillerin alt ve üst flanşları arasında yüksek sıcaklık farkı yaratmaktadır. Düzgün olarak dağılmamış bu yüksek sıcaklık, profilin iki ucu arasında farklı gerilme dayanımları, farklı termal gerilmeler ve büyük deformasyonlar oluşmasına, dolayısıyla da profillerin termal eğilme gerilmelerine maruz kalmalarına neden olmaktadır (Şekil 3-38, Şekil 3-39). [10] Bu durumda, döşeme, diğer tarafta yangın etkisinin daha az hissedilmesini sağlarken, strüktürel özelliklerini koruma süresinden ödün vermektedir (Şekil 3-40).



Şekil 3-38 Yangın etkisinde hafif çelik döşeme [10, s.3]



Şekil 3-39 Yangın etkisinde hafif çelik profillerde termal eğilmeler [10, s.3]



Şekil 3-40 Yangın yüzü ile karşı yüz arasında, sıcaklık farkı (yalıtım uygulanmış ve uygulanmamış örnek) [103]

Hafif çelik döşeme için gerçekleştirilen deneyler, hafif çelik taşıyıcı ve perde duvarlar için de tekrarlanmış ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır. [11, s.4-5] Ara boşluğunda yalıtım uygulanmış döşemelerde görülen termal eğilmeler, duvarlarda da gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, aksenal basınç gerilmelerine maruz kalan duvarların, termal gerilme farkının yarattığı dış merkezlik etkisine de maruz kalacağı açıktır. [11, s.4-5][114]

3.2.1.2 Hafif Çelik Yapılarda Yangın Etkisinin Değerlendirilmesi ve Önlemler, Öneriler

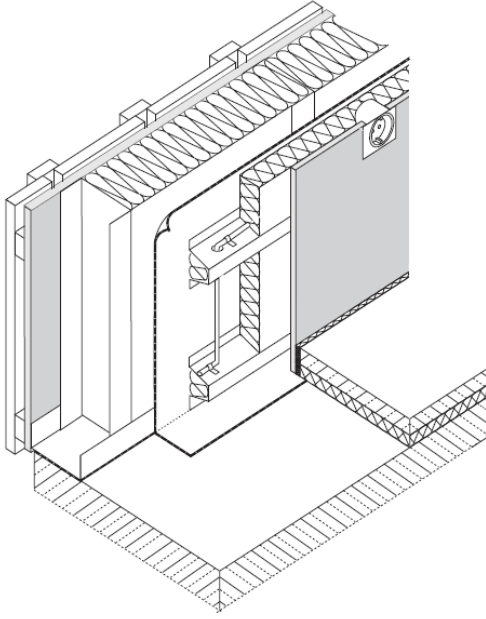
Hem taşıyıcılık hem de bölücülük görevi üstlenen hafif çelik yapı eleman ve bileşenleri, diğer yapı sistemleri ile karşılaştırıldığında yangın etkisine karşı daha hassastır. Örneğin, betonarme bir yapı için strüktürel elemanların yangın dayanımı ve yanmazlığı önemli bir avantajdır.

Konvansiyonel çelik strüktürde ise, beton ile kütleli koruma, genleşen boya ile koruma, taşıyıcılık özelliği olması gerekmeyen yalıtım levhaları ile koruma, püskürtme sıva ile koruma yöntemlerinin yanında, taşıyıcı elemanların yapı dışına alınabilmesi ve su dolaşımli sistemler gibi çözümler ile taşıyıcı elemanların yangına karşı daha kolay yalıtılabilir olması sağlanır.[15] Ayrıca, yapıda bölücülük görevinin, taşıyıcı olmayan yangına dayanıklı malzemeler ile sağlanabilmesi, çelik kesit kalınlıklarının fazla olması konvansiyonel çelik yapı sistemlerini, hafif çelik yapı sistemine göre yangın etkisine karşı avantajlı kılmaktadır.

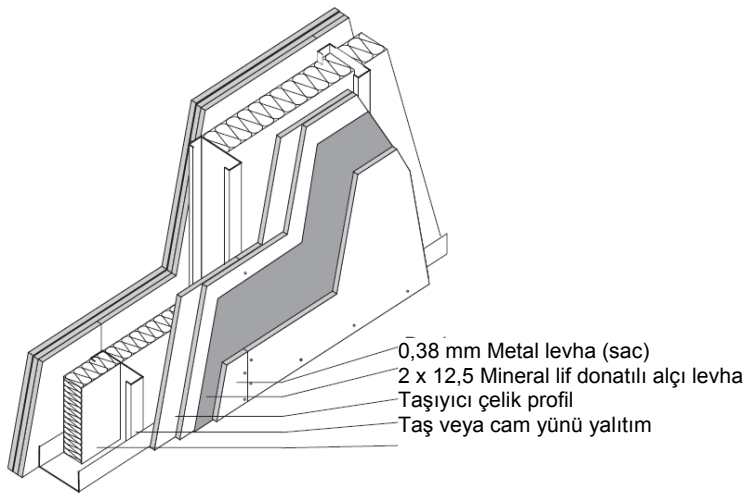
Buna karşın, hafif çelik yapı sistemi ile az katlı ve küçük yapılar yapılabilmesi nedeniyle bu tür yapıların tahliyesi kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle, bileşen ve elemanların yangına dayanıklı alçı benzeri levhalar ile korunmasıyla elde edilen yangın dayanımı, hafif çelik yapılar için yeterlidir.

Hafif yapılar için göz önünde bulundurulması gerekli unsurlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Döşeme veya duvar içinde uygulanan yalıtımın dışında, duvar yüzeyinde yine alçı levha ile korunmuş bir yalıtım uygulamasıyla (cam yünü, taş yünü vb.) taşıyıcı profillerin termal burkulmaları önlenabilir ve F90-A ve üzerinde bir korunum sağlanabilir (Şekil 3-41). [103]
- F90-A ve üzeri bir yangın korunumu, çelik taşıyıcı elemanları koruyucu görev üstlenen, asıl alçı levhaların yerinden dökülmesini engelleyecek çelik levha ve mineral lif donatılı alçıdan oluşan bir ek tabaka ile de sağlanabilir. (Şekil 3-42) [103]



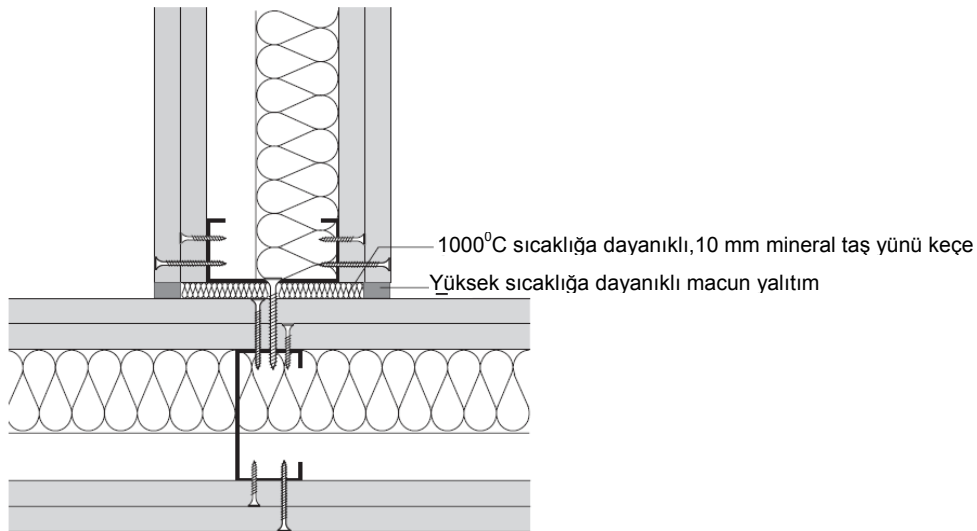
Şekil 3-41 Hafif çelik duvar yüzeyinde yalıtım uygulaması [103]



Şekil 3-42 Hafif çelik duvar yüzeyinde çelik levha ve mineral lifli alçı levha uygulaması [103, s.55]

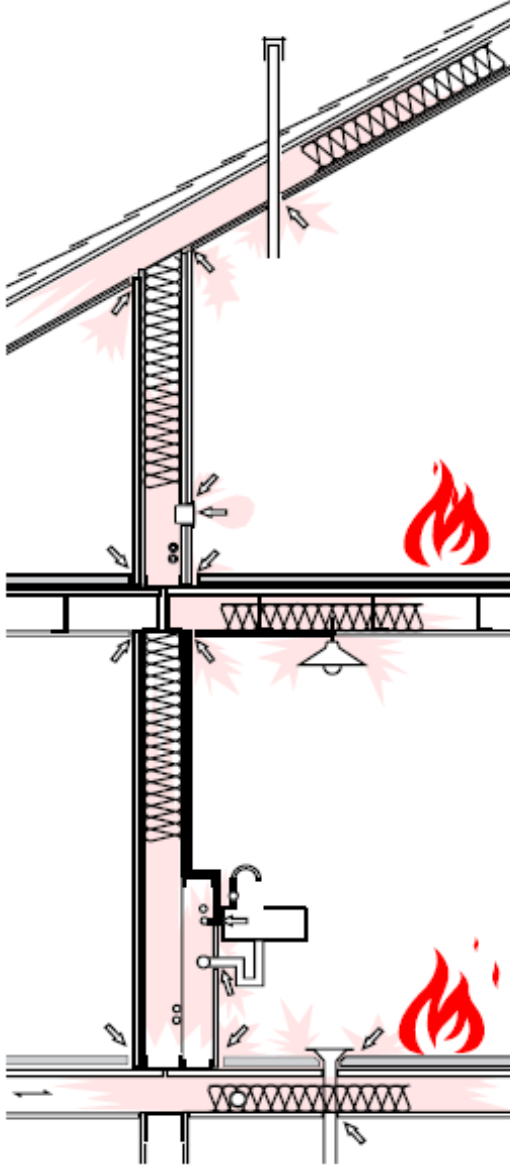
- Yalıtım malzemesi olarak organik esaslı malzemeler tercih edilmemelidir.
- Dış duvarlar, en az 1 saatlik yangın dayanımı sağlayacak şekilde detaylandırılmalıdır. [38]
- İç duvarların konstrüktif kuruluşu, her iki yönden de yangın etkisine maruz kalabileceği düşünülerek detaylandırılmalıdır.

- Hafif çelik yapım sistemi ile yapılmış müstakil ayırık nizam yapı gruplarında, eğer yapılar birbirine yakın ise, dış duvarlar her iki yüzden de yangın etkisine karşı yalıtılmalı, cephe kaplaması malzemeleri kolay tutuşabilir malzemelerden seçilmemelidir. [38] (Yapı cephesinde uygulanan polistren türevi yalıtım malzemeleri ile PVC kaplamalar vb.)
- İki veya daha fazla yapının bir araya geldiği bitişik nizamdaki yerleşmelerde, her birim arası 120 dakika yangın dayanımı sağlayacak şekilde düzenlenmeli ve bu yapılar mutlaka otomatik sprinkler³⁶ ile söndürme sistemine sahip olmalıdır. [38]
- Hafif çelik yapılarda, duvar ve döşemelerin boşluklu yapısı nedeniyle yüksek sıcaklıktaki gazların yangını yayması ve boğucu etkiye sahip dumanların bu boşluklarda ilerlemesi ve diğer mekanlara geçmesi ön plana çıkan bir sorundur (Şekil 3-44). Önlem olarak, tesisat, duvar-döşeme birleşim noktalarının hava sızdırmaz biçimde yalıtılmaları gereklidir (Şekil 3-43). [103]



Şekil 3-43 Döşeme ile duvar arasında duman ve gaz sızdırmazlığı sağlanması [103]

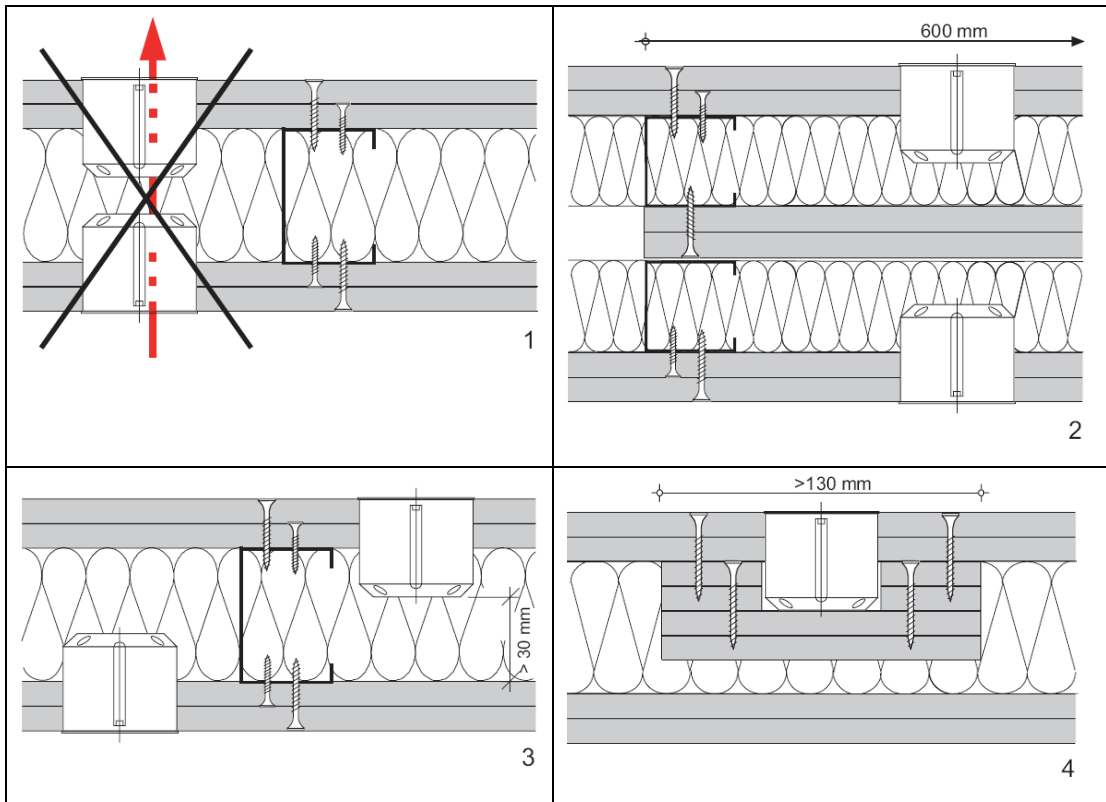
³⁶ Sprinkler: Duman veya sıcaklık algılayıcıları ile devreye giren su veya toz püskürten yangın söndürme sistemi



Şekil 3-44 Hafif çelik yapılar da, duman ve sıcak gazların, duvar ve döşemelerde yayılması [103]

- Elektrik buatları, bağlantı-dağıtım kutuları, priz ve anahtarları, sıcak gaz ve dumanın bir mekandan diğerine geçmesine olanak veren, noktaları oluşturur (Şekil 3-45-(1)). Ancak, duvar konstrüksiyonunda yer alan dikmeler, dumanın duvar içinde yatayda ilerlemesini engelleyici bir unsurdur. Bu unsurdan, anahtar ve prizlerin, dikmelerin farklı taraflarında konumlandırılması ile yararlanılabilir (Şekil 3-45-(3)). [103] Eğer tesisat elemanlarının karşılıklı olarak düzenlenmeleri

gerekli ise, bu araları, iki dikme arası boyunca, alçı plak ve/veya iletken ve yanıcı olmayan malzemeler ile yalıtılmalıdır (Şekil 3-45-(2)). Bunun dışında duvar veya döşeme boşluğuna sıcak gaz ve dumanın girmemesi için de tesisat elemanlarının etrafı yalıtılmalıdır (Şekil 3-45-(4)). [103]



Şekil 3-45 (1) Duvarlarda elektrik tesisat kutularından sıcak gaz ve duman geçişi, (2),(3),(4) Dumanın diğer mekana geçmesinin engellenmesi [103]

- Duman ve sıcak gazların geçişini engelleyecek şekilde yapılan yalıtımlar aynı zamanda tesisat elemanları arasında oluşabilecek kısa devre ve arkları engelleyerek, yangın çıkma riskini azaltır.[103]

3.2.2 Hafif Çelik Yapılarda Isısal Etkiler

İnsanların barındığı veya çalıştığı binalarda ısı etkilerinden korunma; insan sağlığı, onarım giderleri, yakıt ekonomisi ve ilk yapım giderleri açısından önemlidir.

- Isı etkilerinden yeterince koruma, sağlığa uygun, bir iç iklimsel çevrenin sağlamanın temel şartıdır.
- Hacimlerin ısı ihtiyacı ve bunu sağlamak için yapılan ısıtma veya soğutma giderleri, hacmi çevreleyen bileşenlerin ısı yalıtım ve depolama yeteneklerine bağlıdır.
- Isı etkilerinden yeterince koruma, hacmi çevreleyen yapı bileşenlerinin yüzeylerinde su buharı yoğunlaşmasını önler.
- Bileşenlerin sıcaklık değişimlerinin oluşturduğu hareketleri küçültür ve böylece yapıda bu olaydan ileri gelebilecek zararları önler.
- Yalıtımı sağlanmış bir yapıda, yakıt giderleri ile birlikte, yapının bakım ve onarım giderleri de azalır. Isı etkilerine karşı alınacak önlemler sayesinde, yapının ilk yapım maliyetleri artsa da, uzun vadede bu maliyetler düşük işletim giderleriyle telafi edilir.

Yapılarda ısısal etkileri;

- Isısal gerilmeler ve yapıda ısısal deformasyonlar,
- Isısal geçirimsizlik ve yapıda ısı kaybı,
- Isısal geçirimsizlik ve yapıda yoğunlaşma, nem sorunları,

alt başlıkları altında incelenebilir. Bu başlıklardan, ısısal geçirimsizlik ve yoğunlaşma, nem, sorunları, ayrı bir yapı fiziği sorunu olarak işlenecektir.

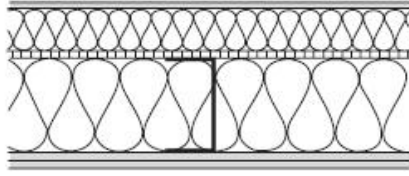
3.2.2.1 Isısal Gerilmeler ve Hafif Çelik Yapılar

Yapılarda ısısal etkiler sonucu görülen deformasyonların nedeni, yapı malzeme ve elemanlarının ısı değişimleri ile ortaya çıkan genleşme (uzama) veya büzölmelerdir. Bu genleşme veya büzölmeler, yapı elemanın bünyesindeki yapı yüklerine ek olarak, basınç ve/veya çekme gerilmelerine neden olmaktadır. Ancak asıl sorun, aynı ısı değişimi etkisinde, farklı yapı malzemelerinin, uzama veya büzölme miktarının farklı olmasıdır. Hafif çelik sistemler gibi, genleşme katsayıları farklı malzemelerin (çelik profil, ahşap esaslı kaplama) bir araya geldiği sistemlerde bu sorun ön plana çıkmaktadır. Bu durum, hafif çelik yapı sisteminin esneklik sınırları içinde tutulduğu, diğer yapı elemanları ile yine doğru birleşim detayları uygulandığı taktirde göz ardı edilebilir. Örneğin, çevre sıcaklığındaki değişim farkının 67°C 'den fazla olmaması istenir. [141]

3.2.2.2 Isısal Geçirimsizlik ve Hafif Çelik Yapı Elemanları

Yapısal konforun sağlanması ve enerji tüketimi ekonomisi açısından; yapı malzeme, eleman ve bileşenlerinin ısı yalıtım veya iletim özellikleri, ön plana çıkmaktadır. Yapı içinde yaşayan insanın konforu ve sağlığı; fizyolojik bir olay olmakla beraber, yapı fiziği ve malzeme seçimi ile yakından ilişkilidir. İç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak da, yapı kabuğunu oluşturan elemanların iç yüzey sıcaklıklarının belli değerlerde olmaları gerekir. Örneğin, ortam sıcaklığının $18-20^{\circ}\text{C}$, yapı elemanı sıcaklığının ise $16-18^{\circ}\text{C}$ 'de olmasıyla istenen konfor koşulları sağlanabilmektedir. [35, s.66]

Hafif çelik sistemlerde, çelik malzemenin yüksek ısı iletkenliği, iç mekanın ve yapı elemanlarının konfor sıcaklığında tutulmasını güçleştiren bir etkidir. Hafif çelik sistemlerde, 40-60 cm arayla düzenlenen soğuk şekillendirilmiş çelik dikmeler ve döşeme kirişlemeleri, yapı kabuğunda ısı köprüleri oluşturmaktadır (Şekil 3-46).[103, s.40]



Konstrüksiyon A

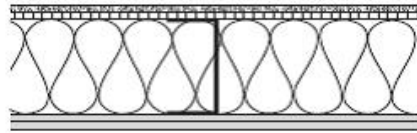
60 mm sandviç ısı yalıtım

13 mm ahşap yonga levha

100 mm ısı yalıtımı

60 x 100 mm çelik profil

2 X 12,5 mm alçı levha



Konstrüksiyon B

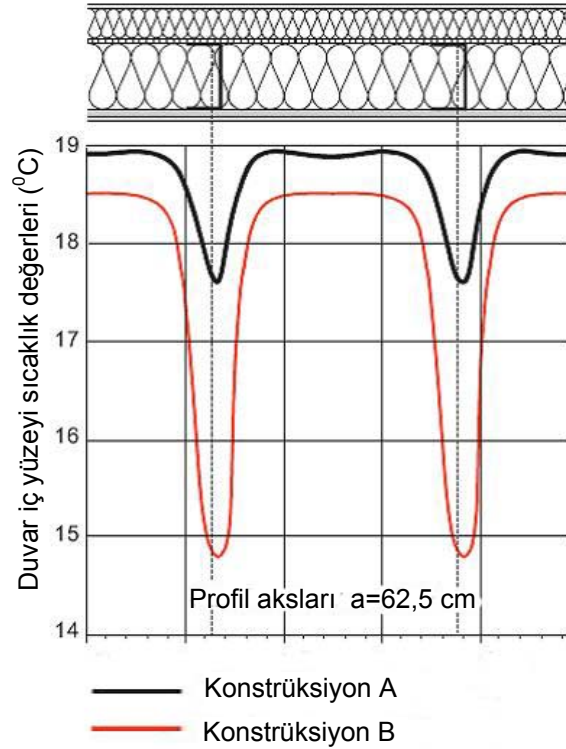
10 mm ısı yalıtımlı sıva

13 mm ahşap yonga levha

100 mm ısı yalıtımı

60 x 100 mm çelik profil

2 X 12,5 mm alçı levha



Şekil 3-46 Hafif çelik konstrüksiyonun iç yüzey sıcaklıkları - ısı köprüsü olayı [103, s.40]

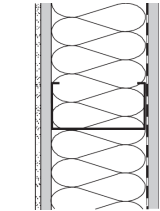
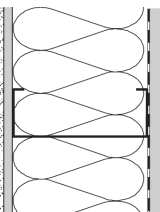
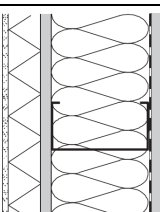
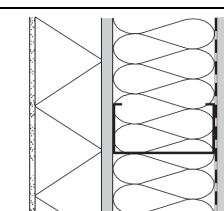
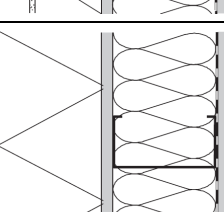
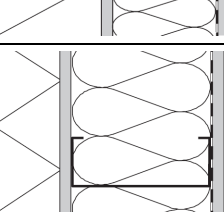
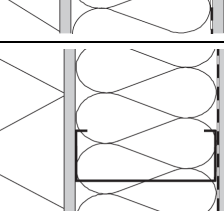
Farklı duvar kuruluşlarını birbirleriyle kıyaslayabilmek, konstrüksiyon elemanlarının yalıtıma etkisini araştırmak veya “TS 825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” Türk Standardında, bölgelere göre belirtilen ısı geçirgenlik direnci değerlerini sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek amacıyla hesaplamalar yapılır.³⁷

³⁷ Bu hesaplamalarda kullanılan, yapı malzemelerinin ısı geçirgenliği kavramı; d (m) kalınlığında, bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1°C (veya 1K) olduğunda, birim zamanda (1 saat), birim alanından (1m²) yüzeylere dik yönde, geçen ısı miktarıdır. Birimi kcal / m² h °C veya W / m² K 'dir. [95], [96] Çeşitli özellikte ve kalınlıkta malzemelerin yan yana gelmesi ile oluşan bileşim ısı geçirgenlik değeri (Λ) ise her malzemenin ısı geçirgenlik değerinin toplamı olacaktır. Bütün bu değerlerin hesaplanmasında, ısı iletimine büyük katkısı bulunan ve bir malzeme niteliğinde olan havanın konveksiyon (taşınım) ısı iletimi de hesaba katılır. Isı geçirgenliğinin değeri ne kadar düşükse, yapı elemanının ısı yalıtıncılığı o kadar fazladır. Isı geçirgenlik değerinin (Λ) aritmetik tersi, ısı geçirgenlik direnci (D) (1/ Λ) veya yalıtımını verir. Birimi m²h °C / kcal'dir.[35]

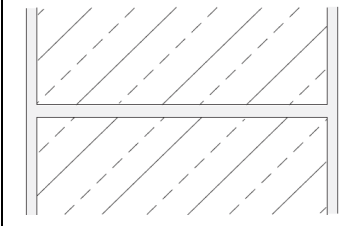
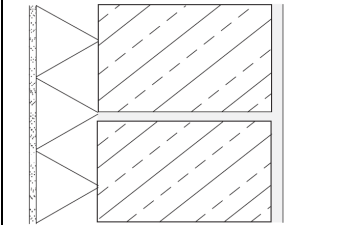
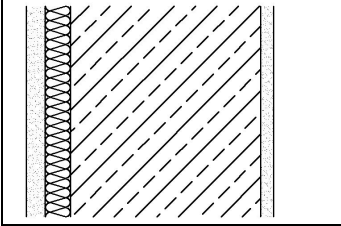
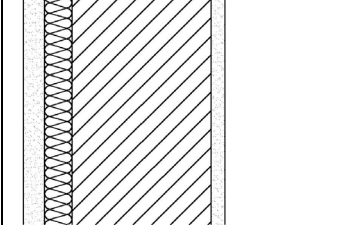
Tablo 3-16'da, hafif çelik duvarlarda, farklı kalınlıklarda ve çeşitli yalıtım uygulamaları sonucunda hesaplanan ısı geçirimsizlik değerleri görülmektedir. Bu tabloda, ısı geçirimsizlik değerleri, duvar konstrüksiyonunda çelik profiller ihmal edilerek hesaplanan (Λ_D) ve profiller ile birlikte duvarın gerçek ısı iletkenlik değerini verecek ($\Lambda_{gerçek}$) şeklindedir. Λ_D ile $\Lambda_{gerçek}$ arasındaki farklılık, duvar konstrüksiyonu içinde, hafif çelik profillerin büyük ısı köprüleri oluşturduğunu göstermektedir.[103] Bu durum, toplam kalınlığı 355 mm olan 5 ve 6 numaralı duvar kuruluşları üzerinden örneklenebilir. Her iki duvarda da toplam yalıtım kalınlıkları aynıdır. (5 numaralı duvarda 150 mm + 150 mm) (6 numaralı duvarda 100 mm + 200 mm) Bu nedenle, profiller hesaba katılmadan yapılan ısı iletkenlik değerleri de aynıdır. Ancak, profil boyutları ve yalıtım tabaka kuruluşları farklı olduğu için, gerçek ısı iletkenlik değerleri farklıdır. [103]

Hesaplanan ısı iletkenlik değerlerinin, hafif çelik kuruluşunun dışındaki malzeme ve elemanlar ile de karşılaştırılması, bu sistemin sağladığı ısı korunumu açısından bir fikir verebilir. Tablo 3-16'da, toplam kalınlığı 255 mm olan 2 numaralı hafif çelik duvarın gösterdiği ısı iletkenlik değeri ile [103], Tablo 3-17'de toplam kalınlığı 400 mm ve 285 mm olan hafif gaz beton bloklardan oluşturulmuş duvarın ısı iletkenlik değerinin birbirine yakın değerde olduğu görülmektedir. Diğer yapı sistemlerinin elemanları ile karşılaştırıldığında ise hafif çelik sistemlerin daha olumlu değerlere sahip olduğu sonucu çıkmaktadır.

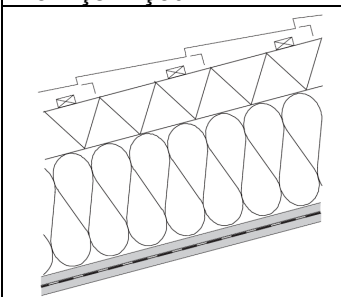
Tablo 3-16 Hafif çelik duvarların ısı iletkenlik değerleri [103, s38]

	Hafif çelik duvar	Hafif çelik duvar konstrüksiyonu	Isı iletkenlik değeri (Λ)
1		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 19 mm Ahşap yonga levha 150 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm Alçı plak Toplam duvar kalınlığı = 205 mm	$\Lambda_D = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
2		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 19 mm Ahşap yonga levha 200 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm Alçı plaka Toplam duvar kalınlığı = 255 mm	$\Lambda_D = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
3		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 60 mm Mineral esaslı yalıtım 19 mm Ahşap yonga levha 150 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm Alçı plaka Toplam duvar kalınlığı = 255 mm	$\Lambda_D = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
4		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 100 mm Mineral esaslı yalıtım 19 mm Ahşap yonga levha 150 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm Alçı plaka Toplam duvar kalınlığı = 305 mm	$\Lambda_D = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
5		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 150 mm Mineral esaslı yalıtım 19 mm Ahşap yonga levha 150 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm Alçı plaka Toplam duvar kalınlığı = 355 mm	$\Lambda_D = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
6		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 100 mm Mineral esaslı yalıtım 19 mm Ahşap yonga levha 200 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm alçı plaka Toplam duvar kalınlığı = 355 mm	$\Lambda_D = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$
7		15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 150 mm Mineral esaslı yalıtım 19 mm Ahşap yonga levha 200 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar tutucu yalıtım 20 mm Alçı plaka Toplam duvar kalınlığı = 405 mm	$\Lambda_D = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Lambda_{Gerçek} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablo 3-17 Kagir duvarların ısı iletkenlik değerleri (Hafif çelik bileşenlerin ısı iletkenlik değerleri ile karşılaştırma amacıyla)

	Duvar	Isı iletkenlik değeri (Λ)
	20 mm Mineral esaslı sıva 365 mm Hafif gaz beton blok 15 mm Sıva Toplam duvar kalınlığı = 400 mm	$\Lambda_D = 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$
	15 mm Dış sıva (elyaf veya tel donatılı) 80 mm Mineral esaslı yalıtım 180 mm Hafif gaz beton blok 15 mm Sıva Toplam duvar kalınlığı = 290 mm	$\Lambda_D = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$
	30 mm Dış sıva 40 mm Mineral esaslı yalıtım 300 mm BS160 Betonarme duvar 20 mm Sıva Toplam duvar kalınlığı = 390 mm	$\Lambda_D = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$
	30 mm Dış sıva 40 mm Mineral esaslı yalıtım 200 mm Delikli tuğla duvar 20 mm Sıva Toplam duvar kalınlığı = 290 mm	$\Lambda_D = 0,61 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablo 3-18 Hafif çelik çatıların ısı iletkenlik değerleri [103, s38]

Hafif çelik Çatı	Hafif Çelik Çatı Konstrüksiyonu	Isı iletkenlik değeri (Λ)
	40 mm Kiremit çatı kaplaması 30 mm Ahşap kadron 80 mm Ahşap lifli kompozit yalıtım levhası 200 mm Mineral yünü yalıtım / çelik profil buhar kesici yalıtım 2 x 12,5 mm Alçı karton levha	$\Lambda_D = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$

Hafif çelik sistemlerde çelik profiller, her ne kadar ısı köprüsü oluştursalar da, duvar veya döşeme konstrüksiyonunun boşluklu yapısı ve bu boşlukta düzenlenen kalın yalıtım malzemeleri sayesinde oldukça yüksek seviyede ısı

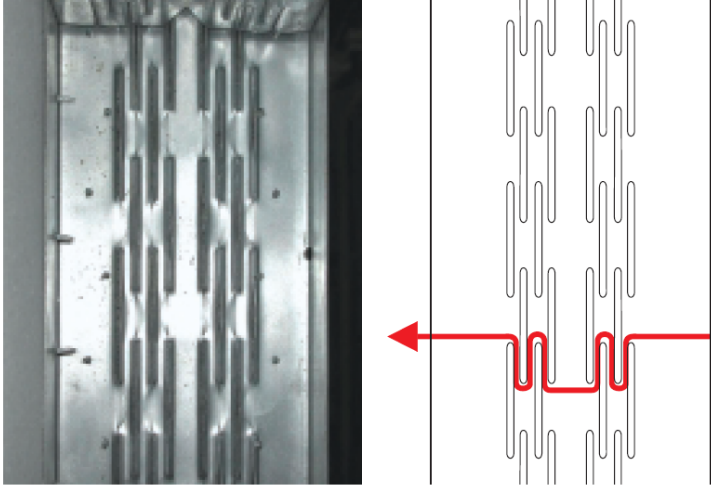
yalıtımı (düşük ısı geçirimliği) sağlamaktadırlar. Isı köprülerine rağmen, hafif çelik yapılarda duvar ve döşeme kuruluşlarının ısı iletkenlik direnci, TS 825'in ön gördüğü ısı iletkenlik direnci değerlerine göre oldukça yüksektir. TS 825'e göre, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, 1000 m üzerindeki rakımları içeren üçüncü bölgede, olması gereken dış duvarların ısı geçirimlilik direnci, $1/\Lambda=0,75 \text{ m}^2\text{h}^0\text{C}/\text{kcal}$ 'dir.[120] Bu değer aritmetik tersi alınarak $\Lambda=1,333 \text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}^0\text{C} = 1,550 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ ısı iletkenlik değeri bulunur. TS 825, üçüncü bölgedeki çatılar için ise, ısı geçirimlilik direncinin $1/\Lambda=0,75 \text{ m}^2\text{h}^0\text{C}/\text{kcal}$ olması koşulunu getirmiştir.[119] Bu değer karşılık geldiği ısı iletkenlik değeri $0,77 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ 'dir.

Bu sonuçlar, Tablo 3-16'daki gibi hafif çelik duvarların ve Tablo 3-18'deki gibi bir hafif çelik çatı kuruluşunun karşılayabileceği değerdedir. Buradan, hafif çelik sistemlerin, tüm Türkiye şartları için gerekli ısı yalıtım koşullarını sağlayabildiği sonucu çıkartılabilir.

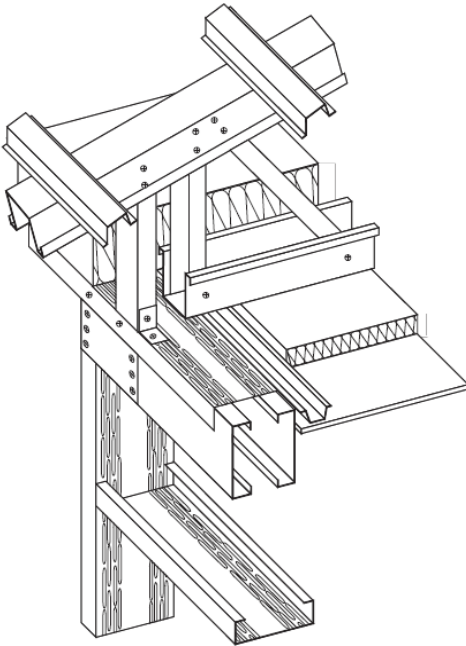
3.2.2.3 Hafif Çelik Yapılarda, Isı Etkilerine Karşı Önlemler ve Öneriler

- Üzerinde durulması gereken bir konu da, pencere, kapı boşluklarının hesaplamalara dahil edilmeleri gerekliliğidir. Tüm yapının ısı geçirgenlik direnci, cephe boşlukları ile birlikte dolu yüzeylerin yüzde oranlarından yola çıkarak elde edilir. Bu durumda, dolu yüzdelerin ısı geçirimlilik dirençleri düşük olsa da, yapı kabuğundaki büyük boşluklar toplam yapının yalıtım değerlerini etkilemektedir. Yapı bütününde, ısı kaybına karşı yapı kabuğu tasarlanırken bu durum göz önüne alınmalıdır. [119]
- Isı iletimini azaltmak için, daha az yüklere maruz kalan gövde (*web*), üzerinde boyuna yarıklar yapılabilir (Şekil 3-47). Birbirinin kopyası olan bu yarıkların, şaşırtılarak düzenlenmesiyle, hem ısının doğrudan gövde boyunca iletimini önlenmiş; hem de ısının iletildiği yol uzatılmış

olur. Bu yöntem ile ısı iletimi hissedilir derecede azalmaktadır. Bu, yapı elemanlarının işlevsel verimliliğinin kullanılan malzeme miktarı azaltılarak artırılabilirliğinin başlıca örneğidir. [44, s.88] Kullanılan bu profiller, “*thermo-profil*” olarak adlandırılmaktadırlar.

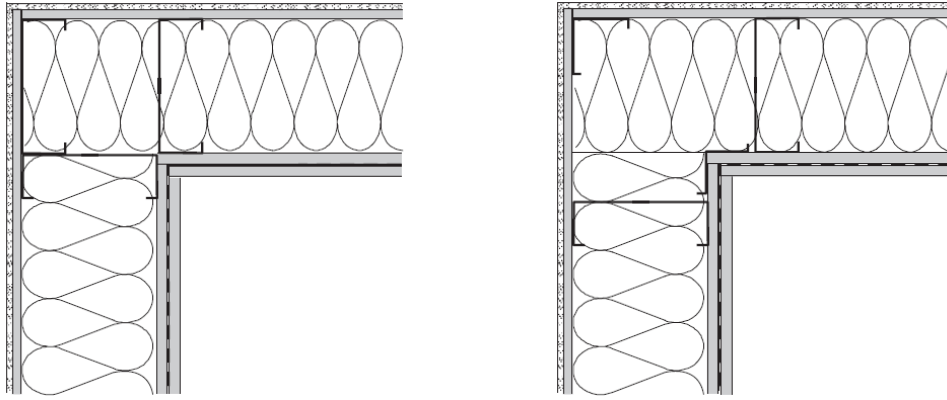


Şekil 3-47 Soğuk şekillendirilmiş çelik profil gövdesinde açılan yarıklar ile ısı iletiminin azaltılması, thermo-profil [103, s.41]



Şekil 3-48 Thermo-profillerin hafif çelik konstrüksiyonda kullanımı [44, s.88], [103, s.42]

- Yapı kabuğunda, köşeler ısı kaybının en fazla olduğu ve önlem alınması gereken yerlerdir. Bu önlem, iki duvar elemanının birleşim noktasında, iç köşe ile dış köşe arasında profillerin sürekliliği engellenerek alınabilir (Şekil 3-49). [103, s.41]



Köşede dikmeler ısı köprüsü oluşturmaktadır.

Köşede, dikmelerin ısı köprüsü oluşturması önlenmiştir.

Şekil 3-49 Köşede dikmelerin ısı köprüsü oluşturması ve önlenmesi [103, s.41]

- Yapıda, bacalar ve tesisat boruları dış duvarlar üzerinde bulunmamalıdır. Bu önlem, yakıttan tam yarar sağlarken, baca gazlarının soğumasını, bacaların kurum tutmasını, su ve ısıtma tesisat borularının donmasını önleme bakımından önemlidir. Eğer tesisatın dış duvarlar üzerine yerleştirilmesi gerekirse, yalıtım önlemleri alınmalıdır. [119]
- Bina dış yüzeylerini büyütmenin, ısı kaybını da aynı oranda arttıracığı, projelendirme döneminde göz önünde bulundurulmalıdır. [120]

3.2.3 Hafif Çelik Yapılarda Nem, Su, Yoğuşma Etkisi

İnsan sağlığı ve konforu için, içinde bulunan mekandaki nem miktarının belli bir düzeyde olması gereklidir. Yaşam ortamının nem düzeyinin kontrolü, yapı malzeme ve bileşenlerinin oluşturduğu yapı kabuğunun, su ve nem etkilerine karşı geçirgenliği ve dayanımına bağlıdır. Su ve kontrol edilmeyen nem etkisi, yapı malzemelerinde, şişme, bozulma, çürüme ve mukavemet kaybına neden olmakla birlikte, mantar, küf oluşumu için ortam hazırlamaktadır. Su ve nem etkileri sonucu oluşan bu şartlar, yapı sağlığını olduğu kadar insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir.

Hafif çelik sistemlerde, su ve nem etkileri, alçı, kontrplak, OSB gibi kaplama elemanlarının şişmesi, gevrekleşmesi ve çözülmesi gibi sorunlar yaratırken, çelik yapı elemanların maruz kaldığı korozyon etkisini artırıcı rol oynar.

Tüm yapılarda olduğu gibi, hafif çelik yapılarda da, su ve nem etkisi;

- Suyun, çatı, cephe, vb yapı elemanlarındaki detaylandırma problemleri veya hatalarından ötürü, yapı içine ya da yapı kabuğuna direkt olarak girmesi,
- Yüzeysel olarak su ile temas sonucu, kılcallık etkisinde yapı malzemelerinin su emmesi,
- Yapı malzemelerinin, ısı iletkenlik ve buhar (nem) geçirimsizlik değerlerine bağlı olarak malzeme katmanlarında ve/veya yüzeyinde oluşan yoğuşma (terleme),

şartları altında ortaya çıkar.

Hafif çelik sistemlerde, diğer yapılarda olduğu gibi, cephede veya çatıda kullanılan su yalıtım malzemeleri, su geçirimsiz sıvalar, boyalar ve detaylar ile direkt su etkisi önlenir ve su yapıdan uzaklaştırılır. Suyun kapiler basınç etkisi ile, malzeme yapısındaki kılcal kanallardan ilerleyerek, yapı bünyesine girmesi, genellikle temellerde ve sokl birleşim noktalarında gerçekleşir. Hafif

çelik yapılarda, betonarme temeller su geçirimsiz yalıtımlar ile bohçalanarak bu sorun önlenir. [35]

Hafif çelik sistemlerde, asıl su ve nem sorununu, bileşen katmanlarında ve yüzeylerinde oluşan yoğuşma oluşturur. Yapı elemanlarının bünyesindeki nem miktarı, aynı zamanda ısı iletkenliğini de belirler. Elemanların bünyesindeki yüksek nem oranı, düşük ısı yalıtımı veya yüksek ısı iletimi anlamına gelir. Doğru olarak düzenlenmiş ısı yalıtımı, yapı elemanlarının bünyesinde yoğuşma ve nemin oluşmasını engeller. Buradan da anlaşılacağı üzere, yoğuşma ve yapı eleman ve/veya malzemelerinin ısı iletim değerleri birbirileri ile ilişkilidir.[119],[120] Bu ilişkide göz önünde bulundurulması gereken bir konu da, elemanların ısı iletim değerleri ile birlikte, buhar geçirimsizlik değerleridir.

3.2.3.1 Yoğuşma-Terleme Olgusu ve Hafif Çelik Sistemlerde Nem Etkisi

Yapı elemanlarında olduğu gibi, hafif çelik sistem elemanlarında da, meydana gelen yoğuşma (buharın su haline dönüşmesi) yüzeyde gözle görülür halde “terleme” veya malzeme içinde gizli olarak “yoğuşma” (kondansasyon) şeklindedir. Yoğuşma ve terleme olayı, malzemelerin buhar geçirimsizlik (difüzyon) katsayılarına³⁸ (δ) ($\text{gr/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$) bağlıdır. [35]

Hafif çelik yapı kabuğu (duvar, döşeme, çatı vb) yüzeyinde terleme, ortam iç ısısına ($t_{iç}$) ve ortamdaki bağıl neme bağlıdır. Eğer, ortam iç ısısı ($t_{iç}$) ile iç yüzey ısısı (t_1) arasındaki fark olan soğuma derecesi (t_s) artarsa, terleme

³⁸ Belirli bir sıcaklıkta, havanın veya malzemenin bünyesindeki nemin oluşturduğu basınca “buhar basıncı” denir. Buhara doymuş havanın basıncına ise “doymuş buhar basıncı” (p_s) (mmHg) denir. Sıcaklık derecelerine bağlı olarak farklı değerler gösteren buhar basıncı, yüksek basınçtan alçak basınca yönelik bir akım meydana getirir. Bu buhar basıncı nedeniyle malzemelerin, bünyelerinden buhar akımı geçirmelerine “difüzyon” denir. Buhar geçirimsizlik değeri (δ) ($\text{gr/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$)= bir malzemenin, iki yüzeyi arasında buhar basıncı farkı 1mmHg olduğu zaman, 1 saatte 1m^2 yüzeyden ve bu yüzeye dik yönde 1m kalınlıktan geçen buhar miktarıdır.[35]

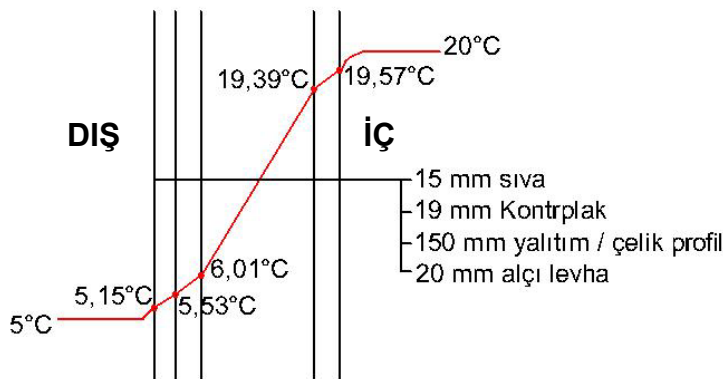
görülür. Çeşitli hava sıcaklıklarına ve bağıl neme bağlı olarak terleme meydana gelebilecek soğuma dereceleri sınırları TS825’de verilmiştir. [119]

$$t_s = t_{iç} - t_1 (^{\circ}\text{C})$$

Yapı kabuğunun ısı tutuculuk değerinin artırılması veya yüzeyin ısı derecesinin yükseltilmesi, iç ortam sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı farkını azaltacağından terleme engellenmiş olur.

Tablo 3-16’da, 1 numaralı örnek üzerinde yoğuşma ve yüzeyde terleme olayını incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Hesaplamalar , iç ortamın sıcaklığı 20°C , dış ortamın ise 5°C kabulüne göre, TS 825’de belirtilen şekilde ısı iletkenliği hesaplandığında, hafif çelik duvar kuruluşunun malzeme katmanlarının sıcaklık diyagramı Şekil 3-50’deki gibi bulunur.
- Burada iç ortam 20°C iken, iç yüzey sıcaklığının $19,57^{\circ}\text{C}$ olduğu görülür. Aradaki $0,43^{\circ}\text{C}$ ’lik fark (soğuma sıcaklığı), bağıl nemin %95 olduğu durumda dahi, terleme olmasına imkan vermeyecek kadar düşüktür.
- Diğer hafif çelik kuruluşları daha da yüksek ısı yalıtım değerlerine sahip oldukları için yoğuşma tehlikesi yoktur.



Şekil 3-50 Hafif çelik kuruluşu için ısı diyagramı

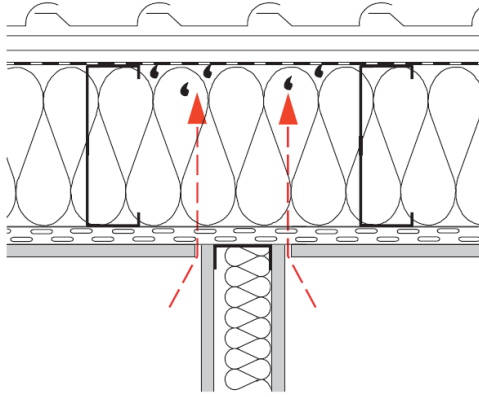
- Aynı konstrüksiyon için dış ortam sıcaklığı -20°C alındığında, iç yüzey sıcaklığı $18,87^{\circ}\text{C}$ hesaplanır. Aradaki $1,13^{\circ}\text{C}$ ’lik soğuma sıcaklığı

farkı, sadece iç ortam bağıl nemi %90'nın üzerinde olduğu durumda terleme olayının gerçekleştiği görülür. Bununla birlikte, iç mekanda bağıl nemin %90'nın üzerinde olma ihtimali pek yoktur. Buradan yola çıkarak hafif çelik sistemlerin yüksek ısı yalıtımı özelliklerinin terleme olayına izin vermediğini ve terleme olayının hafif çelik sistemler için sorun teşkil etmeyeceğini söylenebilir.

Hafif çelik elemanların kesitinde, yoğuşma olayı tetkik edilmesi gereken bir diğer sorundur. Kesit içinden, malzemelerin buhar geçirimsizlik değerlerine bağlı olarak geçen buhar, konstrüksiyon katmanları arasındaki sıcaklığın düşmesi nedeniyle, yoğuşabilir. Yoğuşmanın dış katmanlara yakın ve az değerde olması kabul edilebilirse de bu az miktardaki yoğuşma, doğru malzeme seçimi ve detaylandırma ile tamamen engellenebilir.

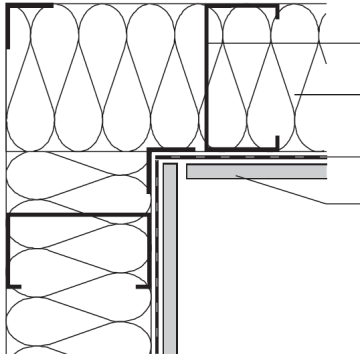
3.2.3.2 Hafif Çelik Sistemlerde Su, Nem, Yoğuşma Etkisine Karşı Alınacak Önlemler ve Öneriler

- Ortamlar arasındaki buhar basıncı farklılığının oluşturduğu buhar difüzyonunun, hafif çelik konstrüksiyonun, sıcaklığı daha az olan dış katmanlarına daha az ulaşabilmesi için, iç kısımlarda buhar geçirimsizliği düşük (buhar tutucu) malzemeler tercih edilmelidir.[119]
- Konstrüksiyonun iç kısımları, yeterli buhar tutucu özelliğe sahip değilse, içteki alçı kaplamanın arasında veya çelik profillerin hemen önünde buhar tutucu yalıtım düzenlenmelidir. [119]
- Buhar tutucu yalıtımlara rağmen, hafif çelik elemanların birleşim ve ek yerlerindeki açıklıklar, yoğuşma için zayıf noktalar oluştururlar. (Şekil 3-51) Bu noktaların, yalıtımına ayrıca özen gösterilmelidir. [103]



Şekil 3-51 Hafif çelik konstrüksiyon içinde yoğuşma oluşması [103, s.44]

- Isı kayıpları yüzeylere göre, köşelerde daha fazla olduğu için, yoğuşma ve terleme de daha fazla görülmektedir. Bu nedenle köşe noktalarının ısı yalıtımı sağlanmalı, ısı köprüleri engellenmeli ve bu noktalarda buhar tutucu yalıtım kesintisiz olmalıdır(Şekil 3-52). [103, s.44]

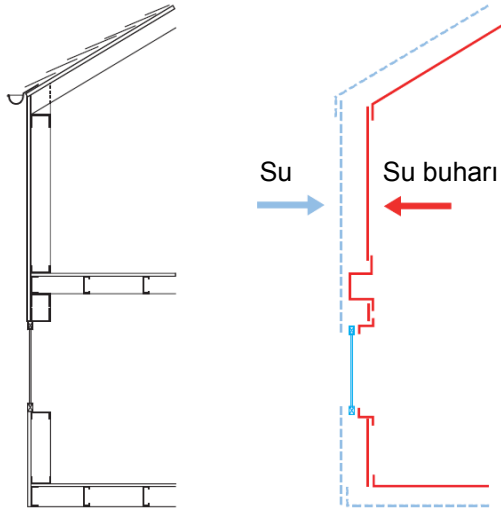


Şekil 3-52 Köşelerde, ısı köprüsünün engellenerek yoğuşmanın önlenmesi [103]

- Hafif çelik duvar kesitinden geçen buhar difüzyonunun, hemen soğumadan (yoğunlaşmadan) dış tabakaya kadar ulaşabilmesi için, konstrüksiyonun dış kısmına yakın veya dış kısmında, yüksek ısı yalıtım özelliği olan malzemeler uygulanmalıdır. [119]
- Mekanların içindeki nem miktarını (bağıl nemi) azaltmak, (örneğin iyi bir havalandırma ile), yüzeyin iki tarafı arasındaki buhar basıncı farkını azaltacağı için, yoğuşma riski de azaltılmış olur.[34, s.9]
- Hafif çelik bileşenleri oluşturan tabakaların, buhar geçirgenlik dirençleri büyük olanları, sıcak (iç) yüzeylere, ısı yalıtım özelliği büyük olanları

soğuk (dış) yüzeylere yakın uygulanmasına rağmen, kesit içinde, dış yüzeye yakın bölgede az miktarda da olsa yoğuşma olabilir. Bu az miktardaki yoğuşma, hafif çelik bileşenin içinin havalandırılması ile yapıdan uzaklaştırılabilir.

- Kesit içinde hava sirkülasyonunu sağlamak için en az 4 cm boşluk bırakılması ve her 100-120 cm'de bir yaklaşık 10 mm çapında havalandırma delikleri açılması yararlı olacaktır. [84]
- Dış cephede, su tutuculuğu ve su emiciliği fazla olmayan kaplama malzemeleri seçilmelidir.
- Özet olarak, hafif çelik sistem yapı kabuğu kesiti, dış ortamdan yapı içine su girişini engelleyecek ve iç mekandaki su buharının soğuk dış kabuğa ulaşarak burada soğuyup yoğunlaşmasını önleyecek şekilde detaylandırılmalıdır.



Şekil 3-53 Hafif çelik yapı kabuğunda, su ve su buharı etkisi karşı önlem alınması gereken yüzeyler [103, s.43]

3.2.4 Hafif Çelik Sistemlerde Akustik ve Ses Etkisi

Ses, mekanın konfor şartlarını belirleyen önemli hususlardan birisidir. Beş temel duyumuzdan biri olarak ses, insan hayatında önemli bir yer tutar. Gerçekte insan, tüm yaşamını belli bir gürültü seviyesinde sürdürmektedir. Bu, belli bir seviyede kaldığı sürece, insan üzerindeki etkisi olumludur. Aksi durumda, salt sessizlik insan psikolojisini olumsuz etkilerken; yüksek ses seviyesi ise stres, bunalım gibi psikolojik sorunlara neden olabilir. Hatta yüksek ses, insanda kulak zarının zedelenmesi, ağrı hissi, işitme kaybı, kan basıncının artması, kalp, solunum bozulmaları ve kas gerilmeleri gibi fizyolojik rahatsızlıklara da neden olabilir. Bu nedenle, yapı içindeki sesin belirlenen konfor düzeyinde, kontrol altında tutulması istenmektedir.

Ses, malzeme içinde veya havada molekülleri titreştiren bir dalga hareketi izleyen enerjidir. Mekanlardaki akustik şartları, malzeme ve elamanların özelliklerine bağlı olarak, ses hızı³⁹, frekansı⁴⁰, dalga boyu⁴¹ ve şiddeti⁴² belirler.[35]

3.2.4.1 Hafif Çelik Sistemlerde Ses Yayılımı ve Geçirimsizliği

Yapıda ses, mekanın içindeki havada ve/veya konstrüksiyon yapısında, (darbe, sürtünme veya tesisattan kaynaklanarak) oluşur ve yayılır. Mekan içinde oluşan ses, hacmin büyüklüğü, formu ile hacmi oluşturan yüzeylerin özelliklerine bağlı olarak havada yayılır.

³⁹Sesin yayılma hızı (C) (m/s), çeşitli ortamlarda molekül düzenlerinin farklı olmasından dolayı, malzemenin elastiklik modülüne (E) ve birim ağırlığına (Δ) (gr/cm^3) bağlı olarak değişen bir değerdir. Ayrıca ortam sıcaklığı da (t) ($^{\circ}C$), sesin yayılma hızına etki etmektedir. Ayrıca ortam sıcaklığı da (t) ($^{\circ}C$), sesin yayılma hızına etki etmektedir. Hafif çelik sistemlerin, ana kuruluşunu oluşturan çelik malzemenin homojen, sık kristal yapısı sesin hızlı yayılmasına neden olur.

⁴⁰Frekans (f) (Hertz-Hz), ses titreşiminin 1 saniye içindeki tam bir devir gösteren dalga hareketi sayısıdır.

⁴¹Dalga boyu (λ), titreşim hareketinin bir devir süresince aldığı mesafedir. İnsan kulağı 16 Hz ile $16 \cdot 10^3$ Hz arasındaki seslere duyarlıdır. Bu frekans aralığı dışındaki sesleri duyamaz.

⁴²Ses şiddeti (I), bir ortamda, birim zaman içinde birim alana gelen ses enerjisi miktarıdır. Ses şiddetinin (I) birimi watt / cm^2 'dir. Ancak, ses şiddeti fiziksel bir değer olduğu ve tek başına bir anlam ifade etmediği için, işitilebilen en küçük ses şiddetine (I_0) logaritmik oranıyla belirlenen ses seviyesi (β) (dB) esas alınır. [35]

Mekan içindeki ses, kaynağından çıktıktan sonra, yüzeylerden yansıma ve girişimler ile şiddeti bir miktar arttıktan sonra hava ve malzemeler tarafından soğurularak azalır. Burada, hacmin özellikleri, sesin konfor şartlarında kalması için önemlidir. Örneğin, sesin yansıyarak bir noktada odaklanması, (odak noktasının ikinci bir kaynak gibi davranması) arzu edilmez.⁴³ Bunun yanı sıra, sesin iyi ve net olarak duyulabilmesi için mekan içinde 1 saniyeden uzun, 2 saniyeden az süre içinde yutulmadan kalması için düzenlemeler yapılması tavsiye edilir. [35] Tüm bunlar, mekan içindeki kaplama elemanlarının yüzey özellikleri, mekanın formu ve büyüklüğü, mobilya vb elemanların sesi yutma özelliği gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Yukarıda belirtilen şartların dışında, mekan içindeki akustik konforun sağlanması;

- Mekan içinde oluşan sesin diğer mekana geçmesinin engellenmesi, yani aradaki konstrüksiyonun ses tutuculuğu;
- Darbe etkisiyle oluşan sesin iletimi ve yayılması

ile ilgilidir.

Mekan içinde oluşan sesin bir kısmı, çarptığı yüzeylerden geri yansırken, bir kısmı da bölücü yüzey tarafından soğurulur; yani bileşenin malzemeleri tarafından ses enerjisi sönmümlenir. Geriye kalan sönmümlenmeyen ses enerjisi ise malzemeyi titreştirerek, malzeme boyunca iletilirken, bir kısmı da diğer tarafa geçer. Malzeme ve elemanlar tarafından sönmümlenen ses enerjisi, konstrüksiyon kuruluşunun ses tutuculuğunu gösterir. Malzeme ve elemanların dB cinsinden ses geçirimsizlik değerinin (R), genel anlamda malzemenin m² ağırlığı, tespit şekli, yüzeyi, kalınlığı, homojenlik ve titreşim faktörleri ile ilişkisi vardır. Ayrıca ses geçirimsizlik değerinde, mekan içinde oluşan sesin frekans özellikleri de etkilidir. [35] Bu husus, malzemenin birim ağırlığı, elastiklik modülü ve kalınlığıyla ilgilidir. Tüm bu malzeme

⁴³ Sesler kulağımıza, 1/15 saniye, (340m x 1/15sn = 22,6m) farkla geldiği zaman birbirinden ayrılabilir niteliktedir. Dolayısıyla, aynı kaynaktan çıkan ve bir noktada birleşen iki ses ışını arasında 1/15 saniyeden fazla bir fark varsa yankı meydana gelecektir. [33, s.117]

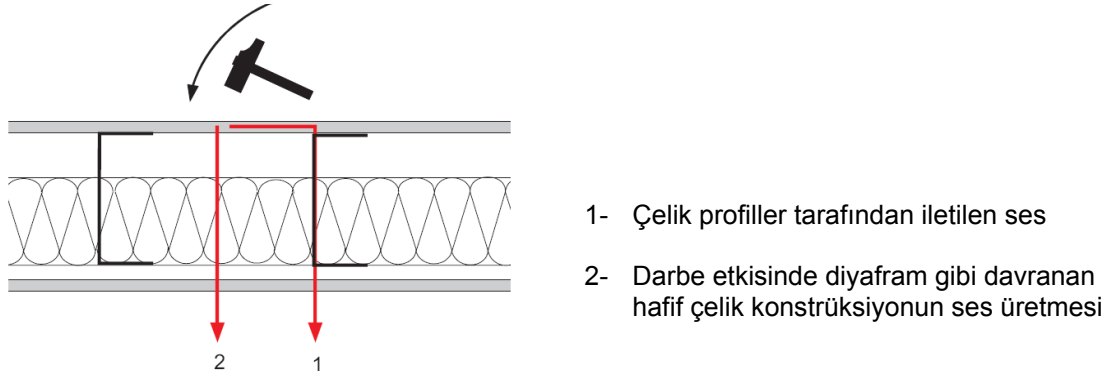
özelliklerinden ve sesin yapısından yola çıkarak, bir konstrüksiyon kuruluşunun ses geçirimsizliği hesaplanır ve dB cinsinden ifade edilir. Standartlarda, ses tutuculuğu ve geçirimsizliği, malzemelerin ve bileşenlerin ses geçirimsizlik sınıfı (*Sound Transmission Class-STC*) olarak da nitelenir (Tablo 3-19). [92]

Tablo 3-19 Çeşitli konstrüksiyon malzemelerinin ses geçirimsizlik sınıfı [92, s.7]

Yapı Malzemesi / Bileşeni	Ses Geçirimsizlik Sınıfı (ses tutuculuğu dB)
0,6 mm cam	26
19 mm kontrplak	28
1,27 mm alçı levha	33
0,6 mm çelik levha	36
76 mm beton duvar	45
150 mm beton blok duvar	42
200 mm betonarme duvar	51
300 mm betonarme duvar	53
300 mm tuğla duvar	56
Her iki yüzü 1,27 mm alçı levha kaplı, 40 cm arayla 50x100 mm ahşap dikme kuruluş	33-39
Her iki yüzü 1,27 mm alçı levha kaplı, 60 cm arayla 41mm kalınlığında hafif çelik kuruluş	39
Her iki yüzü 1,62mm alçı levha kaplı, 60 cm arayla 92mm kalınlığında hafif çelik kuruluş	40-44
Her iki yüzü 1,27mm alçı levha kaplı, 60 cm arayla 92mm kalınlığında hafif çelik kuruluş	39

Temel olarak, havada oluşan ses, havayı ve temasta olduğu yapı elemanlarını titreştirir. Titreşen eleman ise, diğer taraftaki havayı titreştirerek sesi diğer tarafa aktarmış olur. Burada eleman ne kadar ağır olursa, ses tarafından titreştirilmesi o kadar güç olacaktır. Hafif çelik sistemlerin elemanlarının -adından da anlaşılacağı üzere- diğer sistemlere göre daha hafif olması, ses yalıtımı için bir dezavantaj oluşturur. Buna karşın, hafif çelik sistemlerde, ses enerjisini ve dalgalarını sönmüleyecek şekilde profillerin ve kaplamaların detaylandırılması ile istenen ses geçirimsizliği elde edilebilir. Ayrıca, konstrüktif kuruluşta, ısı ve yangın yalıtımı için arada düzenlenen yalıtım malzemeleri de ses yutuculuk özellikleri ile ses geçirimsizliğine katkıda bulunur. Sesin bir diğer özelliği ise ses ortam değiştirirken (havadan katıya veya katıdan havaya geçerken) şiddetinde bir azalma olmasıdır. Hafif çelik konstrüksiyonun kaplamaları arasında bulunan boşluk, sesin diğer mekana iletilirken kayba uğramasında etkin rol oynar. [35]

Hafif çelik yapılar için; darbe, sürtünme etkisinden veya tesisat elemanlarından kaynaklanan, konstrüksiyonun iç yapısında oluşan ve iletilen ses, havada yayılan sese göre daha büyük sorun teşkil eder. Darbe etkisinde bir diyafram gibi davranan kaplama malzemesinin, titreşerek ses üretmesi ve çelik malzemenin yüksek ses iletkenliği, bu soruna neden olur (Şekil 3-54).



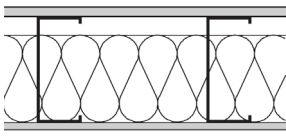
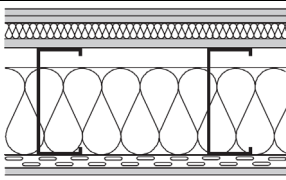
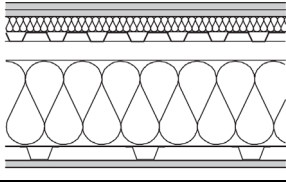
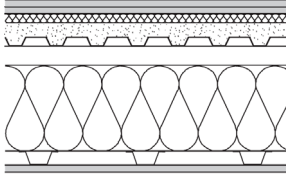
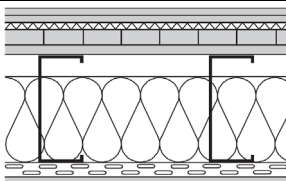
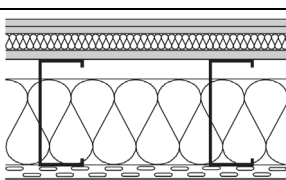
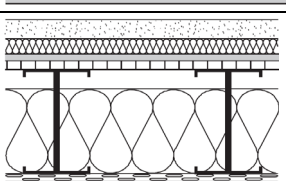
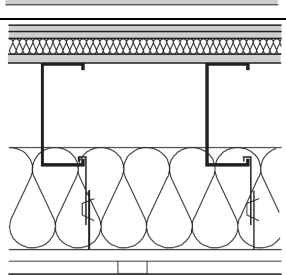
Şekil 3-54 Hafif çelik sistemlerde darbe sesi ve sesin iletilmesi [86, s.26]

Darbe etkisinde oluşan ses, diğer tarafa daha fazla değerde geçerken, çelik malzemenin yüksek ses iletkenlik özelliği, hafif çelik sistemin iç yapısında oluşan bu sesin, yapının tümünde hissedilmesinde rol oynar. Yürüme darbesi, mobilya vb. eşyaların yer değiştirmesi, çamaşır makinesi, duvarda veya çatıdaki klima aleti, dolap kapakları veya bina kapıları, konstrüksiyonun iç yapısında oluşan ve iletilen sesin kaynaklarına örnek gösterilebilir. [60]

“Britanya Çelik Standardı BS 8233”e (*British Steel Standard*) göre, konut mekanlarında hava kaynaklı ses şiddeti için, duvarların 46 dB, döşemelerin ise, 45 dB ses geçirimsizliğini sağlaması gereklidir. Ayrıca iletilen darbe sesi için sınır ses şiddeti, 65 dB olarak belirtilmiştir. [60, s.134]

Tablo 3-20’deki farklı hafif çelik döşeme kuruluşlarının sağladığı ses tutuculuk değerleri ve darbe sesi iletim değerleri incelendiğinde, en yalın haliyle hafif çelik döşemenin 38 dB ses yalıtımı sağladığı, darbe vb kaynaklı 73 dB sesi ilettiği görülür. Bu değerler, BS 8233’ün akustik konforun sağlanması için ön gördüğü gerekli değerleri karşılamamaktadır. Buna karşın aynı tabloda, çeşitli ses izolatörleri, detaylandırmalar ve malzemeler ile sağlanan ses yalıtım değerlerinin, uygun mertebeye geldiği görülür. [103]

Tablo 3-20 Çeşitli hafif çelik döşeme kuruluşlarının ses tutuculuk ve darbe sesi iletme değerleri [103, s.26]

Hafif Çelik Döşeme Kuruluşu	Ses tutuculuk değeri ($R_{w,R}$)	Darbe ses iletim değeri	
	22 mm Çimento-ahşap lifi esaslı levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 12,5 mm Alçı karton levha	38 dB	73 dB
	2x10 mm Kuru-lif donatılı alçı levha 20 mm Ses izolatörü 22 mm Çimento-ahşap lifi esaslı levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 25 mm Esnek montaj profili 12,5 mm Alçı karton levha	52 dB	58 dB
	2x10 mm Kuru-lif donatılı alçı levha 20 mm Ses izolatörü 25 mm Trapez çelik levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 25 mm Esnek montaj profili 12,5 mm Alçı karton levha	52 dB	58 dB
	2x10 mm Kuru-lif donatılı alçı levha 20 mm Ses izolatörü 50 mm Beton 25 mm Trapez çelik levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 25 mm Esnek montaj profili 12,5 mm Alçı karton levha	56 dB	52 dB
	2x10 mm Kuru-lif donatılı alçı levha 10 mm Ses izolatörü 35 mm Kum 22 mm Çimento-ahşap lifi esaslı levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 25 mm Esnek montaj profili 12,5 mm Alçı karton levha	58 dB	50 dB
	2x10 mm Kuru-lif donatılı alçı levha 20 mm Ses izolatörü 22 mm Çimento-ahşap lifi esaslı levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 25 mm Esnek montaj profili 2x12,5 mm Alçı karton levha	54 dB	53 dB
	50 mm Şap 20 mm Ses izolatörü 12,5 mm Alçı levha 19 mm Ahşap lif aglomera levha (OSB vb.) 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım 25 mm Esnek montaj profili 2x12,5 mm Alçı karton levha	69 dB	45 dB
	2x10 mm Kuru-lif donatılı alçı levha 20 mm Ses izolatörü 22 mm Çimento-ahşap lifi esaslı levha 200 mm Çelik Profil 160 mm Mineral taş yünü yalıtım Asma tavan askısı 2x25 mm Asma tavan taşıyıcı-montaj profili 2x12,5 mm Alçı karton levha	53 dB	52 dB

Tablo 3-20'den özetle, hafif çelik sistemlerin ses yalıtım değerlerini, soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların düzenlenme sıklığı, boyutu ve ses köprüsü oluşturmasını engelleyecek şekilde detaylandırılmaları belirler. Bunun dışında, kaplama elemanlarının ve konstrüksiyonun arasında yer alan taş-cam yünü yalıtımın kalınlığı da belirleyicidir (Tablo 3-20). [101]

Hafif çelik sistemlerin sağladığı ses geçirimsizlik niceliksel değerlerinin ses niteliğine olan etkisi Tablo 3-21'de özetlenmiştir. 30 dB “normal fon gürültüsü” olan iki mekan arasındaki hafif çelik kuruluşunun sağladığı, ses yalıtım performansları referans alınarak ses yalıtım ihtiyacı belirlenebilir.[92]

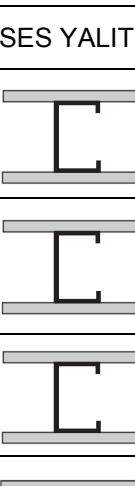
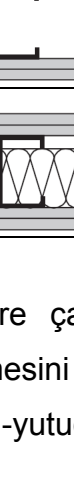
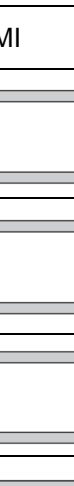
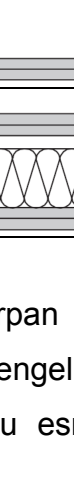

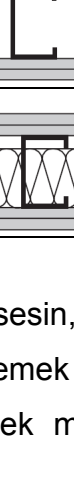





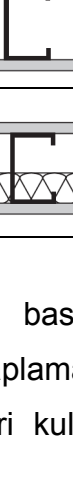
Tablo 3-21 Ses geçirimsizlik değerinin sağladığı, ses yalıtım performansı [92, s.7]

Ses Türü	Hafif çelik bileşenlerinin ses geçirimsizlik değerinin sağladığı ses yalıtım performansı				
	R=40 dB	R=45 dB	R=50 dB	R=55 dB	R=60 dB
Normal konuşma	Duyulabilir	Biraz duyulabilir	Duyulamaz	-	-
Yüksek sesle konuşma	Net Duyulabilir	Duyulabilir	Biraz duyulabilir	Duyulamaz	Duyulamaz
Akşam yemeği /Gülme sesi	Net Duyulabilir	Duyulabilir	Biraz duyulabilir	Duyulamaz	Duyulamaz
Bağırma	Net Duyulabilir	Net Duyulabilir	Duyulabilir	Biraz duyulabilir	Duyulamaz
Televizyon sesi (az)	Net Duyulabilir	Net Duyulabilir	Duyulabilir	Biraz duyulabilir	Duyulamaz
Televizyon sesi (çok)	Net Duyulabilir	Net Duyulabilir	Net Duyulabilir	Duyulabilir	Biraz Duyulabilir
Ev sineması / Surround ses sistemleri	Net Duyulabilir	Net Duyulabilir	Net Duyulabilir	Duyulabilir	Duyulabilir

3.2.4.2 Hafif Çelik Sistemlerde Akustik Sorunların Önlenmesi ve Öneriler

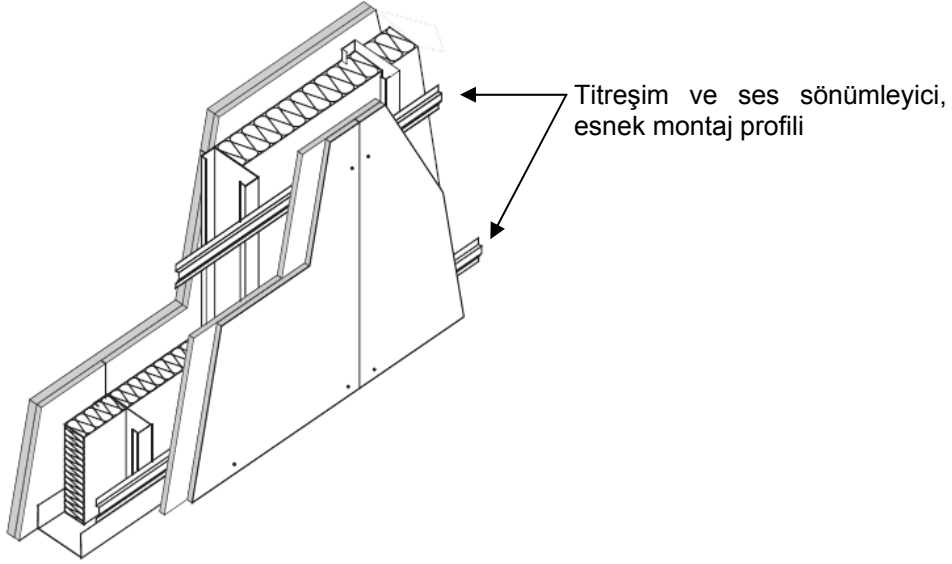
- Hafif çelik yapılarda, kaplama ve ara yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının artırılması ve çok katmanlı olarak düzenlenmeleri, ses geçirimsizliğinin sağlanmasına katkıda bulunur.[103]
- Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların gövde yüksekliklerinin ve cidar kalınlıklarının artırılması ile, konstrüksiyonun kalınlık ve ağırlığı da artacağından, havada yayılan sesin, bu elemanları titreştirmesi güçleşir. Böylece ses geçirimsizlik değeri artmış olur.[103]

Tablo 3-22 Hafif çelik sistemlerde, ses yalıtım değerini belirleyen hususlar [103, s.24]

KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ	İYİ SES YALITIMI	KÖTÜ SES YALITIMI
Taşıyıcı Konstrüksiyonun türü		
Taşıyıcı elemanların düzenlenme sıklığı		
Taşıyıcı eleman boyutları		
Taşıyıcı elemanların kuruluşu		
Kaplama elemanların kalınlığı		
Yalıtım malzemesinin kalınlığı		

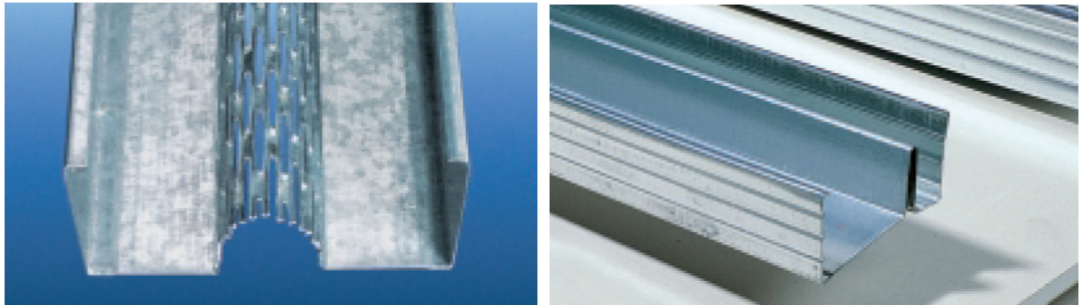
- Hafif çelik yüzeylere çarpan sesin, oluşturduğu basınç etkisi ile malzemeyi titreştirmesini engellemek amacıyla, kaplamalarla profiller arasında şok emici-yutucu esnek montaj profilleri kullanılabilir. Bu

esnek montaj profilleri, sesi sönümlerken, aynı zamanda sesin kaplamalardan profillere iletilmesini de engeller (Şekil 3-55). [92],[103]



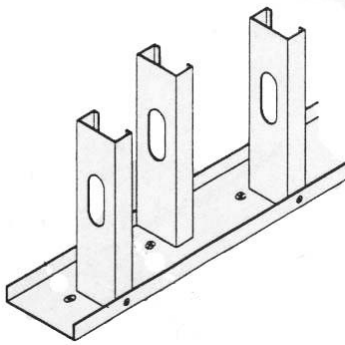
Şekil 3-55 Hafif çelik duvar kuruluşunda çelik profiller ile kaplama arasında esnek montaj profili uygulaması [103, s.24]

- Sesin ve titreşimin konstrüksiyon içinde sönümlenmesi ve ses dalgalarının emilmesi amacıyla, özel taşıyıcı profillerden yararlanılabilir (Şekil 3-56). “Akustik-profil” olarak da adlandırılan bu profillerin gövdeleri, derin kıvrımlı veya örgü (ağ gözü) biçimindedir ve “akustik olarak etkili yay” olarak işlev görmekte ve sesi yutmaktadır. [44] Bu profiller, tıpkı bir yay gibi görev yaparak sesi ve titreşimi sönümlerler.



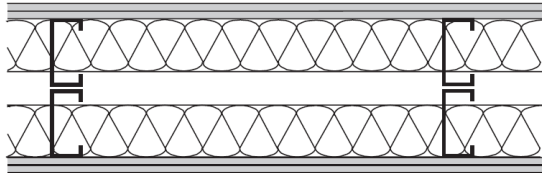
Şekil 3-56 Akustik-profil örnekleri [103]

- Hafif çelik duvarlarda profiller şaşırtılarak, ses köprüsü oluşturmaları engellenebilir (Şekil 3-57). Ancak bu şekildeki hafif çelik duvar kurulumu sadece taşıyıcı olmayan duvarlarda gerçekleştirilebilir. [67]



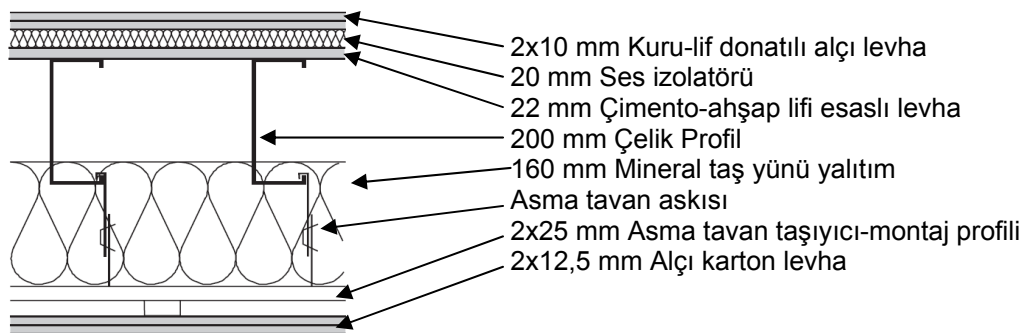
Şekil 3-57 Profillerin şaşırtılarak düzenlenmesi ile ses köprülerinin engellenmesi [54]

- Benzer bir yaklaşımla, çift duvar uygulaması ile çelik profillerin neden olduğu ses köprüsü engellenir (Şekil 3-58). Profiller çift sıra kullanıldığı için boyutları olması gerekenden daha küçük olabilir. Yine de duvarın toplam kalınlığı, normalden daha fazla olacaktır. Profillerin birbirine temas etmemeleri veya aralarına bir izolator konulması, ses yalıtımında önemli bir noktadır. [92],[101]



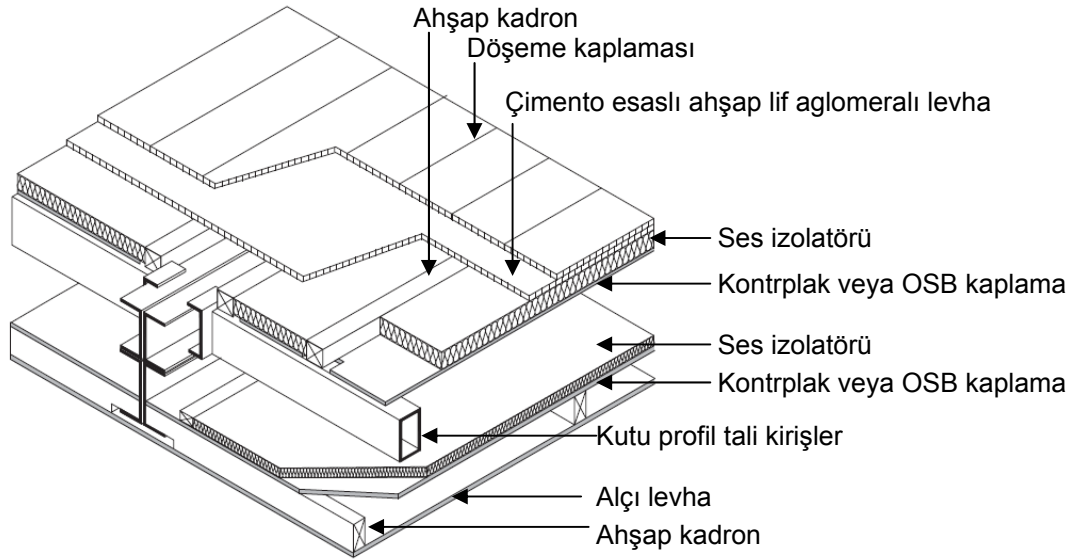
Şekil 3-58 Ses yalıtımı için çift duvar uygulaması [103]

- Döşemelerde asma tavan uygulaması, havada oluşan ve darbe etkisiyle oluşan sesin yalıtımına önemli katkı sağlar(Şekil 3-59).



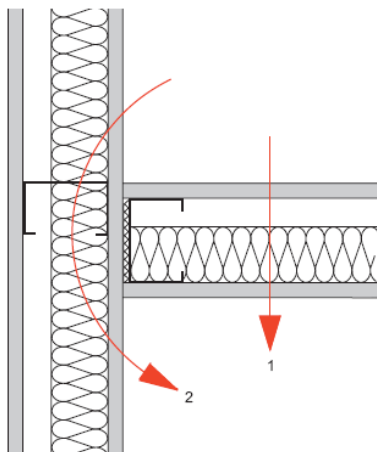
Şekil 3-59 Hafif çelik döşemelerde, asma tavan uygulaması ile ses yalıtımı.[103]

- Döşemelerde, asma tavanlar ile elde edilen ses geçirimsizlik değerleri, alt ve üst kaplamaların ayrı profillerce taşındığı detaylandırmalar ile de sağlanabilir (Şekil 3-60).[103]



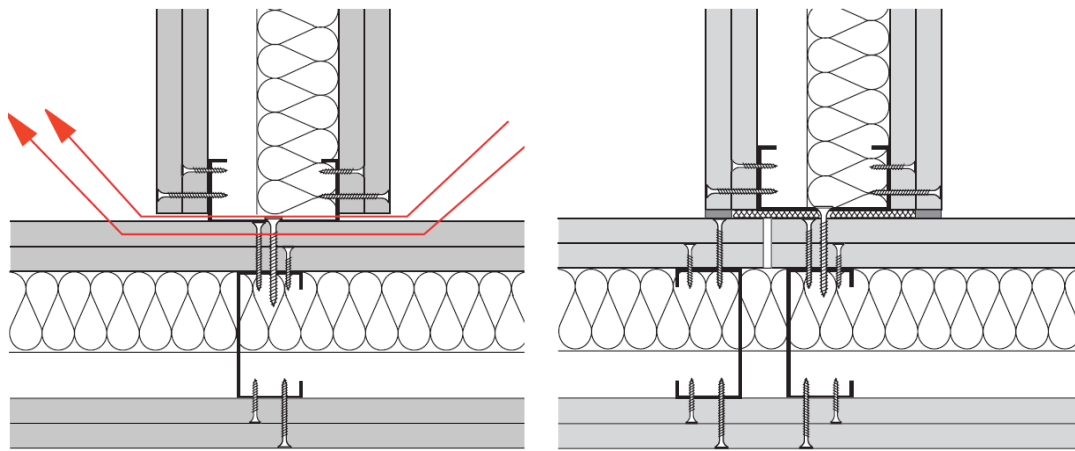
Şekil 3-60 Hafif çelik döşemelerde ses yalıtımı [103]

- Sesin diğer mekana geçişini aradaki elemanın ses geçirgenliği belirler. Bunun dışında, hafif çelik sistemlerde döşeme veya duvarların sürekliliği, sesin duvar veya döşeme boyunca iletilmesinde rol oynar (Şekil 3-61). [103]



Şekil 3-61 (1) Duvardan direkt geçen ses, (2) Sürekli duvar boyunca iletilen ses [103, s.30]

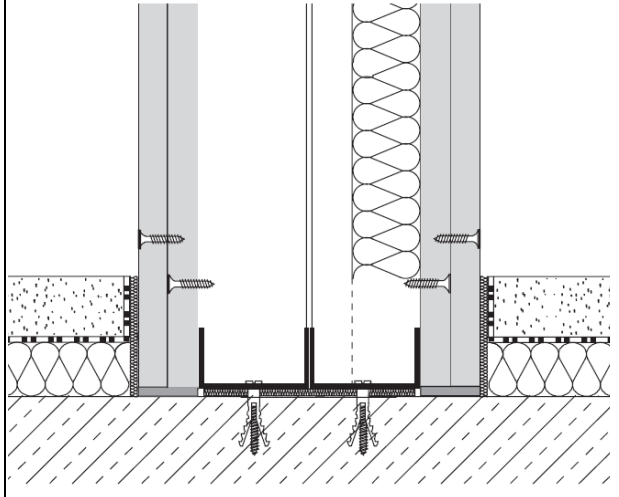
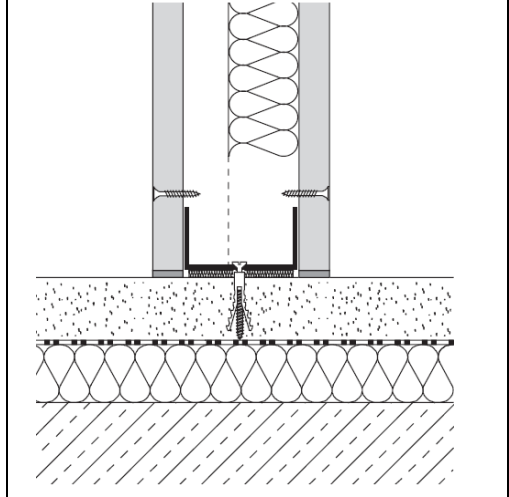
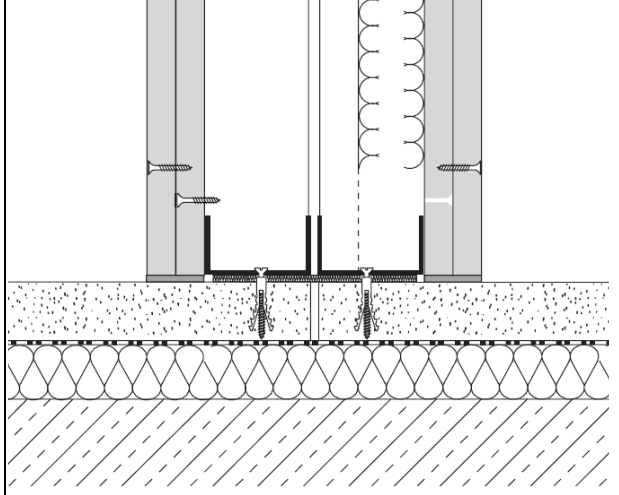
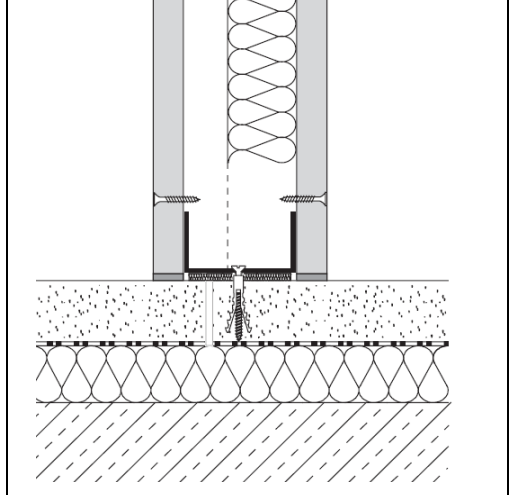
- Sesin konstrüksiyon boyunca iletilmesi, döşeme ve duvarların sürekliliğinin engellenmesi ile önlenebilir. Bu süreksizlik, duvarlarda kaplama malzemelerinin kesintiye uğratılması ve ayrı taşıyıcı profiller düzenlenmesi ile sağlanabilir. Ayrıca, duvar kaplamasına yaslanan çelik profilin, ses köprüsü oluşturmasını engellemek için, iki duvarın birleştiği noktada ses izolatörü uygulanmalıdır (Şekil 3-62). Bu tür bir yalıtım, darbe sesinin iletiminin engellenmesi bakımından da önemlidir.[103]



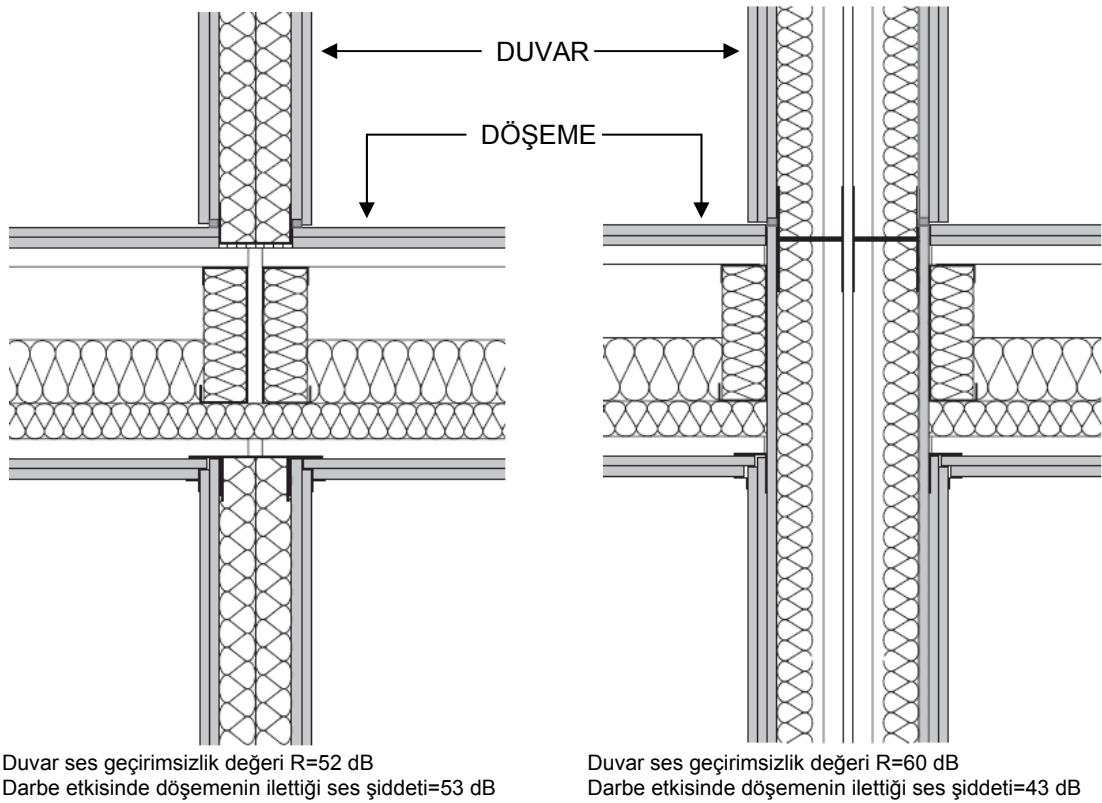
Şekil 3-62 (1) Duvar boyunca ses iletimi. (2) Kaplamaların kesintiye uğratılması ve çelik profil ile kaplama arasında ses izolatörü uygulaması [103]

- Zeminde, döşemenin süreksizliği sağlanarak, darbe sesinin döşeme tarafından iletilmesi engellenmesinde bir çok farklı alternatif uygulanabilir. Genel ilke olarak, döşeme katmanlarının, arada derz bırakılarak ayrılması veya duvar konstrüksiyonunun bu ayrımı gerçekleştirmesi ile döşemenin süreksizliği sağlanır (Tablo 3-23). Döşemede sağlanan süreksizliğin, duvarın ses geçirimsizliğini etkilemediği ancak döşemeden iletilen sesin geçirimsizliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu söylenebilir.[103, s.32]
- Zeminde yüzer döşeme uygulaması ile, süreksizlik döşeme yüzeyine dik yönde gerçekleşirken, aynı zamanda döşemede oluşan darbe sesinin duvarlara iletilmesi de engellenmiş olur.[103],[101]

Tablo 3-23 Zemin katta, döşemede süreksizliğin sağlanması ve elde edilen ses geçirimsizlik değerleri [103, s.32]

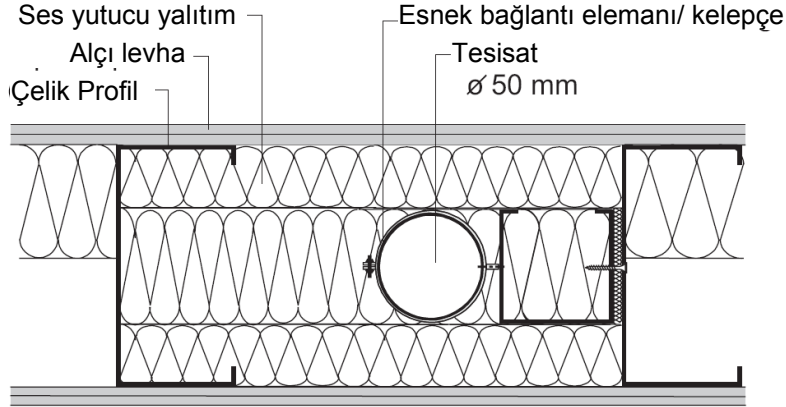
	
<p>Duvar ses geçirimsizlik değeri R=60 dB Döşemede engellenen darbe sesi değeri R=70 dB</p>	<p>Duvar ses geçirimsizlik değeri R=41 dB Döşemede engellenen darbe sesi değeri R=38 dB</p>
	
<p>Duvar ses geçirimsizlik değeri R=60 dB Döşemede engellenen darbe sesi değeri R=55 dB</p>	<p>Duvar ses geçirimsizlik değeri R=41 dB Döşemede engellenen darbe sesi değeri R=55 dB</p>

- Benzer şekilde, ara kat döşemeleri ile duvarlar arasında gerçekleştirilecek süreksizlik, döşemede darbe sesinin yalıtılmasını sağlar. Hafif çelik yapılarda, az uygulaması olan “devamlı dikmeli” (*Balloon Frame*) yapım sisteminde, döşemelerin duvarlar tarafından kesintiye uğratılması sayesinde iyi bir darbe sesi geçirimsizliği elde edilir. Ancak, yaygın olarak kullanılan platform sisteminde de döşeme kaplamalarının kesintiye uğratılması ile bu değerde olmasa da tatmin edici darbe sesi geçirimsizliği elde edilmiş olur.[103, s.32] (Şekil 3-63)



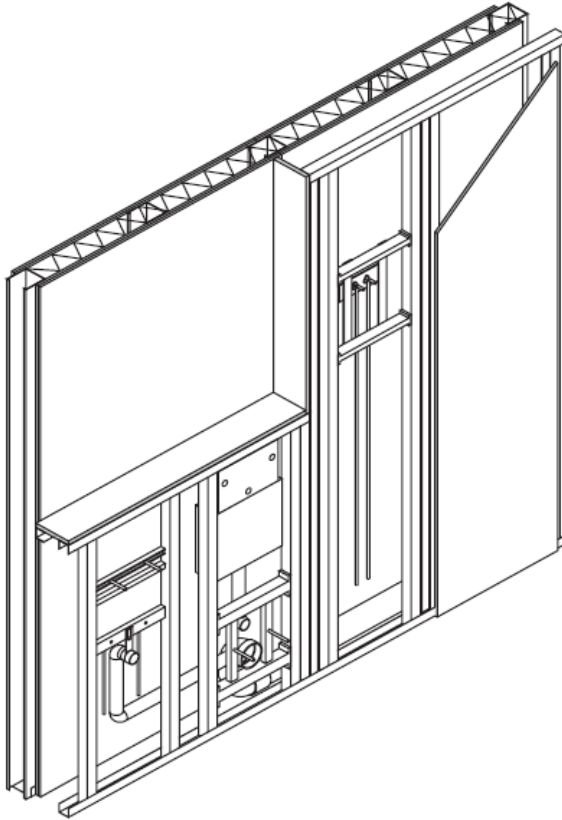
Şekil 3-63 (1) Döşeme kaplamalarının kesintiye uğratılması; (2) Döşemenin duvarlar tarafından kesintiye uğratılması ile elde edilen ses yalıtımı. [103, s.32]

- Üzerinde durulması gereken bir diğer önemli konu tesisat ve makinelerin ürettiği sestir. Mümkünse duvarlara ses üreten aletler monte edilmemelidir. Eğer monte edilmesi gerekiyorsa, hafif çelik taşıyıcı elemanlardan ayrı olarak taşınmalıdır.
- Ses üreten makineler ile, duvar ve döşeme arasına ses izolatörleri, veya esnek malzemeler konularak, bu makinelerin duvar ve döşemeleri titreştirmeleri engellenmelidir (Şekil 3-64).[103]
- Bunun dışında, tesisat elemanlarının montajı, esnek bağlantı elemanları ile gerçekleştirilmelidir (Şekil 3-65).
- Tesisat elemanlarının etrafları ses yutucu yalıtım ile mantolanmalıdır. Aynı zamanda bu ses yalıtımı, tesisat elemanları için gerekli ısı yalıtımını da sağlamış olur. (Şekil 3-66)



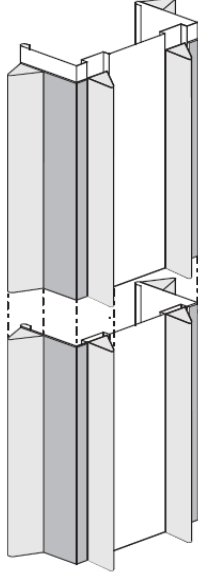
Şekil 3-66 Tesisat elemanlarının hafif çelik konstrüksiyon içinde düzenlenmesi ve ses izolasyonunun sağlanması. [103, s.36]

- Tesisat elemanlarının yoğun olduğu kısımlarda, taşıyıcı duvardan ayrı olarak, bir tesisat yüzeyi veya duvarı düzenlenmesi, ses yalıtımının kolay gerçekleştirilebilir olmasını sağlar (Şekil 3-67). [103, s.35]



Şekil 3-67 Tesisat elemanlarının taşıyıcı duvardan ayrı bir tesisat yüzeyinde veya tesisat duvarı içinde düzenlenmesi [103, s.35]

- Mekan içinde veya konstrüksiyon bünyesinde oluşan ses ile titreşen kaplama elemanları, çelik elemanlara çarparak, ek bir ses oluşturarak ses şiddetini artırabilir. Çelik profillerin üzerindeki kanallara yerleştirilen esnek fitiller ve contalar, bu ek sesin oluşumu engellemek için kullanılabilir (Şekil 3-68). [103, s.31]



Şekil 3-68 Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller üzerinde, esnek fitil ve contalar [103, s.31]

3.2.5 Hafif Çelik Sistemlerde Korozyon Etkisi

Korozyon, malzemenin kimyasal veya elektro-kimyasal (ıslak korozyon) etkilerle aşınması ve yok olması şeklinde tanımlanabilir. Çelik malzemenin ana bileşeni olan demir saf durumda bulunurken iki elektronunu kaybederek Fe^{++} kararsız iyonunu oluşturur. Kayıp iki elektronun yerini O_2 (oksijen) doldurarak FeO (demir oksit) meydana getirir. Benzer biçimde üç elektron vererek Fe_2O_3 (demir peroksit) oluşur. Demir oksit, hacimce genişmiş, gevrek yapıda, suda kolay çözünen ve demir yüzeyine bağlantısı zayıf bir durumdadır. Bu durum, malzemenin pürüzlü ve mikro çatlaklı bir yüzey oluşturmasına, daha sonra da ıslak korozyon veya daha alt tabakalarda kuru oksidasyon görülmesine neden olur. Kesit kaybı, malzeme tamamen yok oluncaya dek sürer. Çelik malzemenin korozyonunu önleyebilecek bir çok yöntem vardır. İçinde % 18 oranında krom, % 8 oranında nikel bulunan paslanmaz çelik aşınmaya ve paslanmaya karşı çok dayanıklıdır. Ancak yapı maliyeti yönünden ekonomik değildir. Diğer yönden boya veya nikel, kalay, çinko gibi metallerle kaplama korozyonu önleyebilir. Hafif çelik yapı sistemlerinde koruma, çelik malzemenin çinko ile kaplanması suretiyle yapılan galvanizleme işlemi ile gerçekleştirilir. Çelik profiller, $450^{\circ}C$ 'de ergitilmiş çinko banyosuna daldırılarak, yüzeyinde metalürjik olarak bağlı bir tabaka oluşturulur. [5, s.1] Çeliğin galvanizleme işleminde, farklı çinko alaşımları da kullanılmaktadır. Bu kaplama alaşımları %95 çinko - %5 alüminyum veya %55 alüminyum - %1.5 silikon - %43,5 çinko'dan oluşabilir. Bu şekildeki alaşımlar, çinko kaplamanın da korozyon direncini artırır. [5, s.2] ASTM (*American Society for Testing and Materials*) standardının kabulüne göre, yük taşıyan yapı elemanları, en az 13 mikron kalınlığında -G60 (Z180) standardında- çinko tabaka ile kaplanmış olması gereklidir. [34, s.9]

Galvanizleme işlemi çelik malzemenin soğuk şekillendirme yöntemi ile profillendirilmesinden sonra yapılabilir. İstenirse çelik levhanın önceden galvanizlenmesi de mümkündür. Fakat daha sonradan yapılacak şekillendirme işlemleri galvaniz tabakasına zarar verebilir.

3.2.5.1 Galvaniz Kaplama ile Sağlanan Korozyon Direnci

Galvaniz kaplama tabakasının hafif çelik profilleri korozyona karşı koruması, iki şekildedir;

1. Çinko tabakası çeliğin dış koşullarla bağlantısını kesen fiziksel bir koruma oluşturur.
2. Çinko, bir pil mekanizması gibi anot konumunda çeliğe katodik bir koruma sağlar. Çinko tabakasının zedelendiği ya da çeliğin açığa çıktığı noktalarda, su ve nem gibi iyon taşıyabilen bir ortam içinde dahi çelik korozyona uğramaz. Çünkü, çelik yerine anot konumundaki çinko iyon kaybederek korozyona uğrar. Böylece çeliğin taşıyıcı kesitinde azalma olmaz. [5, s.7]

İngiltere’de deniz kenarı, kent içi ve endüstri alanı gibi üç farklı bölgede galvaniz kaplamanın korozyonuna ilişkin araştırmaya⁴⁴ göre;

Deniz kenarı gibi yüksek nemli ve iyon taşımaya elverişli tuzlu ortamlardaki veya havanın asidik özelliğinden ötürü yüksek derecede iyon taşıyabildiği endüstri bölgelerindeki ölçümlerde; galvaniz tabakasının üç yılda 0.1 mikron kalınlığında korozyona uğradığı görülmüştür. Bu şartlar altında, G40 (Z120) standardında (10 mikron kalınlığında) galvanize edilmiş bir çelik eleman, yaklaşık 300 yıl, korozyona karşı korunabilir. [5, s.4] Taşıyıcı elemanlar için ön görülen 13 mikron kalınlığındaki G60 (Z180) çinko kaplamanın ise tamamen korozyona uğrayıp çeliğin açığa çıkması ise 390 yıl alacaktır. [34, s.9]

⁴⁴ John V., “Durability of Galvanized Steel Building Components in Domestic Housing” British Steel Technical-Welsh Laboratories, 1991.

3.2.5.2 Hafif Çelik Sitemlerde Korozyon Etkisine Karşı Alınacak Önlemler ve Öneriler

- Alkali ortam çelik ve demirin paslanmasını önlese de çinko kaplamaya zarar verebilir. Islak betonun alkali (pH 12-13) özelliği çinko kaplama için olumsuzdur. Kuru beton ve harç ise hiç zarar vermez. [5. s.8] Beton, kılcallık veya difüzyon yolu ile bünyesinde nem tutması, korozyon için ortam yaratır. Çelik elemanlar ile temel betonu arasında nemi ve suyu kesecek bir yalıtım tabakası yerleştirilmelidir. [34, s.10]
- Alçı, asit reaksiyonlu bir malzeme olduğu için, rutubetli ortamda kaplaması olmayan veya zarar görmüş çeliği korozyona uğratır. [35] Bu nedenle alçı ile temas edecek çelik profillerin galvaniz kaplamasının zarar görüp görmediği kontrol edilmelidir.
- İyon taşıyabilen, örneğin ıslak bir ortamda, galvanizli çelik elemanlar ile temas halindeki pirinç, demir ve bakır gibi metaller galvanik korozyon tehlikesini artırır. Nikel, kurşun gibi metallerin teması orta derecede, alüminyum, paslanmaz çelik gibi metallerin teması ise düşük derecede çinko korozyonuna neden olur. [5, s.9]
- Elektrik tesisatı çelik elamanlara temas etmemelidir. Aksi takdirde elektroliz oluşarak korozyon meydana gelebilir. [34, s.10]
- Malzeme yüzeylerinin farklı oksijen konsantrasyonuna maruz kalması korozyon riskini artırır. Yüzeyler arasında kutup farklılaşması ortaya çıkar ve iyi havalandırılmamış yerler anot halini alarak, korozyona uğrar. [35, s.142] Bu yüzden kapalı mekanlar havalandırılmalı, ıslak hacimlerin aspiratörleri bir bacaya bağlanmalıdır. Böylece nemli ve havasız ortamda galvaniz tabakası üzerinde oluşan ve çeliğin

korozyona karşı direncini azaltan çinkohidroksit oluşumu da önlenmiş olur. [33, s.10],[64]

- Hafif çelik yapı sistemlerinde kullanılan profillerin üretimi sırasında, soğuk şekillendirme yöntemi ile bükme işlemi yapılırken, profillerin büküm noktalarında farklı gerilmeler oluşur. Gerilimin fazla olduğu yerler anot görevi görerek korozyona uğrar. Bu durum, profillerin imalatı sırasında göz önünde bulundurulmalıdır. [35]
- Galvanizli çelik, punto veya sürekli dikişle kaynaklanırken çinko galvanizin tahrip olmasının yanında kaynak işlemi gerilim farkına neden olur. Bu nedenle, bu noktalar soğuk galvanizleme ya da çinko içeren boya ile korozyona karşı korunmalıdır. [34, s.10]
- Hafif çelik profillerin montajında kullanılan vida, bulon, ankraj gibi elemanların da galvanizli olması gereklidir. [5, s.11]
- Yapıda, korozyona neden olan ortamın da tanımlanması; mümkünse yok edilmesi ilk önceliktir. Aksi takdirde yapının narin taşıyıcı sistemi zarar görebilir. Korozyona mahal vermemek için, hafif çelik malzemedен oluşturulan duvar ve döşemenin kesitinde, kondansasyon oluşması önlenmelidir. Isı yalıtımı ve nem direnci katmanları doğru detaylandırılmalıdır. Nem sürükleyici hava için geçiş yeri bırakılmalıdır. [57, s.26-27] (Bkz. 3.2.3. Nem, Su, Yoğuşma Etkisi)

3.3 Mimari Tasarım Olanakları Açısından Analiz ve Değerlendirilme

3.3.1 Planlama Olanakları

Hafif çelik sistemlerle geçilebilen açıklıkların küçük oluşu ve sistemin taşıyıcı duvarlardan oluşması nedeniyle planlama olanakları kısıtlıdır. Çoğunlukla, taşıyıcı duvarların birbirlerini takip etmeleri ve her iki yönde birbirlerine yakın oranlarda düzenlenmiş olmaları, tavsiye edilir. Bu nedenle, yapı formlarının kare ve dikdörtgen olması tercih edilir. Ancak bu bir zorunluluk değildir.

Sıcak hadde çelik iskelet sistemlerde geçilen açıklıklar çok daha geniş olabilmekte ve kolonlardan geriye kalan alan bölücü duvarlar ile istenildiği gibi düzenlenebilmektedir. Bu da, planlama olanakları açısından konvansiyonel sistemleri hafif çelik sistemlere göre daha avantajlı kılar. [18]

3.3.1.1 Plan Geometrisine İlişkin Olanaklar

Taşıyıcı duvarların birbirine dik açı oluşturacak şekilde düzenlenmesiyle elde edilen dikdörtgen ya da kare şeklindeki plan geometrisi, hafif çelik yapıım ilkelerine daha uygundur. Duvarların birbirine dik açıda düzenlendiği plan formu, eleman ve bileşen bağlantılarının kolay ve basit çözülmesini sağlar. Ayrıca, planda bir taşıyıcı duvara saplanan diğer yöndeki duvarlar, o duvar için mesnet noktaları oluşturur. Duvarı destekleyen bu mesnet noktalarının duvar yüzeyine dik olması, duvarın ve yapının stabilitesi ve yüklerin aktarılması açısından açılı veya eğrisel birleşimlere göre daha olumludur.

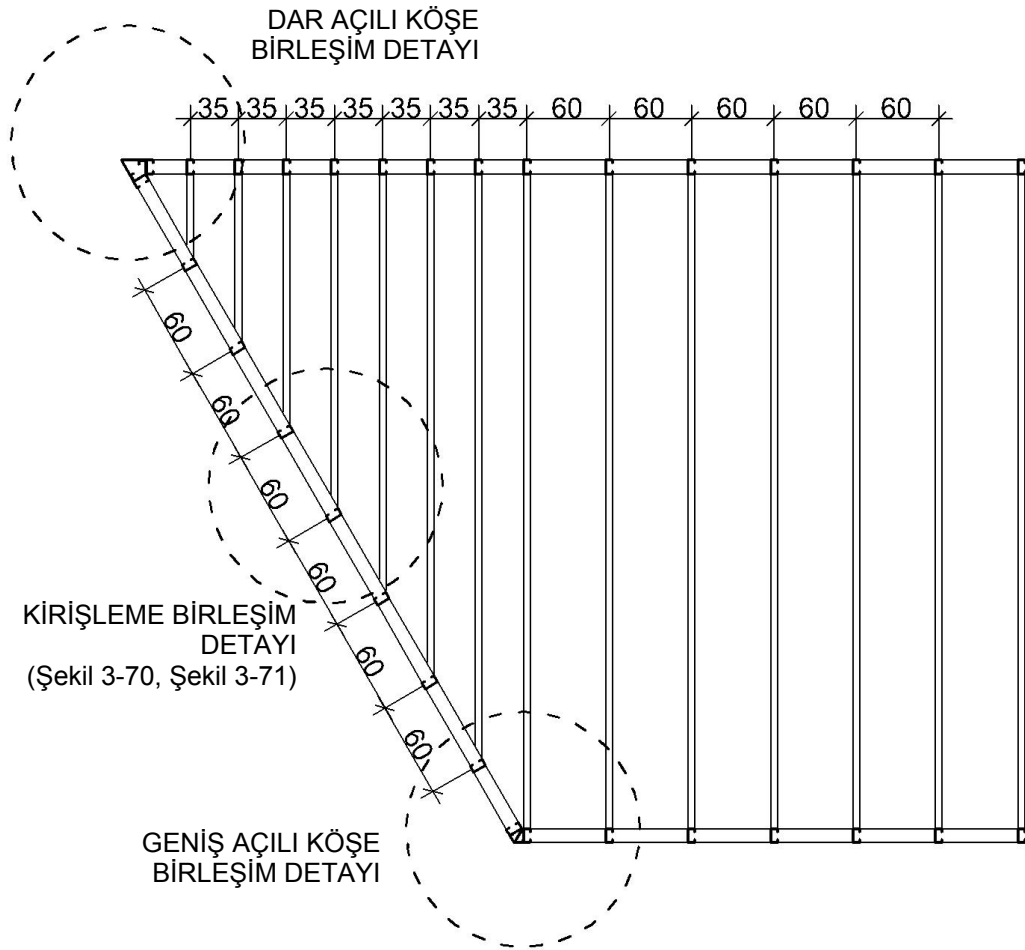
Planda taşıyıcı duvarların açılı ve/veya eğrisel düzenlenmesi, taşıyıcılık, yapı stabilitesi ve bağlantı noktalarında dezavantaj getirmesine rağmen, mimari açıdan gerekli görüldüğü durumlarda uygulanabilir. Ancak bu durum, taşıyıcı sistem statik hesaplarda ve elemanların boyutlandırılmasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanında, eleman ve bileşenlerin açılı veya eğrisel düzenlenmesine ve bunların bağlantı noktalarına ilişkin özel çözümler üretilmesi gereklidir.

(1) Dar veya geniş açılı plan geometrisi:

Hafif çelik sitemlerde, taşıyıcı duvarların birbirleriyle dik açıdan daha geniş veya daha dar açılar yapacak şekilde düzenlenmesi de mümkündür. Bu tür bir düzenlemede, hafif çelik yapım ilkelerine ve standartlarına uyulmalıdır. Temel kural olarak;

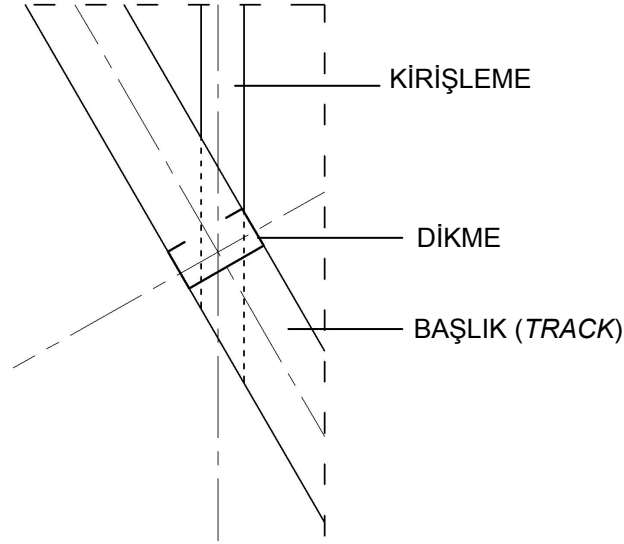
1. Taşıyıcı duvarları oluşturan hafif çelik dikmelerin arası 24 inch'ten (610 mm) daha geniş olamaz. Ayrıca, döşeme kirişlemeleri, duvar dikmelerinin aksında yer almalıdır. [6]

Bu ilkeler göz önüne alındığında, döşeme kirişlemelerinin duvar düzlemine açılı oturduğu kısımlarda daha sık düzenlenmesi gerekir. (Şekil 3-69)



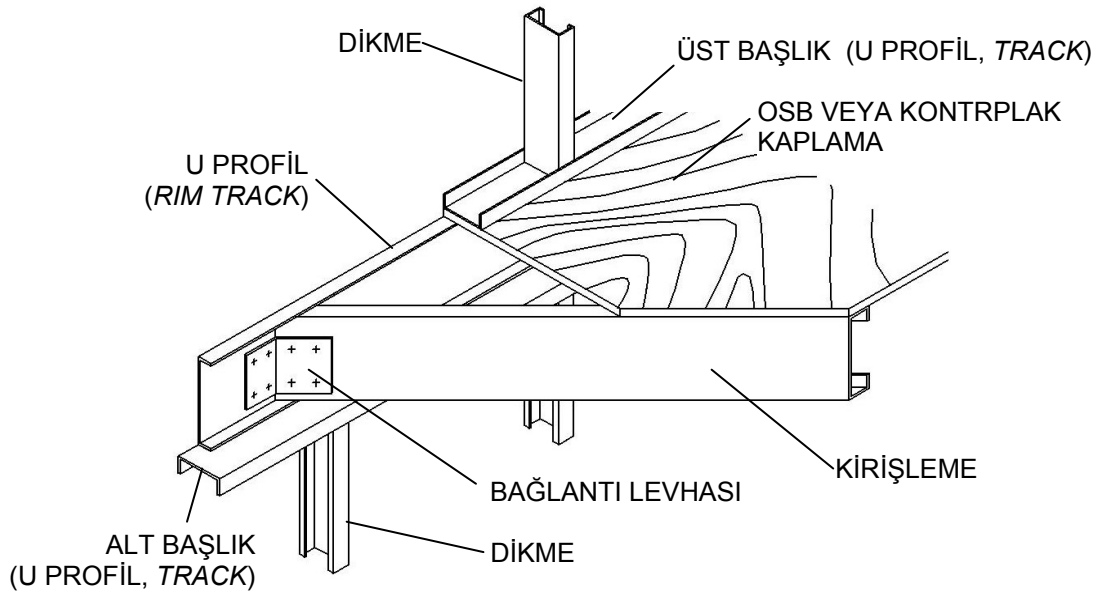
Şekil 3-69 Dar ve/veya geniş açılı plan geometrisinde döşeme ve duvarlar

2. Kirişlemelerin duvar düzlemine dik açılı düzenlenmesinde olduğu gibi, açılı düzenlendikleri durumda da; dikme, başlık (*track*) ve kirişlemelerin, ağırlık merkezlerinden geçen aksların, plan düzleminde çakışması gereklidir (Şekil 3-70). [67]



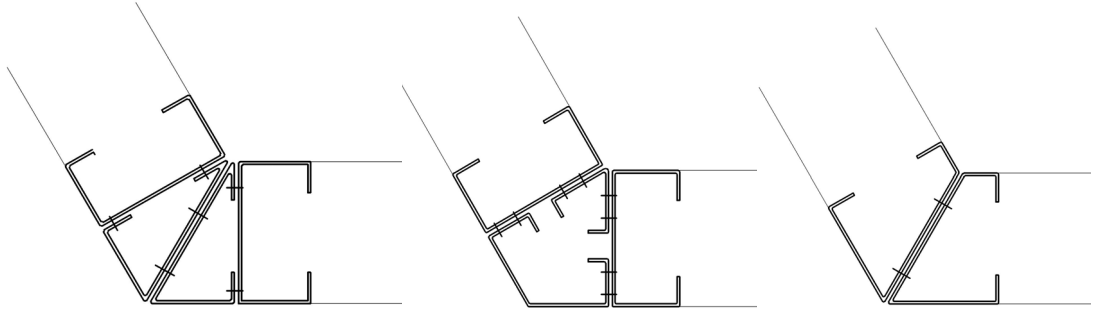
Şekil 3-70 Hafif çelik dikme, kirişleme ve başlık profillerinin, ağırlık merkezlerinden geçen akslara göre konumlandırılmaları.

3. Açılı plan geometrisinde, kirişlemeler dikmeleri birbirine bağlayan, alt ve üst başlıkların (U profil, *track*) arasına oturur ve U profiline (*rim track*), bağlantı levhası ile bağlanır (Şekil 3-71).[67]

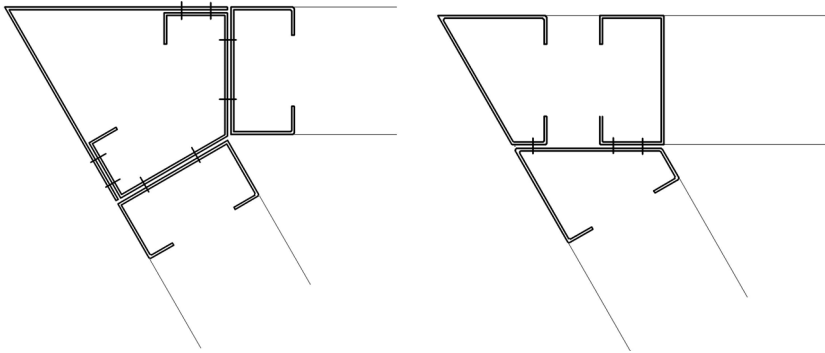


Şekil 3-71 Açılı plan geometrisinde, kirişlemelerin, duvar bağlantısı. [67]

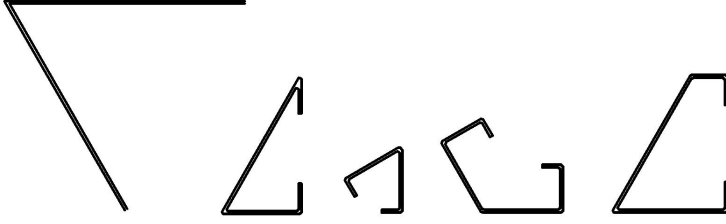
Dik açılı olmayan hafif çelik plan geometrilerinde, özellikle üzerinde durulması gereken bir diğer konu da duvarların köşe birleşimleridir. Hafif çelik yapılarda, duvarların taşıyıcı olması dolayısıyla, yapının stabilitesi, köşe bağlantılarının stabilitesine büyük ölçüde bağlıdır. Bu doğrultuda, köşeler için dik açılı birleşimlerden farklı olarak, birleşim açısına bağlı olarak özel çözümler geliştirilmesi gerekir. Köşelerde duvarların birbirine rijit şekilde bağlanabilmesi için, standart U, C, Σ profillerin dışında, özel üretim profillere ihtiyaç duyulur. Bu özel profiller atölyede bükülerek veya katlanarak kolayca üretilirler.(Şekil 3-74) Ancak bu profillerin burkulma, burulma gibi mekanik özellikleri, deneysel veya hesap yöntemi ile belirlenip yapı statüğünde göz önüne alınmalıdır. AISI'nın hazırladığı "Kuzey Amerika Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Strüktürel Elemanların Tasarım Şartnamesi"nde bu tür elamanlara ilişkin ilkeler ve hesaplamalara yer verilmiştir.[1] Taşıyıcı hafif çelik duvarların açılı birleşimlerinde, farklı çözümler olabilir ve bu çözümler çok sayıda çeşitlendirilebilir (Şekil 3-72, Şekil 3-73).



Şekil 3-72 Geniş açılı köşe birleşimi alternatifleri.



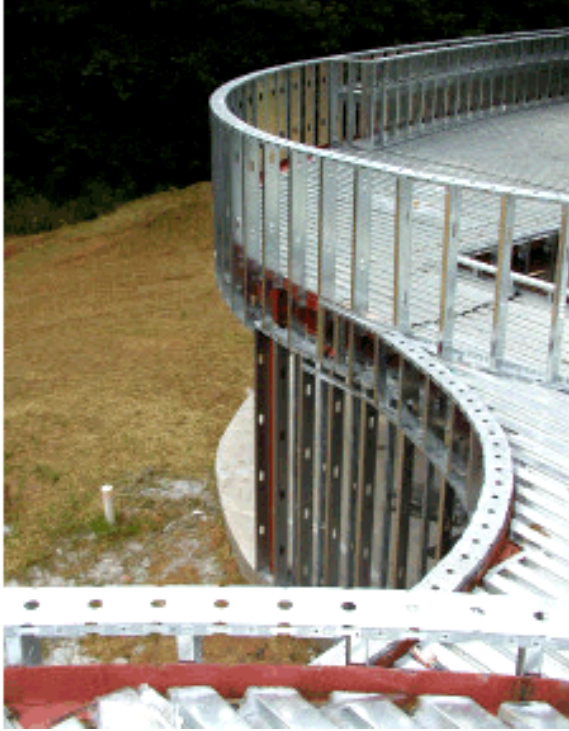
Şekil 3-73 Dar açılı köşe birleşimi alternatifleri.



Şekil 3-74 Dik açılı olmayan plan geometrili hafif çelik yapılarda, duvar bağlantıları için özel olarak üretilen profiller

(2) Eğrisel plan geometrisi:

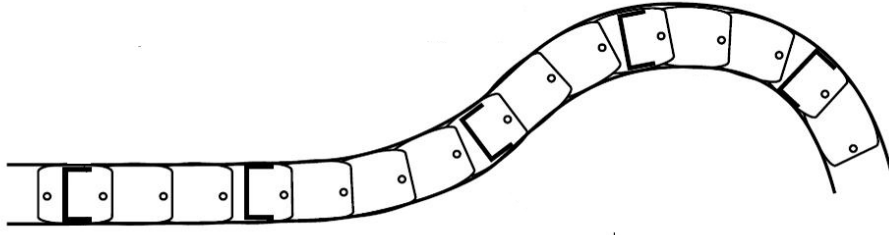
Mimari tercihler doğrultusunda, hafif çelik duvarların eğrisel plan geometrisinde düzenlenmesi mümkündür (Şekil 3-75).[83]



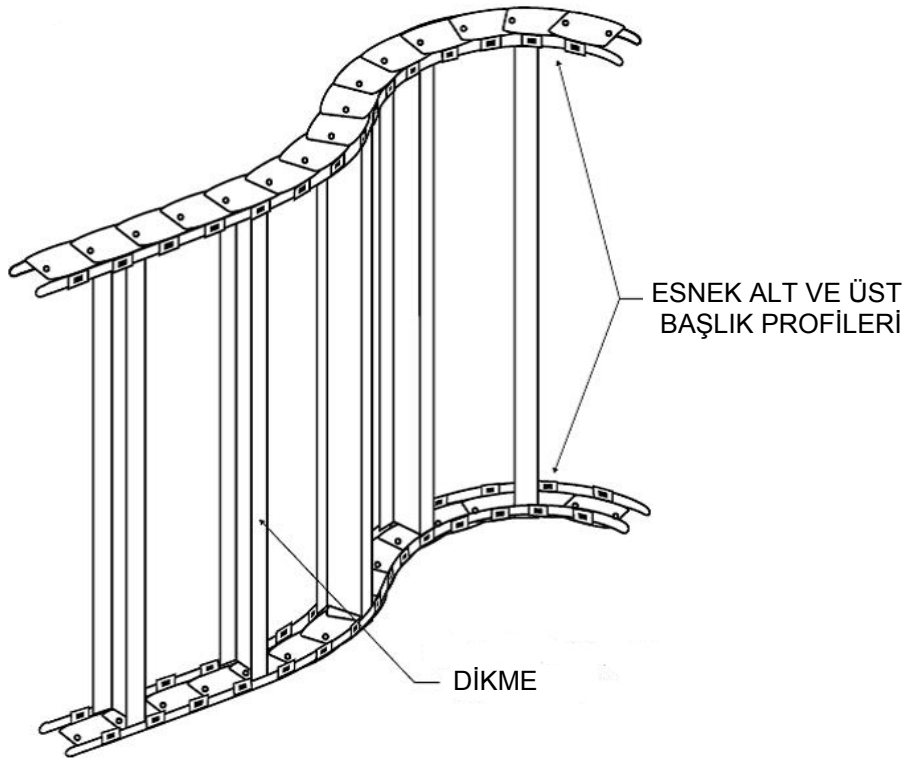
Şekil 3-75 Hafifçelik sistemlerin eğrisel plan geometrisinde düzenlenmesi.

Bunun için duvar dikmelerinin oturduğu ve duvara kontur teşkil eden alt ve üst başlık profillerinin (C profil, *track*), eğrisel geometriye göre şekil alması gerekir. Hafif çelik C profil, bir eğri oluşturacak şekilde biçimlendirilirken, profilin flanş ve gövdesinde lokal burkulmalar ve ek gerilmeler oluşur. Özellikle eğri yarıçapı kısaldıkça lokal burkulmalar ve ek gerilmeler artar. Bu durumdan sakınmak amacıyla, istenilen eğri yarıçapına göre şekillenebilen,

elemanlar geliştirilmiştir. Genellikle bu elemanlar “*Contour track*”, “*Flex-C track*” vb. adlarla anılan; ASTM-A-653 ve ASTM-E-8 şartnamelerine uygun patentli ürünlerdir. [83] Genel olarak, “esnek profil” şeklinde adlandırılabilir. Çok sayıda kısa parçanın mafsallı olarak bir araya getirilmesi ile oluşturulan bu duvar başlıkları, istenilen eğrisel geometriye göre şekil alır. (Şekil 3-76,Şekil 3-77)

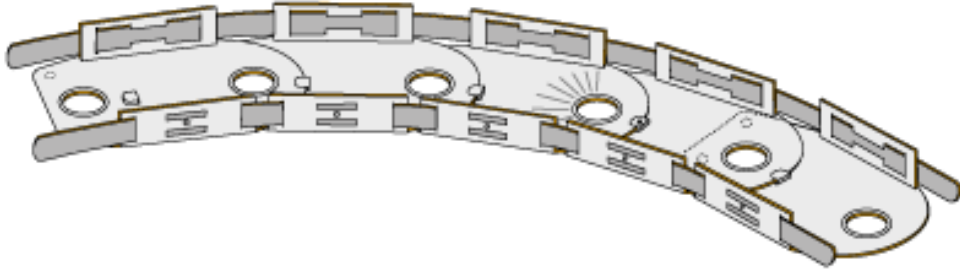


Şekil 3-76 Hafif çelik eğrisel duvar kuruluşu [83],[132]



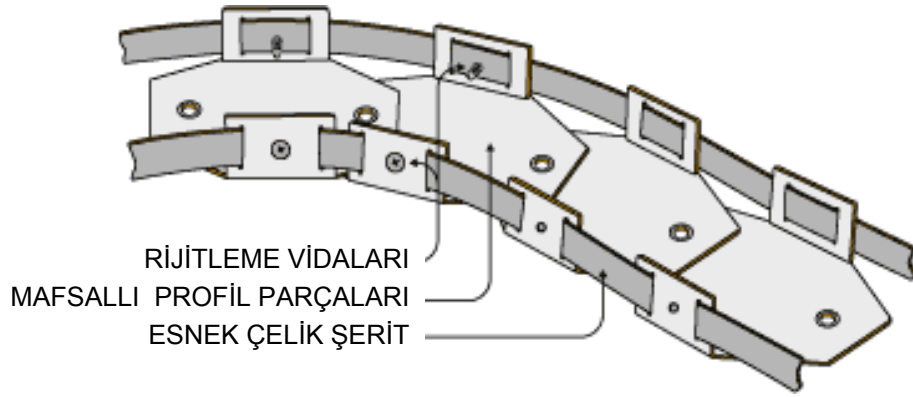
Şekil 3-77 Hafif çelik eğrisel duvar kuruluşu [132]

Eğrisel esnek profili oluşturan parçalar birbirlerine, mafsal noktaları ve flanşların içinden geçen esnek çelik şeritler ile bağlıdır (Şekil 3-78). [83]

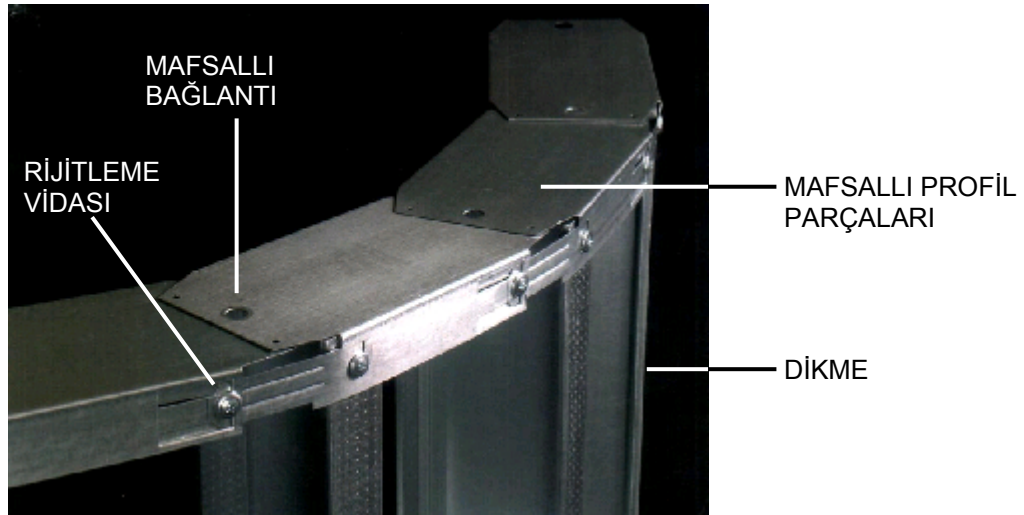


Şekil 3-78 Eğrisel duvarlar için özel başlık elemanı (esnek profil) [83]

İstenilen eğrisel geometride düzenlenen başlıkların rijitliği, flanşların içinden geçen çelik şeritlerin, flanşlara vidalanması ile gerçekleştirilir (Şekil 3-79).[83]



Şekil 3-79 Eğrisel başlık profillerinin rijitlenmesi [132]

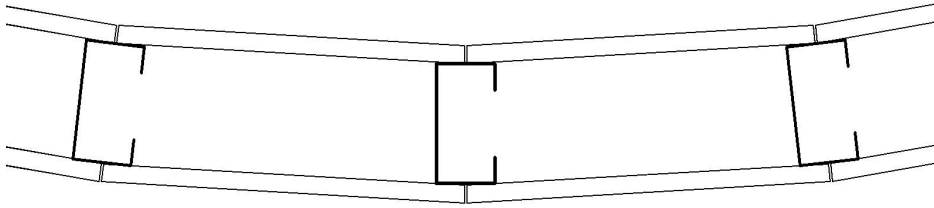


Şekil 3-80 Eğrisel başlık profillerinin rijitlenmesi ve duvar kuruluşu [83],[132]

Başlıklara dikmeler oturtularak eğrisel geometrideki, duvar kuruluşu oluşturulmuş olur (Şekil 3-80). Dikmelerin düzenlenme sıklığı, yapı yüklerine

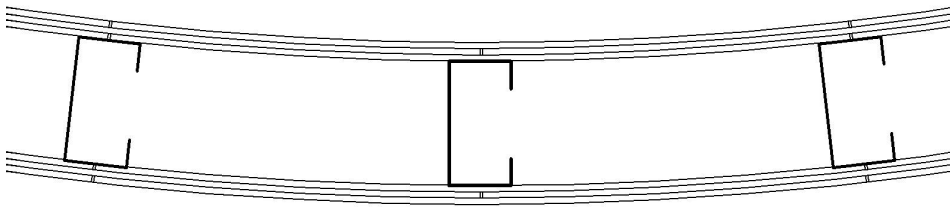
bağlı olarak hesaplanır ve belirlenir. Ancak, duvar rijitliğine büyük katkı sağlayan kaplamaların montajı da göz önünde tutulmalıdır. Hafif çelik sistemlerde kaplama olarak kullanılan OSB veya kontrplak levhalar eğri yarıçapına bağlı olarak esnetilerek monte edilebilirler. Hafif çelik sistemlerde standart olarak kullanılan 12 mm'lik OSB veya kontrplak kaplamaların, bu şekildeki montajında, duvar konstrüksiyonuna ek gerilme ve yük getireceği göz önünde tutulmalıdır.

Hafif çelik duvarın eğri yarıçapının, kaplama elemanlarının esneklik sınırından daha dar olduğu durumda ise, kaplamalar dikme sıklığında ayrı parçalar şeklinde monte edilebilir (Şekil 3-81). Kaplamaların sürekli olması, duvar rijitliliğine önemli katkı sağlar. Buna karşın, kaplamaların parçalı olarak montajı, ise rijitlikten ödün verilmesi anlamına gelir. Ayrıca duvarın görünüşündeki eğrisel geometrisi, kırıklı olarak elde edilmiş olur.



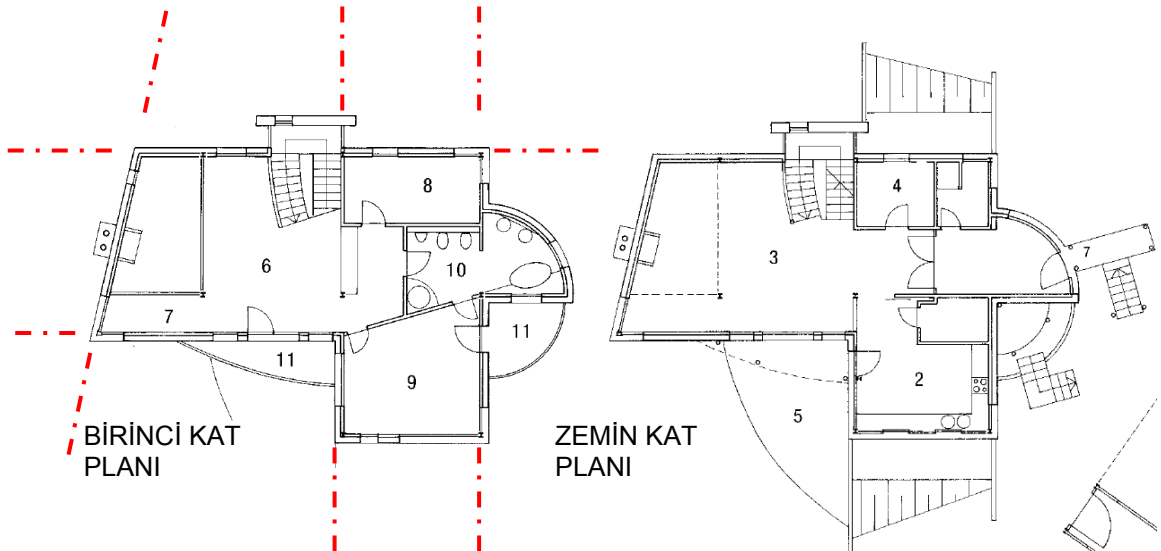
Şekil 3-81 Eğrisel plan geometrisinde kaplamaların dikme aralıklarına bağlı olarak parçalı şekilde düzenlenmesi.

Kaplamaların, hafif çelik konstrüksiyona ek gerilmeler yaratmaması ve sürekli olması, 4-6 mm kalınlığındaki kontrplak levhaların çok katmanlı olarak düzenlenmesi ile sağlanabilir (Şekil 3-82). Eğrisel geometriye göre şekillendirilen ince kaplama levhaları, ek yerleri şaşırtılarak, birbirine yapıştırılır. Bu türdeki bir lamine kaplama oluşturma işlemi, önceden yapılabileceği gibi hafif çelik konstrüksiyon üzerinde de gerçekleştirilebilir.



Şekil 3-82 Eğrisel plan geometrisinde kaplamaların lamine olarak düzenlenmesi

Plan geometrisindeki açılı veya eğrisel geometriler, hafif çelik sistemler için özel çözümler gerektirir. Bu durum hafif çelik sistemlerde, yapı ekonomisini etkiler. Hafif çelik yapı sistemlerinde plan geometrisi, eğrisel veya açılı düzenlemeler içerse de, taşıyıcı duvarlar her iki yönde birbirlerini takip edecek şekilde düzenlenerek, yapının ana taşıyıcı akslarını oluşturmalıdır (Şekil 3-83).



Şekil 3-83 Manderscheid, Almanya'da konut, 1998, Mimari: 3L, Klaus Th. Luig, Veronika Lenze, Menden [111]

3.3.1.2 Planlamada Esneklik ve Değişebilirlik Olanakları

Mimaride değişebilirlik, “bir mekanın veya yapının, bir bölümünün veya bütününün, başka bir biçim veya boyut kazanabilmesi olarak tanımlanabilir. Değişebilirliğin amacı, “kullanıcıya birbirinden farklı kullanım olanağı sağlayabilmektir” [47, s.38]

Mimaride değişebilirlik kavramı üzerine birçok farklı tanım yapılmaktadır. Genel olarak, değişebilirlik kavramı içinde, esneklik, değişkenlik, uyabilirlik, büyüyebilirlik tanımları yer alırken, bazı durumlarda ise bu kavramlar birbirinden ayrı olarak tasarım kriterleri olarak ele alınabilir. Hafif çelik yapı sistemleri için bu tanımlar aşağıdaki gibi iki ana başlık altında ele alınabilir.

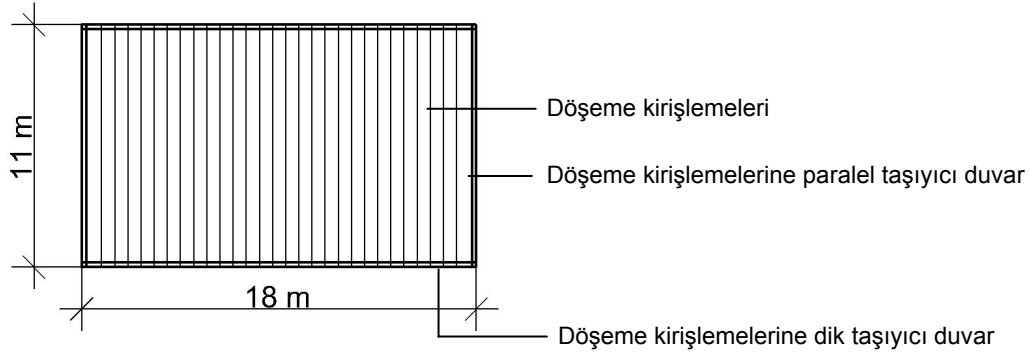
Tablo 3-24 Hafif çelik yapı sistemi için değişebilirliğin sınıflandırılması

TASARIMDA SERBESTLİK (ÖN ESNEKLİK)	BİTMİŞ BİR HAFİF ÇELİK YAPIDA DEĞİŞEBİLİRLİK (SÜREKLİ ESNEKLİK)		
Hafif çelik yapı sisteminde taşıyıcı sistemin ve konstrüksiyonun, farklı program ve ihtiyaçlara göre şekillenebilmesi,	BÖLÜCÜ ELEMANLARIN DEĞİŞEBİLME VE DÜZENLEME ESNEKLİĞİ; Hafif çelik yapı sistemlerinde taşıyıcı olmayan eleman ve bileşenlerin (bölücü duvarlar) değişebilirliği ile yapının farklı ihtiyaç ve mekan boyutlarına uyabilirliği,	TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARIN DEĞİŞEBİLME ESNEKLİĞİ; Hafif çelik yapı sistemlerinde, taşıyıcı eleman ve bileşenlerin, değişebilirliği ile yapının farklı ihtiyaç ve mekan boyutlarına uyabilirliği. Ayrıca taşıyıcı sistem üzerinde yer alan boşlukların kapatılabilmesi yada yeni boşluklar açılabilmesi de bu bölüm içinde ele alınabilir.	BÜYÜYEBİLİRLİK: Hafif çelik yapı sisteminde, yapıya mekan ilavesi,

Tasarımda serbestlik (ön esneklik):

Hafif çelik sistemlerin, tasarım aşamasında farklı plan geometrilerine sınırlı düzeyde olsa da izin verir. Bunun dışında, yapı yüklerine bağlı olarak, herhangi bir hafif çelik taşıyıcı duvarın, planda kendisine dik olarak saplanan

taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetlenmemiş uzunluğu, döşeme kirişlemelerine paralel doğrultuda maksimum 11 m ve döşeme kirişlemelerine dik doğrultuda ise maksimum 18 m olabilir (Şekil 3-84). [79, s.2] [85, s.6]



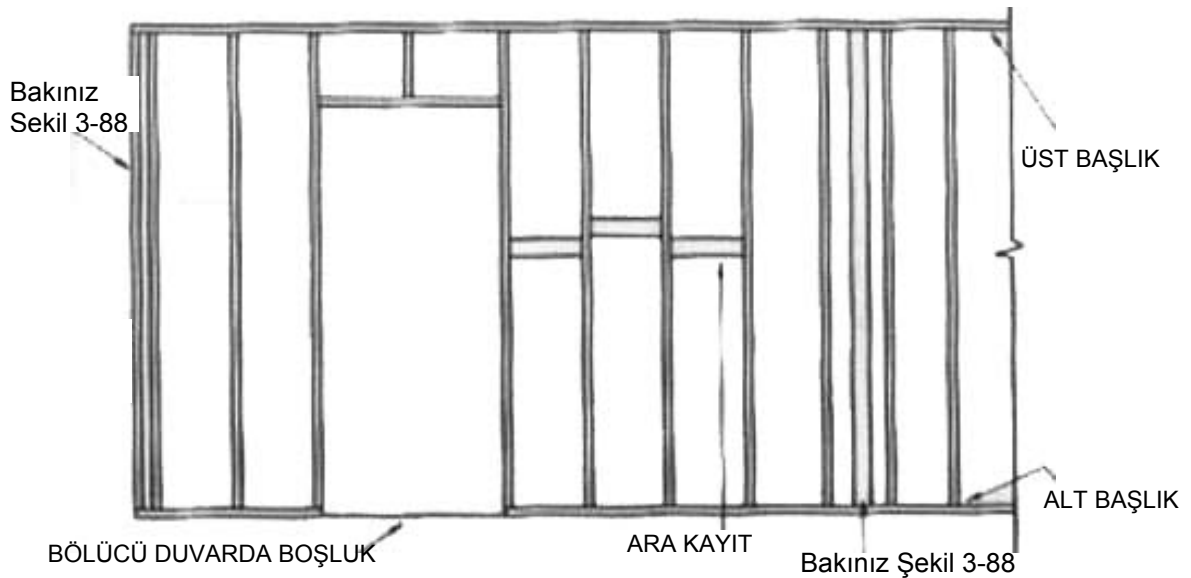
Şekil 3-84 Mesnetlenmemiş maksimum taşıyıcı duvar uzunlukları.

Hafif çelik döşemeler, Amerikan standartlarının belirttiği yapı yüklerine göre maksimum 9.4 m açıklık geçebilirken [79], TS 498 sınırladığı yapı yüklerine göre ise maksimum 6 m açıklık geçebilir. Bu verilerden yola çıkarak TS 498'e uygun yapı yükleri göz önünde bulundurulduğunda, hafif çelik yapı sistemleriyle elde edilebilecek en büyük mekan 6 m eninde ve 18 m boyunda olabilir. Bu boyutlarda ve/veya bu boyutların askatlarından oluşturulan mekanlar, konut, hastane, muayene odası, küçük sınıf ve amfiler, dükkan ve hafif iş yapılan atölyeler, bürolar gibi farklı işlevlere uyarlanabilir. Ancak hafif çelik sistemler, yukarıda belirtilen farklı işlevlere plan boyutunda uyabilirlik esnekliği tanırken, cephe kuruluşu, kat yüksekliği ve kat sayısı gibi faktörlerin bu esnekliği sınırlayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Bölücü Elemanların Değişebilme ve Düzenleme Esnekliği;

Bölücü duvarlar, taşıyıcı ve perde duvarların aksine, yatay ve düşey yükleri karşılama görevi görmez. Bu nedenle, hafif çelik döşeme üzerinde serbestçe düzenlenebilir. Altında, aksında veya dik doğrultusunda bir mutlaka bir taşıyıcı duvar olması şartı yoktur. Soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden kurulmuş bu tip duvarlar, aynı zamanda betonarme veya konvansiyonel çelik yapılar için de bölücü olarak kullanılmaktadır.[12]

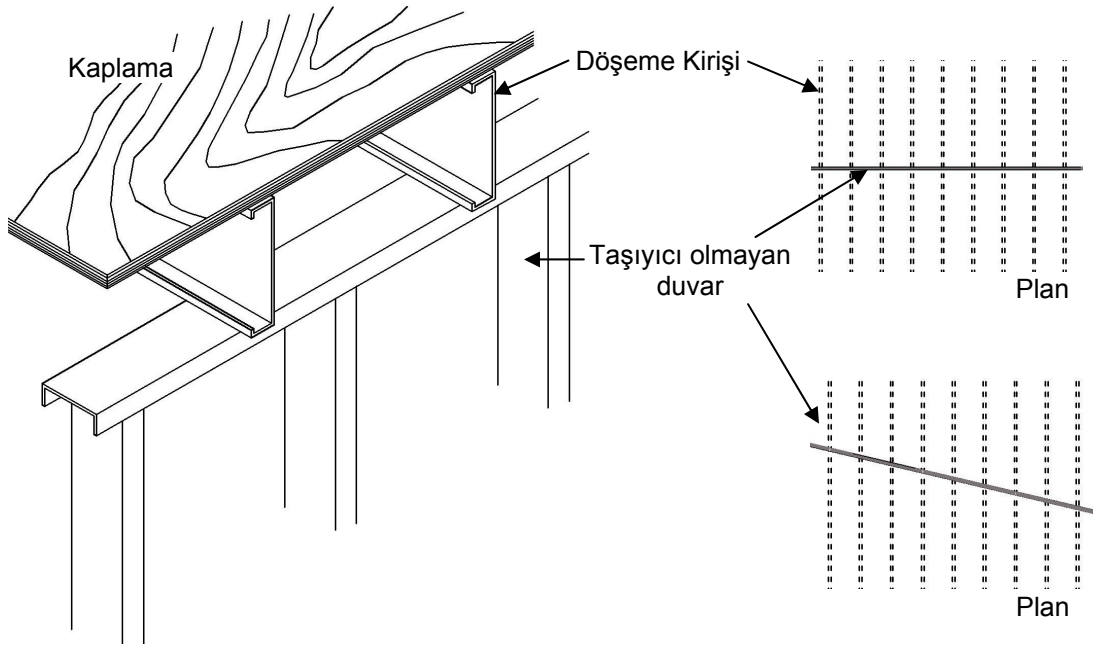
Taşıyıcı olmayan duvarlar, genellikle 3,5 inch'ten (90 mm) daha az genişlikteki profillerden oluşturulur. Cidar kalınlıkları 18 – 27 mil (0.45 – 0.68 mm) arasındaki profiller genellikle 24 inch (610 mm) aralıklarla düzenlenir. [84] Bu duvarlar, taşıyıcı olmayacakları için bölme görevini yerine getirmek üzere kaplama malzemelerini taşıyabilmeleri yeterlidir. Bu yüzden kullanılan profiller daha az genişlikte ve kesitte olabilir. Taşıyıcı duvarlarda veya perde duvarlardaki gibi çapraz rijitleme elemanlarına ihtiyaç duyulmaz. Sadece duvarın kendi başına rijitliğini sağlayabilmesi ve yapıda oluşabilecek ek gerilmelerden dolayı dikmelerin burkulmaması için yatay kuşak veya kayıtlarla desteklenebilir (Şekil 3-85). [67]



Şekil 3-85 Taşıyıcı olmayan duvar kuruluşu. [67]

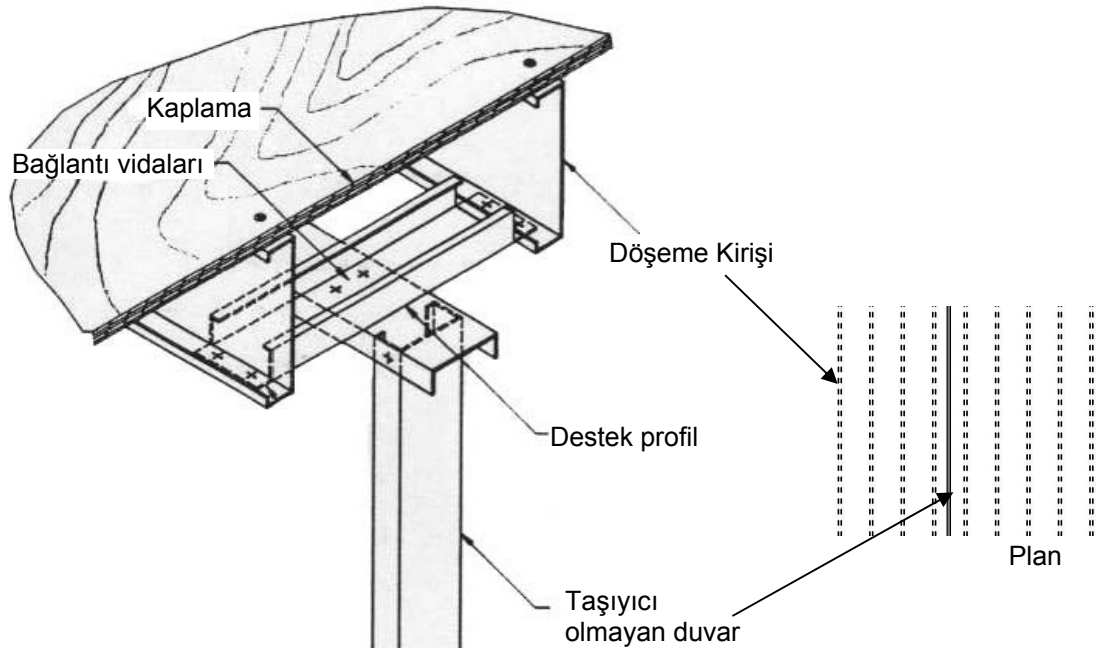
Hafif çelik taşıyıcı olmayan duvarların planda düzenlenmesi, döşeme kirişlemelerinin doğrultusuna göre farklı bağlantı detayları gerektirir.

Bölücü duvarların, döşeme kirişlemelerine dik veya açılı doğrultuda düzenlendiği durumda, duvar üst başlığı kirişlemelere doğrudan vidalanarak monte edilebilir. Tavanın kaplanması, taşıyıcı duvarın döşemeye montajından sonra yapılır. [67]



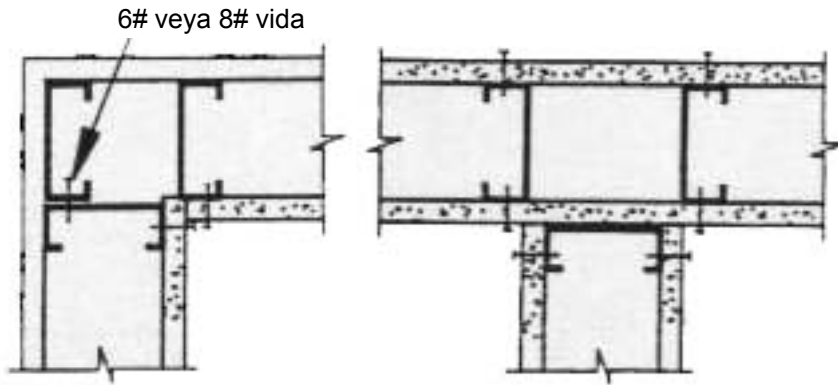
Şekil 3-86 Taşıyıcı olmayan duvarın, döşeme kirişlemelerine dik veya açılı düzenlenmesi

Taşıyıcı olmayan duvarların, döşeme kirişlemelerine paralel şekilde kirişlemeler arasında yer aldığı durumda, ise kirişlemeler arasına destek elemanları koyulmalıdır (Şekil 3-87). [67]



Şekil 3-87 Taşıyıcı olmayan duvarın döşeme kirişlemelerine paralel düzenlenmesi. [67]

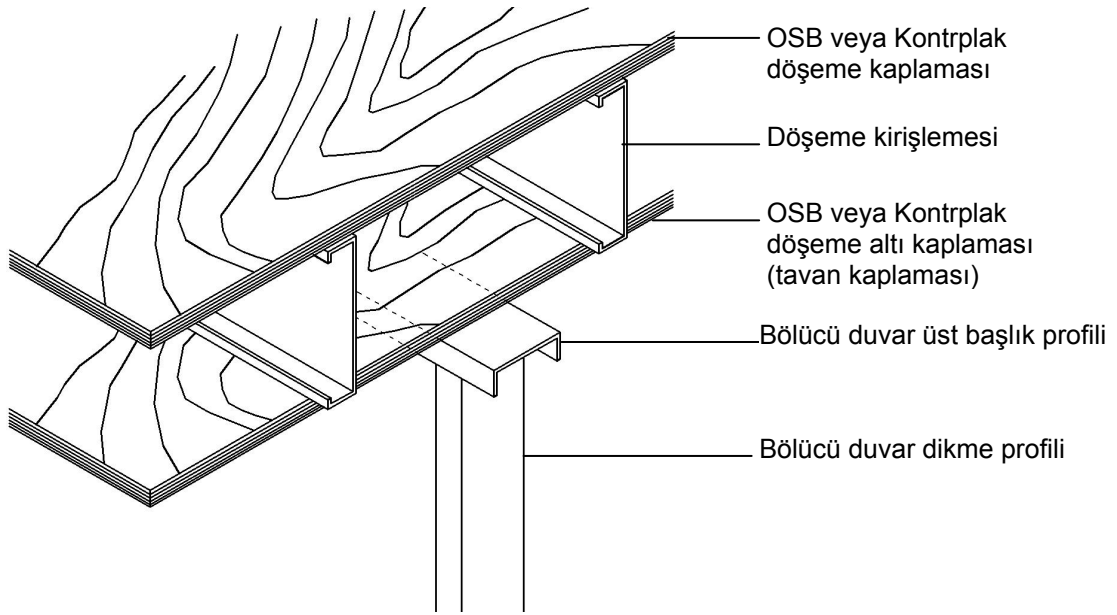
Hafif çelik bölücü duvarlarda dikmeler, kaplama elemanlarının montajına izin verecek biçimde düzenlenir. Taşıyıcı olmayan bu duvarların birbirleriyle birleşim noktalarının rijitliği, duvarın kendi stabilitesini sağlayacak düzeyde olması yeterlidir (Şekil 3-88). [67]



Şekil 3-88 Taşıyıcı olmayan duvarlarda uygulanabilecek köşe ve T kesişim birleşmeleri [67]

Birleşim noktalarında dikmelerin birbirine bağlanma zorunluluğunun olmaması, bu duvarların, planda serbestçe düzenlenmesine olanak tanır. Aynı şekilde birbirinden ve döşemeden bağımsız olarak oluşturulan bu duvarlar, istenildiğinde taşıyıcı sisteme herhangi bir müdahalede bulunulmadan kaldırılabilir. Sökülen bölücü duvar dikme ve kaplamaları bir başka bölücü duvar konstrüksiyonunda kullanılabilir. Hatta, yalnızca bölücü duvarın mesnetlendiği, döşeme ve diğer duvarlardan bir bütün olarak sökülerek duvar kaydırılabilir. Böyle bir değişiklik esnekliğinin kolayca gerçekleştirilebilmesi için, bölücü duvarın, tavan kaplaması yapıldıktan sonra bu kaplamaya monte edilmiş olması gerekir. Böylece, duvarın ilk konumundaki tavan yüzeyine yer değiştirme sonrasında bir müdahalede bulunulmasına gerek duyulmaz (Şekil 3-89).

Bölücü duvarlar, döşeme üzerinde istenilen boyutta ve açıda tekrar düzenlenebilir. Ancak duvarın değiştirilebilmesi için bağlantılarının sökülebilir nitelikte vida veya bulonlar ile gerçekleştirilmiş olması gerekir.



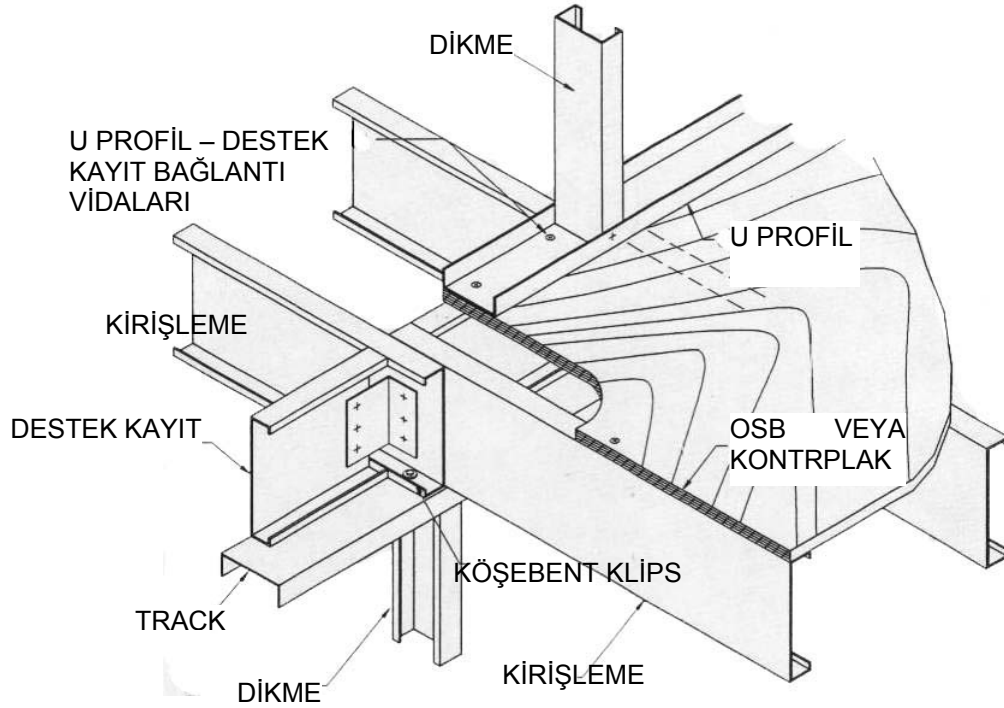
Şekil 3-89 Bölücü duvarların üst başlığının, döşeme altı kaplamasına monte edilmesi [86]

Taşıyıcı Sistem Elemanların Değişebilme Esnekliği;

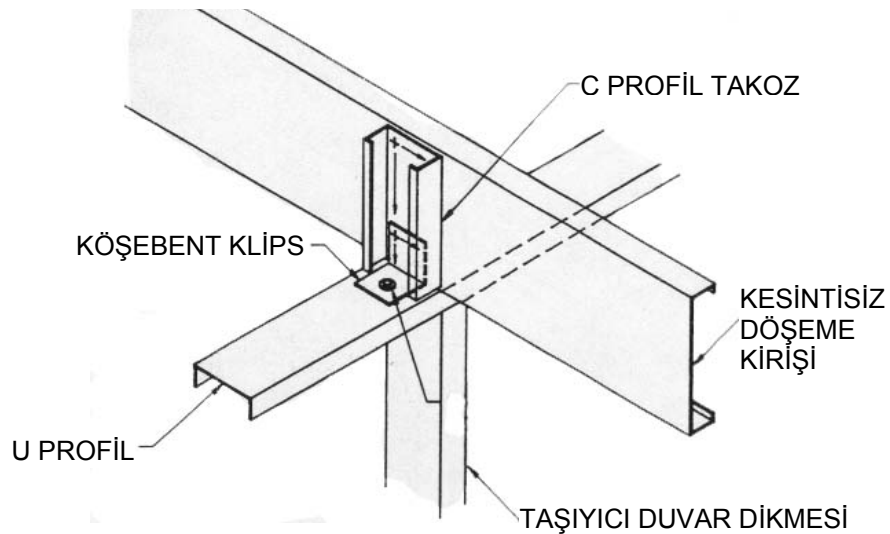
Hafif çelik sistemlerde, taşıyıcı duvarların sonradan değiştirilmesi, bölücü duvarlara kıyasla zordur. Öncelikle taşıyıcı duvarlarda değişiklik yapılabilmesi için yapının askıya alınarak yapı yüklerinin geçici olarak bu askı sistemine taşınması gereklidir.

Bunun dışında, değişiklik yapılacak duvarın üzerindeki döşeme kirişlemeleri ve kirişlemelerin bağlantı noktaları, değişikliğe müsaade edecek konumda olmalıdır. Örneğin Şekil 3-90'de olduğu gibi, döşeme kirişlemeleri, taşıyıcı duvar üzerinde sürekli olmayıp, duvar üzerinde ek yapılmışsa duvarın konumunu değiştirilmesi veya kaldırılması mümkün olamaz. Döşeme kirişlemeleri taşıyıcı duvarın üzerinde sürekli düzenlendiği durumda, (Şekil 3-91) duvarın kaldırılması veya yerinin değiştirilmesi için ise bazı koşullara bağlıdır. Öncelikle döşeme kirişlemeleri, taşıyıcı duvarın kaldırılmasından veya yerinin değiştirilmesinden kaynaklanan yeni açıklıkları karşılayabilecek boyutlarda ve özelliklerde olmalıdır. Taşıyıcı duvarda yapılacak değişikliklerin tüm yapının rijitlik ve stabilitesini etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tüm taşıyıcı kuruluşun, yeni duruma göre tekrar ele alınması gerekir. Yapı stabilitesinin sağlanması için, diğer taşıyıcı duvarlarda da değişiklikler yapılması, ek çaprazlamalar ile yapının desteklenmesi ve/veya değişiklik yapılan taşıyıcı duvarın doğrultusunda yeni taşıyıcı duvarların yapılması gerekebilir.



Şekil 3-90 İç taşıyıcı duvar üzerinde sürekli olmayan döşeme kirişlemesi [67]



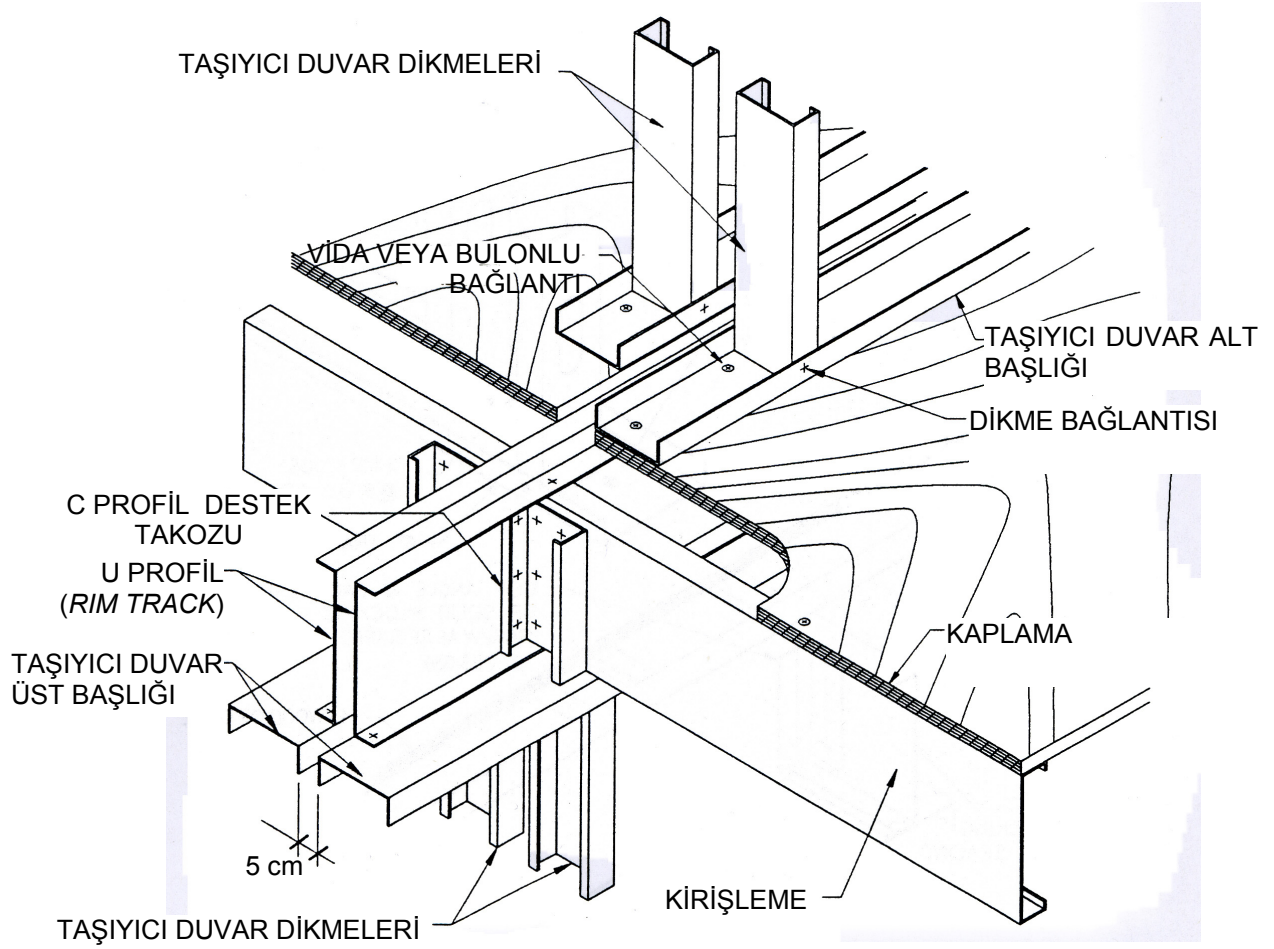
Şekil 3-91 Taşıyıcı duvar dikmesi üzerine oturtulan ve C profil takozla desteklenen kirişlemeler [67], [86]

Taşıyıcı duvarlarda yeni boşluk açılması veya mevcut boşlukların kapatılması mümkündür. Hafif çelik sistemlerde duvarlarda oluşturulan boşlukların boyutları hafif çelik dikmelerin düzenlenme aralığına bağlıdır. Ara dikmeler kaldırılarak, dikmelerin düzenlenme aralığının katları şeklinde boşluklar sonradan açılabilir. Ancak kaldırılan dikmelerin karşıladığı yapı yükleri için, boşluğun rijitliğini sağlayacak bir çerçeve ve lento düzenlenmelidir. Benzer şekilde mevcut boşlukta dikmeler düzenlenerek boşluk kapatılabilir.

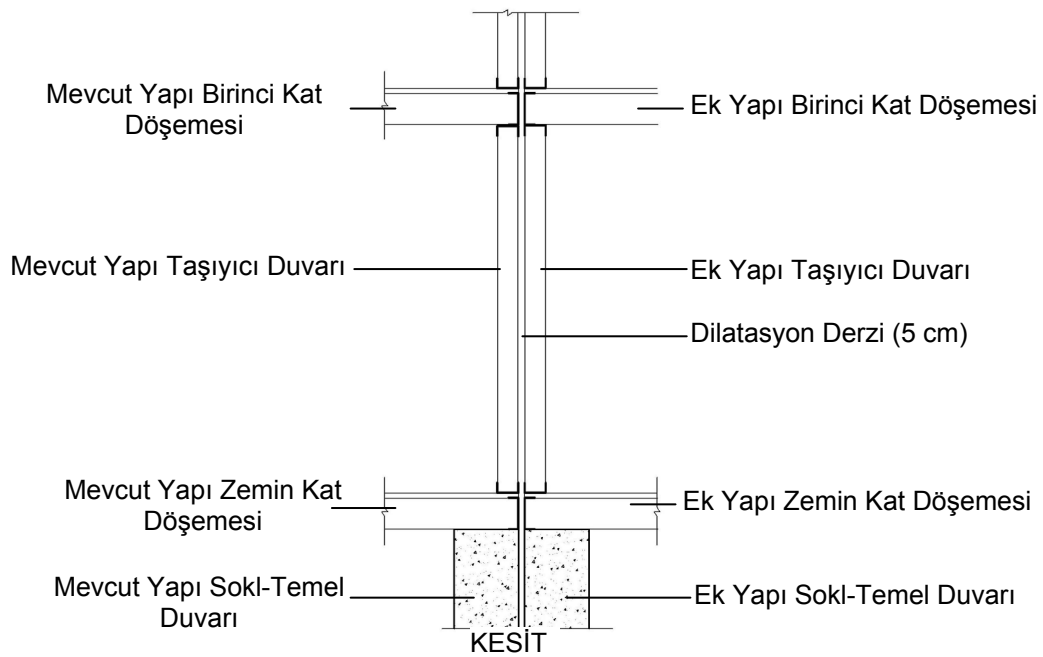
Hafif çelik sistemlerde, taşıyıcı sistem üzerinde yapılacak tüm değişiklikler mimarlık ve mühendislik hizmeti gerektirir. Ayrıca yapılacak değişiklikler, tüm taşıyıcı sistemi etkilediği için, yapının tekrar inşası kadar maliyetli ve güç olabilir.

Büyüyebilirlik:

Hafif çelik sistemlerle yapılmış yapılarda, işlev değişikliği ve/veya işlevlerin yetersizliği nedeniyle, yapıya ek yapılması gerekebilir. Böyle bir durumda yapılacak eklentilerin temel ve hafif çelik taşıyıcı sistemi ayrı bir yapı gibi düzenlenmelidir. Böylece mevcut yapıya, ek yapının yükleri aktarılmamış olur. Ek kısım ile mevcut yapı arasında oluşturulan dilatasyon, ek kısmın mevcut yapıdan ayrı olarak çalışabilmesine imkan tanır. Döşemeler ayrı taşıyıcı duvarlara ve duvar başlıklarına oturtulur (Şekil 3-92, Şekil 3-93). Dilatasyon derzinin genişliği 5 cm (2 inch) olmalıdır. [67] Dilatasyon doğrultusunda, mevcut yapının taşıyıcı duvarının yanında, ek yapının taşıyıcı duvarı yer alır. Her iki duvarda da, yapı yüklerine karşı kayıtlar ve çaprazlamalar düzenlenmelidir.[67]



Şekil 3-92 Hafif çelik sistemlerde ek oluşturulması ve dilatasyon kuruluşu [67]



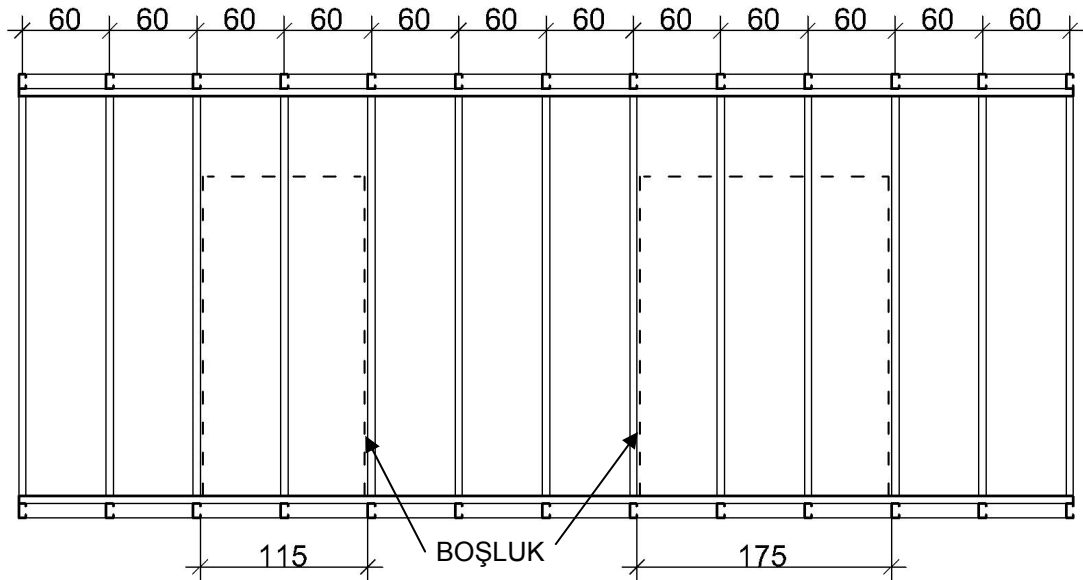
Şekil 3-93 Hafif çelik sistemlerde ek oluşturulması ve dilatasyon kuruluşu

3.3.2 Cephe Kuruluşu Olanakları

Çerçeve sistemlerden oluşan konvansiyonel çelik yapılarda cepheler istenilen boşluk oranında düzenlenebilir. Hafif çelik sistemlerde ise, strüktürel kuruluşun taşıyıcı duvarlardan oluşması, cephede boşluk açılabilme olanaklarını kısıtlar. Cephe kuruluşu olanaklarının incelenmesinde, “taşıyıcı sistemin cepheye yansması ve cephe kuruluşunu belirlemesi”, “cephede boşluk açılması”, “boşluk boyutu”, “boşluk geometrisi”, “cephe kaplama malzemesi ve dokusu” gibi tasarım kriterleri ele alınabilir.

3.3.2.1 Taşıyıcı Sistemin Cepheye Yansması ve Cephe Kuruluşunu Belirlemesi

Hafif çelik sistemlerde cephe, taşıyıcı duvarlardan oluşmalıdır. Bu nedenle cephede kuruluşu, taşıyıcı duvarı oluşturan elemanlara bağlıdır. Hafif çelik yapı cephesinde, boşlukların ve boşluklar arasındaki dolu kısımların boyutları, dikmelerin düzenlenme modülasyonuna bağlıdır. Bu boyutlar, dikme aralıklarının katları şeklindedir (Şekil 3-94).



Şekil 3-94 Hafif çelik sistemlerde, boşluk genişliği ile dikme modülasyonu ilişkisi.

Yapı sistemi içinde yer alan yapı bileşenleri ve elemanlarının, cm, m veya inch, foot, gibi çok sayıda ölçüsel modülün tam yada küsurlu katlar şeklinde

ifade edilmesi ve bunların birbirine uyumu, uygulama problemleri doğurmaktadır. II . Dünya Savaşı sırasında bu durumun yarattığı karışıklığı önlemek, yapıda yer alan farklı büyüklükler arasında sayısal ilişkiler kurabilmek amacıyla yapım sektöründe uluslararası bir temel modülün olması fikri oluşmuştur. Günümüzdeki adıyla Avrupa Birliği'ne bağlı, Avrupa Prodüktivite Ajansı'nın "Proje No: 174" adı verilen standartlaşma çalışmalarının 1956 yılındaki sonuç raporunda "Modüler koordinasyon" adıyla nitelenen yöntem ortaya konmuştur. [21] Yapının tasarlanmasında, mekan veya yapı elemanlarının yatay ve düşey boyutları ile bileşenlerin koordinasyon boyutları belli bir ölçüsel modülün tam katlarından seçilir. Bu "standart temel modül" adıyla nitelenen ve M sembolü ile gösterilen 10 cm'lik veya 4 inch'lik ölçü büyüklüğüdür. (Yaklaşık olarak 4 inch=10 cm'dir.) Ancak duvar, döşeme gibi elemanların boyutlarının belirlenmesinde M/2 veya M/5 gibi alt modüller de kullanılabilir. Büyük yapı elemanları için M modülünün üç katı olan 3M üst modülü ve bu üst modülün katları kullanılır.⁴⁵ Buradaki amaç yapı bileşenlerindeki M modülü kullanılarak azaltılmış olan boyutsal çeşitliliğin 3M üst modülü ile daha da sınırlandırılarak azaltılmasıdır. Elde edilen 3M temel modülünün $n \cdot 3M$ şeklindeki tekrarı ile 3M, 6M, 12M, 15M, 30M... gibi çoklu modüller elde edilir. [21]

Hafif çelik yapılar, Amerika, Kanada, İngiltere, Japonya, Almanya, gibi ülkelerde yaygınlıkla uygulanmaktadır. Türkiye'de de son yıllarda uygulanmaya başlanan hafif çelik yapıların, tasarım, hesap, uygulama ve bunlara ilişkin şartnamelerde, uluslararası bir boyutsal koordinasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda hafif çelik sistemlerde, eleman boyutları ve elemanların düzenlenme mesafeleri, modüler koordinasyona uyarlanabilir. Hafif çelik sistemlerde, taşıyıcı elemanların, düzenlenme mesafeleri, 3M modülünün temel alındığı modüler koordinasyon ilkelerine uyum gösterir. Böylece, hafif çelik uygulamalarında Kuzey Amerika ve İngiltere'de kullanılan uzunluk ölçü birimleri ile Türkiye'nin de dahil olduğu uluslararası metrik ölçü

⁴⁵ 3M = 12inch = 1 foot = 30cm

birimleri (SI) arasında, bir ortak nokta oluşturulur. [21] Taşıyıcı elemanlar yaklaşık 30 cm (12 inch=1foot) veya 60 cm (24 inch) arayla düzenlenir. Avrupa'da, Amerika'da ve Türkiye'de üretilen kaplama elemanları ise, standart olarak 120x240 cm, 120x360 cm, 125 x250 cm, 170x220 cm, 180x220 cm boyutlarındadır.

Hafif çelik taşıyıcı sistem elemanları ile OSB, kontrplak, alçı levhalar veya kompozit cephe kaplamaları gibi elemanların boyutları arasında bir modüler koordinasyon ilişkisi kurulabilir. Bu koordinasyon, kaplama elemanlarına bağlı olarak hafif çelik sistemlerin cephe kuruluşunu etkiler. Kaplama elemanlarının standart boyutları ile hafif çelik sistemlerin taşıyıcı sistemi modüler koordinasyon çerçevesinde birbirine uyum gösterir (Tablo 3-25). Özellikle hafif çelik yapıların, pano yapım sistemiyle inşasında ön plana çıkar (Tablo 3-26).

Tablo 3-25 Kaplama boyutu-taşıyıcı elemanlar arasında modüler koordinasyon

KAPLAMA BOYUTU	TAŞIYICI ARALIĞI	
120X240cm 120X360cm	30 cm	
120X240cm 120X360cm	60 cm	

Tablo 3-26 Hafif çelik pano yapım sisteminde kaplama boyutu (pano boyutu)-taşıyıcı elemanlar arasında modüler koordinasyon

KAPLAMA BOYUTU	TAŞIYICI ARALIĞI	
125X250cm	30 cm	<p>3M 30cm 5cm=M/2 125cm 12M+ (M/2)</p>

Türkiye’de de yaygın olarak üretilen ve kullanılan 170x220 cm boyutlarındaki kontrplak ve OSB kaplamaların, hafif çelik sistemlere modüler olarak uygulanması güçtür. Buna karşın 180X220 cm boyutlarında üretilen elemanlar, 170X220 cm boyutunun bir alternatifi olarak kullanılabilir.

Tablo 3-27 180x220 cm boyutlarındaki kontrplak, OSB ve alçı levhalar ile hafif çelik elemanlar arasındaki modüler koordinasyon ilişkisi

KAPLAMA BOYUTU	TAŞIYICI ARALIĞI	
120X240cm 120X360cm	30 cm	<p>3M 30cm 180cm 6 x 3M=18M</p>
120X240cm 120X360cm	60 cm	<p>2 x 3M=6M 60cm 180cm 6 x 3M=18M</p>

Hafif çelik sistemlerde, cepheyi oluşturan duvarlar aynı zamanda taşıyıcılık görevi üstlenir. Taşıyıcı duvarı dolayısıyla da cepheyi oluşturan profiller, kaplama elemanları ile birlikte yapı yüklerini karşılar ve yapı rijitliğini sağlar. Yapı cephesini oluşturan profiller, hafif çelik yapım ilkeleri doğrultusunda, genellikle açıkta yer almazlar. Hafif çelik cephelerde, profillerin kaplama elemanlarının gerisinde yer alması, taşıyıcı sistemin cephede doğrudan algılanmasını engeller. Bu nedenle, hafif çelik profillerin oluşturduğu iskelet görülmediği için cephe taşıyıcı yüzeyler olarak algılanır. Ayrıca yığma yapılarda olduğu gibi boşlukların taşıyıcılığı zayıflatması, cephe kuruluşunun, küçük boşluklar ve büyük taşıyıcı yüzeylerden oluşturulmasına neden olur (Şekil 3-95).



Şekil 3-95 Hafif çelik yapıda cephe kuruluşu, Aydos-Pendik'te konut. [143]

Hafif çelik iskelet elemanları doğrudan cephede algılanmasa da, taşıyıcı sistemin modüler yapısı, cephede dolu boş oranına ve bu oranların düzenlenmesine yansır. Taşıyıcı sistemin getirdiği modülerlik, cephede doluluk ve boşluk oranları arasında aritmetik bir ilişki kurulmasını sağlar (Şekil 3-96, Şekil 3-97).



Şekil 3-96 Hafif çelik konut, (Rudolstadt, Almanya, 1999) [112]



Şekil 3-97 Hafif çelik konut, Almanya, [104]

Yatay yüklere karşı, yapılan çaprazlamalar, cephe kuruluşunda önemli bir etkidir. Çaprazlamalar ile rijitlenmiş hafif çelik taşıyıcı duvar bölümlerinde boşluk açılması genellikle mümkün olmaz. Bu nedenle çaprazlamaların düzenlenmesinde, yapı rijitliği ile birlikte, cephe düzenlemesi birlikte ele alınmalıdır.

Hafif çelik iskeletin cephede doğrudan algılandığı örneklerde vardır (Şekil 3-98). Tasarımını “Architektbüro Ilg & Partner” mimarlık bürosunun gerçekleştirdiği konut birimi buna örnek olarak gösterilebilir. Cephe, taşıyıcı duvar yüzeyleri yerine, moment dayanımlı rijit hafif çelik çevreler ile kurulmuştur. Kaplama levhaları veya çaprazlamalar olmadığı için rijitlik çerçeveler tarafından sağlanır. Hafif çelik çerçevelerin yapı yüklerine karşı dayanım gösterebilmesi için, dikmeler kutu profil (hafif çelik profillerden oluşturulmuş bileşik profil) şeklindedir. Elemanların birleşimi kaynak ile gerçekleştirilmiştir. [105]



Şekil 3-98 Hafif çelik sistemlerde cephe ve boşluk oranlarının strüktürel kuruluş ile ilişkisi (Mimari: Architektbüro Ilg & Partner, 2000, Münih) [105]

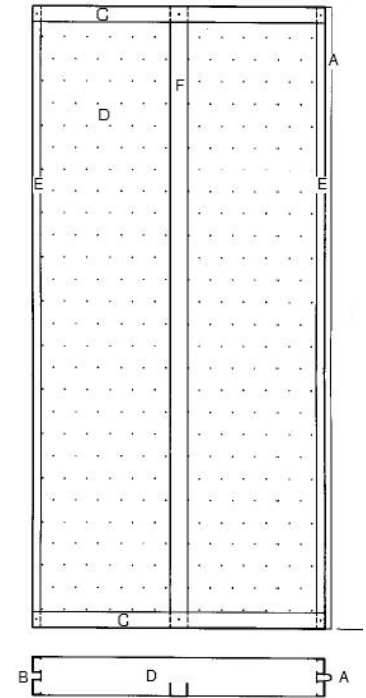
Belçika'daki hafif çelik yapı örneğinde ise, yapı cephesi çift cidarlı olarak tasarlanmıştır (Şekil 3-99). Dışta hafif çelik [[bileşik profillerden oluşturulmuş şeffaf cephede, taşıyıcı çerçeveler doğrudan algılanabilmektedir. Yapının uzun doğrultusundaki hafif çelik kenar çerçeveler, yatay yüklere karşı, çaprazlamalar ile rijitlenmiştir. [44] Cam ve hafif çelikten oluşan tamamen şeffaf olan dış cidar, büyük oranda sağır olan iç cidara koruyucu bir kabuk teşkil etmektedir. Bu şekildeki bir cephe kurgusu aynı zamanda yapının doğal yollardan iklimlendirilmesini sağlamaktadır. İç cidarda algılanmayan taşıyıcı sistem, bir anlamda dış kabukta ifade edilmiştir. [103]



Şekil 3-99 Çift cidarlı bir hafif çelik cephe, (Sadef, Belçika) [44],[103]

Ontario, Kanada'da hafif çelik pano yapım sistemiyle inşa edilmiş, toplu konut biriminde, taşıyıcı sistem elemanları açıkta bırakılarak cephe kuruluşu oluşturulmuştur. 120 x 265 cm boyutlarındaki birbirine geçmeli panolar, 60 cm'lik modülasyon ile oluşturulmuştur (Şekil 3-100). Cephe boşlukları, bu modülasyona göre düzenlenmiştir. Cephe farklı tiplerdeki panolardan oluşturulmuştur, bunlar dolu pano, çaprazlı dolu pano, pencere boşluğu açılmış pano (iki farklı parapet yüksekliğinde) ve kapı boşluğu açılmış

panolar şeklindedir. Pencere boşluğu açılmış olan panolarda, panonun ortasında yer alan dikme profili kesintiye uğratılmamıştır. Bu dikme taşıyıcılık görevi ile birlikte pencerenin orta kasa dikmesi olarak da görev yapmaktadır. Bu şekilde taşıyıcı elemanlar ve bu elemanlara bağlı olarak da boşluklar cepheye yansımaktadır. [39]



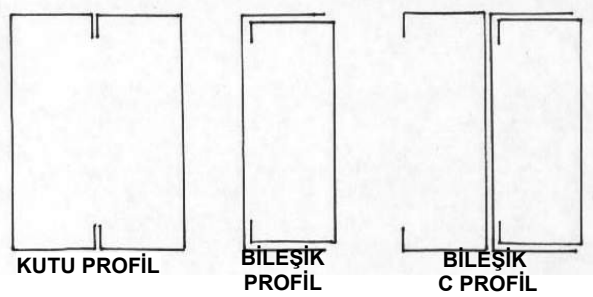
- A- Pano geçme elemanı ve PVC ısı köprüsü engelleyici eleman
- B- Pano geçme elemanı ve PVC ısı köprüsü engelleyici eleman
- C- Pano üst ve alt başlık profilleri
- D-150 mm rijit köpük dolgu
- E- Pano çerçeve profilleri (2 adet C profil)
- F- pano orta dikmesi (C profil)

Şekil 3-100 Hafif çelik pano yapım sistemiyle inşa edilmiş konut, ve pano konstrüksiyonu, Ontario, Kanada [39]

3.3.2.2 Taşıyıcı Duvarda (Cephede) Boşluk Oluşturulması

Taşıyıcı duvarlarda en önemli problemlerden biri; kapı ve pencere boşlukları nedeniyle ile bu kısımlarda taşıyıcı elemanın bulunmaması ve taşıyıcı çerçevenin zayıflamasıdır. Bu sorun, boşluk içine, duvarın taşıdığı yüklerle karşı dayanabilecek hafif çelik profilden yapılmış kapı veya pencere kasası ve üzerinde yükleri dağıtacak bir lento ile çözülür. Böylece boşluk içinde, kasadan ve lentodan meydana gelen rijit bir çerçeve oluşur. Lento, I profil veya kutu profilden oluşturulur. 4 foot'den (48 inch, 120 cm) fazla boşluk

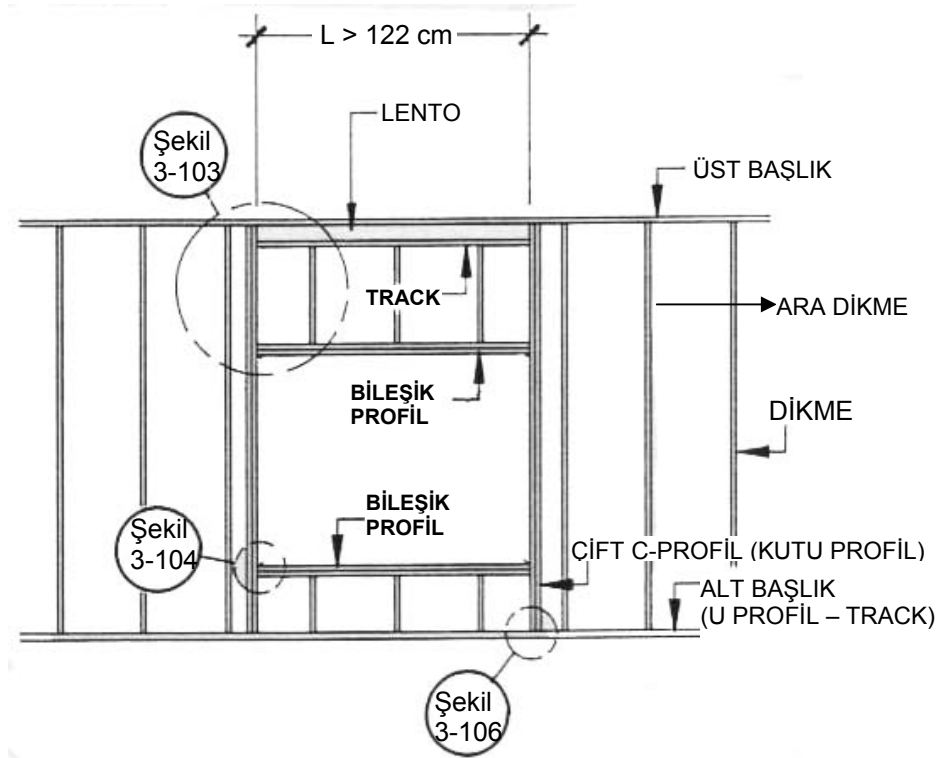
gerektiğinde; pencere kasasının üst ve alt başlığı ve kapı kasasının tamamı mutlaka iç içe geçmiş çift profil elemandan (*Multiple members*) oluşur (Şekil 3-101). [67]



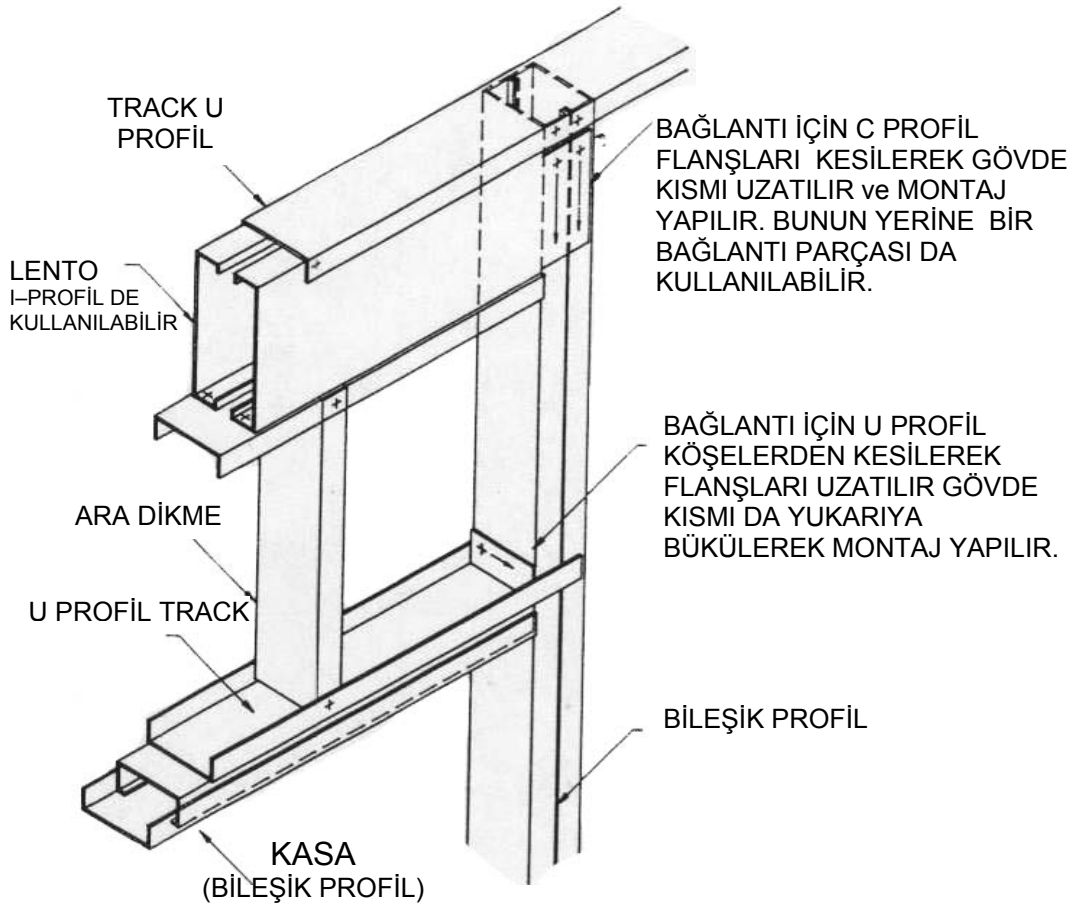
Şekil 3-101 Hafif çelik elemanların oluşturduğu bileşik profiller [67]

Pencere ve kapılarda lento ile kasa, pencerelerde ise kasa ile alt başlık (*track*) ara dikmeler ile bağlanır.

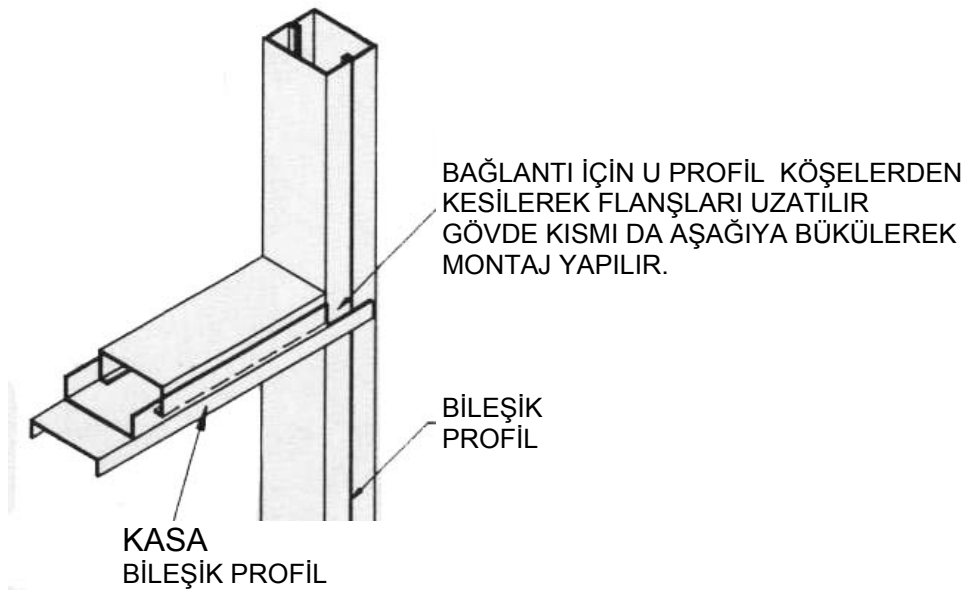
- Taşıyıcı Duvarda 120 cm'den (4 foot) Büyük Pencere Boşluğu Açılması



Şekil 3-102 Taşıyıcı duvarda 120 cm'den geniş pencere boşluğu açılması [67]



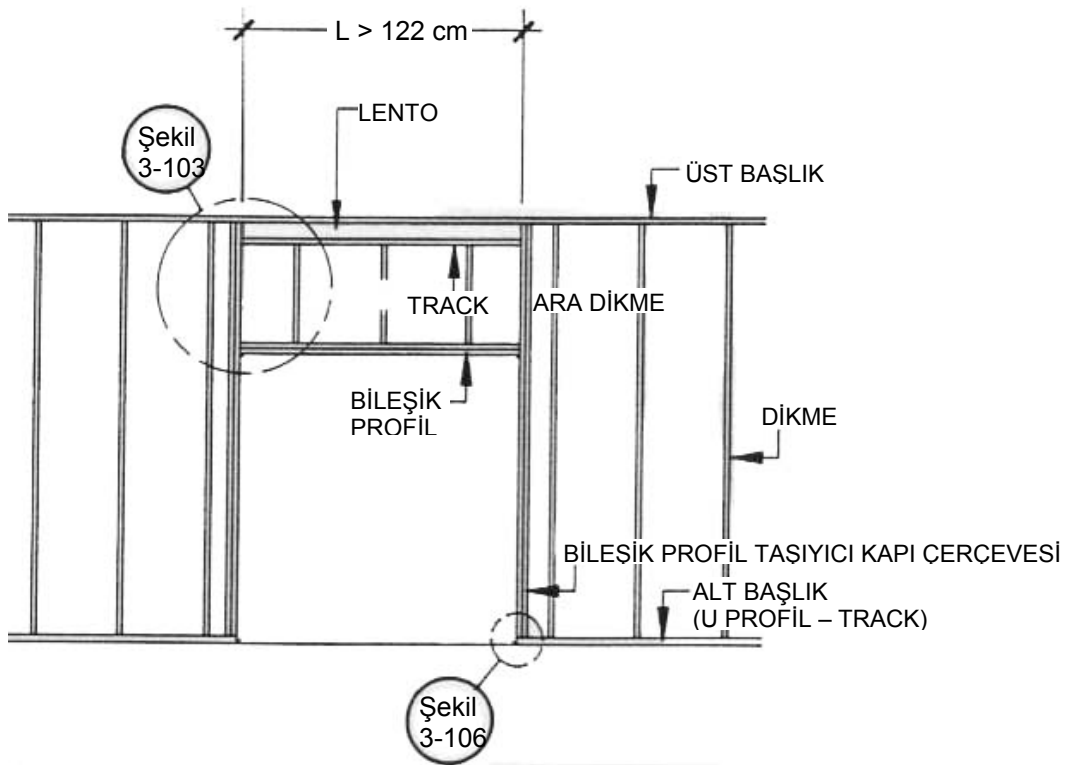
Şekil 3-103 Taşıyıcı duvarda pencere ve kapı boşluğunda lento kuruluşu [67]



Şekil 3-104 Taşıyıcı duvarda pencere boşluğu açılması köşe detayı (Bileşik profil ile) [67]

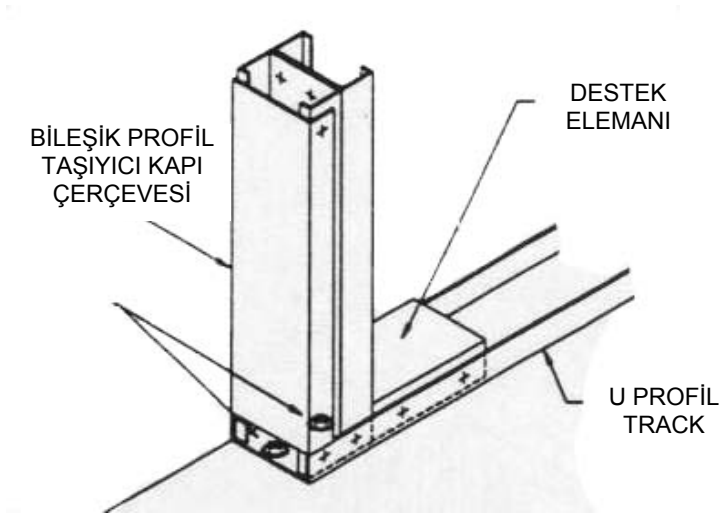
- Taşıyıcı Duvarda 120 cm.den Büyük Kapı Boşluğu Açılması:

120 cm'den büyük kapı boşluğu açılmasında, lento ve kasanın üst başlık detayları aynı boyutlardaki pencere detayı ile aynı şekilde çözülür.(Şekil 3-103) Ancak, pencere boşluğunda, çerçeveyi oluşturan yan dikmeler C profilden olabilirken, taşıyıcı kapı çerçevesi oluşturulmasında, mutlaka bileşik profil kullanılmalıdır (Şekil 3-106). [67]



Şekil 3-105 Taşıyıcı duvarda 120 cm'den büyük kapı boşluğu [67]

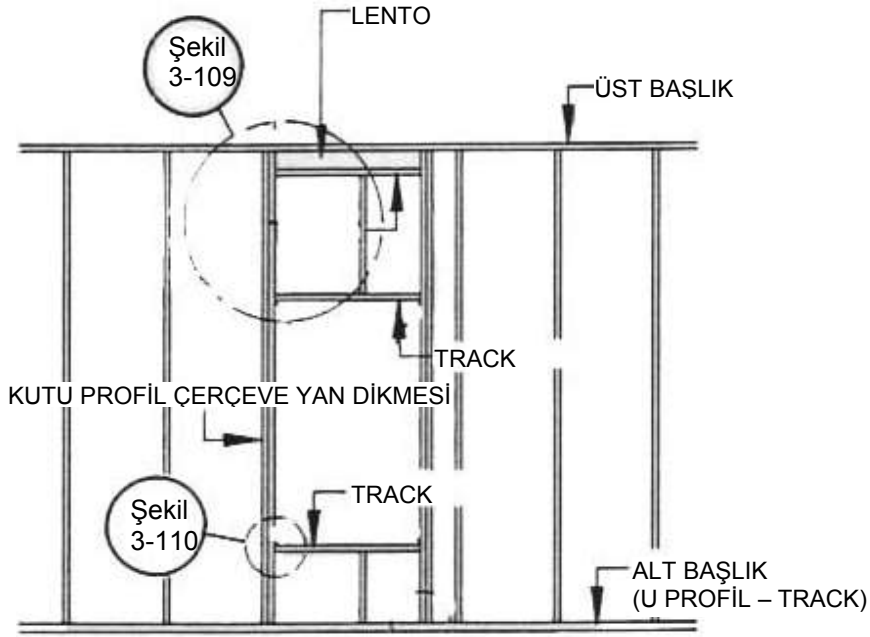
Ayrıca, dikmelerin oturduğu track profil, taşıyıcı duvar inşaatı sırasında bütün olarak tutulmalıdır. Taşıyıcı duvar tamamen rijitlendikten sonra kapı eşiğine gelen kısmı kesilebilir. Track profilin kapı eşiğinde devamlılığı kesildiği için kapı çerçevesinin track profiline oturduğu yerler desteklenmeli ve yine bu noktalardan döşemeye iki adet bulon veya ankrajla sabitlenmelidir (Şekil 3-106). [67]



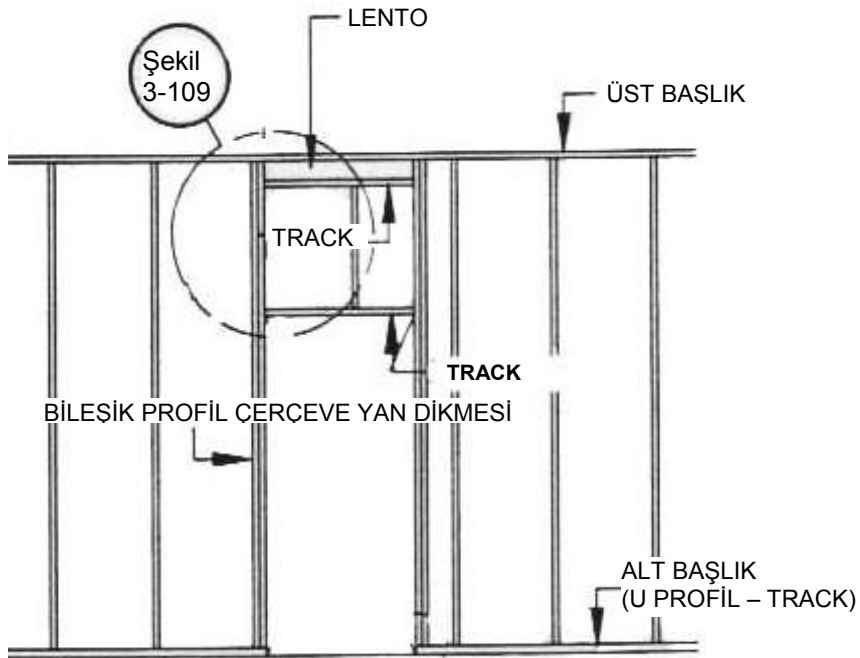
Şekil 3-106 Taşıyıcı duvarda kapı boşluğu açıldığında kapı çerçevesinin alt başlık (track profil) ile birleşim detayı [67]

- Taşıyıcı Duvarda 120 cm'den Küçük Pencere ve Kapı Boşluğu Açılması

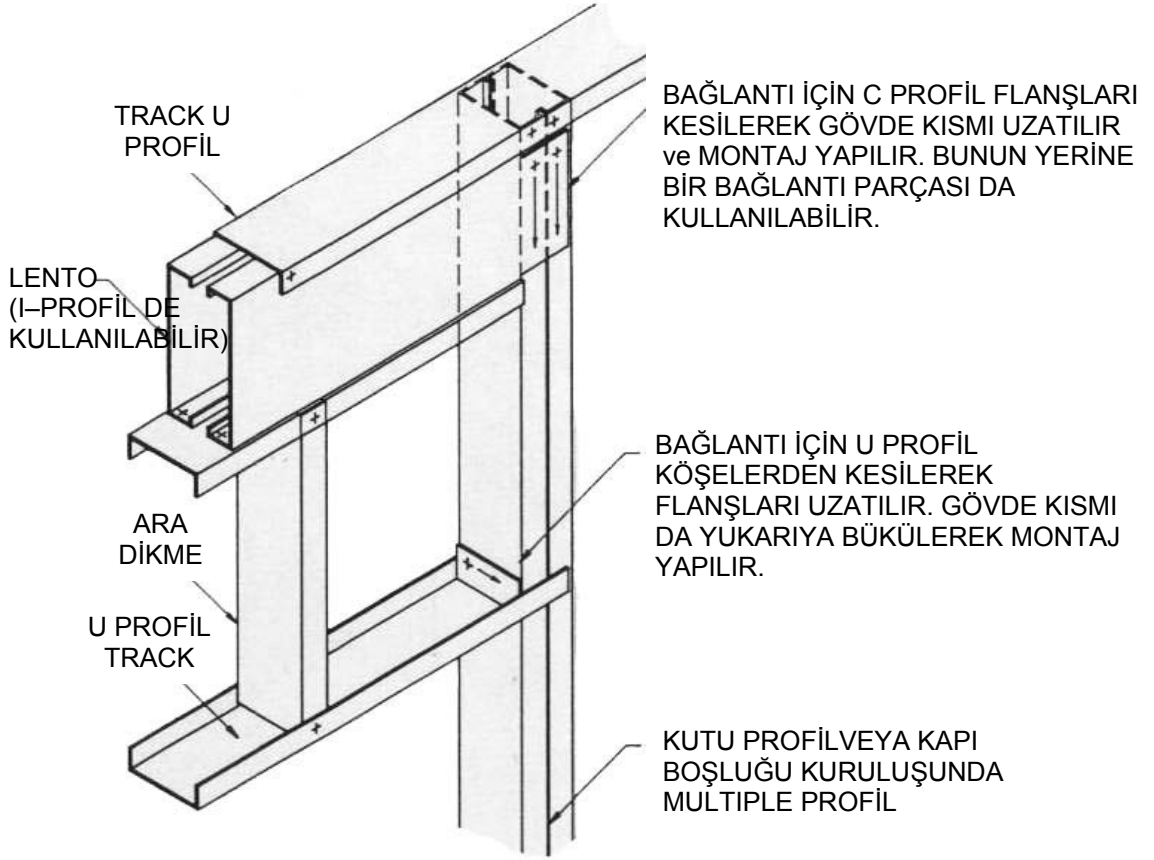
Taşıyıcı olmayan duvarda 120 cm'den küçük boşluk açılması önceden belirtilen, büyük boşluk açılma ilkelerine benzerdir. Kapı çerçevesinin yan elemanları, geniş kapı boşluğunda olduğu gibi mutlaka bileşik profil olmalı ve döşemeye aynı ilkeler doğrultusunda monte edilmelidir (Şekil 3-107, Şekil 3-108). Pencere ve kapı boşluğundaki taşıyıcı çerçevenin üst kısmını oluşturan lento yine aynı şekilde kutu veya I profil olmalıdır. Farklı olarak, kapı ve pencere kasasının üst ve alt kısımlarında, bileşik profile ihtiyaç yoktur (Şekil 3-109, Şekil 3-110). [67]



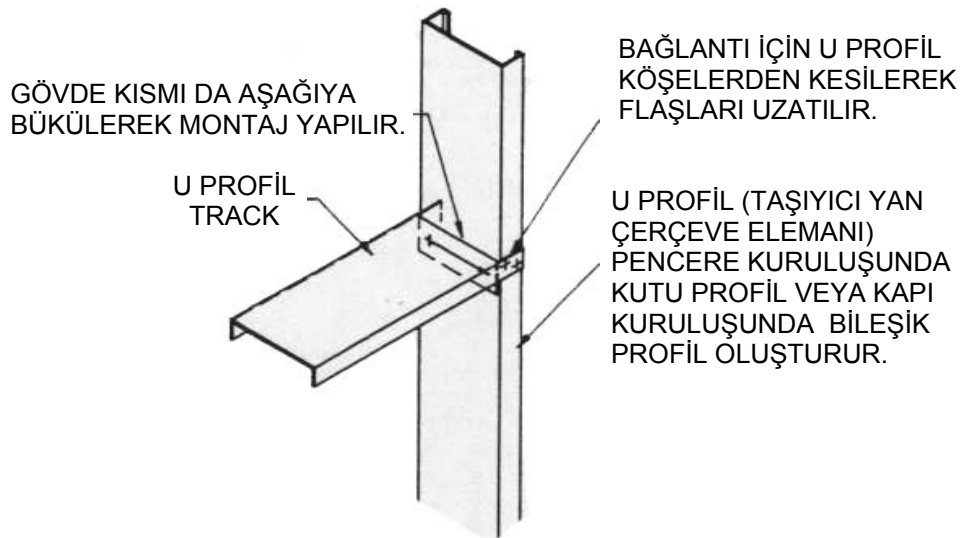
Şekil 3-107 Taşıyıcı duvarda 120 cm'den küçük pencere boşluğu açılması [67]



Şekil 3-108 Taşıyıcı duvarda 122 cm'den küçük kapı boşluğu açılması [67]



Şekil 3-109 Taşıyıcı duvarda küçük boşluk açılmasında lento detayı [67]



Şekil 3-110 Taşıyıcı duvarda küçük boşluk açılması pencere alt köşe detayı [67]

Cephede boşluk kuruluşu ilkelerinin yanında, boşlukların geometrisi ve cephede konumlanmaları ele alınması gereken alt başlıkları oluşturur.

Köşelerde boşluk açılması:

Hafif çelik yapım ilkelerine göre, yapı köşelerinde boşluk açılması tavsiye edilmez. Tıpkı yığma yapılarda olduğu gibi, köşe noktaları yapının rijitliği için önemlidir. Köşeler, özellikle yatay yüklere karşı, taşıyıcı duvarların birbirine mesnet oluşturduğu noktalardır. Köşelerde açılacak boşluklar taşıyıcı duvarların mesnetlenmesini güçleştirir. Ayrıca çaprazlamalar ile oluşturulan hafif çelik perde duvarlar köşelere yakın düzenlendiği için bu noktaların sağır olması kaçınılmazdır. Fakat, tüm bu dezavantajlarına rağmen köşelerde boşluk açılması da belli koşullar altında mümkündür. Öncelikle, köşenin dolayısıyla da yapının rijitliği, boşluğu oluşturan hafif çelik çerçeve tarafından sağlanmalıdır. Bu amaçla köşede moment dayanımlı bir çerçeve oluşturulması gereklidir. İki cephenin birleştiği noktada, dikme, bileşik profillerden ve bir kolon gibi oluşturulur (Şekil 3-111) [103]



Şekil 3-111 Köşede boşluk açılması , Rautaruuki Oyj, Finlandiya [103, s.5]

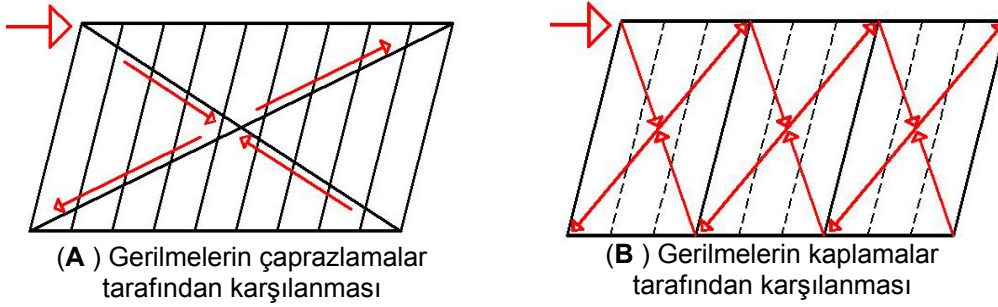
Köşede oluşturulacak moment dayanımlı rijit çerçeve, konvansiyonel çelik elemanlardan da oluşturulabilir (Şekil 3-112). Hafif çelik elemanlara kıyasla, konvansiyonel çelik elemanlardan oluşturulmuş çerçeve daha rijittir.



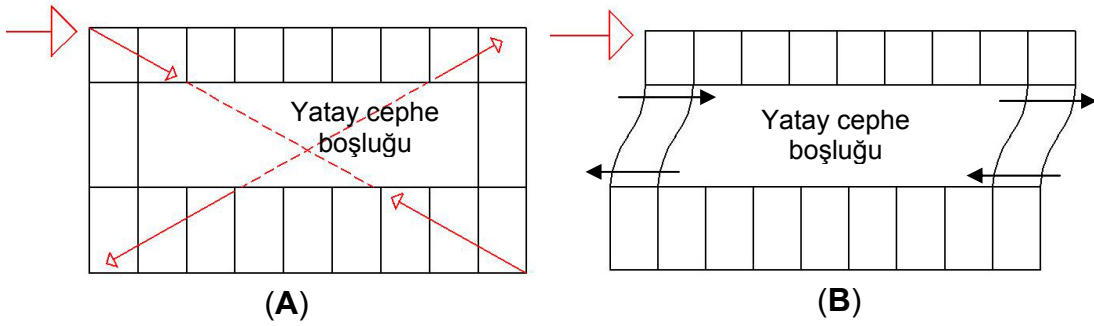
Şekil 3-112 Manderscheid, Almanya'da konut, 1998, (Mimari: 3L, Klaus Th. Luig, Veronika Lenze, Menden) (111)

Cephe boşluklarının geometrisi:

Hafif çelik sistemlerde, açılacak boşlukların geometrisi ve cephede düzenlenmeleri taşıyıcılığı etkiler. Yüksekliği, genişliğine göre daha az olan yatay cephe boşlukları, taşıyıcı duvarın yanal yüklere karşı dayanımını olumsuz etkiler. Yanal yük etkisinde, taşıyıcı duvar üzerinde diyagonal gerilmeler oluşur. Bu diyagonal gerilmeler çaprazlamalar ve/veya kaplamalar (Şekil 3-113) tarafından karşılanır. Yatay düzenlenmiş cephe boşluğu, yüklerin diyagonal aktarılmasını engellediği için, taşıyıcı duvarın perde çalışması göstermesine engel teşkil eder (Şekil 3-114-(A)). Yatay yük etkisinde, boşluğun yanında yer alan dikmeler üzerinde burkulma ve kesme etkisi oluşur (Şekil 3-114-(B)). Ayrıca, boşluk genişliğinin artması, lentonun daha fazla düşey yük karşılamak zorunda olduğu anlamına gelir.

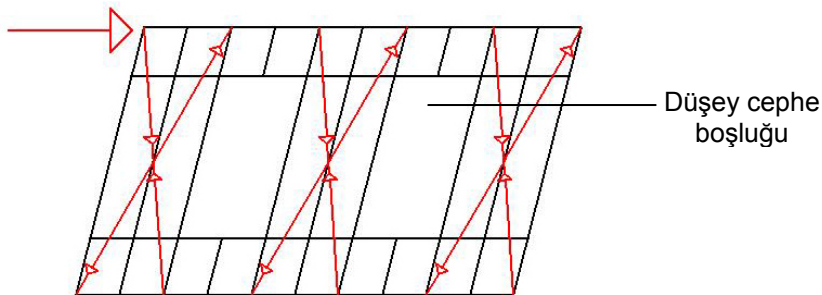


Şekil 3-113 Yatay yük etkisinde, hafif çelik duvarlarda oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin karşılanması



Şekil 3-114 Yatay boşluk açılmış, hafif çelik taşıyıcı duvarda, yanal yük etkisi

Genişliği, yüksekliğine göre daha az olan düşey boşluklar, hafif çelik sistemler için daha uygundur. Boşluklar arasında yer alan dolu kısımlar, yanal yükleri karşılayan perde çalışması gösterirken, duvar bir bütün olarak davranır (Şekil 3-115). Ayrıca küçük boşluk genişliği, düşey yükleri karşılayan lento yüksekliğinin daha az olabilmesine olanak tanır. Düşey düzenlenen boşluklar, taşıyıcı duvar konstrüksiyonunda daha az sayıda dikmeyi kesintiye uğratır (Şekil 3-116).



Şekil 3-115 Düşey boşluk açılmış, hafif çelik taşıyıcı duvarda, yanal yük etkisi

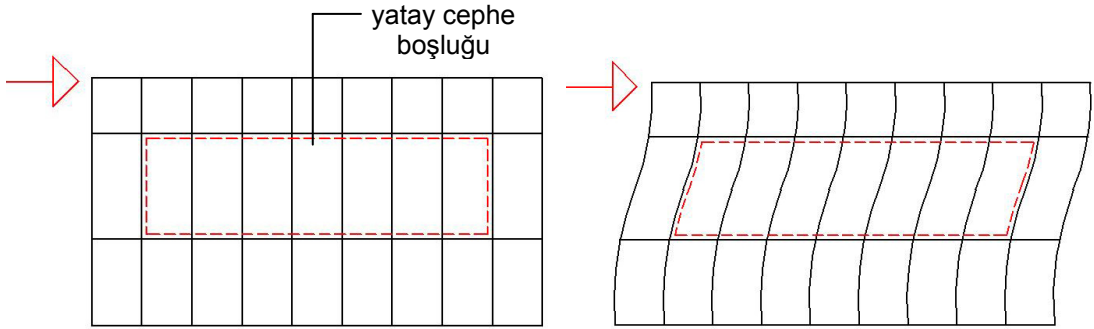


Şekil 3-116 (Quebec, Kanada, 1999, mimari: Drolet Zerounian Architects) [41]

Şekil 3-117'deki örnekte olduğu gibi, cephe boşluklarının yatay düzenlenmesi cephede mimari etki açısından arzu edilebilir. Böyle bir durumda, cephe boşluğu içinde taşıyıcı duvar dikmelerin sürekliliğinin kesilmemesi önemlidir. Cephe boşluğu içinde sürekli olarak yer alan taşıyıcı duvar dikmeleri, aynı zamanda da pencere orta kasa dikmesi olarak da işlev görür.[40] Bu şekilde cephe boşluğunun, taşıyıcı duvarı zayıflatması kısmen engellenmiş olur. Taşıyıcı duvar yatay yük etkisinde bir bütün olarak çalışır. (Şekil 3-118)



Şekil 3-117 Hafif çelik yapıda yatay geometride boşluk düzenlenmesi, (Calmont Yönetim Binası, Edmonton, Kanada, mimari: ACI Architecture) [40]



Şekil 3-118 Yatay boşluklar içinde, taşıyıcı dikmelerin sürekli olarak yer alması ve taşıyıcı duvarın yanal yük etkisinde davranışı.

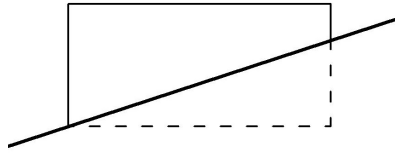
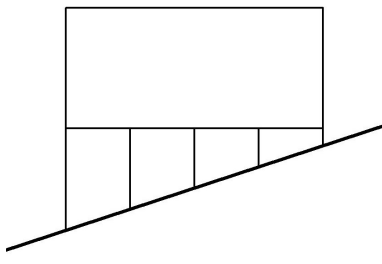
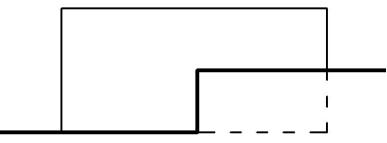
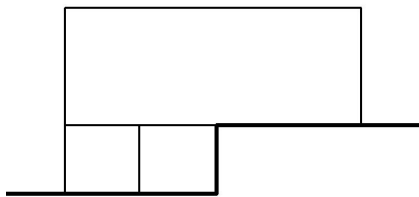
Cephe taşıyıcı duvarının, moment dayanımlı rijit bir çerçeve olarak çalışma gösterebilmesinde, hafif çelik elemanların bağlantı rijitliği ön plana çıkar.

3.3.3 Kütle KuruluŖu Olanakları

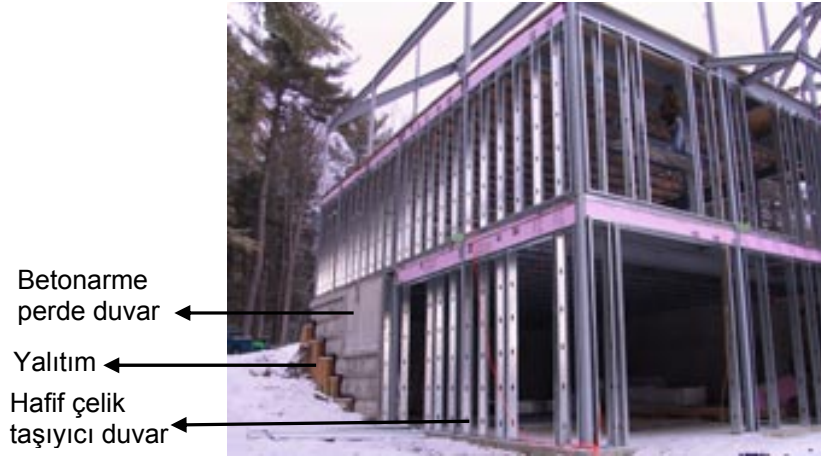
3.3.3.1 Topografya ve Kütle KuruluŖu İliŖkisi

Topografya verileri, kütle kuruluŖunu belirleyici unsurlardan birisidir. Eğimli veya setlenmiŖ topografya Ŗartlarında, kütle kuruluŖu eŖitli alternatiflerde gerekleŖtirilebilir (Tablo 3-28).

Tablo 3-28 Topografya Ŗartlarına bağlı olarak farklı kütle kuruluŖları.

	YAPININ, ZEMİN ALTINDA YARI BODRUM OLUŖTURMASI	YAPININ, ZEMİNDEN AYAKLAR İLE KALDIRILMASI
EğİMLİ TOPOGRAFYA		
SETLERLE KADEMELİ TOPOGRAFYA		

Hafif elik yapının yarı bodrum kat oluŖturacak Ŗekilde, eğimli veya kademeli araziye oturduğu durumda; yapının toprak altında kalan kısımları genellikle betonarme olarak inŖa edilir. Bu Ŗekilde yapının zemin katı, hafif elik iskelet ve betonarme perde duvardan oluŖur (Ŗekil 3-119). Bu kısmi betonarme perde duvarların kuruluŖu, tıpkı bodrum kat temel duvarlarında olduğu gibidir (Bkz. Bölüm: 2.2.1 Temeller ve Sokllar). Betonarme duvarlar, aynı zamanda istinat duvarı olarak da görev yapar. Hafif elik kat dŖemesinin bir kısmı, hafif elik duvarlara otururken, bir kısmı da betonarme temel duvarları üzerine mesnetlenir. Eğimli arazide, tüm yapılarda olduğu gibi toprak altında kalan yapı bileŖenleri suya karŖı yalıtılmalı ve drenaj düzenlenmelidir.



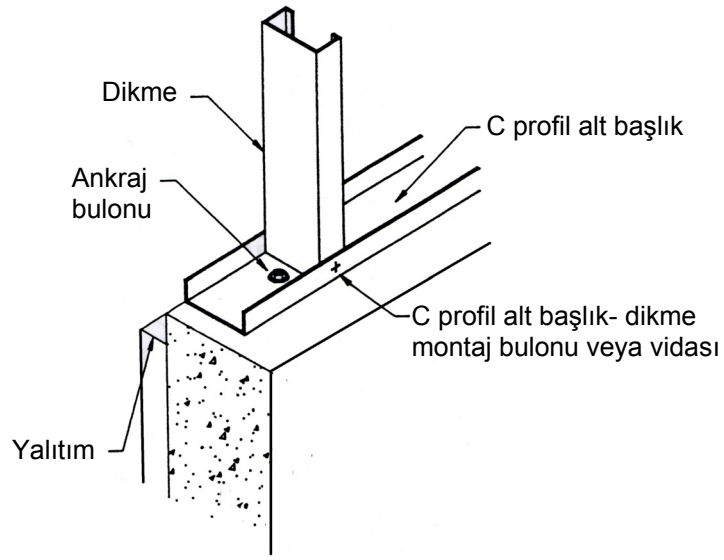
Şekil 3-119 Hafif çelik yapım sisteminde, eğimli arazide yarı bodrum kat oluşturulması.

Topografya eğimine bağlı olarak, toprak altında kalan betonarme perde duvarlar, kademeli olabilir. Perde duvarları ile döşeme konstrüksiyonu arasında, -kademelenmeye göre farklı yüksekliklerde- hafif çelik taşıyıcı dikmeler yer alır (Şekil 3-120).



Şekil 3-120 Arazi eğimine bağlı olarak, kademeli betonarme perde duvarları [139]

Hafif çelik dikmeler, betonarme perde duvarlar üzerinde yer alan C profil alt başlıklara oturur (Şekil 3-121).



Şekil 3-121 Hafif çelik dikmelerin, betonarme duvara oturması [67]

Hafif çelik yapıların zeminden ayaklar ile kaldırılması ise bir diğer alternatiftir. Tekil betonarme temellere ankraj bulonları ile monte edilmiş, çelik kolonlar ile yapı zeminden kaldırılır (Şekil 3-123). Bu çelik kolonlar hafif çelik bileşik profillerden oluşabileceği gibi sıcak hadde profiller de olabilir. hafif çelik döşeme konstrüksiyonu ile temel arasında yer alan çelik ayaklar, yapı yükleri karşısında çerçeve çalışması gösterir. Bu nedenle yapının uygun bölümlerinde çaprazlamalar ile rijitliklerinin artırılması gereklidir (Şekil 3-122).



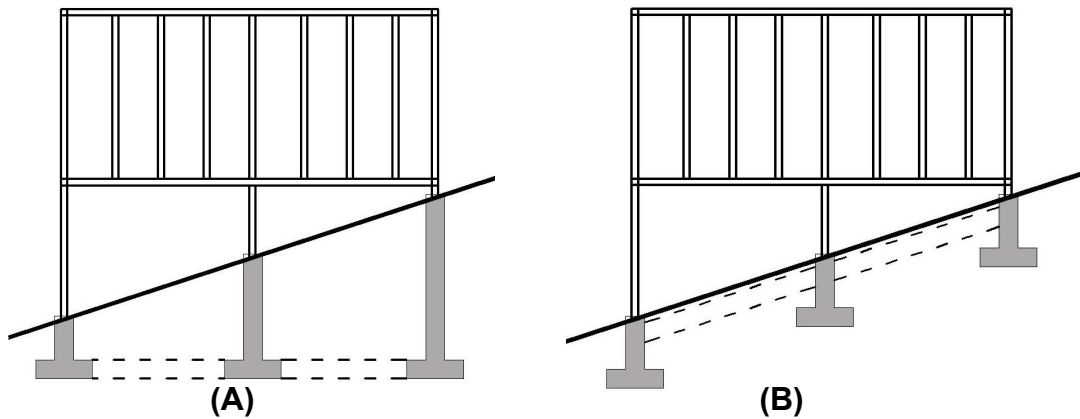
Şekil 3-122 Hafif çelik yapıların çelik ayaklar ile zeminden kaldırılması [139]



Şekil 3-123 Hafif çelik bileşik profil (kutu profil) ayakların ankraj bulonları ile betonarme tekil temellere montajı. [139]

Yapının zemindeki rijitliği için, tekil temellerin birbirlerine bağ kirişlerle bağlanması tavsiye edilir.

Yapının ayaklar üzerine kaldırılmasında karşılaşılan en önemli sorun, zemin eğimi nedeniyle, tekil temellerin tümünün aynı derinliğine indirilmesinin güç oluşudur. Arazinin üst kısımlarındaki tekil temelleri, arazinin alt kısmındaki temellerle aynı derinliğine indirebilmek için, ekonomik olmayacak ölçüde hafriyat yapılması gerekebilir (Şekil 3-124-(A)). [13]

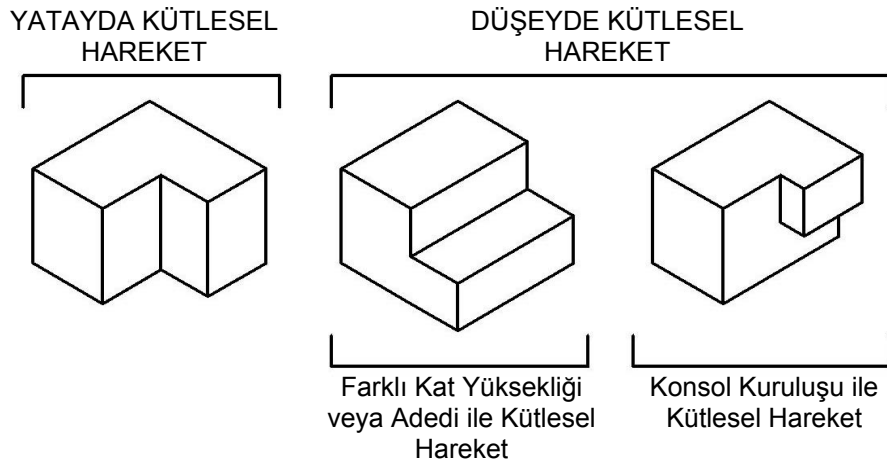


Şekil 3-124 Eğimli arazide, temel derinliklerinin düzenlenmesi. [13]

Buna karşın, az yapı yükü getiren hafif yapı sistemleri, (hafif çelik yapı sistemleri gibi) temellerin farklı seviyelerde düzenlenmesine olanak tanır.[13] Zemin mekaniğine bağlı olarak, uygun derinliklerde düzenlenen temeller birbirlerine bağ kirişler ile bağlanır (Şekil 3-124-(B)).

3.3.3.2 Kütlesel Hareket Olanakları

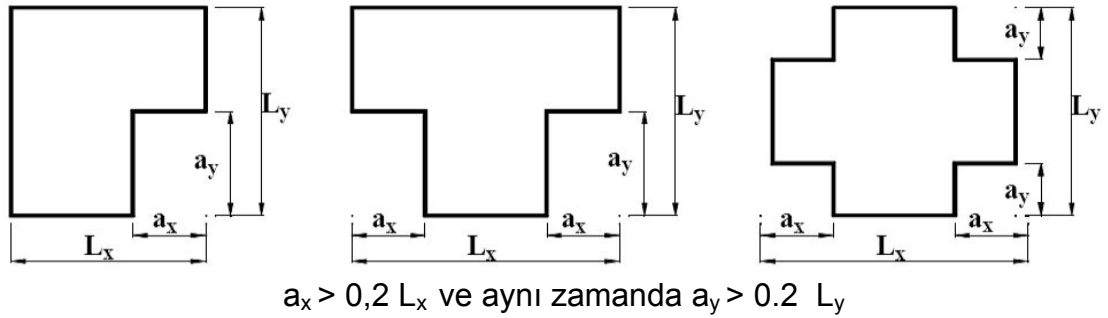
Kütlesel geometriye ilişkin olanakları yatayda ve düşeyde olmak üzere temel olarak iki şekilde ele alınabilir (Şekil 3-125). Hafif çelik yapım sistemlerinde, “yatayda kütlesel hareket” ile “farklı kat yüksekliği veya kat adedi ile oluşturulan kütlesel hareket” benzer ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilir. Bu nedenle hafif çelik yapılarda konsol kuruluşu ayrı bir başlık altında incelenebilir (Bkz. Bölüm: 3.3.3.3. Konsol Kuruluşu).



Şekil 3-125 Hafif çelik sistemlerde kütlesel hareket olanakları.

Yatayda kütlesel hareket:

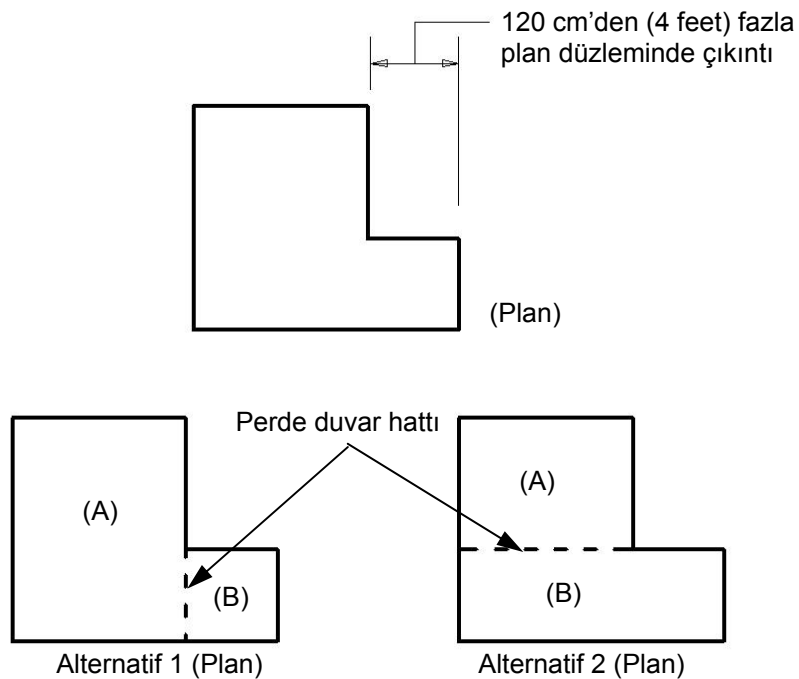
Hafif çelik yapılarda, plan düzleminde kütlesel hareket yapılması, yönetmeliklerce belirlenen kurallar dahilinde mümkündür. Hafif çelik yapılar ile birlikte tüm yapım sistemlerinde de geçerli olmak üzere; yatayda kütlesel hareket, deprem etkisine karşı yapının davranışında “düzensizlik” durumu yarattır. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’nın hazırladığı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998 Deprem Yönetmeliği”nde düzensiz binaların tanımı yapılmıştır. Yönetmeliğe göre, “Planda çıkıntılar bulunması” şeklinde ele alınan yapı düzensizliği, “Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumu.” olarak tanımlanmıştır. [20, s.9]



Şekil 3-126 “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998 Deprem Yönetmeliği”ne göre plan düzleminde yapı düzensizliği. [20, s.11]

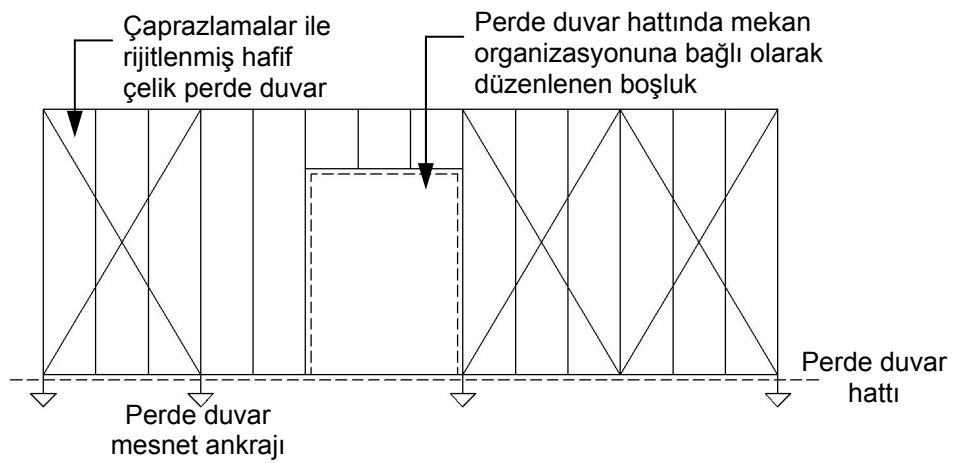
Yönetmelik, bu duruma ilişkin “birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde kat döşemelerinin, kendi düzlemleri içinde ve düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında deprem kuvvetlerini güvenle aktarabildiği, hesaplama doğrulanacaktır.” koşulunu getirir. [20, s.8]

Benzer nedenlerle, “Kuzey Amerika Çelik İskelet Birliği” (NAFSA), hafif çelik sistemlerde çıkıntı yapan kısımların uzunluğunu, maksimum 120 cm (4 feet) olarak belirtir. Eğer 120 cm’den fazla plan düzleminde çıkıntı yapılması durumunda, yapı Şekil 3-127’deki gibi iki ayrı bölüm olarak analiz edilir. Bölümlenme, mekan düzenlemesine bağlı olarak, farklı alternatiflerde olabilir.



Şekil 3-127 Taşıyıcı sistemin bölümlere ayrılması [116, s.84] [127, s.119]

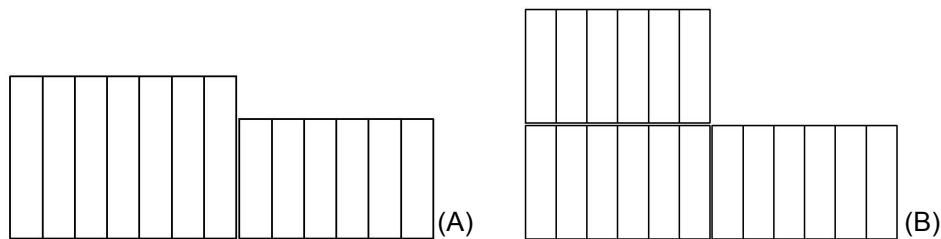
Bölümler, bir perde duvar hattı ile birbirinden ayrılır. [116] Perde duvar hattı doğrultusunda, çaprazlamalar ile rijitlenmiş taşıyıcı duvarlar yer alır. Perde duvarlar (taşıyıcı duvar çaprazlamaları), mekan organizasyonuna ve yapı yüklerine göre düzenlenir. Perde duvar hattının, tamamen çaprazlanmış perde duvarlardan oluşması, gibi bir zorunluluk yoktur. Ancak, perde duvar hattının her iki ucu, mutlaka çaprazlamalar ile rijitlenmiş olmalıdır (Şekil 3-128).



Şekil 3-128 Taşıyıcı sistemi bölümlere ayıran perde duvar hattında, boşluk ve çaprazlamaların düzenlenmesi.[31]

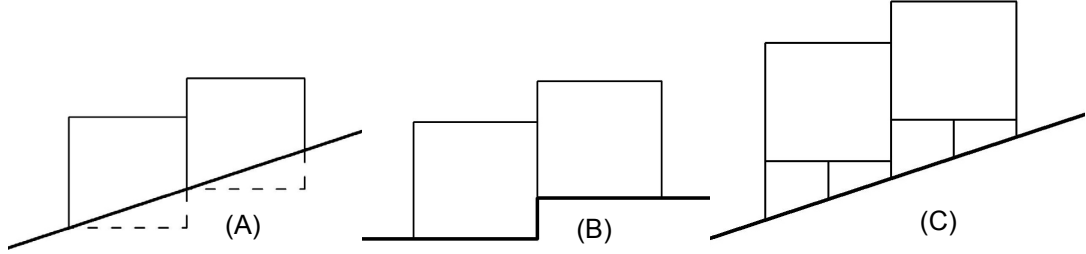
Düşeyde kütleli hareket:

Yapı kütleliğini düşey düzlemde de biçimlendirebilme kolaylığı, “çevre ve fonksiyona uygunluk” amacından ve “estetik” arayışlarından kaynaklanan bir başka tasarım beklentisidir. Düşeyde kütleli hareket, farklı kat yüksekliği ve/veya kat adedindeki yapı bölümlerinin bir araya gelmesi ile oluşur (Şekil 3-129).



Şekil 3-129 Farklı kat yüksekliği (A) ve kat adedinin (B) oluşturduğu kütleli hareket.

Benzer şekilde, topografya şartlarına uygunluk amacı ile yapı bölümlerinin farklı zeminlere oturması da düşeyde kütle hareket yaratır (Şekil 3-130).

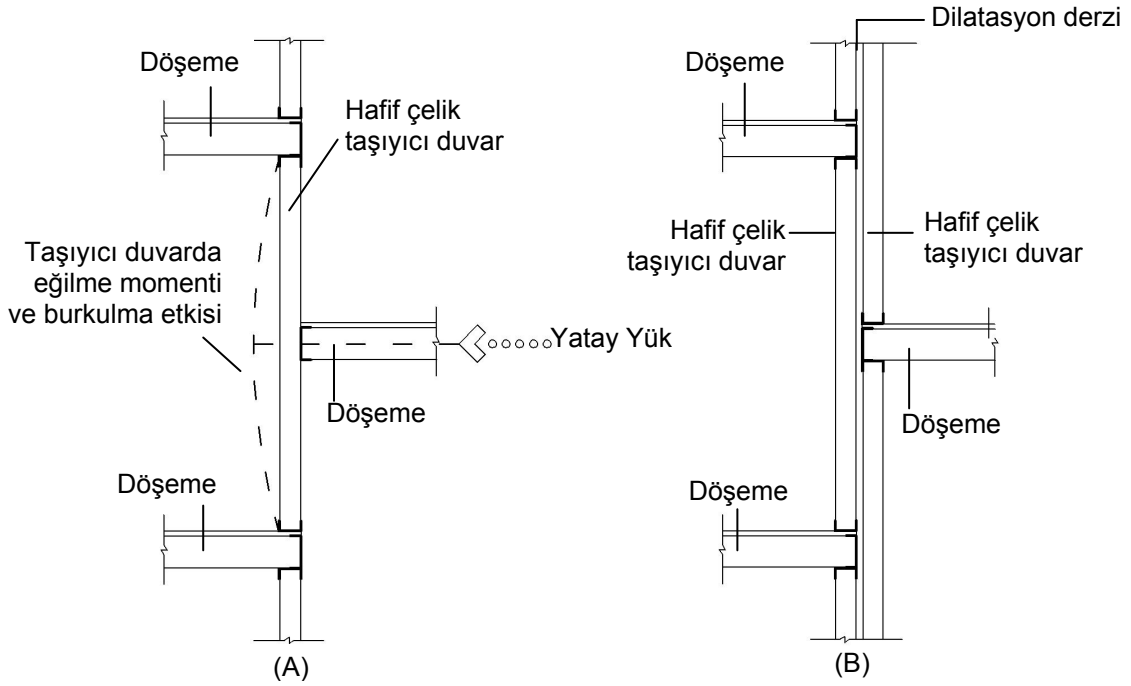


Şekil 3-130 Farklı zeminlere oturan yapı bölümlerinin yarattığı kütle hareket.

Düşeyde kütle hareket, deprem etkisinde, yapı bölümlerinin farklı periyotlarda salınım göstermesine neden olur. Deprem etkisinde düzensizlik yaratan bu duruma karşı, yapı bölümleri dilatasyon derzleri ile birbirinden ayrılmalıdır. Dilatasyon derzi, hafif çelik taşıyıcı sistemin iki ayrı yapı olarak çalışabilmesini sağlar. Dilatasyon doğrultusunda, birbirinden ayrı olarak iki taşıyıcı duvar oluşturulur. Döşemeler ise, bu ayrı taşıyıcı duvarlara ve duvar başlıklarına oturtulur. [67] Dilatasyonu oluşturan iki ayrı taşıyıcı duvarın çaprazlamalar ile rijetlenmesi, yapı stabilitesi açısından tavsiye edilir. Ayrıca dilatasyonun temellere kadar sürekli olması gereklidir.

Döşemelerin aynı hizada olduğu durumda, dilatasyonun kuruluşu “Bölüm 3.3.1.2 Planlamada Esneklik ve Değişebilirlik Olanakları” başlığı altında yer alan “Büyüyebilirlik” alt başlığındaki gibidir (Şekil 3-92).

Farklı kat yüksekliği veya yapı bölümlerinin farklı kotlara oturması nedeniyle döşemelerin farklı kotlarda yer alması, dilatasyon oluşturulmasını konstrüktif açıdan zorunlu kılar. Dilatasyon yapılmaması durumunda, taşıyıcı duvarın yan yüzüne döşemenin bağlanması konstrüktif açıdan detaylandırma sorunları yaratır. Ayrıca, deprem etkisinde, döşemenin ilettiği yanal yükler, taşıyıcı duvar üzerinde eğilme momenti ve burkulma etkisi oluşturur. (Şekil 3-131-(A)) Bu sorunlar dilatasyon düzenlenmesi ile önlenir. Döşemeler ayrı taşıyıcı duvarlara oturduğu için, yanal yük etkisinde taşıyıcı duvarlar üzerinde ek gerilmeler oluşmaz (Şekil 3-131-(B)).

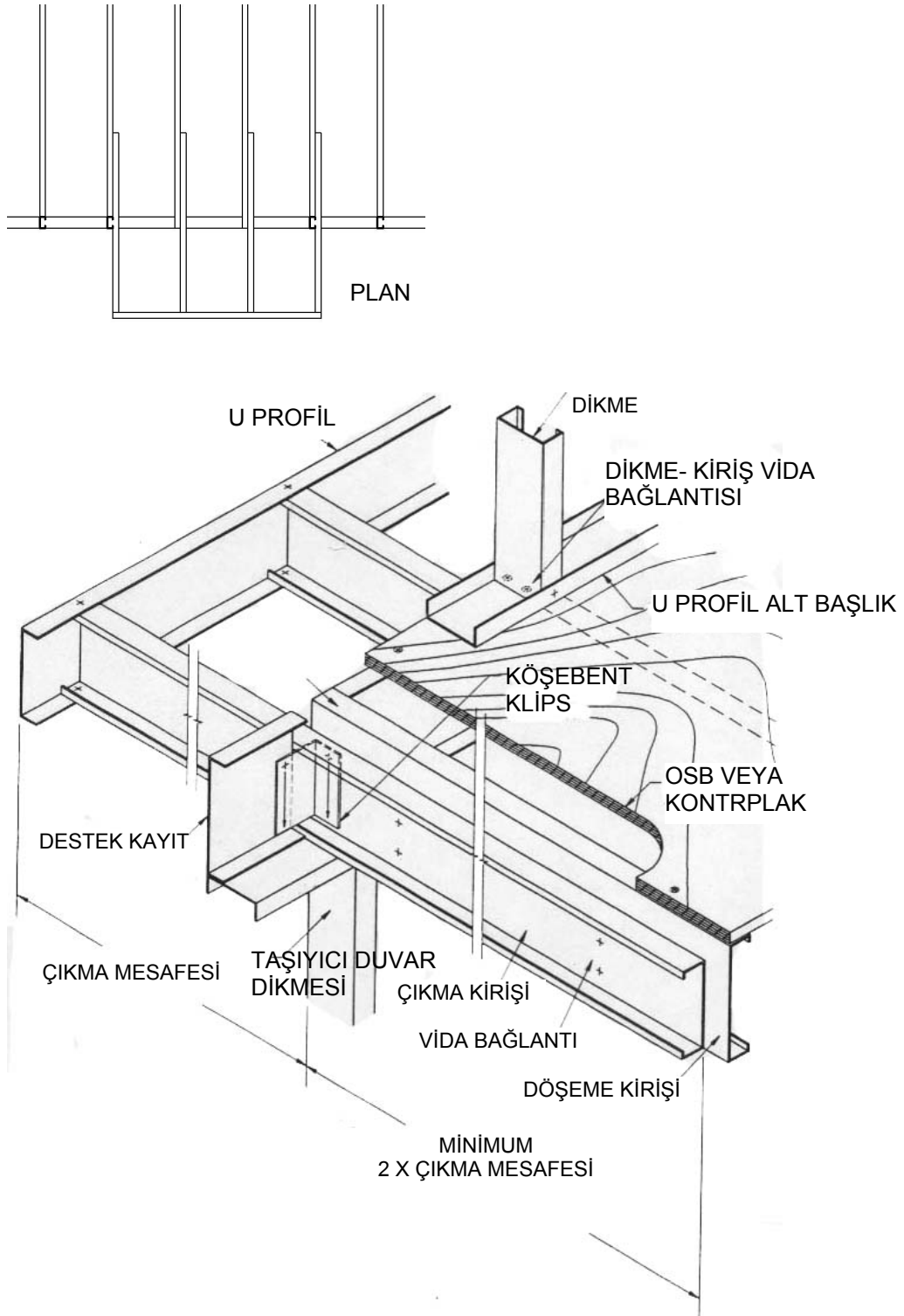


Şekil 3-131 (A) Döşemelerin ortak taşıyıcı duvara oturduğu durum. (B) Dilatasyon derzi ile döşemelerin ayrı taşıyıcı duvarlara oturması

3.3.3.3 Konsol Kuruluşu

Kullanıcıların açık havadan veya manzaradan daha iyi yararlanabilmesi için düzenlenen açık veya kapalı “konsol çıkma”lar, yapının kütlelerinde sağladıkları hareket ile mimari etkiye katkıda bulunur. Hafif çelik yapılarda, bu tasarım olanağının sağlanabilmesi için ek konstrüktif önlemlere gerek vardır. Konsolların döşeme kirişlemesine paralel veya dik doğrultuda oluşturulması, farklı konstrüktif kuruluş gerektirir.

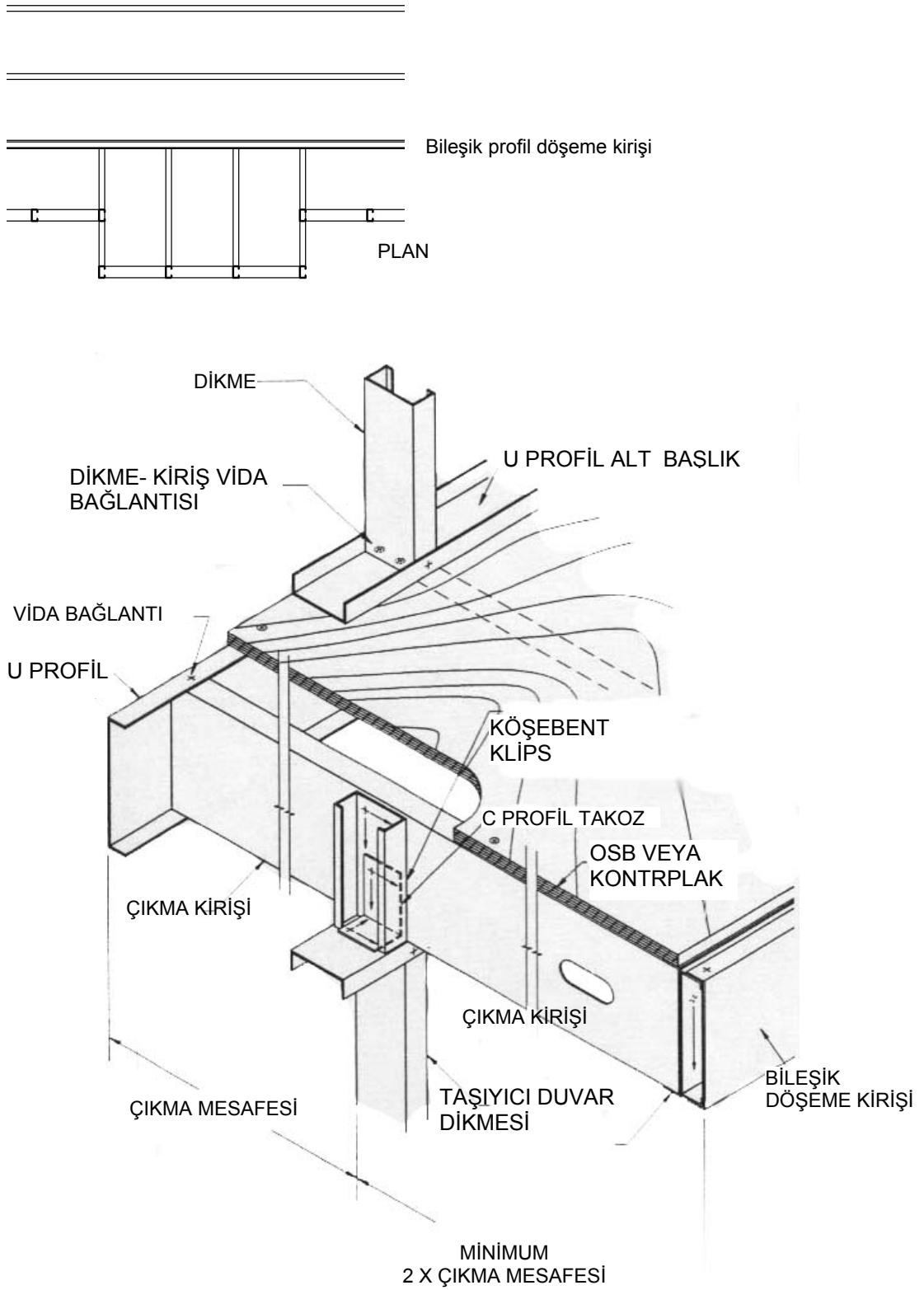
Döşeme kirişlemesi doğrultusunda çıkma veya balkon yapılırken kirişlemelere ek olarak yapılan çıkma kirişlerinin en az çıkma mesafesinin iki katı kadar uzunlukta ki döşeme kirişleri ile bağlantı yapması gerekmektedir. Ayrıca çıkma kirişlerinin taşıyıcı duvarın üzerine oturdukları kısımlarda kirişler arasında destek kayıtları monte edilmelidir. Kirişler ve destek kayıtları birbirlerine köşebent klipsler ile bağlanmalıdır. Çıkma kirişlerinin uçları bir U profille bağlanmalıdır (Şekil 3-132). [84],[67] Döşeme kirişlemelerine paralel doğrultuda çıkma uzunluğu kirişlerin boyutlarına bağlıdır.



Şekil 3-132 Döşeme kirişlemesi doğrultusunda çıkma yapılması [67]

Döşeme kirişlemesine dik doğrultuda çıkma yapılması durumunda, taşıyıcı duvar dikmelerinin eksenleri üzerine oturan çıkma kirişleri, çıkma mesafesinin en az iki katı kadar uzatıldıktan sonra döşeme kirişine bağlanmalıdır. Çıkma kirişlerinin bağlandığı döşeme kirişi, bileşik profilden oluşmalı ve taşıyıcı duvarlara oturmalıdır. Çıkma kirişlerinin taşıyıcı duvara oturduğu kısımlar, C profil bir takoz ve köşebent ile desteklenmeli ya da destek kayıtları ile çıkma kirişleri duvar aksında birbirine bağlanmalıdır (Şekil 3-133). [67]

Çıkmaların ısı köprüsü oluşturmasına karşı iyi detaylandırılmış ısı yalıtımı yapılmalıdır. Çıkmalar balkon şeklinde ise OSB veya kontrplak döşeme kaplaması, dış etkilere karşı iyi yalıtılmalıdır. İstenirse bu kısımlarda emprenye edilmiş masif ahşap da kullanılabilir. Hafif çelik yapım sistemlerinde 60 cm'ye kadar konsol çıkılabilir. [79] Daha fazla mesafede konsol yapılması, hafif çelik sistemler için ekonomik değildir ve özel çözümler gerektirir.



Şekil 3-133 Döşeme kirişlemesine dik doğrultuda çıkma yapılması [67]

4 SONUÇ

Dünyada ilk hafif çelik yapı denemeleri, 1950'li yılların sonlarında Almanya, Japonya, ve İngiltere, A.B.D gibi ülkelerde başlamış ve 1980'li yıllarda ise hafif çelik yapım sistemi bugünü halini almıştır. Amerika'da tek ve iki katlı konutların %20'si hafif çelik yapım sistemi ile üretilmektedir. 1992'de bu şekilde 500 konut üretilmekte iken, 1993 yılında 15 000 konut üretilmiştir. 2002'de ise bu rakam 100 000 konuta ulaşmıştır. Amerika dışında Avustralya ve Kanada'da hafif çelik yapı sektörü gelişmektedir. Avrupa'da ise yapı stokunun bir çok merkezde tamamlanmış olması ve yapı ihtiyacının yukarıda belirtilen ülkelere göre az olması nedeniyle hafif çelik yapıların Amerika'da olduğu kadar yaygın değildir. [117] Türkiye ise hafif çelik yapılar ile 1999 yılı sonrasında gündeme gelmiştir.

Türkiye gibi büyük yapı ihtiyacı duyan ve deprem bölgesinde yer alan bir ülke için, hafif ve ekonomik yapım sistemlerin ele alınması gereklidir. Bu amaçla hafif çelik yapım sistemlerinin bir alternatif olarak ele alınabilmesi için, sistemin sağladığı avantaj ve dezavantajları ile birlikte, taşıyıcılık, yapı fiziği sorunları ve mimari tasarım kriterlerine göre değerlendirilmesi gereklidir.

Hafif çelik yapıların karşılayabileceği yapı yükü sınırları Tablo 4-1'ki gibidir. Hafif çelik yapıların taşıyıcılık özellikleri, kat sayısı, kat yüksekliği, döşeme açıklıklığı, cephede boşluk kuruluşu ve mimari tasarım kriterleri bu yüklere göre sınırlandırılır ve belirlenir.

Tablo 4-1 Hafif çelik yapı sistemleri için yapı yükleri

Yapı Yükü Türü	Yapı yükü	Açıklama
Rüzgar	1,16 kN/m ² (144 km/saat)	Açık alanda
	1,73 kN/m ² (177 km/saat)	Şehir içi veya ormanlık alanlarda
Kar	3,35 kN/m ²	Türkiye'de görülen maksimum kar yükü 1,6-1,76 kN/m ² dir. (4. bölgede, 1000m den yüksek alanlarda)
Deprem yükü	0,4 g yer ivmesi	1. derece deprem bölgesi
Hareketli yük	1,92 kN/m ²	Amerikan standartlarına göre, konutların zemin katında
	1,44 kN/m ²	Amerikan standartlarına göre, konutların birinci katında
	2,0 kN/m ²	TS 498 Standardına göre, konut, büro, hastane odası gibi yapıların tüm katlarında.
	3,5 kN/m ²	TS 498 Standardına göre, Poliklinik, muayene odaları, sınıf ve amfiler gibi yapıların tüm katlarında

Çelik yapıların en önemli özelliği, hafif yapılar olmalarıdır. Hafif çelik sistemlerde taşıyıcı çelik elemanların cidar kalınlıkları, geleneksel çelik yapılara⁴⁶ göre daha ince olduğu için yapı daha da hafiftir. Bununla bağlantılı olarak, yapı ne kadar hafif olursa deprem sırasında o kadar az deprem yükü alacaktır.⁴⁷ Tablo 4-2'de hafif çelik taşıyıcılı bir yapı ile aynı büyüklükteki bir betonarme yapının ölü yükleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4-2 Hafif çelik taşıyıcılı ve betonarme taşıyıcılı aynı büyüklükteki iki yapının ölü yüklerinin karşılaştırılması.[18, s.35]

	Hafif Çelik Taşıyıcılı	Betonarme Taşıyıcılı
Duvar Ağırlığı	12 kg/m ²	280 kg/m ²
Döşeme Ağırlığı	26 kg/m ²	353 kg/m ²
200 m ² iki katlı bir konut için Taşıyıcı Sistem Ağırlığı (temeller hariç)	19 ton	351 ton
200 m ² iki katlı bir konut için Temel ağırlığı	170 ton	190 ton

⁴⁶ Sıcak çekme yöntemi ile üretilen konvansiyonel çelik yapı elemanlarının en az 4 mm kalınlığında olması gerekmekte iken, hafif çelik sistemlerde CABO'nun (*The Council of American Building Official*) hazırladığı standartlara göre 0.0179 inch ile 0.1180 inch (0.454 mm ile 2.997 mm) arasında olması yeterlidir.

⁴⁷ Basit olarak, $F = m \times g$ formülünde (m) yapı ağırlığı ve (g) depremin oluşturduğu ivmeye göre yapıya gelen yatay yük (F) ortaya çıkar. Yapı ağırlığı ne kadar fazla ise F kuvveti o kadar büyür.

Hafif çelik yapım sistemlerinin yapı yüklerine bağlı olarak, taşıyıcı sistem açısından analiz ve değerlendirilmesi aşağıdaki Tablo 4-3'deki gibidir.

Tablo 4-3 Taşıyıcı sistem açısından analiz ve değerlendirme

Kriter	Açıklama	Uygulanabilirlik veya sınır değerleri
Kat sayısı	1katlı	Uygun
	2 katlı	Uygun
	3 katlı	Uygun (Kuzey Amerika şartnamesi 2 kata sınırlamasına karşın Japonya, Almanya ve İngiltere'de şartnameler izin vermektedir.)
	4katlı	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	5kat ve üzeri	Uygun değil.
Kat yüksekliği	250 cm	Uygun
	300 cm	Uygun
	350 cm	Uygun (Kuzey Amerika şartnamesi kat yüksekliğini 300cm'ye kadar sınırlamasına karşın Japonya, Almanya ve İngiltere'de şartnameler izin vermektedir.)
	400 cm	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	450 cm ve üzeri	Uygun değil.
Döşeme Açıklıklığı	3,5 kN/m ² hareketli yüke göre	Maksimum 4,9 m
	2,0 kN/m ² hareketli yüke göre	Maksimum 6,7 m
	1,92 kN/m ² hareketli yüke göre	Maksimum 9,4m
	1,44 kN/m ² hareketli yüke göre	Maksimum 12,5 m
İki mesnet noktası arasındaki taşıyıcı duvar uzunluğu	Döşeme kirişlemelerine paralel doğrultuda	Maksimum 11 m
	Döşeme kirişlemelerine dik doğrultuda	Maksimum 18 m
Taşıyıcı duvarda lento açıklığı	120 cm	Uygun
	120-240 cm	Uygun
	240-360 cm	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	360 cm ve üzeri	Uygun değil.
Taşıyıcı duvar üzerinde boşluk oranı	%10 Boşluk	Uygun
	%20 Boşluk	Uygun
	%30 Boşluk	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	%40 Boşluk	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	%50 Boşluk ve üzeri	Uygun değil.
Konsol çıkma uzunluğu	40 cm	Uygun
	60 cm	Uygun
	80 cm	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	100 cm	Özel detaylandırma ve boyutlandırma gerekli
	120 cm	Uygun değil

Yapı konfor şartlarını ve işletim giderlerini belirleyici bir kriter olan yapı fiziği etkilerinin hafif çelik yapım sistemlerinin için analiz ve değerlendirilmesi aşağıdaki Tablo 4-4'deki gibidir.

Tablo 4-4 Yapı fiziği etkileri açısından analiz ve değerlendirme

Kriter	Açıklama		Uygulanabilirlik, veya sınır değerleri
Yangın Etkisi	Yanmazlık ve yangın dayanımı	F60A	Normal Hafif çelik konstrüksiyon kuruluşu ile mümkün
		F90A	Ek yalıtım ve detaylandırma gerekli
		F120A	Ek yalıtım ve detaylandırma gerekli
	Duman ve yanıcı gaz yalıtımı		Ek yalıtım ve detaylandırma gerekli
Isısal Etkiler	Isısal gerilmelere dayanım		Çevre koşullarında sıcaklık farkı maksimum. 67°C
	Isı yalıtımı		Yeterli
Nem-Su-Yoğuşma Etkisi	Doğrudan su etkisi		Geçirimsiz
	Kılcallık etkisinde su etkisi		Geçirimsiz
	Yüzeyde terleme	Dış sıcaklık 5°C İç sıcaklık 20°C İç bağıl nem %90	Terleme yok
		Dış sıcaklık -20°C İç sıcaklık 20°C İç bağıl nem %90	İç yüzeyde az miktarda terleme
	Kesitte yoğuşma		Yoğuşma yok
Akustik ve ses etkisi	Ses geçirimsizliği	Normal Hafif çelik duvar veya döşeme kuruluşu	Yüksek derecede ses geçirimsizliği
		Çift duvar veya Asma tavan kuruluşu ile	Yüksek derecede ses geçirimsizliği
	Çarpma sesi geçirimsizliği	Normal Hafif çelik duvar veya döşeme kuruluşu	Düşük derecede ses geçirimsizliği
		Çift duvar veya asma tavan kuruluşu ile	Orta derecede ses geçirimsizliği
Korozyon Etkisi	Deniz kenarı		Yüksek korozyon direnci (300 yıl)
	Endüstri bölgesi		Yüksek korozyon direnci (300 yıl)
	Şehir içi		Yüksek korozyon direnci (350 yıl)

Hafif çelik yapım sistemlerinin sağladığı mimari tasarım olanakları aşağıdaki Tablo 4-5'deki gibi özetlenmiştir.

Tablo 4-5 Mimari tasarım olanakları açısından analiz ve değerlendirme

Kriter			Özel çözüm, detay veya eleman gerekliliği	Uygulama-montaj kolaylığı	Taşıyıcı sistem rijitliği	Prefabrikasyon uygunluk oranı
Planlama olanakları	Plan geometrisine ilişkin olanaklar	Dik açılı plan geometrisi	Gerek yok	Kolay	Yüksek	Yüksek
		Dar veya geniş açılı plan geometrisi	Gerekli	Orta	Orta	Orta
		Eğrisel plan geometrisi	Gerekli	Zor	Düşük	Düşük
	Planlamada esneklik ve değişebilirlik	Bölücü elemanlarda değişebilirlik	Gerek yok	Kolay	Etkisi yok	Yüksek
		Taşıyıcı duvarların değişebilirliği (döşeme girişmeleri taşıyıcı duvar üzerinde sürekli)	Gerekli	Zor	Diğer taşıyıcı duvarların, döşeme açıklıklarının ve eleman boyutlarının tekrar gözden geçirilmeli.	-----
		Taşıyıcı duvarların değişebilirliği (döşeme girişmeleri taşıyıcı duvar üzerinde ek yaptığı durum)	-----	Yapılamaz	-----	-----
Büyüyebilirlik	gerekli	Orta	Kısmen etkisi yok			
Cephe kuruluşu olanakları	Cephede boşluk geometrisi	Yatay geometride boşluk (tek açıklıklı)	gerekli	Orta	Düşük	Düşük
		Yatay geometride boşluk (taşıyıcı dikmeler devamlı)	gerekli	Orta	Orta	Orta
		Düşey geometride boşluk	Gerek yok	Kolay	Yüksek	Yüksek
	Köşelerde boşluk açılması	gerekli	Orta	Düşük	Düşük	
Kütle kuruluşu olanakları	Eğimli topografyada yapının ayaklar üzerine kaldırılması	gerekli	Orta	Düşük	Düşük	
	Eğimli topografyada yapının zemin altında yarı bodrum oluşturması	gerekli	Orta	Orta	Düşük	
	Düşeyde kütle hareket	Konsol kuruluşu	Gerek yok	Kolay	Orta	-----
		Döşemeler aynı hizada (kotta) düşeyde kütle hareket	Kısmen gerek yok	Kolay	Yüksek	Orta
		Döşemeler farklı hizada (kotta) düşeyde kütle hareket	gerekli	Zor	Düşük	Düşük
	Yatayda kütle hareket	120 cm'den az plan düzleminde çıkıntı	Gerek yok	Kolay	Yüksek	-----
120 cm'den fazla plan düzleminde çıkıntı		gerekli	Orta	Düşük	-----	

Hafif çelik sistemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Üretim, nakliye, montaj kolaylıkları, yapım süresinin kısa oluşu, küçük yapılar için tercih edilmesinde önemli rol oynar.
- Profil ve elemanların hafifliği, kolay nakliye, depolanma, montaj kolaylığı ve yapım ekonomisi sağlar.
- Hafif çelik yapı sistemlerinde çeliğin yüksek dayanımı⁴⁸ nedeniyle öz ağırlığının oluşturduğu yükün (ölü yük), faydalı yüke oranı küçüktür.
- Daha az malzeme ile daha etkin bir strüktür ortaya koyması, yapı maliyetlerinde tasarruf sağlar.
- Uygulamada herhangi bir şekilde kalıp kullanılmadığından ölü malzeme maliyeti yoktur.
- Fabrikada bilgisayar destekli tasarımla üretildiklerinden standardizasyon ve seri üretim sağlanır. Üretim aşamasında sürekli denetlenebilme olanağı sayesinde güvenilir ve kaliteli malzeme elde edilir.
- Ön üretimli olması şantiyede temiz bir çalışma ortamı sağladığı gibi şantiye yönetimini de kolaylaştırır. Yapı inşaat süresi kısadır. (Montaj süresinden ibarettir; betonarme gibi priz süresine ihtiyaç duymaz.)
- Ön üretim esnasında tesisat geçişlerine ait delikler açıldığından elektrik, kalorifer tesisatı ve sıhhi tesisat işçiliğinden tasarruf sağlar.
- Ön üretimli çelik yapı sisteminde insan inisiyatifi yok denecek kadar azdır. Şartnamelere uygun malzemeden doğru profiller üretilebiliyorsa ve montaj işlemi tekniğe uygun yapılıyorsa, yapı son derece güvenli olacaktır.
- Hava şartlarına bağlı olmaksızın her iklimde sürekli inşaat yapılabilir.
- Yangın, ısı, nem, su ve ses etkisi karşısında, uygun detaylandırma ile yüksek performans gösterebilmektedir.

⁴⁸ Hafif çelik yapı sistemlerinde kullanılan çeliğin minimum akma sınırı 228 N/mm^2 , emniyet gerilmesi 114 N/mm^2 olarak kabul edilir. [1],[2]

- Galvanizleme ile sağlanan uzun ömürlü korozyon direnci, hafif çelik yapıların, taşıyıcılığı etkileyen korozyon sorunundan korumaktadır.
- Hafif çelik elemanların galvanizlenerek korozyona karşı korunması, bakım ve işletim giderleri açısından konvansiyonel sistemlere göre daha ekonomik sonuçlar verir.
- Galvanizleme yoluyla sağlanan korozyon direncinin yüksek olması; böceklenme, mantarlaşıma gibi parazitlerden etkilenmemesi; güneşin radyasyon etkisine karşı dirençli olması; hafif çelik yapı malzemesinin, uzun ömürlü olmasını sağlar.
- Çelik yapılarda yıldırım riski, sistem doğal olarak bir topraklama oluşturduğu için minimumdur.
- Bakımı ve hasar halinde tamiri kolaydır.
- Planlamada, betonarme ve konvansiyonel çeliğe göre taşıyıcı sistem kesitleri küçük olduğu için kullanılabilir alan artar.
- Çelik malzeme geri dönüşümlüdür; tekrar işlenerek çevre kirliliğinin azaltılmasına ve ekonomiye katkı sağlar.

Tüm avantajlarına karşın, hafif çelik sistemlerde söz konusu olan bazı dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Metallerin genel özelliği olan serbest veya sabit elektronlardan kurulu, homojen ve yoğun dokulu kristal yapı, basınç ve çekme özelliklerinin eşdeğerde ve yüksek olmasını sağlarken, bununla birlikte ısıl genleşmelerinin yüksek olmasını, ısıyı, elektriği ve sesi iyi iletmelerine neden olur. Özellikle yapı konforu açısından ses ve ısı iletimi önemli bir veridir. Fakat doğru çözülmüş detaylandırma ve iyi bir yalıtımla ile bu sorunlar önlenabilir. Ancak bu durum, ek maliyet getirir. Ayrıca ısıl genleşmeler, hafif çelik yapı sisteminin esneklik sınırları içinde tutulduğu, diğer yapı elemanları ile yine doğru birleşim detayları uygulandığı takdirde göz ardı edilebilir. (Çevre sıcaklığındaki değişim farkının $67C^0$ 'den fazla olmaması istenir.)

- Çelik yanmaz bir malzeme olarak düşünülse de, yangın başlangıcından 10 dakika sonra ilk mukavemetinin % 20'sine, 20 dakika sonrada % 10'una düşer. Çeliğin akması sonucu ani çökmeler görülür. Ancak yüksek sıcaklığa dayanıklı kompozit malzemeler ile bu sürenin uzatılması, taşıyıcı strüktürün sıcaklıktan korunması mümkündür.
- Hafif çelik yapı sistemi önceden hazırlanmış yapı elemanlarının montajı ile yapılmaktadır. Bu nedenle, yüzde yüz oranında kalifiye işçilik gerektirir.
- Hafif çelik yapı elemanlarının taşıyıcılık özellikleri, diğer yapı sistemlerine göre, cephe kuruluşu olasılıklarının daha az olmasını ve geçtikleri açıklıkların daha kısa olmasını getirmektedir.

Hafif çelik yapı sistemlerinin, sağladığı avantaj ve dezavantajları ile birlikte, taşıyıcılık, yapı fiziği sorunları ve mimari tasarım kriterlerine göre değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Hafif çelik yapı sistemlerinin ortaya koyduğu taşıyıcı sistem ilkeleri doğrultusunda, taşıyıcı duvarlarda boşluk oluşturma olanaklarının kısıtlı olduğu görülür. Bu nedenle cephe kuruluşu konut gibi küçük yapılarla daha kolay örtüşür.

Hafif çelik sistemlerin, konvansiyonel sistemlere göre yangın etkisine karşı daha zayıf olmaları nedeniyle, tahliyesi daha kolay olan 1-3 katlı yapılar için önerilir.

Hafif çelik elemanların sınırlı açıklık geçebilme yetenekleri göz önüne alındığında, hafif çelik sistemlerin konut gibi büyük açıklık gerektirmeyen yapılar için uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca, hafif çelik yapılardaki iki, üç kattan sonrası yapı yüklerinin -özellikle de yatay yüklerin- karşılanmasında strüktürel zorlamalar getireceğinden az katlı yapılarda tercih edilmelidir.

Sıcak hadde çelik çerçeve yapım sistemi ile büyük açıklıklı ve yüksek yapılar yapmak mümkündür. Strüktürel etkinlikleri göz önüne alındığında, Sıcak hadde çelik elemanların geçebileceklerinden daha az açıklıklarda ve yüksekliklerde kullanılmaları, ekonomik olmayacaktır. Bu nedenle küçük ve az katlı yapılar için hafif çelik yapım sistemi tercih edilmesi, daha karmaşık organizasyon, kalifiye ve ağır işçilik gerektiren büyük yapılar için ise sıcak hadde çelik çerçeve yapım sistemlerinin kullanılması daha uygun olacaktır.

Yapılan bu araştırma sırasında, Türkiye’de henüz, gerek soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanların gerekse galvanizli veya boyalı bükümlü metal sacların tasarımına yönelik standartlar bulunmadığı görülmüştür. 1970 Şubat’ında Türk Standardları Enstitüsü’nce çıkarılmış olan “TS822 Galvanizli Düz ve Oluklu Saclar Standardı”nda –adından da anlaşılacağı üzere- sadece düz ve oluklu sacların sınıflandırılmaları, muayeneleri ve piyasaya arz şekli ile denetleme esaslarına değinildiği, trapezoidal sacların ve soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin taşıyıcı sistem içinde kullanım hesap yöntemlerinin kapsam dışında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, A.B.D., Kanada, İngiltere veya Avrupa Birliği’nde kullanılmakta olan standartların Türkiye’de kullanılması gerekecektir⁴⁹. Bu gibi durumlar için, 2 Temmuz 1998 tarih ve 23390 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan değişiklikleri de içeren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”in 5.2 Kapsam maddesinin 5.2.5 şikkında “*Her türlü kapsam dışı yapılara uygulanacak esaslar, kendi özel yönetmelikleri yapılıncaya dek, yapımları denetleyen bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar göz önünde tutularak özel olarak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre*

⁴⁹ Türkiye’de, ince cidarlı profillerden oluşan yapıların boyutlandırılmasında kullanılan yabancı şartnameler genellikle, AISI (*American Iron and Steel Institute*) tarafından hazırlanmıştır. “*Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members*” Amerikan Şartnamesi’dir. Bunun dışında, CTICM (*Centre Technique Industriel de la Construction Métallique*)’in yayınladığı “*Règles de Calcul des Constructions en Éléments à Parois Minces en Acier*” Fransız Şartnamesi; BSI (*British Standard Institution*)’ın hazırladığı “*Specifications for the Use of Cold-formed Steel Sections in Buildings BS449*” İngiliz Şartnamesi ve “*Eurocode 3- Part 1.3 Supplementary Rules for Cold Formed Thin Gauge Members and Sheeting, CEN ENV 1993-1-3*” Avrupa Birliği Şartnamesi’dir. [26, s.24]

denetlenecektir.” denmektedir. Ancak standartlar arasında bazı farklılıkların bulunması sorun teşkil etmektedir. Ayrıca, bu standartların Türkiye şartlarına uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde, kullanıcılar, belirli bir sac kalınlığı ve mesnet aralığı ile ne kadar yük taşıyabileceğini, ya sezgisel olarak ya da Türkiye şartlarına uygunluklarını pek de fazla araştırmadan yabancı imalat kataloglarına başvurarak belirlemektedirler. Bu konuda, ülkemiz coğrafi ve ekonomik koşullarına göre hazırlanmış çalışmaların eksikliği aşikârdır.

Yasalara göre; yapı projelerinin ve inşaatların, onay ve denetime tabi tutulması gerektiği halde, bilimsel ve teknik yönden hatalı binlerce yapının inşa edilebilmiştir. Bu nedenle, 17 Ağustos – 12 Kasım depremlerinde yapıların yıkılması veya ağır hasar görmesi, yasaların uygulanmasındaki boşlukları göstermektedir. Hafif çelik yapı sistemleri bu tür denetim boşluklarına müsaade etmeyecek derecede hassastır. [34]

Çalışma boyunca incelenen kriterler göz önünde bulundurulduğunda, soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı yapı elemanlarının Türkiye şartlarına uygun hesap kurallarına dair bir şartnamenin hazırlanması mutlaka gereklidir. Zaten bu yapım sisteminin temel ilkesi ve en önemli avantajı yapım teknolojisinde getirdiği standartlaşmadır.

Hafif çelik yapıların, Türkiye şartlarında gerekliliği tartışmalı bir konudur. Zira, Türkiye’de çimento ve beton üretimi yapısal çelik üretiminin çok üzerindedir. Mevcut yapı çeliği üretiminin büyük kısmını da, betonarme sistemler için kullanılan donatı çeliği oluşturmaktadır. Çimento ve beton üretiminde arz talep ilişkisinin gelişmiş ve dengeli olması, bu yapı malzemesinin Türkiye şartlarında ekonomik kılmaktadır. Bu nedenle, Türkiye’deki yapı stokunun büyük kısmını beton-betonarme yapılar oluşturmaktadır. Burada, çeliğe nazaran betonarme yapılar için daha az kalifiye işçiliğe ihtiyaç duyulması (herhangi bir inşaat kalfası veya ustası tarafından yapılabilmesi) önemli bir etkidir. Ayrıca, çelik endüstrisinin Türkiye’de fazla gelişmiş olmaması ve

Üretilen yapısal çeliğin ekonomiklik sağlayacak ve ihtiyacı karşılayacak düzeyde olmamasının da rolü vardır.

Buna karşın çeliğin hafif olmasına karşın strüktürel etkinliğinin yüksek olması, Türkiye gibi büyük deprem riski taşıyan bir ülke için önemlidir. Sıcak hadde çeliğe göre üretimi daha kolay ve küçük atölye ve işletmelerde gerçekleştirilebilen hafif elik profiller ve elemanlar , ekonomik yapısı gelişmekte olan Türkiye'de büyük yatırımlar gerektirmeden üretilebilir. Sıcak hadde elik ereve yapım sistemi ve hafif elik yapım sistemi, prefabrikasyon ve denetim imkanlarının yüksek olması nedeniyle deprem riskine karşı Türkiye'de teşvik edilmelidir.

Hafif elik sistemlerin, ahşap karkas sistemler ile genel strüktürel kuruluşları ve ilkeleri benzerlikler göstermektedir. Türkiye'de geçmişi çok eski olan ahşap bir karkas geleneği vardır. Bu nedenle, hafif elik yapım sisteminin, Türkiye'de bir yapı alternatifi olarak zemini mevcuttur.

KAYNAKLAR

[1] **AISI**, (2001) "North American Specification for Design of Cold-Formed Steel Structural Members" AISI, Teknik Şartnamesi, Washington DC.

[2] **AISI**, (2001) "Commentary on The North American Specification for Design of Cold-Formed Steel Structural Members" AISI, Teknik Şartnamesi Açıklama Raporu, Washington DC.

[3] **AISI**, (1998) "Shear Wall Design Guide" AISI Araştırma Raporu, RG-9804, Washington DC.

[4] **AISI**, (1997) "Monotonic Tests of Cold-Formed Steel Shear Walls With Openings" AISI Araştırma Raporu, Washington DC.

[5] **AISI**, (1996) "Durability for Cold-Formed Steel Framing Members" AISI, Araştırma Raporu, Washington DC.

[6] **AISI**, (1995) "Design Guide for Cold-Formed Steel Trusses" AISI, Teknik Yayını, Washington DC.

[7] **AISI**, (1993) "Residential Steel Beam and Column Load/Span Tables" AISI Teknik Yayını, RG-936 Washington DC.

[8] **AISI**, (1993) "Fasteners for Residential Steel Framing" AISI Teknik Yayını, Washington DC.

[9] **AISI**, (2004), "Commentary on the Standard for Cold Formed Steel Framing Prescriptive Method for One and Two Family Dwellings 2001 Edition with 2004 Supplement" Steel Framing Alliance Teknik Raporu, Washington, DC.

[10] **Alfawakhiri, F. ve Sultan, M.A.**, (2001) "Loadbearing Capacity of Cold Formed Steel Joist Subjected to Severe Heating" Interfalam 2001, 9. Uluslararası Konferansı Bildirileri, cilt 1. s. 413-442, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction Yayını, NRCC-45009, Toronto. Kanada

[11] **[Alfawakhiri, F. ve Sultan, M.A.]**, (2000) "Fire Resistance of Loadbearing Lightweight Steel Framed Assemblies" 15. Uluslararası Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Strüktürler Konferansı, Bildirileri - National Research Council Canada, Institute for Research in Construction Yayını, NRCC-41533, St. Louis. Kanada

- [12] **Allen E.**, (1999) *Fundamentals of Building Construction Materials and Methods*, John Willey & Sons Inc., New York.
- [13] **Ambrose, J.**, (1993) *Building Structures*, John Wiley & Sons, New York.
- [14] **[Arda, T. S.**, (2001) “Deprem Bölgelerinde Çelik İskeletli Binalar” Yapısal Çelik Derneği, TUCSA, www.tusca.org, İstanbul.
- [15] **Arpacıoğlu, Ü.T.**, (2004) “Yangın Olgusu ve Yüksek Yapılarda Yangın Güvenliği”, M.S.G.S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, İstanbul.
- [16] **Arun, G.**, (2002) “Deprem Bölgelerinde Çelik Yapı” Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, TMMOB İstanbul Büyükkent Şubesi s.40-52.
- [17] **Arun, G.**, (2001) “Çelik İskelet Yapıların Mimari Tasarımı” Yapısal Çelik Derneği, TUCSA, www.tusca.org, İstanbul.
- [18] **Balcı, E.**, (2003) “Betonarme ve Hafif Çelik Taşıyıcılı Yapı Sistemlerinin Kaba Yapı Aşamasında Maliyetlerinin İrdelenmesi” İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, İstanbul.
- [19] **Bateman, B.W.**, (1997) “Light-Gauge Steel Verses Conventional Wood Framing in Residential Construction” *Journal of Construction Education*, Yaz 1997 Cilt:2 No:2, sayfa 99-108, University of Florida, Geinesville.
- [20] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, (1998) “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik – 1998 Değişiklikleri ile Birlikte- 1997 Deprem Yönetmeliği” 2. 7. 1998 – 23390 Sayılı Resmi Gazete.
- [21] **Berköz, S.**, (1968) “ Modüler Koordinasyon Çerçevesinde Bireysel Yapı Bileşenleri İçin Boyut Seçmek Amacıyla Kullanılabilecek Bir Metod” Basılmış Doktora Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [22] **Berman, J.W.**, “Cyclic Testing of Light-Gauge Steel Plate Shear Walls” *Seismic Design and Analysis of Structures*.
- [23] **British Standards Institution**, (1987) “British Standard-Structural Use of Steelwork in Building-part 5. Code of Practice for Design of Cold-Formed Sections” BS 5950: Bölüm:5
- [24] **Brockenbrough, R.L. ve Chen, H.H.**, (2001) “North American Specification for Design of Cold-Formed Steel” AISI, Washington DC.

[25] **Building Works Inc, Cambridge**, (2003) "Prescriptive Method for Connecting Cold Formed Steel Framing Insulating Concrete From Walls in Residential Construction" Yayın Referans No: H-21311CA, Cambridge.

[26] **Büyüктаşkın, H.A.**, (2001), "Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlar ve Taşıyıcı Sistemler", Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Derneği Yayını, sayfa: 24, Nisan 2001, TUCSA, İstanbul.

[27] **CCFSS** (1993) "AISI Specification Provisions for Screw Connections" Center for Cold-Formed Steel Structures, Teknik Bülteni, cilt: 1, no:1 Missouri-Rolla Üniversitesi Yayını, Rolla.

[28] **Cihini, S.A. ve Gupta, K.**, (1997) "A Comparison Between Steel and Wood Residential Framing Systems" Journal of Construction Education, Yaz 1997 Cilt:1 No:2, sayfa 133-145, University of Florida, Gainesville.

[29] **Desmond, C.**, (2000) "Bearing of Steel Studs on Concrete" Department of Civil and Geological Engineering, University of Manitoba, Lisans Tezi, Kanada.

[30] **Dubina, D. ve Fülöp, L. ve Ungureanu, V. ve Nagy, Z.** (2000) "Cold Formed Steel Structures for Single Storey Buildings" Steel Structures of the 2000's, Uluslararası Konferans Bildirileri, s:155-160 , 11-13 Eylül 2000, İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü, İstanbul.

[31] **Ellis, J.**, (2005), "Shear Wall Assemblies of Cold-Formed Steel", Framework, Temmuz-Ağustos 2005, sayfa:25-28, SFA Yayını, Washington, DC.

[32] **Ellis, J.**, (2005), "Connection for Cold-Formed Steel Construction", Framework, Kasım-Aralık 2005, sayfa:33-35, SFA Yayını, Washington, DC.

[33] **Eren, T.**, (2004), Konut Yapımında Gelişmiş Ahşap ve Hafif Çelik İskelet Sistemlerin Temel Yapı Elemanları Düzeyinde Analizleri, İTÜ FBE, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, sayfa 13,

[34] **Erenman, Ö. ve Mungan, İ. ve Mert, İ.** (2000) "Villa İnşası İçin Alternatif Yapı Sistemleri Karşılaştırmalı İncelemesi" Araştırma Raporu, Mimar Sinan Üniversitesi, Sanayi-i Nefise Vakfı.

[35] **Eriç, M.**, (1994) Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

[36] **Eser, L.**, (1979) Geleneksel ve Gelişmiş Geleneksel Yapı 2, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.

[37] **Foster. J.S.**, (1998) Structure and Fabric, Longman Yayınları, Londra.

- [38] **Fox, S.**,(2001) "Summary of Fire and Acoustics Building Code Requentments and Solutions for Residential Steel Framing in Canada" NAHB Research Center, Inc., Upper Marlboro, MD.
- [39] **Follis, D.**, (editör) (2000), Steel Desing, Cilt:32, No:1, sayfa:14-15, Dofasco Inc. Yayını, Ontorio, Kanada.
- [40] **Follis, D.**, (editör) (2000), Steel Desing, Cilt:32, No:2, sayfa:6-7, Dofasco Inc. Yayını, Ontorio, Kanada.
- [41] **Follis, D.**, (editör) (2001), Steel Desing, Cilt:33, No:1, sayfa:15, Dofasco Inc. Yayını, Ontorio, Kanada.
- [42] **Follis, D.**, (editör) (2002), Steel Desing, Cilt:34, No:2, sayfa:3-7, Dofasco Inc. Yayını, Ontorio, Kanada.
- [43] **Follis, D.**, (editör) (2003), Steel Desing, Cilt:35, No:2, sayfa:3-5, Dofasco Inc. Yayını, Ontorio, Kanada.
- [44] **Fröhlich, B. ve Schulenburg, S.**, der. (2003) Metal Architecture Design and Construction, Birkhäuser DBZ -Publishers for Architecture, Berlin.
- [45] **Gedik, E.**, (1997) Ahşap ve Çelik Yapılar, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- [46] **Gerlich J. T.**, (1995) "Design of Loadbearing Light Steel Frame Walls for Fire Resistance" Scool of Engineering University of Canterbury, Doktora Tezi, Araştırma Projesi Bölümü, Christchurch, Yeni Zelanda.
- [47] **Gök, N.**, (1993) "Mimari Tasarımda Bir Faktör Olarak Değişebilirlik" M.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış, Doktora Tezi, İstanbul.
- [48] **Gössel, P., ve Leuthäuser, G.**, (1991) "Architecture in the Twentieth Century" Taschen, Köln.
- [49] **Hasol, D.**, (1998), Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yem yayınları, İstanbul
- [50] **Hardin, M., ve Follen, J.**, (2005), "Innovative Affordable House", Framework, Ocak 2005, sayfa:36-39, SFA Yayını, Washington, DC.
- [51] **Helenius, A.**, (2000) "Models for The Shear Strength of Clinched Connections In Light Gauge Steel" Steel Structures of the 2000's Uluslararası Konferans Bildirileri, s:155-160 , 11-13 Eylül 2000, İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü, İstanbul.

[52] Henderson, D. ve Ginger, J. ve Reardon, G., “Performance of Light Gauge Metal Roof Cladding Subjected to Cyclonic Wind Loading” Cyclone Structural Testing Station, School of Engineering, James Cook University.

[53] HUD, (1999) “Innovative Residential Floor Construction: Horizontal Diaphragm Values for Cold-Formed Steel Framing” HUD Office of Policy Development and Resarch, Araştırma Raporu, Washington DC.

[54] HUD, (2003) “Steel Framing Prototype Development: Final Report ” HUD Office of Policy Development and Resarch, Araştırma Raporu, Washington DC.

[55] HUD, (2003) “Field Evaluation of Clinched Connections for Cold Formed Steel ” HUD Office of Policy Development and Resarch, Araştırma Raporu, Washington DC.

[56] HUD, (2003) “Hybrid Wood and Steel Details ” HUD Office of Policy Development and Resarch, Teknik yayını, Washington DC.

[57] Işık, B., (Nisan 2001) “Hafif elik Taşıcılı Yapılar”, elik Yapılar, Yapısal elik Derneği Yayını, TUCSA, İstanbul.

[58] Işık, B., (2001) “Konutta Hafif elik-elik Hafif Taşıyıcılı Sistemlerin Konut Yapımında Kullanılması” Yapısal elik Derneği, TUCSA, www.tusca.org, İstanbul.

[59] Işık, B., (2001) “Hafif elik Yapılar- Hafif elik Yapıların Geleneksel Ahşap Yapılar ile Benzerlikleri” Yapısal elik Derneği, TUCSA, www.tusca.org, İstanbul.

[60] Işık, B., (2005) “Hafif elik Yapılarda Ses İzolasyonu” Dünya İnşaat, Yıl:22, Sayı: 2005-11, sayfa:133-134, Dünya Yayıncılık, İstanbul.

[61] Karen, K.W. ve Winter, G., (1967) “Effects of Cold-Work on Light Gauge Steel Members” Journal of the Structural Division, ASCE, Cilt:93, No: ST1.

[62] Koncz, T. (1979) “ Prefabrikasyona Giriş” Yapı merkezi, Reyo Basımevi, İstanbul.

[63] Korkut, İ., (2001) “Yapı Malzemesi Olarak eliğin Endüstri Dışı Binalarda Kullanımı” Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri Bildirileri, TMMOB İstanbul Büyükkent şubesi s.40-52.

[64] Larson, J., (2005), “Corrosion of Galvanized Fasteners in Coastal Environments”, Framework, Nisan-Mayıs 2005, sayfa:26-27, SFA Yayını, Washington, DC.

[65] Lee, B. ve Chou, T. ve Hsiao, C. ve Chung, L. ve Huang, P. ve Wu, Y., “The Statistics and Analysis Building Damage on Chi-Chi Earthquake” International Training Programs for Seismic Design of Building Structures, National Center for Research on Earthquake Engineering, Tayvan.

[66] Lim, J. ve Nethercot, D.A. (2000) “Development of a Light Gauge Portal Frame System” Steel Structures of the 2000’s Uluslararası Konferans Bildirileri, s:155-160 , 11-13 Eylül 2000, İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü, İstanbul.

[67] Lorre, E.N., (1994) Residential Steel Framing Construction Guide, Technical Publications, Las Vegas, Nevada.

[68] Lu, W., (2003) “Optimum Design of Cold-Formed Steel”, Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures, Publications 25, Helsinki.

[69] Macdonald, J.A., (1998) Structural Design for Architecture, Architecture Press, Londra.

[70] Marulyalı, Y., (2001), “Çeliğin Mimaride Kullanılmasının Üzerinden 150 Yıl Geçti.”, Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Derneği Yayını, Mart 2001, TUCSA, İstanbul.

[71] Marulyalı, Y., (2001) “Çelik Yapıların 150 Yıllık Tarihi” Yapısal Çelik Derneği, TUCSA, www.tusca.org, İstanbul.

[72] Meyers, M.N. ve Souza, K.M., (1998) “Residential Steel Framing” Galvatech '98, Bildiri, Tokyo.

[73] MHRA, (2002) “Design for A Cold-Formed Steel Framed Manufactured Home: Final Report” Teknik Yayını, Patnership for Advancing Technology in Housing, Washington DC.

[74] Murao, O. ve Tanaka, H. ve Yamazaki, F., (2000) “Risk Evaluation Method of Building Collapse from the Experience of the Kobe Earthquake” 12. WCEE 2000 Konferansı, Referans No: 2312 /10 /A.

[75] NAHB, RC, (1999) “Innovative Residential Floor Construction Structural Evaluation of Steel Joist with Pre-Formed Web Openings ” HUD Office of Policy Development and Resarch, Araştırma Raporu, Washington DC.

[76] NAHB, RC, (1994) “Steel or Wood Framing: Which Way Should We Go?” EBNV, Cilt: 3, No:4 1994

[77] NAHB, RC, (1997) “Combined Axial and Bending Load Test of Fully-Sheathed Cold-Formed Steel Wall Assemblies” NAHB, AISI, HUD, Ortak Araştırma Raporu Sonucu, Washington DC.

[78] NAHB, RC, (1996) “Field Evaluations and Recommendations for Steel Frame Homes” HUD Office of Policy Development and Resarch, Araştırma Raporu Sonucu, Washington DC.

[79] NAHB, RC, (1997) “Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing” NAHB, AISI, HUD, Ortak Araştırma Raporu Sonucu, Washington DC.

[80] NAHB, RC, (1994) “Assesments of Damage to Residential Buildings Caused by the Northridge Earthquake” HUD Office of Policy Development and Resarch, Araştırma Raporu Sonucu, Washington DC.

[81] NAHB, RC, (2001) “Field Evaluation of PATH Technologies With Hopke Buildings and Grounds Sturgeon Missouri” Araştırma Raporu Sonucu, Patnership for Advancing Technology in Housing, Washington DC.

[82] NAHB, RC, (2002) “Field Evaluation of PATH Technologies With K. Havanian’s Idea Home Freehold, New Jersey” Araştırma Raporu Sonucu, Patnership for Advancing Technology in Housing, Washington DC.

[83] NAHB-RC, (2004) “Flexible Framing Track”, National Association of Home Builders Resarch Center, Inc, www.nahbrc.org

[84] NASFA, (1996) “Builder’s Steel Stud Guide” NASFA, Teknik Yayını, RG-9607, Washington DC.

[85] NASFA, (1999) “L-Shaped Header-Field Guide” NASFA, Teknik Yayını, NT19-99F, Washington DC.

[86] NASFA, (2000) Low-Rise Residential Construction Details, North American Steel Framing Alliance Yayınları, Washington

[87] NEWMAN, A., (2003) Metal Building Systems, Desing and Specifications, Macgrow-Hill, New York.

[88] Öner, Z. İ., (2001) “Çelik Yapıların Yangına Karşı Korunması” Yapısal Çelik Derneği, TUCSA, www.tusca.org, İstanbul.

[89] Özdil, S., (2002) “ Çelik Yapıların Ekonomisi” 1.Ulusal Yapı Malzemesi, Kongre ve Sergisi, Kongre bildirileri, s. 278-289.

[90] PATH, (2002) “Steel vs. Wood Long-Term Thermal Performance Comparison” PATH araştırma raporu, Washington.

[91] **PATH**, (2002) "Steel vs. Wood Cost Comparison" PATH Araştırma Raporu, Washington.

[92] **PATH**, (2002) "Residential Steel Framing Fire and Acoustic Details" PATH Araştırma Raporu, Washington.

[93] **Rizzuto, M.**, (2005), "Foundations for Steel Framing", Framework, Kasım-Aralık 2004, sayfa:30-32, SFA Yayını, Washington, DC.

[94] **Roger A. LaBoube**, (1997) "Desing Guide for Cold-Formed Steel Beams With Web Penetrations" American Iron and Steel Institute, Araştırma Raporu, Washington DC.

[95] **Salim, H. ve Dinan, R. ve Kiger S. ve Townsend, P. ve Shull, j.**, (2003) "Balast-Retrofit Wall Systems Using Cold-Formed Steel Studs" 16. ASCE Engineering Mechanics Konferansı, 16-18 Temmuz 2003, University of Washington, Seattle.

[96] **Saylan, S., ve Bellevi, M.**, (2004) "Kesmeye Zorlanan İnce Cidarlı Çelik Levhalarla Yapılan Cıvatalı Bağlantılarda Hasar Şekilleri" D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:6, sayı: 2, sayfa: 53-71, Mayıs 2004, İzmir.

[97] **Serrette, R. ve Hall, G. ve Ngyen, J.** (1997), "Additional Shear Wall Values for Light Weight Steel Framing" American Iron and Steel Institute, Washington DC.

[98] **Serrette, R. ve Hall, G. ve Ngyen, J.** (1996), "Shear Wall Values for Light Weight Steel Framing" American Iron and Steel Institute, Washington DC.

[99] **Serrette, R. ve Hall, G. ve Ngyen, J.** (1994), "Light Gauge Steel Shear Wall Tests" Department of Civil Engineering, Santa Clara University, Santa Clara.

[100] **SFA**, (2004) "Pressure Treathed Wood and Steel Framing" SFA, Teknik Raporu, Cilt: 1., Fasikül: 4.

[101] **SFA**, (2005) "A Guide to Fire and Acoustic Data for Steel Flor and Wall Assemblies" Steel Framing Alliance Teknik Raporu, Washington, DC.

[102] **Silvestre, N., ve Camotim, D.**, (2003) "Nonlinear Generalized Beam Theory for Cold Formed Steel Members" International Journal of Structural Stability and Dynamics, Cilt:3 No:4 s:461-490, World Scientific Publishing Company.

- [103] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Häuser in Stahl-Leichtbauweise", Yayın Referans no: D 560, Dusseldorf.
- [104] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Stahl im Wohnungsbau Innovativ Und Wirtschaftlich", Yayın Referans no: D 573, Dusseldorf.
- [105] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Stahl Schafft Erfolge", Yayın Referans no: Wohnungsbau mit Stahl, 079, Dusseldorf.
- [106] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Aufstokung Eines Fachworkhauses in Dislaken", Yayın Referans no: Wohnungsbau mit Stahl, 076, Dusseldorf.
- [107] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Profilhandbuch", Yayın Referans no: Wohnungsbau mit Stahl, Markblatt 480, Dusseldorf.
- [108] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Neus Wohnen mit Stahl", Yayın Referans no: D 574, Dusseldorf.
- [109] **Stahl Informations Zentrum**, (2001) "Reihenhäuser in Darmstadt", Yayın Referans no: D 080, Dusseldorf.
- [110] **Schmidt, G.**, (1998) "Fix und Fertig auf die Baustelle", Kostengünstiger Wohnungsbau mit Stahl, , 22 Eylül 1998, Sempozyum Bildirileri, Yayın Referans no: D 548, Stahl Informations Zentrum, Dusseldorf.
- [111] **Stahl Informations Zentrum**, (2001) "Wohnhaus in Manderscheid", Yayın Referans no: D 078, Dusseldorf.
- [112] **Stahl Informations Zentrum**, (2000) "Doppelhaus in Rudolstadt", Yayın Referans no: D 075, Dusseldorf.
- [113] **Stahl Informations Zentrum**, (2002) "Wohnungsbau mit Stahl-Profilhandbuch", Yayın Referans no: MB480, Dusseldorf.
- [114] **Sultan, M. A. ve Loughheed G.D.**, "Results of Fire Resistance Test on Full Scale Gypsum Board Wall Assemblies" Institute for Research Council, IR:833, Kanada.
- [115] **Stewart N.D.**, (2001) "Measurements of Apparent Sound Insulation of Exterior and Interior Walls" Araştırma Raporu, Patnership for Advancing Technology in Housing, Washington DC.
- [116] **Tartar, A.**, (2002) "Light Gauge Construction Technology and Design Possibilities" İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, İstanbul.

[117] **Terim, B.**, (2006) “Hafif Çelik Çerçeve Sistem” Ege Mimarlık dergisi, Sayı: 56, (Ocak 2006) sayfa: 44-47, İzmir Mimarlar Odası Yayını, İzmir.

[118] **Tissell, J.R.** (1993) “ Structural Panel Shear Walls” Araştırma Raporu No:154, American Plywood Association, Tacoma, WA.

[119] **Türk Standartlar Enstitüsü** (1989) “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” TS 825 - UDK 699.86, Ankara.

[120] **Türk Standartlar Enstitüsü** (1998) “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” TS 825 – ICS 91.120.10, Ankara.

[121] **Türk Standartlar Enstitüsü** (1987) “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” TS 498-UDK 624.042-351.78, Ankara.

[122] **Türk Standartlar Enstitüsü** (1980) “Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” TS 648-UDK 693.97, Ankara.

[123] **Türk Standartlar Enstitüsü** (1985) “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları” TS 4561-UDK 624.014.2-539.374, Ankara.

[124] **Weissbach, W.**, (1967) Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Üçer Matbaacılık, İstanbul.

[125] **Winter, G.**, (1970) “Commentary on the 1968 Edition of the Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members” American Iron and Steel Institute, New York,

[126] **Yamazaki, F. ve Murao, O.**, (1999) “Fragility Curves for Buildings in Japan Based on Experience from the 1995 Kobe Earthquake” Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo

[127] **Yıldırım, S.G.**, (2003) “Hafif Çelik Taşıyıcılı Endüstrileşmiş Konutlarda Tasarım Verileri” İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, İstanbul.

[128] **Zaharia R. ve Dubina, D.**, “Behaviour of Cold Formed Steel Truss Bolted Joints” The Experimental Programme, Politehnica University of Timisoara, Sayfa: 443-453 Romanya.

İNTERNET KAYNAKLARI

[129] www.bauen-mit-stahl.de

[130] www.daleincor.com

[131] www.deitrichmetalframing.com

[132] www.flaxc.com

[133] www.lightgauge.com

[134] www.light-gauge-steel.com

[135] www.lgsea.com

[136] www.lgsframing.com

[137] www.mafsa.com

[138] www.raygrage.com

[139] www.steelframingalliance.com

[140] www.steelinfo.dk

[141] www.steelnetwork.com

[142] www.steelwoodstuds.com

[143] www.tusca.org

Özgeçmiş

1978 yılında Kilis'te doğdu. Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık Bölümünden 2001 yılında, mimar unvanı ile mezun oldu. 2003 yılında, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladığı Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Bilim Dalı'ndaki görevine halen devam etmektedir.