

**T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİNİN HAFİF ÇELİK YAPIM
SİSTEMLERİNDE UYGULANMASINA YÖNELİK ANALİZ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Melike MUTLU AKAY

Mimarlık Ana Bilim Dalı

Yapı Bilgisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem EREN

ARALIK 2013

Melike MUTLU AKAY tarafından hazırlanan SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİNİN HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNDE UYGULANMASINA YÖNELİK ANALİZ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Doç. Dr. Özlem EREN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Bilgisi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

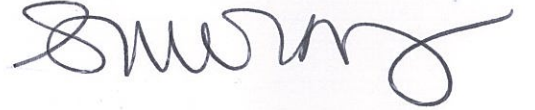
Başkan: : DOÇ. DR. ÖZLEM EREN



Üye : DOÇ. DR. SELİN GÜNDEŞ



Üye : YRD. DOÇ. DR. SAADET AYTIS



Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	vi
ÖNSÖZ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	2
1.2 Amaç	2
1.3 Kapsam	3
1.4 Yöntem	3
2. HAFİF ÇELİK SİSTEMLERDE KONSTRÜKSİYON KURULUŞU	4
2.1 Hafif Çelik Sistem	4
2.1.1 Hafif Çelik Sistemin Gelişimi	8
2.1.2 Kullanım Alanları	11
2.2 Hafif Çelik Sistemlerde Kullanılan Yapı Elemanları	15
2.2.1 Profiller	15
2.2.1.1 Üretim	18
2.2.2 Levhalar ve Bağlantı Elemanları	21
2.2.3 Montaj Elemanları	23
2.3 Hafif Çelik Sistemin Yapı Bileşenleri	24
2.3.1 Temel Sistemleri	24
2.3.2 Duvar Sistemleri	26
2.3.2.1 Taşıyıcı duvar	26
2.3.2.2 Bölücü duvar	31
2.3.3 Döşeme Sistemleri	32
2.3.4 Çatı Sistemleri	36
2.3.5 Tamamlayıcı bileşenler	40
2.3.5.1 Kaplama ve Yalıtım	40
2.3.5.2 Tesisat	43
2.4 Hafif Çelik Konstrüksiyon ve Yapım Sistemleri	45
2.4.1 İskelet Sistem	45
2.4.1.1 Platform Sistem	46
2.4.1.2 Balon Sistem	46
2.4.2 Panel Sistem	47
2.4.3 Hücre Sistem	47

3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİNİN HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI	49
3.1 Sürdürülebilirlik	49
3.1.1 Sürdürülebilirlik Kavramları	51
3.1.1.1 Çevresel, Toplumsal ve Ekonomik Faktörler	51
3.1.1.2 Yeşil Bina	53
3.1.1.3 Karbon Ayak İzi	54
3.1.1.4 Bütünsel Tasarım	55
3.1.1.5 Azalt, Tekrar Kullan, Geri Dönüştür	57
3.2 Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	58
3.2.1 LEED	59
3.2.2 BREEAM	62
3.2.3 Yeşil Konut Sertifikası	65
3.3 Hafif Çelik Sistemin Sürdürülebilirlik Stratejileri İle Değerlendirilmesi	66
3.3.1 Tasarım	69
3.3.2 Taşıyıcı Sistemde Aranan Temel Kriterler	70
3.3.2.1 Deprem Dayanımı	70
3.3.2.2 Rüzgar Dayanımı	72
3.3.2.3 Yangın Dayanımı	72
3.3.2.4 Korozyon Dayanımı	75
3.3.3 Enerji Tüketimi	77
3.3.3.1 Üretim	78
3.3.3.2 Kullanım	79
3.3.3.3 Isı Yalıtımı	81
3.3.3.4 Nakliyat	84
3.3.4 Çevre Koruma	85
3.3.4.1 Ses Yalıtımı	85
3.3.4.2 Geri Dönüşüm ve Atık	89
3.3.4.3 Çevre Kirliliğinin Azaltılması	91
3.3.5 Zaman	92
3.3.6 Maliyet	93
4. HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLİ PROJE ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ	95
4.1 Steellife Ekolojik Ev	95
4.1.1 Tasarım	97
4.1.2 Taşıyıcı Sistem	
4.1.3 Enerji Tüketimi	100
4.1.4 Sürdürülebilirlik Faydaları	102
4.2 35. Cadde	107
4.2.1 Tasarım ve Enerji	108
4.2.2 Taşıyıcı Sistem	
4.2.3 Enerji Tüketimi	114
4.2.4 Sürdürülebilirlik Faydaları	116
4.3 Terrace Life	120
4.3.1 Tasarım	120
4.3.2 Taşıyıcı Sistem	123
4.3.3 Sürdürülebilirlik Faydaları	125
4.4 Dinslaken' de Eski Eser Evin Güçlendirilmesi	129

4.4.1 Tasarım	129
4.4.2 Taşıyıcı Sistem	133
4.4.3 Sürdürülebilirlik Faydaları	137
4.5 Finlandiya’da Apartman, Rautaruukki Oyj	140
4.5.1 Taşıyıcı Sistem	140
4.5.2 Sürdürülebilirlik Faydaları	142
4.6 Kista’da Öğrenci Yurdu (Daireleri)	144
4.6.1 Taşıyıcı Sistem	144
4.6.2 Sürdürülebilirlik Faydaları	146
5. SONUÇ	148
KAYNAKLAR	152
ÖZGEÇMİŞ	157

ÖZET

Bu çalışma hafif çelik yapım sistemlerini inceleyerek olumlu ve olumsuz yönlerini saptamayı, sürdürülebilirlik stratejilerini belirlemeyi ve tüm bu stratejilerle de hafif çelik sistemi incelemeyi ve irdelemeyi içerir. Bu amaçla çalışma dört bölümde incelenmektedir.

Birinci bölümde problemin tespitine ve amacına yer verilmektedir. Hafif çelik yapım sistemleri sünekliği, esnekliği ve hafifliği ile depreme iyi karşılık veren bir sistemdir. Prefabrike ve hafif bir sistem olduğu için nakliyatı kolay olmakta birlikte şantiye ortamı ile kentsel dokulara uygulama sırasında zarar vermez. Sıcak haddelenmiş çelik ancak daha yüksek yapılarda maliyet ve diğer konularda getiri sağlamaya başlayabilmektedir. Az katlı yapılarda hafif çelik sistem tercih edilebilmesi daha avantajlıdır. Ancak deprem bölgesi olan ülkemizde depreme dayanıklı olan hafif çelik sistemin üretimi ve imalatı azdır. Bununla birlikte tüketilen enerjiler, zararlı gazlar, doğadan alınanın geri verilmemesi ile Dünyamızdaki ekolojik dengeler hızla bozulmaktadır. İki sorun yan yana getirilerek birbirleriyle bağlantılarının kurulması, sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi, belirlenmiş olan sürdürülebilirlik stratejileri ile hafif çelik yapım sisteminin incelenmesi ve doğuracağı sonucun analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

İkinci bölümde hafif çelik sistemlerin konstrüksiyon kuruluşu anlatılmaktadır. Sistemin gelişimi, bileşenleri, bir araya gelişleri, yapı bileşenleri, yapım sistemleri incelenmektedir.

Üçüncü bölümde sürdürülebilirlik stratejilerinin hafif çelik yapım sistemlerinde uygulanmasına yönelik anlatımlar yer almaktadır. Sürdürülebilirlik açılımı, etkileyen faktörler, ana kavramlar, yapılarda uygulanabilmesine yönelik çalışmalar, yeşil bina

değerlendirme sistemleriyle incelenmesi, stratejilerinin belirlenmesi ve hafif çelik sistemlerin belirlenen stratejilere göre değerlendirilmesi yer almaktadır. Sistemin geliştirilme ve iyileştirme imkanlarına yönelik analizleri ve önerileri içermektedir.

Dördüncü bölümde incelenen hafif çelik yapım sisteminin uygulandığı örnekler belirli kriterler doğrultusunda analiz edilmektedir. Elde edilen analiz sonuçları ile hafif çelik yapım sistemlerinin sürdürülebilirlik stratejilerini ne kadar gerçekleştirdiği sayısal değerlerle ve açıklamalarla ortaya konmaktadır.

SUMMARY

This study examining the cold-formed steel building system to determine the positive and negative aspects of the sustainability strategy to identify and examine all of these strategies and to analyze cold-formed steel system provides. In this study are analyzed in four sections.

In the first part of the problem determination and purpose are given. Cold -formed steel construction systems ductility , flexibility and lightness earthquake with a system that is good value for money . For a system which is prefabricated and lightweight construction site along with being easy to transport to the urban fabric will not hurt during practice . Hot-rolled steel but at a higher cost structure and other issues can begin to provide returns . Low-rise buildings can be cold-formed steel systems are more advantageous choice . However, our country is in earthquake earthquake -resistant lightweight steel production and manufacturing of the system is less. However, the energy consumed , harmful gases, taken from nature and not given back the ecological balance of our world is rapidly deteriorating . Two problems establishing connections arranged side by side with each other, the determination of the sustainability strategy, sustainability strategy, which identified şekillendiril with the cold steel construction systems, and examination of the implications of the analysis are intended to be.

In the second part of the foundation of the construction of cold-formed steel systems are described. The development of systems, components, composition, structure components, production systems are examined.

In the third part of the sustainability strategy for the implementation of cold-formed steel construction systems include narration. Sustainability initiative, influencing

factors, key concepts, structures for implementation studies, examining with green building rating system, determine strategies and identification of cold-formed steel systems are evaluated according to the strategies. System for the development and optimization analysis and recommendations include.

In the fourth chapter examined the application of cold-formed steel building system that samples are analyzed in accordance with certain criteria. The results obtained with the analysis of cold-formed steel construction systems performed lightning fast how sustainability strategy is demonstrated with numerical values and descriptions.

ÖNSÖZ

Tezimin oluşumu ve gelişiminde her türlü desteği sağlayan, öncelikle bilgisini, kaynağını ve zamanını benimle paylaşan, en önemli katkı sahibi, değerli tez danışmanım Doç. Dr. Özlem EREN' e,

Aldığım lisans ve yüksek lisans eğitim sürecince çalıştığım bütün hocalarıma,

Yanımda olan ve bana destek veren tüm dostlarıma ve iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ve özellikle;

Hayatım boyunca bana her zaman destek olan ve güven veren, üzerimdeki haklarını asla ödeyemeyeceğim sevgili annem Mümine MUTLU ve sevgili babam Fahri MUTLU' ya, sevgili ablam Merve MUTLU KALYONCU' ya,

Tüm sabrı ve sevgisi ile beni her zaman destekleyen sevgili eşim Özer AKAY' a sonsuz teşekkür ederek bu çalışmayı onlara armağan ediyorum.

Aralık, 2013

Melike MUTLU AKAY

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Çinko Kaplama Özellikleri ve Kullanım Alanları [8].....	16
Çizelge 2.2. Hafif çelik elemanların büküm noktaları ile güçlendirilmesi [2].....	17
Çizelge 3.1. Sürdürülebilir yapılaşma ile çevre-ekonomi-toplum ilişkisi [64].....	52
Çizelge 3.2. Sürdürülebilir tasarımda birden fazla takım oluşturma düzenlerini birleştirme stratejileri [19].....	56
Çizelge 3.3 : LEED-NC' nin puanlaması [49].....	60
Çizelge 3.4 : Çeliğin geri dönüştürülen içeriği [49].....	61
Çizelge 3.5 : BREEAM puanlama [74].....	64
Çizelge 3.6 : BREEAM derecesinin belirlenmesi [74].....	64
Çizelge 3.7. BRE Yeşil Kılavuzu malzemelerin çevresel değerlendirilmesi [33]	66
Çizelge 3.8. Bina Yönetmelikleri ile uyum sağlanan Maksimum U-değerleri (W/m ²) (Breeam'e göre) [33]	79
Çizelge 3.9. Çelik ürünün geri dönüşümü [33].....	89
Çizelge 3.10. Prefabrikasyonun çeşitli düzeyler ile sistemlerde maliyet ve zaman faktörlerinin karşılaştırılması [34]	93
Çizelge 4.1. Referans bina ile Eko Ev'in enerji ihtiyaçlarının karşılaştırılması [79].....	99
Çizelge 4.2. Steellife Ekolojik Ev'in bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi	102
Çizelge 4.3. Steellife Ekolojik Ev'in sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi.....	106
Çizelge 4.4. Daire tip, adet ve alanları [82]	110
Çizelge 4.5. 35. Cadde'nin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi	115
Çizelge 4.6. 35 Cadde'nin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi	119
Çizelge 4.7. Konut tipleri [82]	122
Çizelge 4.8. Terrace Life'nin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi.....	125

Çizelge 4.9. Terrace Life'nin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi	128
Çizelge 4.10. Dinslaken'de eski eser evin güçlendirilmesinin bina hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi.....	137
Çizelge 4.11. Dinslaken'de eski eser evin güçlendirilmesinin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi.....	139
Çizelge 4.12. Finlandiya'da apartmanın bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi	142
Çizelge 4.13. Finlandiya'da apartmanın sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi.....	143
Çizelge 4.14. Kista'da öğrenci yurdunun bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi	146
Çizelge 4.15. Kista'da öğrenci yurdunun sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi.....	147
Çizelge 5.1. Tüm örneklerin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi ve sonucu	149
Çizelge 5.2. Tüm örneklerin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi sonucu oluşturulan hafif çelik sistem sürdürülebilirlik kontrol listesi	150

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Farklı hafif çelik profil şekillerinin toplamı (koleksiyonu) [18].....	5
Şekil 2.2. Hafif çelik sistemlerde kullanılan bazı profil kesitleri [1].....	5
Şekil 2.3. Hafif çelik profillerin düşey ve yatay elemanları ve panel ile tamamlanması [15].....	6
Şekil 2.4. Çelik profiller ile yapılmış taşıyıcı bir çatı sistemi örneği [15]	6
Şekil 2.5. Hafif çelik iskeleti ve tamamlanmış hali [76].....	7
Şekil 2.6. Hafif çelik çerçeve iskeleti ve konut örneği [76].....	11
Şekil 2.7. Belçika’da boş bir ara alanın hafif çelik yapım sistemi ile tamamlanması, inşaat aşamasında ve tamamlandıktan sonra [92].....	11
Şekil 2.8. Hafif çelik taşıyıcı sistem kullanılarak yapılan Berlin’de bir muayenehanenin iç mekan tasarımı, taşıyıcı olan profiller, üstünün kaplanması ve kurulumunun tamamlanmasından sonra [92].....	12
Şekil 2.9. Herford Sanat Müzesi, inşaat sırasında hafif çelik profiller ve tamamlanmış hali [92]	12
Şekil 2.10. Ashorne Tepesi Koleji, İngiltere’de 115 yıllık eski binanın düşük ekonomi ve kısa inşaat süresi sağlayan hafif çelik sistem ile iki katlı bir uzantı ile genişletilmesi [92].....	13
Şekil 2.11. İhtiyaç nedeniyle 10 yıllık hastane yapısının üzerine hafif çelik Sistem ile iki kat ilave edilmesi, Rzeszow, Polonya [92]	13
Şekil 2.12. Yük getirmeyen hafif çelik taşıyıcılar ile asma tavan yapılması, Paisley Kilisesi, Paisley, İskoçya [92]	14
Şekil 2.13. Hafif çelik C ve U profilleri	16
Şekil 2.14. Başlık profillerinin dikmelerde alt ve üst başlık olarak kullanılması [15]	17
Şekil 2.15. Hafif çelik profillerin sınıflandırılması	18
Şekil 2.16. Bükme ile şekillendirme [18]	19
Şekil 2.17. Pres soğuk şekillendirme adımları [18]	19
Şekil 2.18. Basit bir profili oluşturan rulo şekillendirme aşamaları [18].....	20
Şekil 2.19. Rulo şekillendirme (soğuk haddeleme) [18].....	20

Şekil 2.20. Kaset levha kesiti ve trapez levha kesit ve görünüşü [18]	21
Şekil 2.21. Hafif çelik profilli karışık sistemli yapıda trapez levha kullanımı [15].....	21
Şekil 2.22. Trapez levha yapı dış yüzeyinde cephe ve çatı kaplaması olarak [88].....	22
Şekil 2.23. Trapez levhanın çatı malzemesi olarak kullanıldığı bir örnek [89]	22
Şekil 2.24. Bağlantı profilleri [15]	22
Şekil 2.25 : Montaj elemanları [15]	23
Şekil 2.26. Duvarın temele ankre edilmesi [93].....	24
Şekil 2.27. Temel kesit detayı [93]	25
Şekil 2.28. Duvar konstrüksiyonu [6]	26
Şekil 2.29. Dikme ve kirişlerin aynı hizada düzenlenmesi [14]	27
Şekil 2.30. Duvarlara çaprazların monte edilmesi [93].....	27
Şekil 2.31. Duvarlara düşey ve yatay kayıt atılması [93]	28
Şekil 2.32. Duvarlarda köşe birleşim detayı [93].....	28
Şekil 2.33. Duvarlara T birleşim detayı [93].....	29
Şekil 2.34. İki kat duvarlarının birbiri ile bağlantısı [93]	29
Şekil 2.35. Süreksiz duvar başlıklarının birleşimi [93].....	30
Şekil 2.36. Kirişe paralel ayırıcı duvar üst bağlantısı [93].....	31
Şekil 2.37. Taşıyıcı iç duvarda farklı doğrultulu döşeme kirişleri birleşimi [2].....	32
Şekil 2.38. Döşeme stabilite elemanları [2]	33
Şekil 2.39. Döşeme kiriş kapaklarının köşe birleşimi [93]	34
Şekil 2.40. Hafif çelik döşemenin betonarme perde ile mesnetlenmesi [93].....	34
Şekil 2.41. Döşeme kirişinin taşıyıcı duvara mesnetlenmesi [93]	35
Şekil 2.42. Sırt-sırt döşeme kirişlerinin duvar mesneti [93].....	35
Şekil 2.43. Teras ve eğimli çatı [2]	36
Şekil 2.44. Eğimli çatı kuruluşu [2]	36
Şekil 2.45. Mahya detay alternatifleri [2]	37
Şekil 2.46. Çatı aşıklarının duvarlara mesnetlenmesi [93]	37
Şekil 2.47. Aşıkların omurga ve duvara mesnetlenmesi [93]	38
Şekil 2.48. Çatı aşıklarının omurgaya bağlanması [93]	38
Şekil 2.49. Çatı aşık dikmesi ve döşeme bağlantısı [93]	39
Şekil 2.50. Sistem detayı 1 – çatı, duvar ve döşeme kaplamaları ile yalıtım malzemelerinin sisteme dahil oluşunun gösterimi [93]	41
Şekil 2.51. Sistem detayı 2 – temel üstü, duvar ve döşeme kaplamaları ile	

yalıtım malzemelerinin sisteme dahil oluşunun gösterimi [93]	42
Şekil 2.52. Tesisatın hafif çelik sistemle birlikte hazırlanması [15].....	43
Şekil 2.53. Duvar içi tesisat örneği [15].....	43
Şekil 2.54. Ses yalıtımlı tesisat yerleşimi [15].....	44
Şekil 2.55. Duvardaki yangın korumalı elektrik tesisatı [15]	44
Şekil 2.56. İskelet sistemin şantiye görüntüleri [15].....	45
Şekil 2.57. Platform sistem [2].....	46
Şekil 2.58. Balon sistem [2]	46
Şekil 2.59. Panel sistemin şantiye görüntüleri [15].....	47
Şekil 2.60. Hücre sistemin fabrika üretimi, şantiye alanına vinçle indirilmesi ve montajı [89]	48
Şekil 3.1. Sürdürülebilirlik ile çevre-ekonomi-sosyal etkinin şematik anlatımı [19]	51
Şekil 3.2. Bir kişinin tipik karbon ayak izinin dökümü [68].....	54
Şekil 3.3. Hafif çelik inşaatı için anahtar kelimeler [33]	66
Şekil 3.4. Hafif çelik çerçevelemeye eklenmiş tuğla kaplama ve yalıtım [33].....	67
Şekil 3.5. 2 katlı ev için tipik tuğla kaplamada kullanılan inşaat malzemelerinin ağırlığı [36].....	68
Şekil 3.6. Esnek iç bölme değişikliği imkanı sağlayan kat planı örneği [15].....	69
Şekil 3.7. Türkiye deprem haritası [80]	71
Şekil 3.8. Bölme duvarda yangın yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın sıcaklık akışı üzerindeki etkisi [15].....	73
Şekil 3.9. Hafif çelik yapıda yangın duvarı [15].....	74
Şekil 3.10. Hafif çelik yapıda yangın koruma teknikleri [15].....	75
Şekil 3.11. Korozyondan koruma için profillerin hafif eğimli depolanması [15].....	76
Şekil 3.12. Güneş ışınlarından faydalanan konut örneği [91].....	77
Şekil 3.13. Hafif çelik çerçeveleme panellerin (gelişmiş) fabrika üretimi [33].....	78
Şekil 3.14. ABD çelik sektöründe ton başına enerji tüketimi [55]	80
Şekil 3.15. Termal profil gövdesi ve kesit içerisindeki ısı akışı [15].....	81
Şekil 3.16. Termal profil ile çatı (A) ve taban (B) birleşimi [15]	82
Şekil 3.17. Isı geçişinin önlenmesi [15].....	84
Şekil 3.18. Ses yalıtımlı duvar örneği [15]	86
Şekil 3.19. Akustik profiller [15]	86
Şekil 3.20. Bağlantı tiplerine göre darbe ses değerleri, darbe ve ses yalıtımlı tavan döşeme örneği [15]	88
Şekil 3.21. Hafif çelik yapıda ses iletim yolları [15]	88

Şekil 3.22 . Geri dönüştürülebilir çeliğin yaşam döngüsü [64]	90
Şekil 3.23. Hafif çelik iskeleti ve tamamlanmış hali [76].....	92
Şekil 4.1. Ekolojik ev görünüşü [80]	96
Şekil 4.2. Güney görünüşü [80]	98
Şekil 4.3. Kuzey görünüşü [80]	98
Şekil 4.4. İç mekan görünüşü [80]	100
Şekil 4.5. Devam eden taşıyıcı sistem montajı [80].....	100
Şekil 4.6. Çatı ve duvar taşıyıcı sistem görünüşü [80].....	101
Şekil 4.7. Birleşim noktaları [80].....	101
Şekil 4.8. Sistemin kaplanması [80].....	101
Şekil 4.9. Çatı penceresi [78]	104
Şekil 4.10. Proje konumu [83]	107
Şekil 4.11. Zemin bahçe alanları, üst ve ara kat teras (bahçe) alanları [83]	108
Şekil 4.12. Sokak düzenlemesi [83]	109
Şekil 4.13. Ortak alan düzenlemeleri [83]	109
Şekil 4.14. Gece görünümü [83]	109
Şekil 4.15. Sokaklardaki ara bağlantılar [83].....	110
Şekil 4.16. 1+1 (stüdyo) bahçeli ev [83].....	111
Şekil 4.17. 2+1 daire [83].....	111
Şekil 4.18. 2+1 bahçe dubleksi [83].....	111
Şekil 4.19. 3+1 bahçe dubleksi [83].....	112
Şekil 4.20. 3+1 sıra ev [83].....	112
Şekil 4.21. Avlulu ev [83].....	112
Şekil 4.22. Proje kesiti [83].....	113
Şekil 4.23. Ses yalıtımlı özel tasarlanan duvar [82].....	113
Şekil 4.24. Çatı ve cephelerin yalıtılması [82].....	114
Şekil 4.25. Hafif çelik sistem görünüşü [82]	114
Şekil 4.26. Hafif çelik sistem ve betonarmenin bir arada kullanılması [82].....	114
Şekil 4.27. Tasarruf edilen sudan tekrar kullanımı sağlanan proje havuzu [83]...	116
Şekil 4.28. Teknik donanım [82].....	117
Şekil 4.29. Zor olan topografik arazi ve proje [82].....	117
Şekil 4.30. Ağaçlarla beraber konumlanma [94]	121
Şekil 4.31. Vaziyet planı [82]	121
Şekil 4.32. Duvar kurulumu [94]	123
Şekil 4.33. Doğa ile beraber hafif çelik sistem [94].....	124

Şekil 4.34. Sağlık ve konfor [82]	126
Şekil 4.35. Eğimli arazide konumlanma ve ‘kuru’ sistem ile çevre koruması [94]	126
Şekil 4.36. Ağaç ve yapı [82].....	127
Şekil 4.37. 17. Yüzyıldan kalan eski evin güçlendirme öncesi hali [90].	130
Şekil 4.38. Çatısının sökülmesi/onarılması [90]	130
Şekil 4.39. Kat planları ve çatı kirişleri [90].....	131
Şekil 4.40. Yapı görüşü [90]	131
Şekil 4.41 : Çatı ve düzenleme kesiti [90]	131
Şekil 4.42. Solda kagir duvarları görünen yapının yenilenmiş üst sağ bölümü ve güçlendirilmiş çatısı [90]	132
Şekil 4.43. Son hali [90].....	132
Şekil 4.44. Yapıda kagir duvardan hafif çelik sisteme geçiş ve son hali [91]	133
Şekil 4.45. Tavan konstrüksiyonunda sıcak işlenmiş ve soğuk şekillendirilmiş (hafif) çelik profil kullanımı [90]	134
Şekil 4.46. İki hafta içerisinde tamamlanana kaba inşaatı [90].....	134
Şekil 4.47. Çatı sistemi [90].....	135
Şekil 4.48. Saçaklı cephe kesiti [90]	135
Şekil 4.49. Çelik profiller arasına yerleştirilmiş tesisat [90].....	136
Şekil 4.50. Yaşam alanı [90]	138
Şekil 4.51. Hazır duvar panel üretimi ve hafif çelik profilde balistik tırnaklı çivi, Rautaruukki Ojy, Finlandiya) [15]	140
Şekil 4.52. Hazır duvar panel montajı [15]	141
Şekil 4.53. Hazır duvar panel montajı [89]	144
Şekil 4.54. Hücrelerin inşaat alanına getirilmesi [89].....	144
Şekil 4.55. Fabrikada prefabrike olarak hazırlanmış, modüllerin sahada tek tek kurulması [89]	145
Şekil 4.56 : Hafif çelik hücrelerden oluşmuş öğrenci daireleri [89]	145
Şekil 5.1. Kaynak tüketimi ve çevre kalitesi ilişkisi [86]	148

KISALTMALAR LİSTESİ

BOF	: Basic Oxygen Furnace
EAF	: Electronic Arc Furnace
SSMA	: Steel Stud Manufacturers Association
SFA	: Steel Framing Alliance
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
USA	: United States of America
USGBC	: US Green Building Council
AISI	: American Iron and Steel Institute
LCA	: Life-Cycle Assessment
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
SCI	: Steel Construction Institute
NASFA	: North American Steel Framing Alliance
CSSBI	: Canadian Sheet Steel Building Institute
SRI	: The Steel Recycling Institute
NAHBRC	: National Green Building Standard
DOE	: Department of Energy
NBI	: New Buildings Institute
ASRO	: Asociatia De Standardizare Din Romania
YEM	: Yapı Endüstri Merkezi
TUSCA	: Türk Yapısal Çelik Derneği
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi

1. GİRİŞ

Doğada insanlar yerleşik hayata geçtiğinden beri barınma ve korunma ihtiyacı içinde olmuşlardır. Bu ihtiyaçlara cevap olarak ortaya çıkan gelişmeler hızlandıkça insan doğaya zarar vermeye başlamıştır. Kaynak tüketimi arttıkça çevre kalitesi düşmüştür. Son dönemdeki küresel ısınma ve çevresel bozulmalar tehlike sinyalleri vermektedir.

Sürdürülebilirlik yaklaşık olarak otuz yıl önce kabul edildi, tanımı ise: kendi ihtiyaçlarını karşılamak için gelecek nesillerin yeteneğini tehlikeye atmadan, bugünün ihtiyaçlarına hizmet vermektir [1]. Günümüzde, nüfus artışı, sınırlı kaynakların tükenmesi, ortaya çıkan iklim anormallikleri ve fosil yakıt yanma gazları; mimarları, inşaatçıları ve mal sahiplerini kaynakları akıllıca kullanan ürünlere yönlendirmeye başladı. Bu toplumsal bilinç ve artan enerji maliyetlerinin maddi gerçeği ile ortaya sürdürülebilir alternatifler konulmakta ve bu sürdürülebilir alternatifler ile yatırımların, yapı ömrünce geri ödendiği görülebilmektedir. Basit olarak denilebilir ki yeşil bina geri ödeyecektir.

Bunun üzerine sürdürülebilir bir inşaat projesinin devreye alınabilmesi için ülkeler yeşil bina girişimleri ile değerlendirme sistemleri geliştirdi. Programlar genellikle, özel alanları kapsayan kurallardan oluşur; enerji, kaynak ya da su tasarrufu gibi. Puan ise proje hedeflerini karşılamak için çevre tercihli işlemler veya malzeme istihdamı için verilir.

Tüm bunlarla beraber tekrar başa dönersek, doğada insanlar yerleşik hayata geçtiğinden beri barınma ve korunma ihtiyaçlarına cevap olarak ortaya çıkan gelişmelerle beraber birçok malzeme ve yapım tekniği de denemiştir. Bunlardan geç dönem olarak, modern dünyanın vazgeçilmez malzemesi çelik üretimi 1850 Sanayi Devrimi sonrasında yapılarda ortaya çıkmıştır. Çeliğin bir türü olan hafif çelik ise 1980'lerden itibaren Amerika ve Avrupa ülkelerinde kullanılırken ülkemizde depreme dayanıklı bir sistem olduğundan 1999 depreminden sonra tanınmaya ve uygulanmaya başlamıştır.

1.1 Problemin Tanımı

Binalarda kullanıcı konforunu temin etmek için ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma amacıyla harcanan enerji dünyadaki toplam enerjinin hemen hemen yarısı kadardır ve toplam karbon salınımının 1/3'ü ve hatta daha fazlasından binalar sorumludur. Bu nedenledir ki, tüm dünya ülkelerinde binaların kullanım sırasındaki sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik önlemler alınmakta ve uyulması zorunlu yönetmelikler çıkartılmaktadır [2].

Ülkemizde inşaat sektöründeki genel eğilim öncelikle binaların ilk yatırım maliyetinin düşük olması yönündedir ve bu nedenle çoğu kez enerji maliyetlerinin çok yükselmesi ve bunun sonucu olarak binanın yaşam dönemi maliyetinin artması gözden kaçmaktadır. Maliyet dahil, konfor ve enerji verimliliği analizleri uzmanları tarafından doğru zamanda yapıp, tasarımcılar doğru yönlendirilirse olumlu sonuçlar elde edilebilir.

Tüm bunlarla beraber hafif çeliğin kullanım durumunu incelersek; dünyada yapısal çeliğin inşaat sektöründe kullanım oranı %60'ı bulmaktadır. Çelik üretiminde Türkiye dünya sıralamasında 11'inci, Avrupa'da 3'üncü sırada yer almasına ve çelik endüstrisinin 7 ile 10 milyon m² inşaat alanı üretilebilecek kapasitede olmasına rağmen, ülkemizdeki inşaatların yalnızca %5'inde yapısal çelik kullanılmaktadır. Bu oran, diğer ülkelerle karşılaştırıldığında çok düşüktür. Türkiye'deki konutlardaki çelik kullanım oranı ise %0.5'e kadar düşmektedir. İngiltere'de bu oran %54, İskandinav ülkelerinde %40, Fransa ve Almanya gibi betonarme kullanımın yaygın olduğu ülkelerde ise en az %30'dur. Endüstri yapılarında ise bu oran %90'lara kadar çıkarken, Türkiye'de sadece %30'dur [3].

Bu durumda problemin; binaların tüketimde etkin rol oynaması, geri dönüşümü ve tekrar kullanımı ile tüketimi azaltabilecek bina yapım teknolojisi olan hafif çelik sistemlerin kullanımının ise oldukça düşük olması olarak söylenebilir.

1.2 Amaç

Küresel ısınma ile birlikte ekolojik dengelerin bozulması ve deprem gerçeği ile yaşayan Türkiye koşullarında, belirlenmiş olan sürdürülebilirlik stratejileri ile hafif

elik konstrüksiyonlu bina yapımının avantajları analiz edilmiştir.

Hafif eliğın tüm taşıyıcı yapı ürünlerinden ağırlık olarak daha yüksek mukavemeti vardır; hafif bir sistemdir, atığı yoktur, yangın güvenliğı, ısı, nem ve ses yalıtımı ve yapının hızı ile zaman kazancı da olan ‘kuru’ bir sistemdir. Bu özelliklere sahip hafif elik birden fazla yeşil bina değerlendirme sistemleri hedeflerini karşılayacak bir yapı malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Bu alışma ile, sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak hafif eliğın uygunluğunu saptamak ve yeşil bina boşluklarını doldurmak amaçlanmaktadır.

1.3 Kapsam

Bu alışma; hafif elik yapıım sistemlerinin parçalarından bina oluşumuna kadar özellikleri ile birlikte değerlendirilmesi ve sürdürülebilirlik kavramının irdelenmesi, sürdürülebilirliğı etkileyen başlıkların oluşturulması, oluşturulmuş tüm bu başlıklar altında hafif elik sistemin irdelenmesini ve sonucunu kapsamaktır.

1.4 Yöntem

Çalışmada uygulanan yöntem;

- Hafif elik ile ilgili dokümanların taraması,
- Yapı elemanlarının belirlenmesi ve bunların çerçeve yapıımında kullanılması,
- Sürdürülebilirlikle ilgili dokümanların araştırması,
- Sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlemesi,
- Türkiye’deki hafif elik yapıım sektörüne hizmet veren firmaların kataloglarının incelemesi,
- Hafif elik yapı örneklerin incelenmesi,
- Hafif elik sistemlerin altı durum çalışması ile sürdürülebilirlik kriterlerini gerçekleştirme oranlarının tablolar ile ortaya konması.

2. HAFİF ÇELİK SİSTEMLERDE KONSTRÜKSİYON KURULUŞU

2.1 Hafif Çelik Sistem

Çelik yapılar iki tür taşıyıcı sistem ile inşa edilirler. Birincisi, sıcak çekilen ağır çelik hadde profilleri ile yapının kolon-kiriş çelik iskeletinin inşa edilmesidir. İkincisi, soğuk bükme ince cidarlı profiller yan yana getirilerek duvar/döşeme taşıyıcısı oluşturmaktır. İkinci grubu oluşturan sisteme hafif çelik taşıyıcılı sistem denilmektedir.

Her iki yüzeyi çinko ile kaplanmış (zinc coated) olan levhalara galvanizli levha denilmektedir. Hafif çelik yapı sistemi, ince cidarlı galvanizli çelik sacın, soğuk şekillendirme yöntemi ile bükülerek mukavemet kazanması ile taşıyıcı profil olarak kullanılmasıdır. Taşıyıcı sistem bileşenleri çeşitli tipte profiller olarak imal edilir.

İngilizce’ de “Light Gauge Steel Framing” veya “Cold Formed Steel Framing” olarak tariflenen sistem, Türkçe’de “Hafif Çelik Taşıyıcılı Sistem” olarak tariflenmektedir. Türkçe’ de “Hafif Çelik” tanımı, kullanılan çelik malzeme kesitinin ince cidarlı ve hafif olmasından dolayı kullanılmaktadır [4].

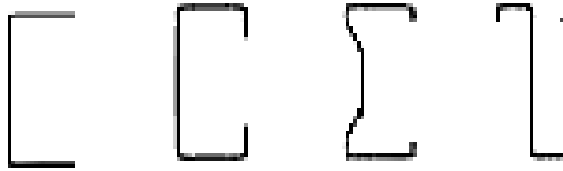
Bu sistemler ahşap iskelet yapıya benzer. 5/10 kesitli ahşapların yerini soğukta şekillendirilmiş çelik profiller alır. Çelik tasarımı işlenmiş C,U,Z profillerinden oluşan kolon tasarımlarıdır, bunların et kalınlığı 0,6 mm’den 2,5 mm’ye kadar çıkmaktadır ve ağırlığı maksimum 0,075 kN/m dir [5].

Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi hem basit hem kompleks (karmaşık) profiller taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan uygulamalar için oluşturulabilir.



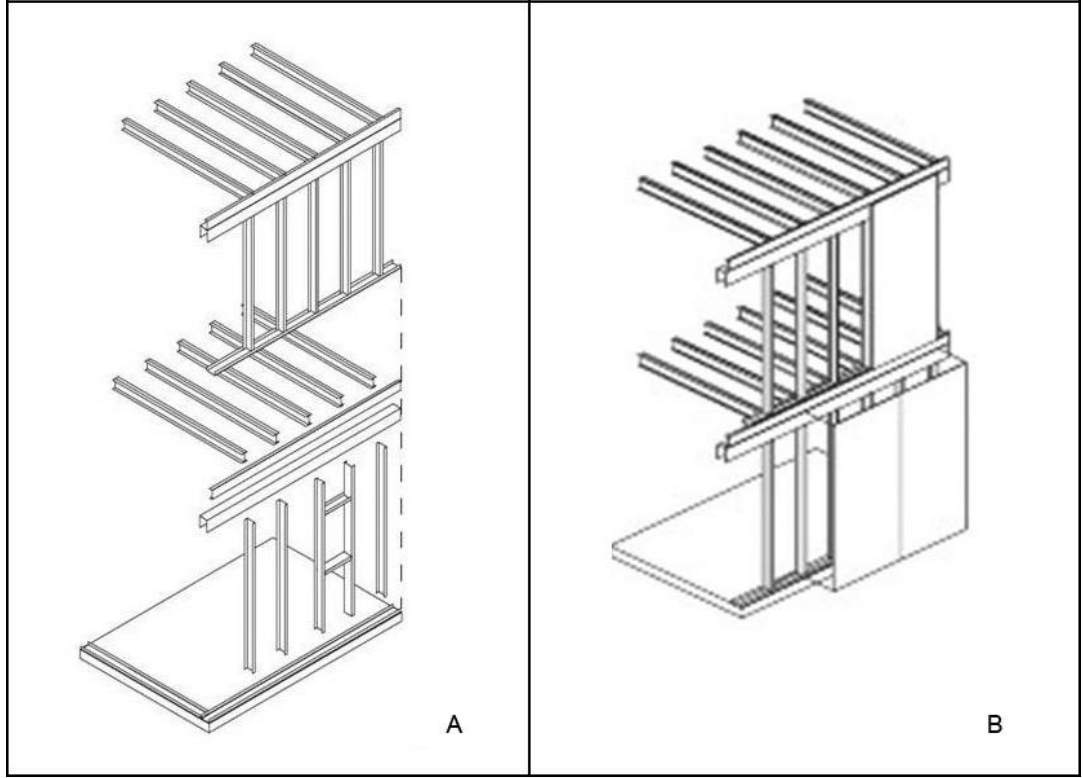
Şekil 2.1 : Farklı hafif çelik profil şekillerinin toplamı (koleksiyonu) [6]

Fabrikada çelik malzemedan istenilen kalınlığa göre ve yapının tasarımına göre profil üretimini yapılarak, inşaat alanında uygulamaya hazır elemanlar haline getirilir.



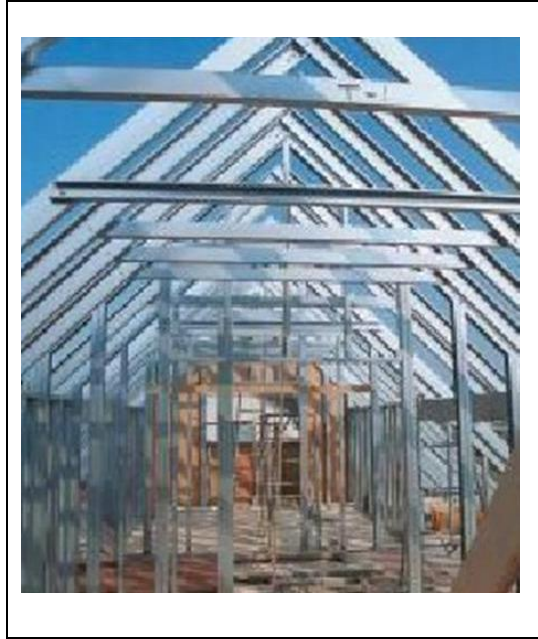
Şekil 2.2 : Hafif çelik sistemlerde kullanılan bazı profil kesitleri [7].

Düşey profiller alt ucunda U şeklinde bir raya montajlanır, üst kısmına da aynı şekilde U şeklinde profile montajlanır. Tüm düşey elemanlar bu şekilde bağlanır. Yatay elemanlar ise düşey elemanların üstüne yada aralarına montajlanır. Basit çelik yapılar statik olarak ahşap iskelet sistemlerine benzetilmektedir. İç ve/veya dış bölmelerde profiller arası ise kompozit cam ve/veya alçıpan kullanılarak tamamlanabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Hafif çelik profillerin düşey ve yatay elemanları (A) ve panel ile tamamlanması (B) [5]

Yanal ve düşey yüklere maruz kalacak olan çelik sistemde duvar ve çatı montajında Şekil 2.4’ de de gösterildiği gibi her bir elemanın montaj yeri bellidir, montaj yapılırken her bir eleman kendi montaj alanına yerleştirilerek bağlantısı yapılır.



Şekil 2.4 : Çelik profiller ile yapılmış taşıyıcı bir çatı sistemi örneği [5]

Hafif elik inşaatı 4 katlı yapı yapmaya kadar izin vermektedir. Daha yüksek bir yapı yapmak için çözüme yönelik tasarım yapmak gerekmektedir.



şekil 2.5 : Hafif elik iskeleti (A) ve tamamlanmış hali (B) [8]

2.1.1 Hafif Çelik Sistemin Gelişimi

Hafif çelik profiller yapı endüstrisine; otomotiv, tren ve uçak endüstrilerinden taşınmıştır. Soğukta bükme profiller ilk olarak iç mekanda kullanılan bölücü eleman sistemlerinde ve hafif olması nedeni ile çatı sistemlerinde (mertek vb.) kullanılmıştır. Daha sonraları ise bu malzeme endüstri yapıları ve rekreasyon alanlarındaki basit yapı ve üst örtü sistemlerinde özellikle Amerika’da yaygın olarak kullanılmıştır [7].

Hafif çelik elemanlar modern yaşamın tüm yönlerinde bulunur; ev, dükkan, fabrika, ofis, araba, benzin istasyonu, restoran ve aslında akla gelebilecek bir çok yerde yer alır. Bu ürünlerin kullanımı, çok sayıda ve çeşitli olup; konserve (teneke) kutularından yapısal kazıklara, ana bilgisayar parçalarına kadar olan alanlarda yer almaktadır. Günümüzdeki, ürün çeşitliliği, boyutları ve uygulamaları ile çelik soğukta bükme yöntemi ile üretilmektedir [6].

Bina yapımında hafif çeliğin kullanımı Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere’de yaklaşık 1850’lerde başladı, böylece çelik ürünler yaygın olarak 1940 yılına kadar binalarda kullanılmamıştır [6].

İlk teknik çalışmalarına 1930’lu yıllarda Amerika’da başlanan hafif çelik profiller ile ilgili ilk standartların geliştirilmesi (AISI tarafından) 1946 yılına kadar sürmüştür. Malzemenin farklı yapısal özellikleri bu çalışmaların uzamasına ve yapı sektörüne de oldukça geç girmesine neden olmuştur. Dolu gövde çelik profiller yapı sektörüne 1850 endüstri devrimi sonrası girmiştir (Chrystal Palace, Eiffel Kulesi, İngiltere’de çelik konstrüksiyon sıra evler). Çelik malzeme kullanımı özellikle dünya savaşları sonrası kaynak sıkıntısı ve hızlı üretim süreç gerekliliği nedeni ile konut yapımında yükselen bir grafik izlemiştir. II. Dünya Savaşı sonrası Almanya, Japonya, İngiltere ve A.B.D. gibi ülkelerde başlayan, yapılarda çelik konstrüksiyon kullanımı artarak günümüze kadar gelmiştir. Bugün yapılarda çelik kullanım oranları İngiltere’de %54, İskandinav ülkelerinde %40, Almanya ve Fransa’da ise %30’un üzerindedir [6].

II. Dünya Savaşı sonrası hafif çelik yapılar ile ilgili çalışmalar özellikle Japonya, Almanya ve İskandinav ülkelerinde artmıştır. Fakat ilk hafif çelik uygulama denemeleri 1950’li yılların sonlarında Almanya’da yapılabilmiş ve hafif çelik çerçeve sistemin bugünkü halini alması 1980’li yılları bulmuştur. Hafif çelik çerçeve sistem “Balloon Frame” adı verilen ve Amerika’da tek ev yapımında

1832'den beri kullanılan ahşap iskelet yapım sistemi ile benzerlik göstermektedir. Amerika'da endüstrileşen bu yapım sisteminde taşıyıcılar ana ve ara elemanlar olarak ayrışmamaktadır. Duvar/döşeme olarak çalışan yapım sisteminde tüm taşıyıcı eleman kesitleri (5/10 cm) aynıdır. Bu elemanlar belirli aralıklarla tekrar edilerek ve belli noktalarda birbirlerine yatay elemanlar ve özel yapım çiviler yardımıyla bağlanarak taşıyıcı duvar ve döşemeleri oluştururlar. İskelete dıştan ahşap lambriler tutturularak, sistemin dış kaplaması yapılır. Hafif çelik iskelet sistem kurulma sistemi olarak ahşap sistemle aynıdır, açıklık bırakılması, çatı kurulması ve duvar kaplamaları da benzer şekilde yapılmaktadır [7].

Amerika'da yaygın olarak kullanılan ahşap evlerin yerini 1980'lerde hafif çelik evler almaya başlamıştır. Ahşap fiyatlarının artan taleple doğru orantılı olarak yükselmesi ve taşınma kolaylığı açısından hafif çelik malzemenin üstünlüğü (hafif çelik ahşaba göre %60 daha hafiftir) piyasanın hafif çelik sistemli evlere yönelmesini sağlamıştır. %100 oranda geri dönüşümü mümkün olan ve endüstrileşmiş sistemde maliyeti ahşaba göre düşük olan hafif çelik profillerin kullanımı sayesinde ahşap hızlı bir şekilde daha çok gereksinim duyulan sektörlere kaydırılmaya başlanmıştır. Bugün Amerika'da tek ve çift katlı konutların %20'si hafif çelik çerçeve sistem ile üretilmektedir. 1992'de bu şekilde 500 konut üretilmekte iken, 1993 yılında 15000 konut üretilmiştir. 2002'de ise bu rakam 100000 konuta ulaşmıştır. Amerika'nın dışında Avusturalya ve Kanada'da hafif çelik yapı sektörü gelişmektedir. Avrupa'da ise yapı stoğunun birçok merkezde tamamlanmış olması ve konut ihtiyacının yukarıda belirtilen ülkelere göre az olması hafif çelik üretimini kısıtlamıştır. Sektör Amerika'da en gelişmiş durumdadır [7].

Türkiye ise hafif çelik yapı ile 1999 yılı sonunda tanışılmıştır. 17 Ağustos 1999 Adapazarı depremi sonrasında yapı stoğunun kalitesi konusunda endişeye kapılan kişi ve kurumların etkisi ile, sorun, alternatif yeni yapım teknikleri denenerek çözülme yoluna gidilmiştir. "Depreme dayanıklı" başlığı ile piyasaya sunulan yeni yapım teknikleri arasından, günümüze artan talep ve üretim potansiyeli ile gelen yapım sistemi hafif çelik çerçeve sistemdir. Sistem hafifliği, kolay üretilip hızlı monte edilebilmesi, geride atık bırakmayan temiz şantiye koşulları ve betonarme ile boy ölçüşebilecek maliyet koşulları ile pazarda birçok kuruluşun dikkatini çekmiştir. 1999 depremi sonrası ilk iki yıl 100 civarında kuruluş hafif çelik sistem ile çeşitli

şekillerde (yurt dışından ithal, kendi atölye imkanları ile vb.) konut üretmek için ortaya çıkmışlardır [7].

ABD, Almanya, Kanada, Avustralya, İngiltere, Japonya gibi özellikle gelişmiş olan ülkelerde uzun yıllardan beri hafif çelik sistem tercih edilmektedir.

Son yıllarda, hafif çelik profiller birinci bileşen olarak çerçeve sistemlerde etkin bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir. Hafif çelik profiller; aşık (çatı) gibi uygulamalarda öncelikle uygulanmış olmakla birlikte, ikinci aşamada inşaatta bina strüktürü içinde yer almıştır. Hafif çelik döşeme profilleri son on beş yıl içinde beton ile birlikte kompozit yapım şeklinde de kabul görmüştür [6].

ABD’ de Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü tarafından hafif çelik yapı elemanlarının tasarımı için şartname ilk 1946 yılında üretildi ve düzenli olarak en son 1996 tarihli baskısında (AISI 1996, 1999) araştırmaya dayalı güncellendi. Son zamanlarda, birleşik Kuzey Amerika Şartnamesi’nin (AISI 2001) ilk baskısı hazırlanmış ve 2001 yılında yayınlanmıştır. Hafif çelik yapı elemanlarının tasarımında Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Meksika için geçerlidir [6].

Avrupa’ da, ECCS komitesinin TC7, hafif çelik tasarımı için 1987’ de (ECCS 1987) üretildi. Bu belge daha geliştirildi ve Avrupa Standartları Kodu 3, ilave edilen bölüm 1.3 hafif çelik elemanlarının incelik göstergesi ve kaplaması ilaveli olarak yayınlandı [6].

Avustralya ve Yeni Zelanda, hafif çelik yapıların tasarımı için yeni limitler (sınırlar) içeren standardı AS / NZS 4600 Aralık 1996 yılında yayınlandı (AS / NZS, 1996, 1998), bunu 2003 yayını izledi [6].

Türkiye’de Türk Standardı TS 11372 Nisan 1994 “Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları” yer almaktadır.

2.1.2 Kullanım Alanları

Hafif çelik yapı elemanları yapı endüstrisinde şu şekilde kullanılmaktadır:

- Hafif çelik yapım sistemi olarak binalarda (özellikle konut yapılarında)



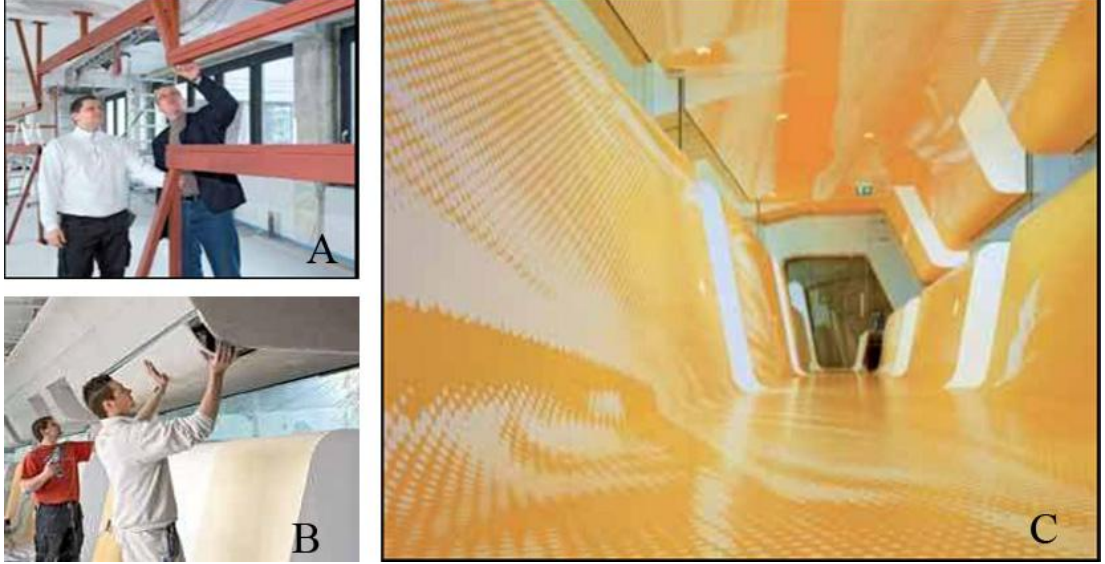
Şekil 2.6 : Hafif çelik çerçeve iskeleti ve konut örneği [8]

- Duvar ve döşeme dahil – taşıyıcı sistem olarak,
- Bina kabuğu da dahil olmak üzere çatı ve cephelerde,
- Dar alanlarda hızlı ve hafif bir yapım sistemi olarak,



Şekil 2.7 : Belçika’da boş bir ara alanın hafif çelik yapım sistemi ile tamamlanması, inşaat aşamasında ve tamamlandıktan sonra [9]

- Servis ve teçhizatlarda,
- İç mekanda kullanılan bölücü eleman sistemlerinde ve iç mekan tasarımlarında,



Şekil 2.8 : Hafif çelik taşıyıcı sistem kullanılarak yapılan Berlin’de bir muayenehanenin iç mekan tasarımı, taşıyıcı olan profiller (A), üstünün kaplanması (B) ve kurulumunun tamamlanmasından sonra (C) [9]



Şekil 2.9 : Herford Sanat Müzesi, inşaat sırasında hafif çelik profiller ve tamamlanmış hali [9]

- Var olan farklı yapı sistemlerine (kagir, betonarme, elik, ahşap vb.) hafif elik sistem ile ekler yapmada kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 : Ashorne Tepesi Koluji, İngiltere'de 115 yıllık eski binanın düşük ekonomi ve kısa inşaat süresi sağlayan hafif elik sistem ile iki katlı bir uzantı ile genişletilmesi [9]



Şekil 2.11 : İhtiyaç nedeniyle 10 yıllık hastane yapısının üzerine hafif elik sistem ile iki kat ilave edilmesi, Rzeszow, Polonya [9]

- Üst örtü, küpete, parmaklık, bina aksesuar tasarımında,
- Rekreasyon alanlarındaki basit yapı ve üst örtü sistemlerinde,
- Hafif olması nedeni ile çatı sistemlerinde,
- Hafif elik ereve modül sistem kullanılarak, elik bağlayıcılar yardımı ile çok katlı yapı oluşturmada,

- Restorasyon projelerinde güçlendirme elemanları, iç mekanlarında bölücü ve ek yapılarındaki sistem olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.12 : Yük getirmeyen hafif çelik taşıyıcılar ile asma tavan yapılması, Paisley Kilisesi, Paisley, İskoçya [9]

2.2 Hafif Çelik Sistemlerde Kullanılan Yapı Elemanları

Hafif çelik sistemlerde kullanılan yapı elemanları profiller, levhalar ve bağlantı elemanları, montaj elemanları olarak sıralanabilir.

2.2.1 Profiller

Yurt içi (Erdemir, Borçelik, Assan Galvaniz, Tezcan Galvaniz ve Marmara Galvaniz firmaları tarafından) ve yurt dışından temin edilen sac mamül üzerine galvanize işlemi yapılarak, taşıyıcı sistemin ana bileşeni olan galvanizli sac levha elde edilmektedir. Galvanizli sac isteğe bağlı olarak ya tam rulo veya dilimlenmiş rulo olarak bu tesislerden temin edilebilmektedir. Çelik levha üreticilerinden veya tedarikçilerden rulo olarak alınan galvanizli levhalar, “roll forming” adı verilen bükülerek şekil veren özel makineler ile istenilen ebatta ve kesitte profile (CFS-cold-formed steel profiles /soğukta şekillendirilmiş çelik profiller) dönüştürülmektedir. “Roll forming” cihazı dışında herhangi bu boyutta büyük başka bir makineye ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla hafif çelik taşıyıcılı yapım sisteminin üretim ayağını oluşturan fabrika ortamında bileşen imalatında, betonarme prefabrike eleman üreten bir fabrika kadar fiziksel alan ve işlem yoktur. Tek seferde 30 m’ ye kadar profil çekilmesi teknik olarak mümkün olsa da, talep edilen yapı bileşeni daha küçük boyutlu olmakta ve ayrıca karayolu taşımacılığında standartların üzerine çıkılamamaktadır [4].

Sac levha üzerinde çeşitli oranlarda alüminyum alaşım karışımı çinko koruyucu kaplama uygulanarak, korozyon direnci sağlanmaktadır. TS EN 10327’ de galvanize levhaların çelik sınıfı “DX51D+Z” ve iki yüzeyde çinko kaplama ağırlığı 100 ile 600 gr/m² aralığında tariflenmektedir. Yüzey kalitesi olarak ta “A” sınıfı (kaplandığı durumdaki yüzey) malzeme yapı uygulamalarında kullanılmaktadır. Erdemir, levha üzerine çinko kaplama ağırlığı 100 ile 450 gr/m² arasında değişen üretim yelpazesine sahiptir. Soğuk şekillendirmeye uygun olanlar “Erdemir 1311” kalite olarak tarif edilmekte olup üretilen soğuk haddelenmiş, çinko kaplı galvanize ruloların (GZR kodlu) kalınlıkları 0.3 mm ile 2.0 mm arasında değişmektedir [10].

Amerikan standardı olan ASTM A 653/A 653 M’ i (sıcak daldırma çinko kaplama ile galvanize levha standardı) esas alan Amerikan Çelik Birliği’nin hafif çelik taşıyıcılı yapıların taşıyıcı bileşenlerinin iki yüzeyindeki çinko kaplama ağırlığını

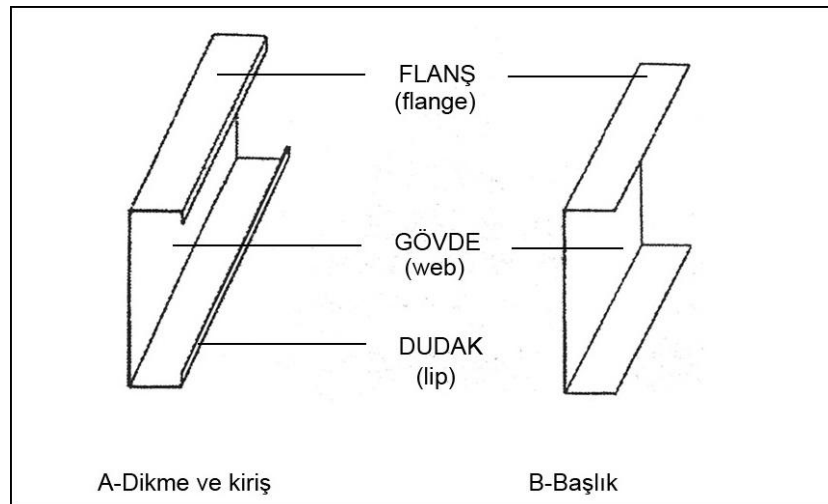
en az 180 gr/m², taşıyıcı olmayan bileşenlerin en az 120 gr/m² olması gerektiğini belirtmektedir [11] (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Çinko Kaplama Özellikleri ve Kullanım Alanları [12]

Kaplama Cinsi	İki Yüzeydeki Toplam Ağırlık		Bir Taraftaki Kaplama Kalınlığı (mikron)	ASTM A 653 / A 653' ye Göre Kullanım Alanları
	(oz/ft ²)	(gr/m ²)		
G40/Z120	40	120	8,5	Bölücü bileşenler
G60/Z180	60	180	12,7	Taşıyıcı bileşenler
G90/Z275	90	275	19,4	

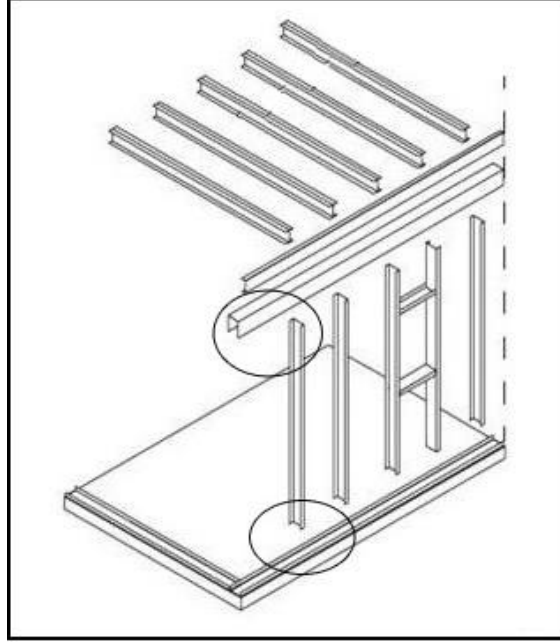
Taşıyıcı sistem olarak kullanılan galvanize profil bileşenlerindeki çinko kaplamada korozyon oldukça düşük orandadır. Kırsal, kentsel, kıyı ve endüstriyel bölgelerdeki uygulanmış hafif çelik yapılar üzerinde yapılan araştırma neticesinde çinko kaplamadaki korozyon miktarı 3 yıllık periyod için 0.1 mikrondan daha azdır. Taşıyıcı sistem bileşenlerinde kullanılan G60/Z180 niteliğindeki galvanize levhanın yüzeyindeki çinko kaplamanın tamamı, korozyon ile yaklaşık 381 yılda yok olmaktadır. Dolayısıyla çeliği, korozyona karşı yapı ömrü boyunca yeterince korumaktadır [12].

Hafif çelik yapım sisteminde taşıyıcı bileşen olarak şekil 2.13' de görülen taşıyıcılık özelliğine sahip galvanize profil kullanılmaktadır. Taşıma kapasitesine göre dikme veya döşeme kirişi olabilmektedir. Taşıma kapasitesini galvanizli sac levha niteliği, profil et kalınlığı, profil tipi ve profil boyutları belirlemektedir.



Şekil 2.13: Hafif çelik C ve U profilleri [13]

Şekil 2.13 B' de görülen başlık profili dikmelerde alt ve üst başlık olarak, döşeme kirişlerinde alınları kapatmaya yönelik olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Başlık profillerinin dikmelerde alt ve üst başlık olarak kullanılması [5].

Şekil 2.13 A' da görülen C profil hafif çelik yapıda kullanılan ana taşıyıcı bileşeni sembolize etmektedir. Galvanize levhalar soğuk bükme işlemi ile şekillendirilmesi sonucunda taşıma kapasitesi artırılır ve taşıyıcılık özelliği olan yapısal profillere dönüştürülür. Taşıma kapasitesinin arttırılmasına yönelik çalışmalar neticesinde profil tipi geliştirilmiş, sigma (Σ) ve zed tipi profiller de kullanılmaya başlanmıştır [2].

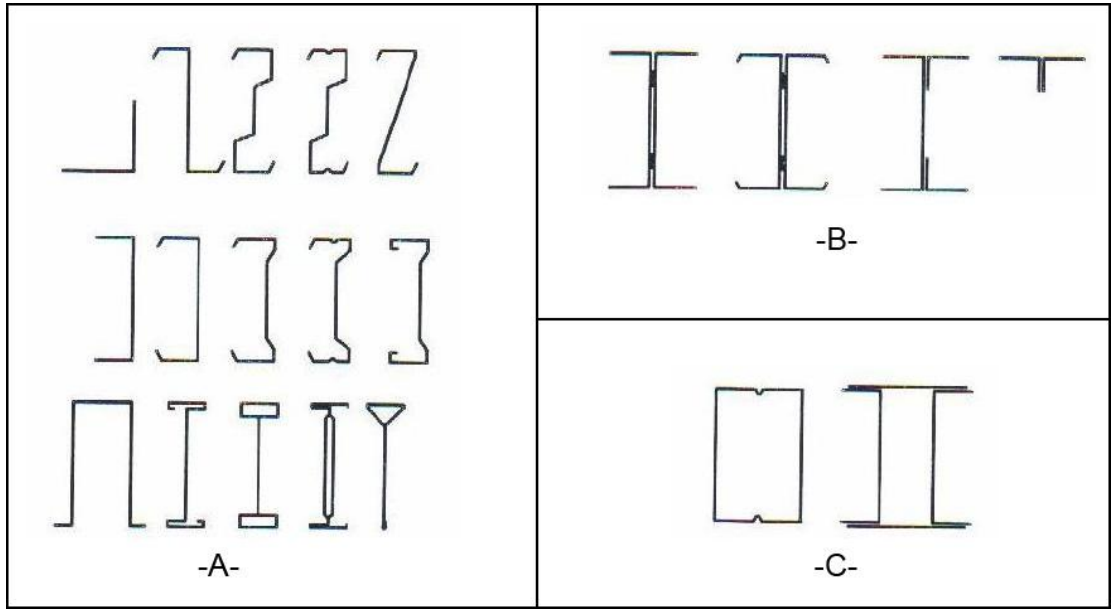
Çizelge 2.2 : Hafif çelik elemanların büküm noktaları ile güçlendirilmesi [4]

	Şekillendirilmemiş düz levha
	U profil (Gövdenin flanşlar ile iki uçta rijitlenmesi. Flanşların bir ucu gövde ile rijitlenirken, bir ucunun serbest kalması)
	C profil (Gövdenin flanşlar ile rijitlenmesi. Flanşların gövde ve dudaklar ile rijitlenmesi)
	Σ profil (Gövdede büküm sayısı artırılarak düz olan kısımlarının genişliğinin azaltılması)
	Z profil (Flanşların karşı yönlerde dudaklar ile rijitlenmesi)

Hafif çelik profillerin derinliği 50-70 mm'ye karşı 350-400 mm olup, yaklaşık 0,6-2,5 mm kalınlığındadır [5], [6].

Ayrıca uzun ürünler olarak da adlandırılan taşıyıcı profiller şu şekilde de sınıflandırılır:

- Açık tek profiller (Şekil 2.15 A)
- Çok parçalı açık profiller (Şekil 2.15 B)
- Çok parçalı kapalı profiller (Şekil 2.15 C) [6].



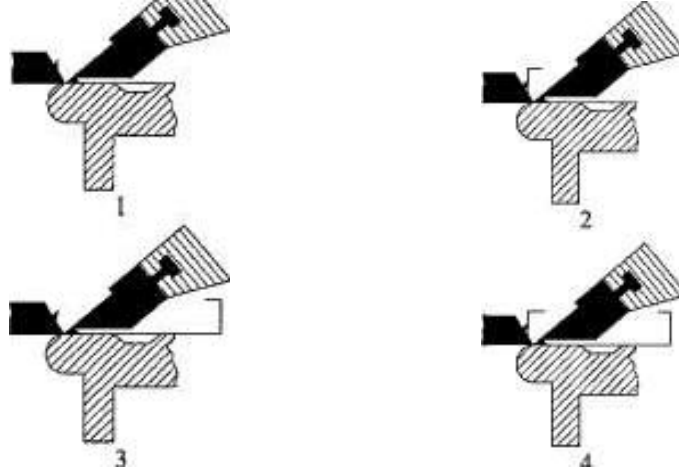
Şekil 2.15 : Hafif çelik profillerin sınıflandırılması [6]

2.2.1.1 Üretim

Hafif çelik profiller üç şekilde üretilebilmektedir:

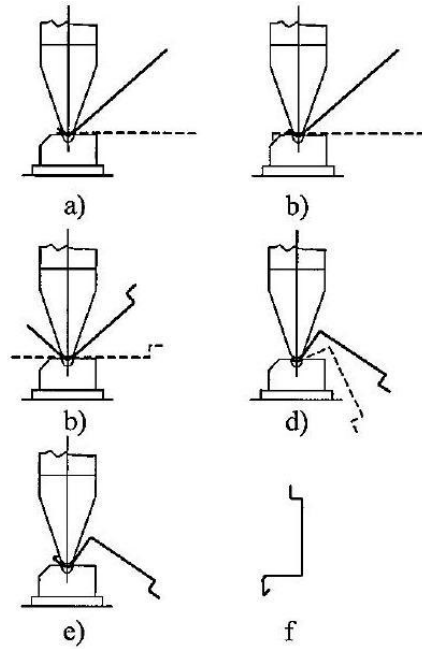
- 1- Bükme, soğuk şekillendirme (katlama)
- 2- Pres, soğuk şekillendirme (pres basma)
- 3- İşleme, soğuk haddeleme (rulo şekillendirme)

Bükme, soğuk şekillendirme (katlama): Bükmede şekil 2.16' da görüldüğü gibi bükme makinesi kullanılır. Şekildeki makine köşeleri bükmek için kullanılır. Bükme (katlama), basit bir süreçtir. Kısa uzunluklarda basit katlamalar ile elde edilir. Bu sürecin sınırlı bir uygulama alanı vardır [6].



Şekil 2.16 : Bükme ile şekillendirme [6]

Pres, soğuk şekillendirme (pres basma): Pres-basma daha yaygın olarak kullanılan ve çok daha fazla sayıda kesit biçimleri elde edilebilen işlemdir. Burada bir kesit profil şekli oluşturmak için makinenin orta alanından basınç uygulanır. Genellikle her bükme işlemi ayrı ayrı oluşturulmaktadır. Çeliği v formuna getirerek şekil verir. Tipik bir pres soğuk şekillendirme Şekil 2.17 'de gösterilmektedir [6].



Şekil 2.17 : Pres soğuk şekillendirme adımları [6]

Figure 1 consists of two parts, (a) and (b). Part (a) shows six cross-sectional views of a multi-roller mill assembly, labeled 1 through 6. Each view shows a horizontal shaft with multiple rollers mounted on it. The rollers are arranged in a way that they can rotate independently. The views show the mill at different stages of operation, from a closed position to an open position. Part (b) shows a plan view of the mill assembly. It illustrates the arrangement of the rollers and the material being processed. The rollers are arranged in a circular pattern, and the material is fed into the center. The plan view shows the rollers at different stages of operation, from a closed position to an open position.

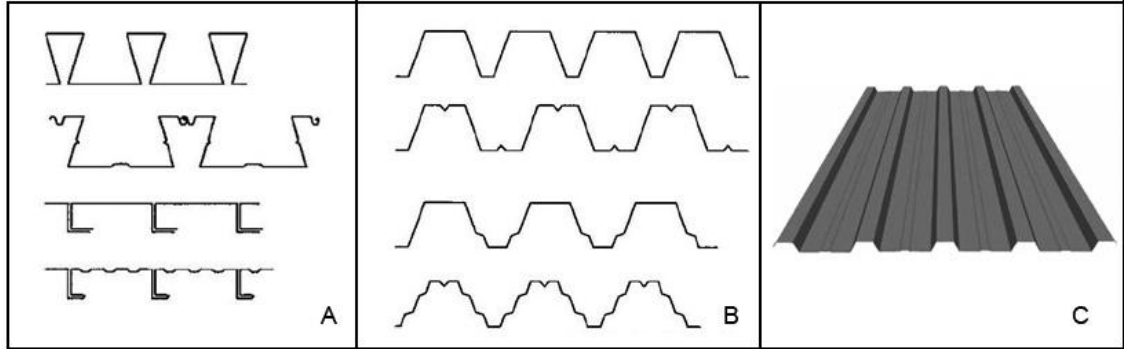
Figure 1 consists of two black and white photographs. Photograph (a) shows two vertical frames, each holding three cylindrical specimens stacked vertically. The frames are positioned in a room with many more cylindrical specimens stacked in rows in the background. Photograph (b) is a close-up view of a single cylindrical specimen held within a frame, showing its textured surface and the frame's structure.

20

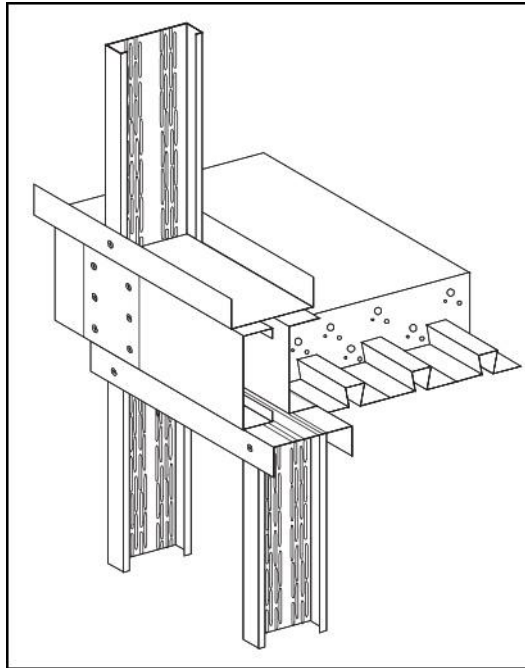
2.2.2 Levhalar ve Bağlantı Elemanları

Hafif çelik yapı elemanlarında taşıyıcı profiller dışında levhalar ve bağlantı elemanları da yer almaktadır.

Şekil 2.20’ de görüldüğü gibi levhalar trapez levhalar ve kaset levhalardan yapılmaktadır. Şekil 2.21, şekil 2.22 ve Şekil 2.23’ te de örnekleri yer aldığı gibi trapez levhalar çatı ve duvar kaplama, döşeme sistemlerinde kullanılmaktadır



Şekil 2.20 : Kaset levha kesiti (A) ve trapez levha kesit ve görünüşü (B ve C) [6]



Şekil 2.21: Hafif çelik profilli karışık sistemli yapıda trapez levha kullanımı [5]

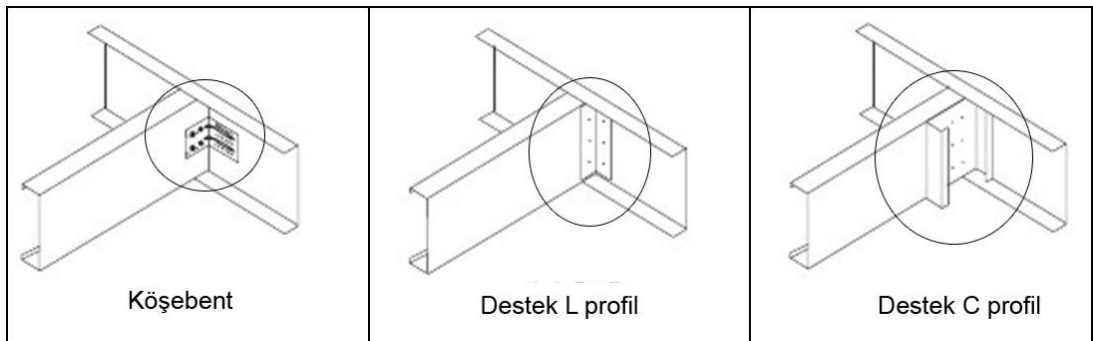


Şekil 2.22 : Trapez levha yapı dış yüzeyinde cephe ve çatı kaplaması olarak [14]



Şekil 2.23: Trapez levhanın çatı malzemesi olarak kullanıldığı bir örnek [15]

Taşıyıcı elemanların taşınan yüklerin çok olduğu alanlarda güçlendirme amaçlı bağlantılar, bağlantı profilleri ile yapılabilmektedir (Şekil 2.24).

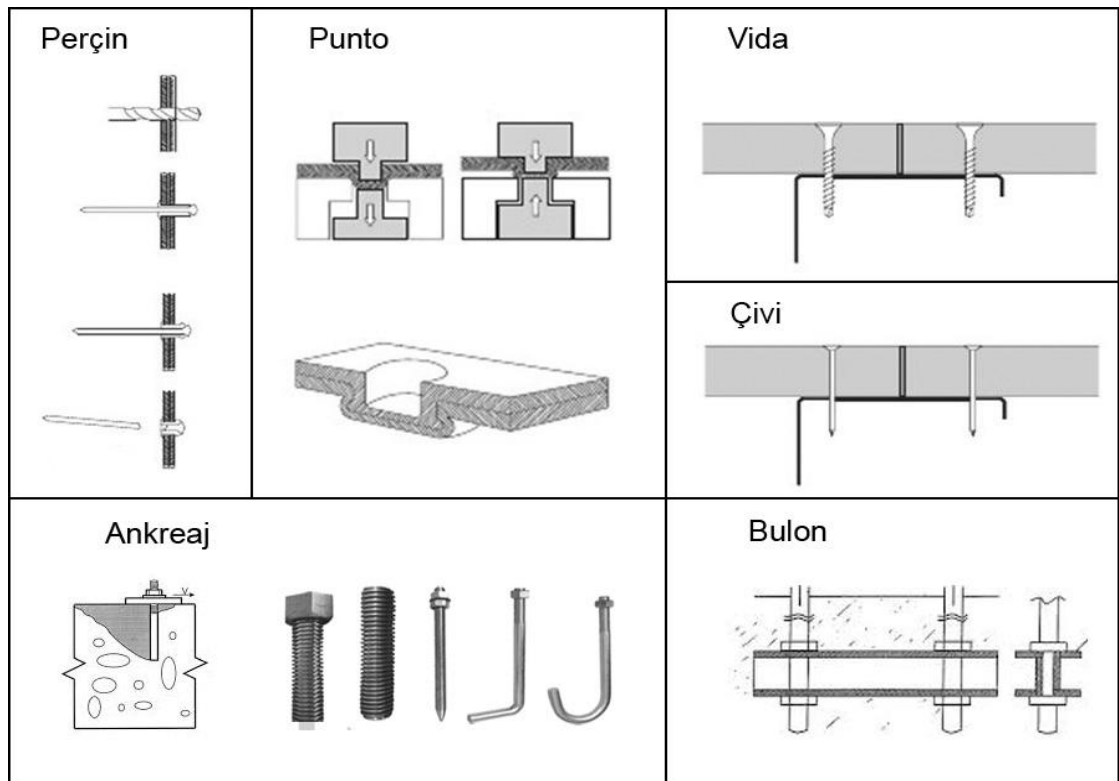


Şekil 2.24 : Bağlantı profilleri [5]

2.2.3 Montaj Elemanları

Montaj elemanları ve yöntemleri; vida, bulon, punto ve perçin, çivi, kaynak gibi bağlantı elemanları ve ankraj elemanları olarak sıralanabilir.

Bulon ve vida gibi elemanlar sökülebilir birleşim elemanlarıdır. Punto, perçin ve kaynak işlemleri ise sökülemeyen birleşim elemanlarıdır. Ankraj işlemleri ise genel olarak betonarme temele hafif çelik yapı profillerinin ankre edilmesi şeklindedir. Kaynakla birleşim galvaniz kaplamaların zarar görmesi, şantiye şartlarında kalite kontrolünün zor olması, ağır kaynak makinesinin taşıma güçlüğü, diğer yöntemlere göre daha uzun zaman alması, sökülmesi ve değiştirilmesi güçlüğü nedenleriyle tercih edilmemektedir. Punto ile montaj da aynı kaynaklı birleşimde olduğu gibi daha sonradan elemanların sökülmesi ve tekrar kullanılması zorluğu, punto noktalarına ezilen profillerin galvaniz kaplamasının zarar görmesi gibi nedenlerle tercih edilmemektedir. Hafif çelik sistemlerde bulonlu bağlantılar ise genellikle hafif çelik elemanların, beton veya diğer çelik elemanlar ile birleşimlerinde kullanılır [4]. Montaj elemanları Şekil 2.25’ te gösterilmektedir.



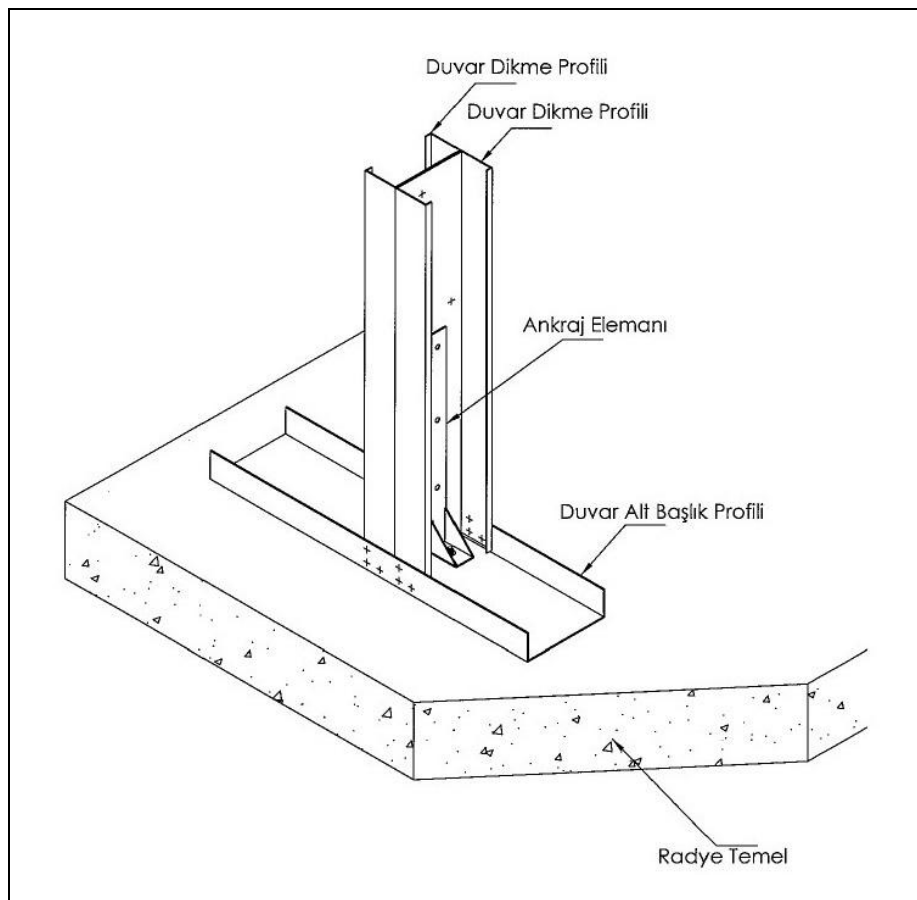
Şekil 2.25 : Montaj elemanları [5]

2.3 Hafif Çelik Sistemin Yapı Bileşenleri

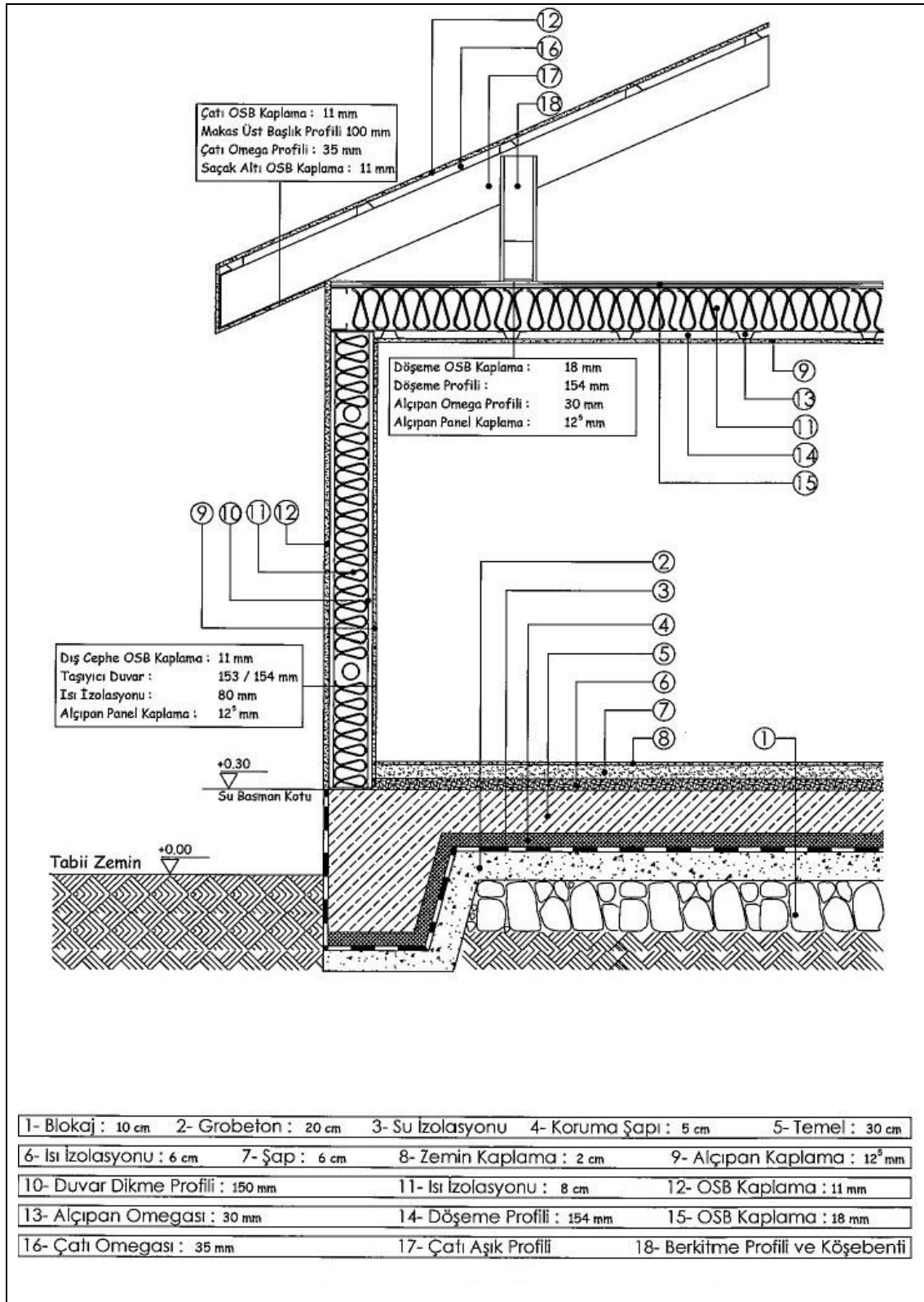
Hafif çelik sistemin yapı bileşenleri; temel, duvar, döşeme, çatı, cephe ve tesisat ana başlıkları altında incelenebilir.

2.3.1 Temel Sistemleri

Hafif çelik taşıyıcı sistem; bodrum kat olmadığı durumda, genellikle betonarme temel üzerine inşa edilmekte olup, bodrum kat olduğu durumda, betonarme bodrum kat üzerine inşa edilmektedir.



Şekil 2.26 : Duvarın temele ankre edilmesi [16]



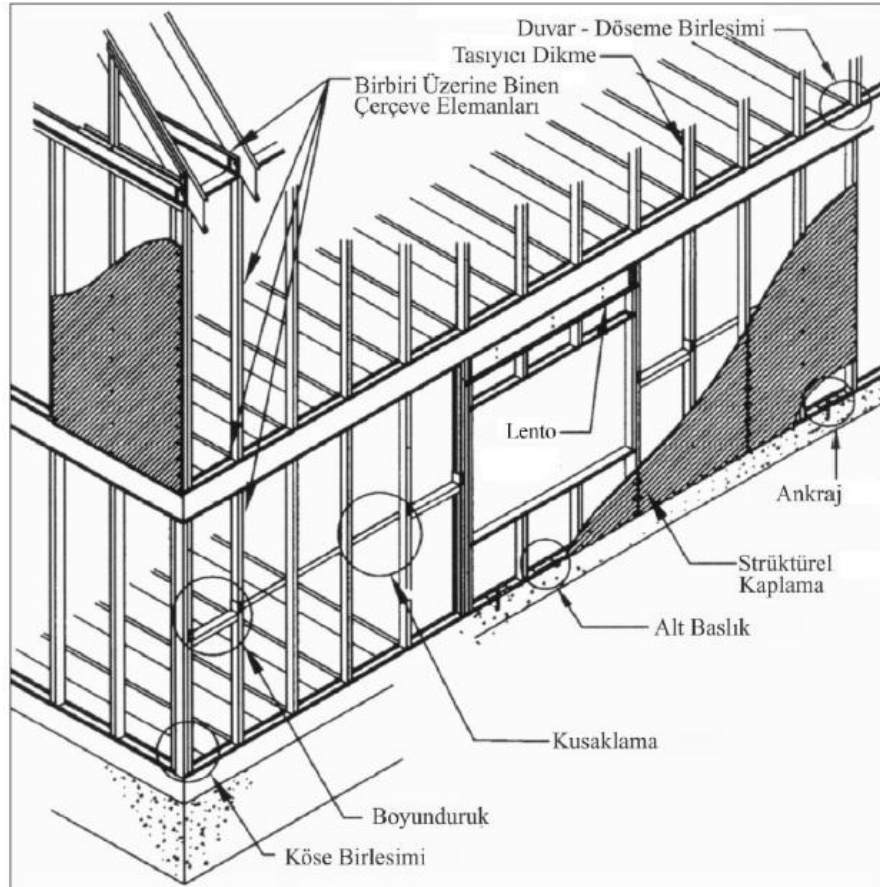
Şekil 2.27 : Temel kesit detayı [16]

2.3.2 Duvar Sistemleri

Duvar sistemleri taşıyıcı ve bölücü duvar olarak iki başlıkta incelenebilir.

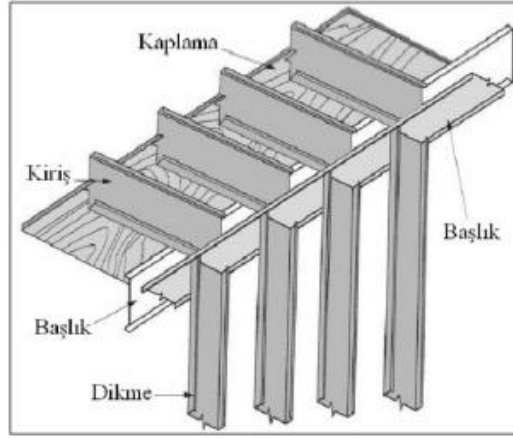
2.3.2.1 Taşıyıcı Duvar

Yatay ve düşey yük altında hafif çelik taşıyıcı duvarların strüktürel etkinliği birçok etkene bağlıdır. Sistem kuruluşunda ana belirleyici unsurlar duvarda açılan boşluk oranı ve boyutları, dikmelerin düzenlenme sıklığı, dikmelerin profil tipi, boyutları ve cidar kalınlıkları, stabilite elemanları düzenleme şekli (boyundurluk, kuşaklama, çaprazlama, kaplama vs.), kaplama malzemesi cinsi, kalınlığı, düzenleme biçimi, oranı ve montaj sıklığı, montaj yöntemi, montaj elemanı özellikleri ve düzenleme sıklığı olarak sıralanabilir [4].



Şekil 2.28 : Duvar konstrüksiyonu [11]

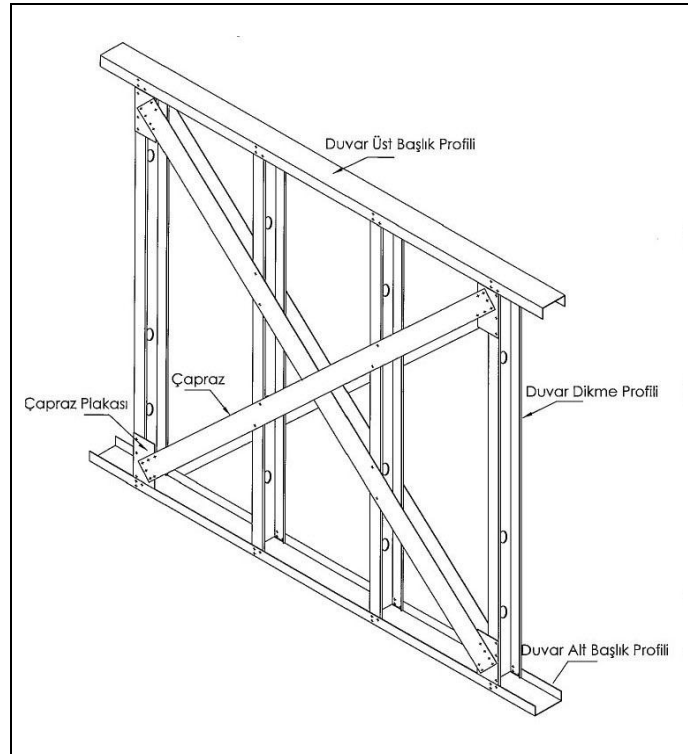
Düşey yüklerin aktarılmasında dikme ve kirişin aynı hizada düzenlenmesi ve eksenel yükün dış merkezliği önemlidir [4] (Şekil 2.29).



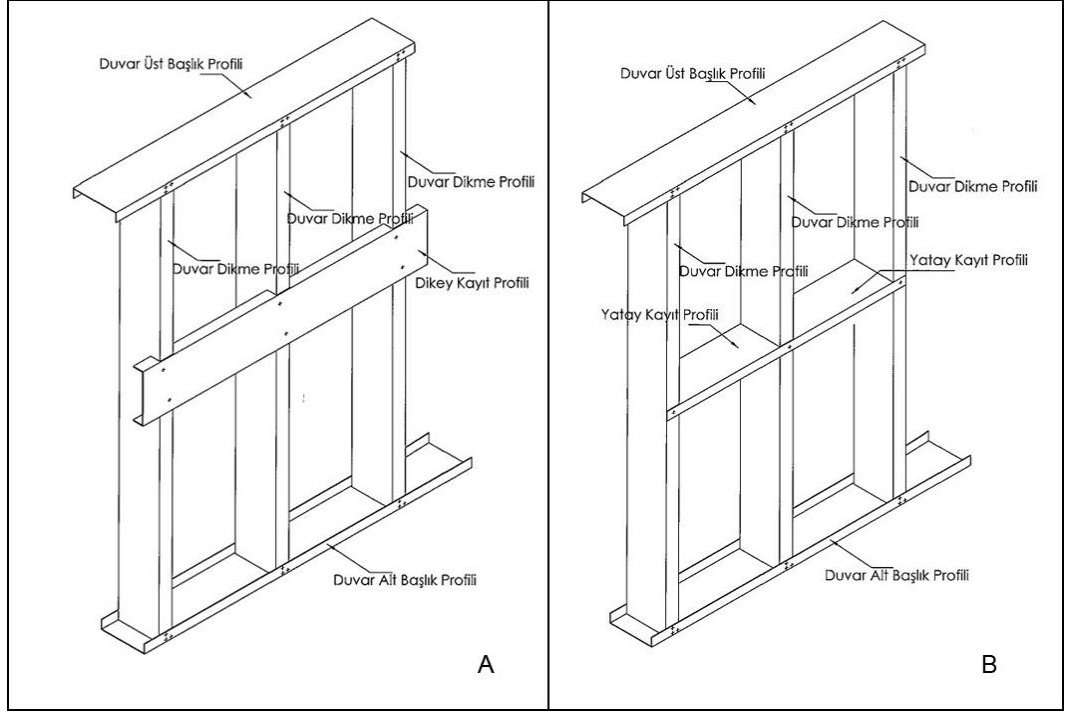
Şekil 2.29 : Dikme ve kirişlerin aynı hizada düzenlenmesi [16]

Hafif çelik yapım sisteminde taşıyıcı duvarda kullanılacak profil derinliği en az 90 mm olmalıdır. Ancak gerek taşıyıcı özelliği bakımından, gerekse profil kesitinden tesisat elemanlarının geçiş kolaylığı bakımından uygulamada profil derinliği en az 140-160 mm olarak alınmaktadır. Statik analiz neticesinde ihtiyaca göre profil derinliği arttırılabilmektedir [4].

Duvarlarda zayıf eksenlerde burkulmaları engellemek ve güçlendirmek için taşıyıcı duvarlara çaprazlar yerleştirilir (Şekil 2.30). Yatay ve düşey kayıtlar konulur (Şekil 2.31).

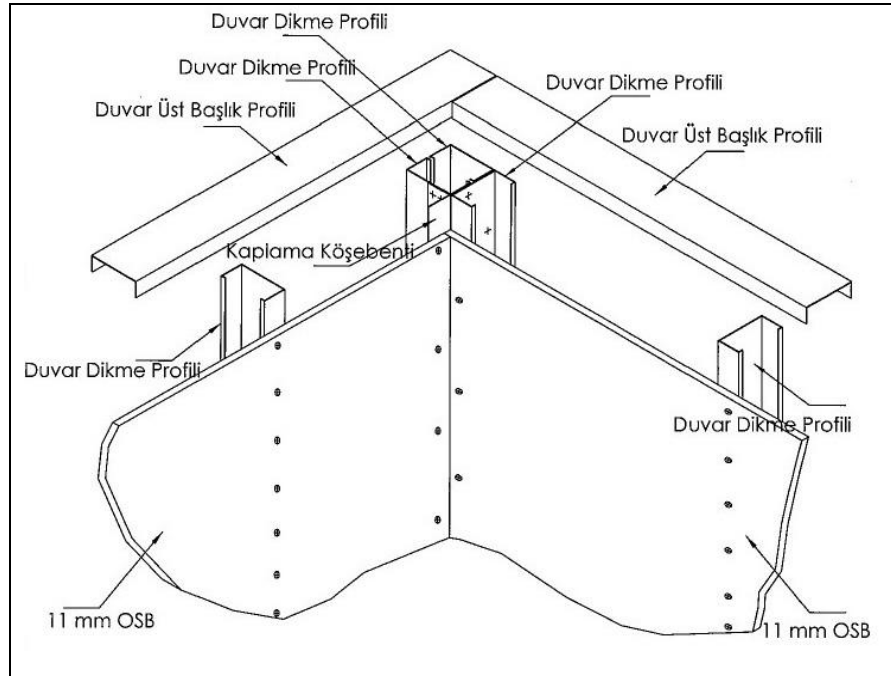


Şekil 2.30 : Duvarlara çaprazların monte edilmesi [16]

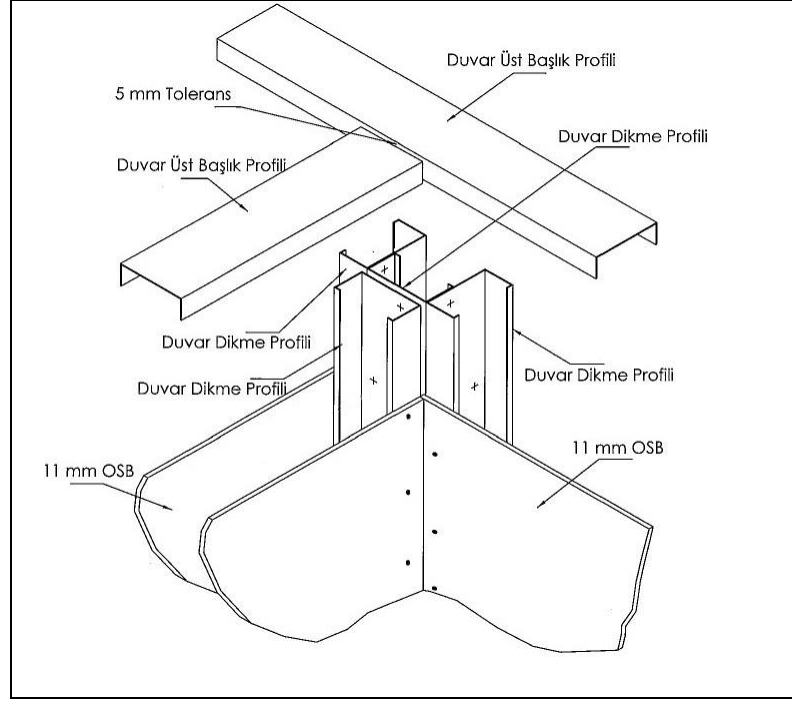


Şekil 2.31 : Duvarlara düşey (A) ve yatay (B) kayıt atılması [16]

Köşe birleşimlerde alternatif detaylar üretilebilmektedir (Şekil 2.32 ve 2.33).

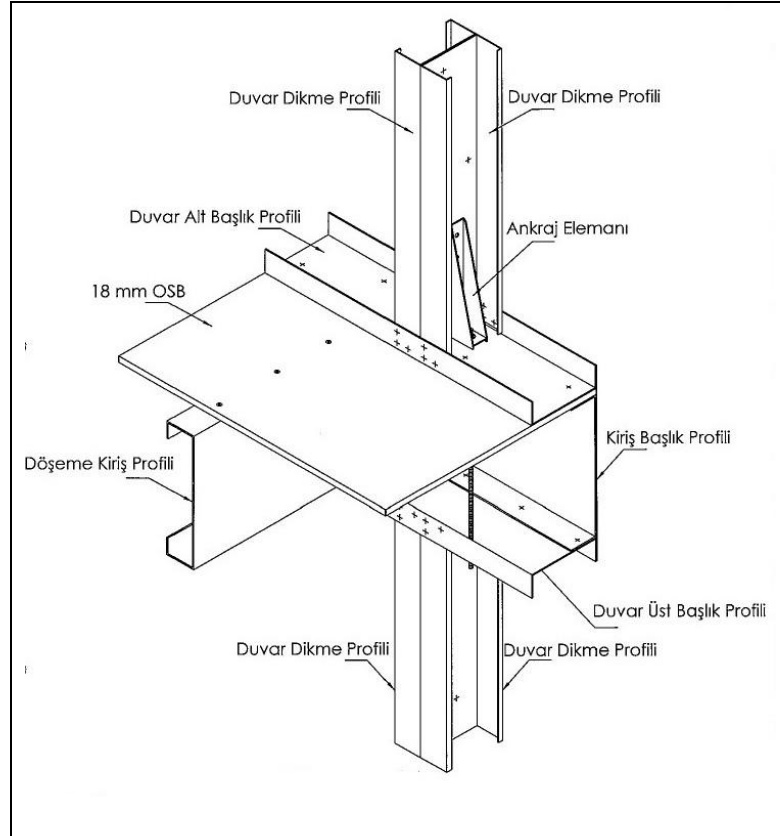


Şekil 2.32 : Duvarlarda köşe birleşim detayı [16]



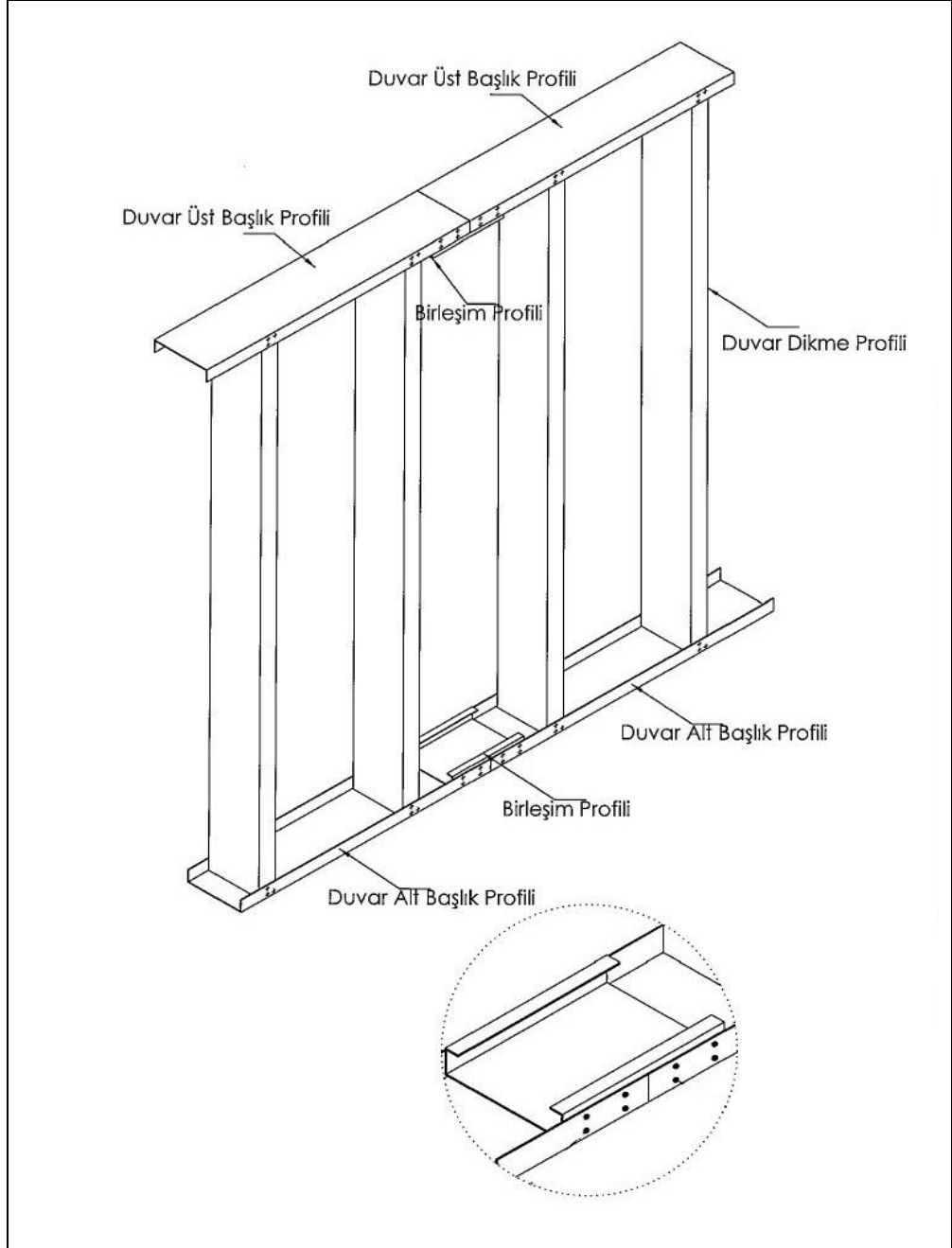
Şekil 2.33 : Duvarlara T birleşim detayı [16]

Düşey taşıyıcılar sürekli devam etmediğinde, kurulan döşeme sisteminin üzerine düşey taşıyıcılar tekrar yerleştirilir (Şekil 2.34).



Şekil 2.34 : İki kat duvarlarının birbiri ile bağlantısı [16]

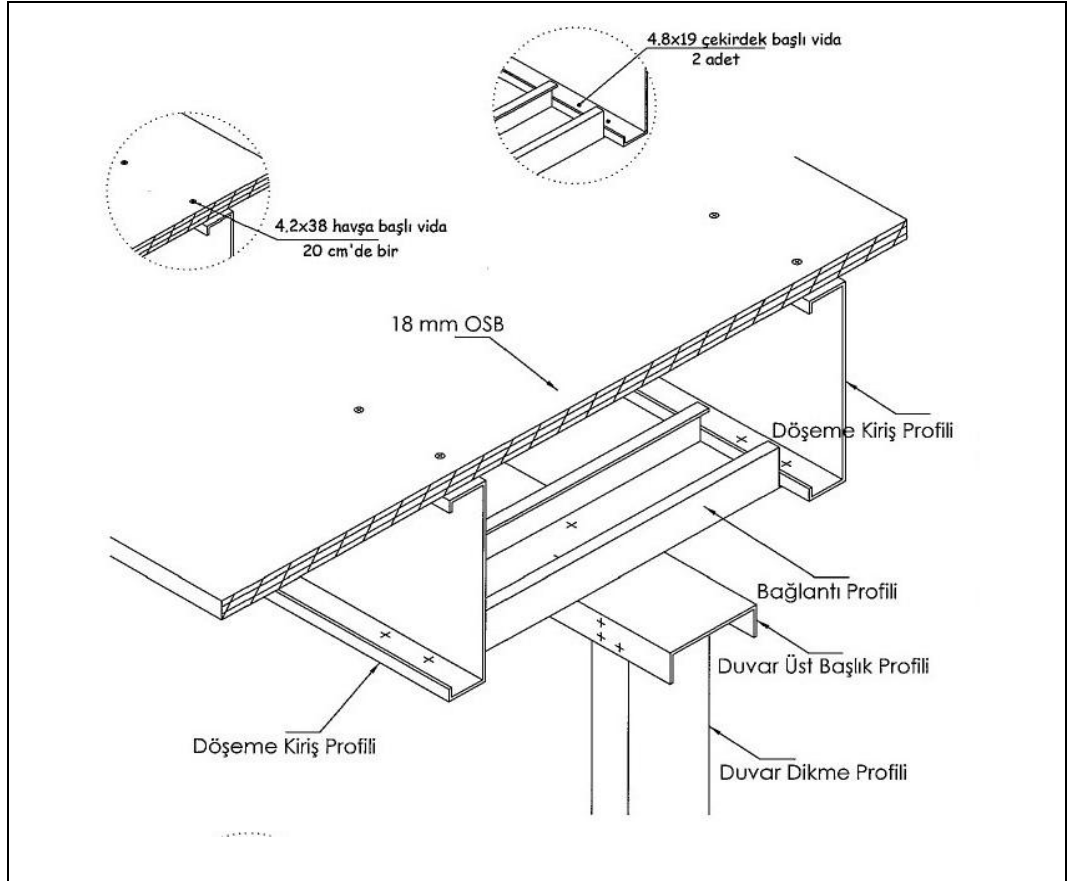
Uzun mesafeli duvarlarda duvar başlık profilleri birbirine birleşim profilleri ile bağlanarak uzatılabilir (Şekil 2.35).



Şekil 2.35 : Süreksiz duvar başlıklarının birleşimi [16]

2.3.2.1 Bölücü Duvar

Bölücü duvarlar taşıyıcı sisteme katılmazlar, yalnızca kendi yüklerini taşırlar. Bölücü duvarın döşeme kirişine paralel düzenlenmesi durumunda ya bölücü duvar doğrudan tek bir döşeme kirişi üzerine veya iki döşeme kirişi arasına oturmaktadır (Şekil 2.36). Bölücü duvarın döşeme kirişine dik yönde düzenlenmesi durumunda ise bölücü duvar birden fazla döşeme kirişi üzerine oturmaktadır. Bu durumda bölücü duvara ait yükler farklı döşeme kirişleri üzerine dağılmaktadır. Genel olarak duvar kalınlığı bitmiş ölçü olarak 10 cm kabul edilmekte olup, dikme profil boyutları buna göre seçilmelidir. Ancak dikme içerisinden geçecek tesisatın boyutlarının geniş olması veya tesisat geçişinin yoğun olması durumlarında duvar kalınlığı daha fazla alınabilir. Bölücü duvarlarda yatay ve diyagonal kuşaklamalara gerek yoktur [4].

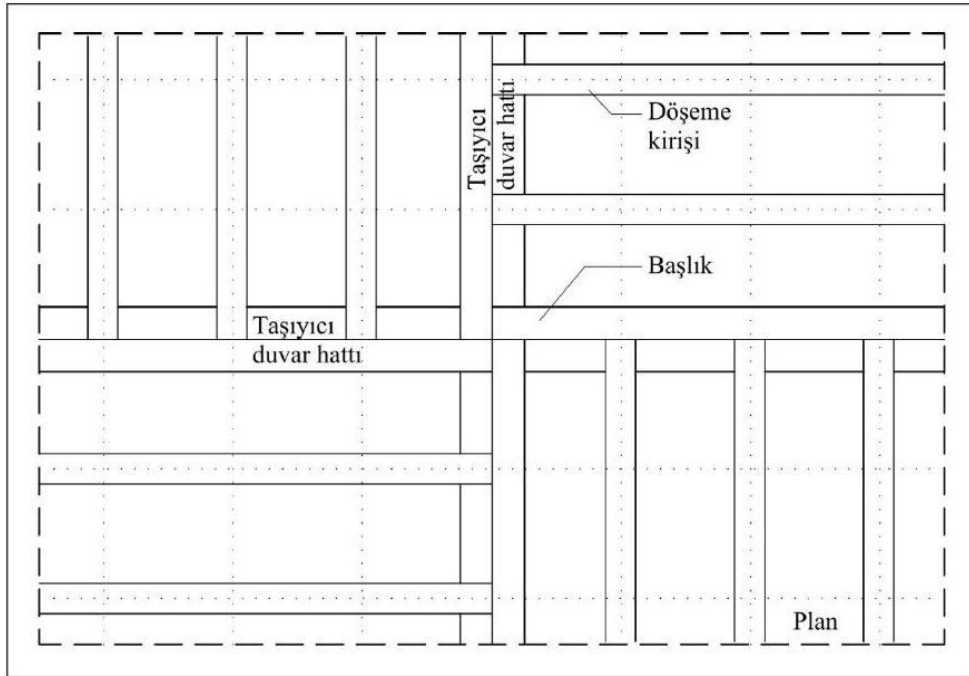


Şekil 2.36 : Kirişe paralel ayırıcı duvar üst bağlantısı [16]

2.3.3 Döşeme Sistemleri

Döşeme profil boyutu ve düzenlenme sıklığına bağlı olarak yaklaşık 12 metre açıklık (berkitme profili ile destekli, sürekli açıklıklı ve kiriş aralığı 30 cm olması durumunda) geçilebilmekte, ancak optimum değer olarak 7.2 m açıklık tavsiye edilmektedir [4].

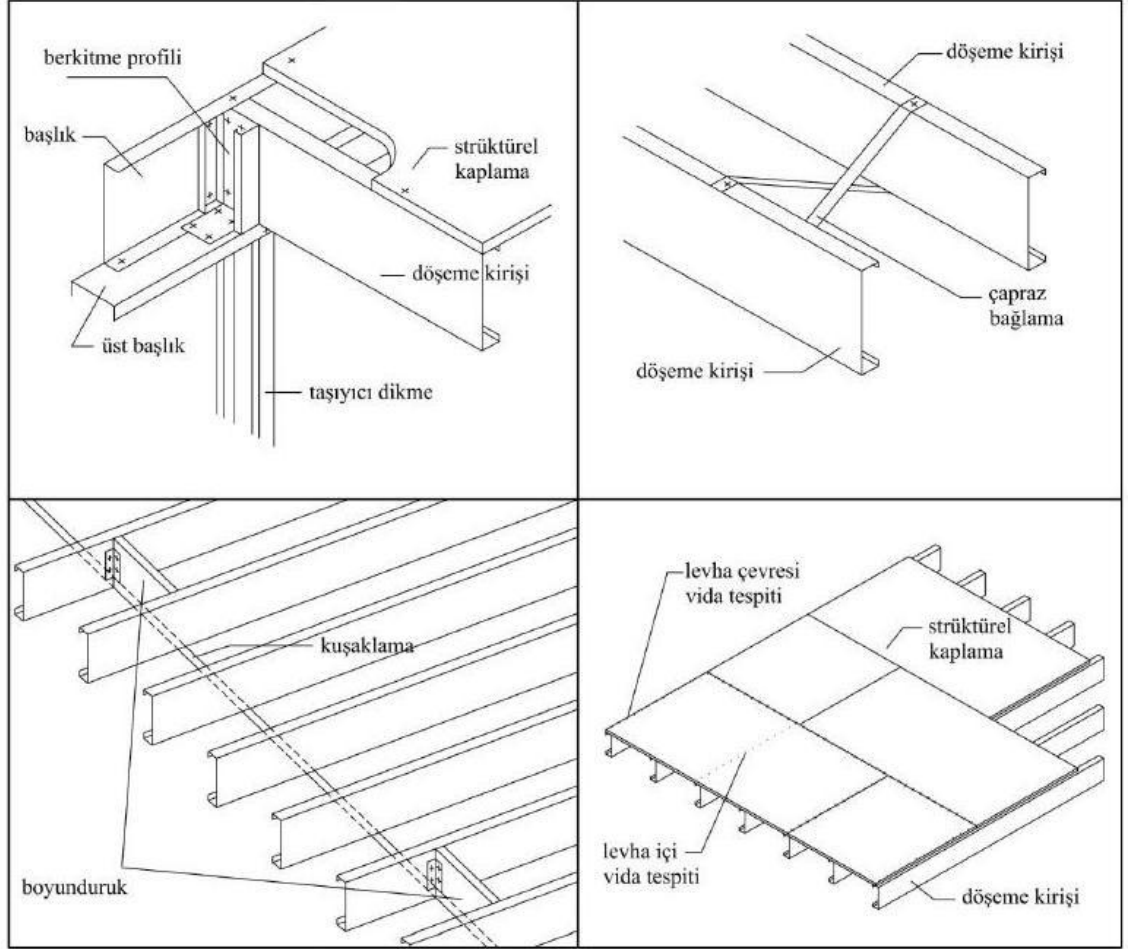
Taşıyıcı sistem tasarımı esnasında döşeme kiriş yönü mekan kullanımını etkilemeksizin en kısa yönde tasarlanmalıdır. Döşeme kirişlerinin kısa mesafede düzenlenmesi ile bir katta farklı doğrultuda döşeme kirişleri oluşabilmekte, bu durum ayrıca tüm döşemenin stabilitesine katkı sağlamaktadır (Şekil 2.37) [4].



Şekil 2.37: Taşıyıcı iç duvarda farklı doğrultulu döşeme kirişleri birleşimi [4]

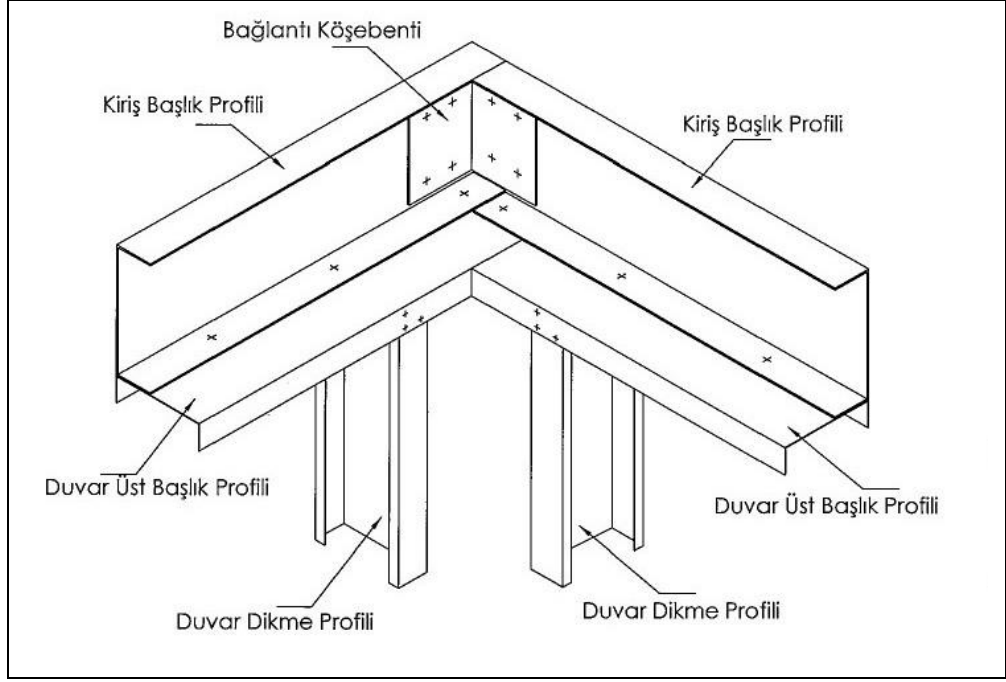
Döşeme kirişlerinde ek yapılmasına izin verilmez. Başlık profillerinde ek yapılması durumunda ise ek parçası levha kalınlığı en az ek yapılan ana profil kalınlığında olmalıdır. Ek yerlerinde bindirme toplam boyu minimum 15 cm olmalıdır. Levha yüzeyindeki galvaniz tabakanın bozulması sebebiyle şantiye ortamında profillerin kesilmesine izin verilmemektedir [4].

Döşeme kirişleri; berkitme profili, kuşaklama, çapraz bağlama ve kasnak kirişi / boyundurluk gibi stabilite elemanları ile desteklenirler. Ayrıca döşeme kaplaması ve tavan kaplaması da stabilite görevi yapmaktadır (Şekil 2.38) [4].



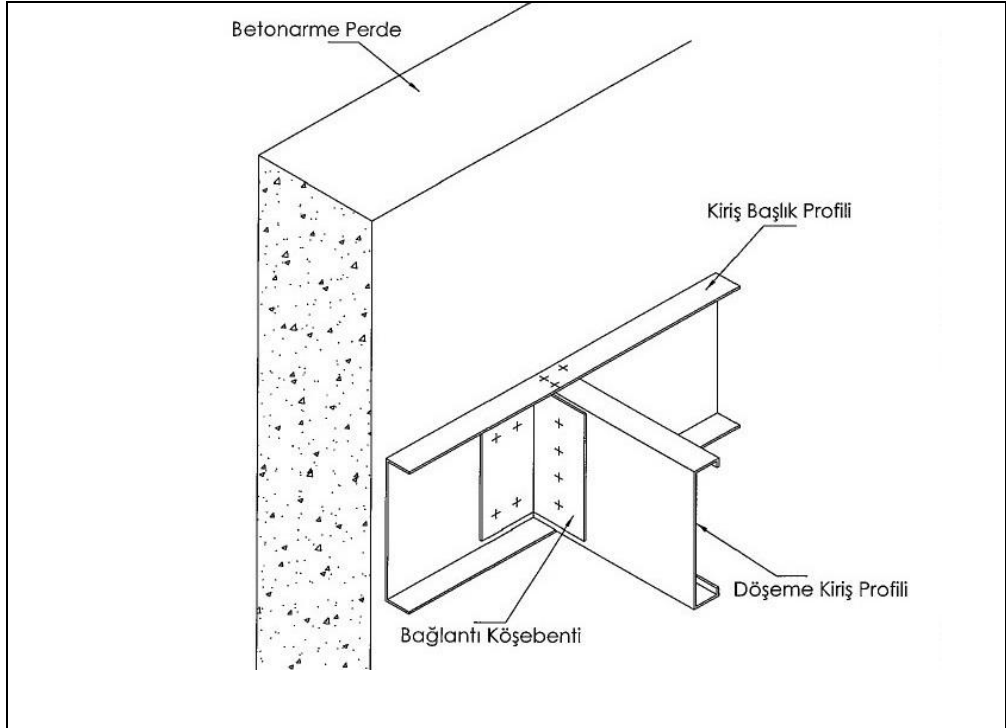
Şekil 2.38 : Döşeme stabilite elemanları [4]

Döşeme kirişlerinin köşe birleşimlerinde, kiriş başlık profilleri köşeleri kapatacak şekilde düzenlenir (Şekil 2.39).



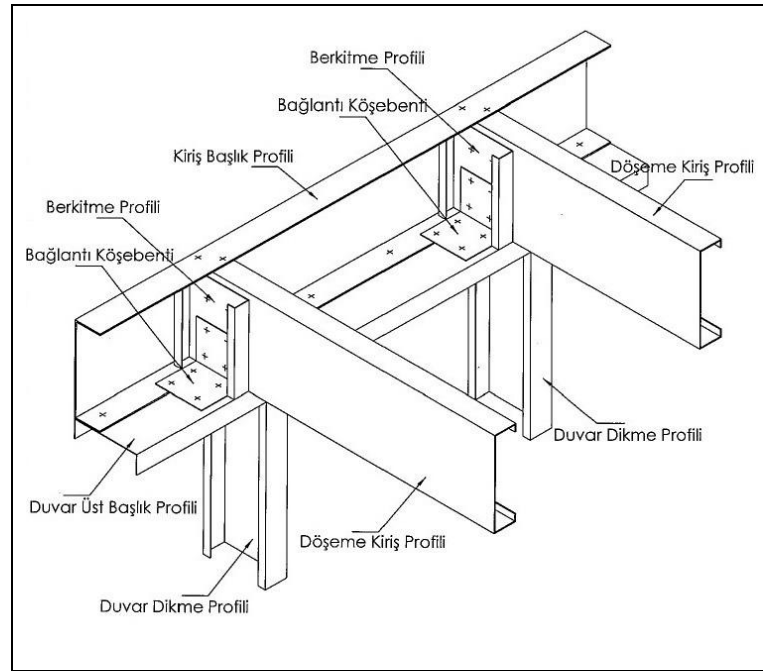
Şekil 2.39 : Döşeme kiriş kapaklarının köşe birleşimi [16]

Hafif çelik döşemenin betonarme bir perdeye montajı gerektiğinde Şekil 3.40'taki gibi başlık profili yardımı ile mesnetlenebilir.

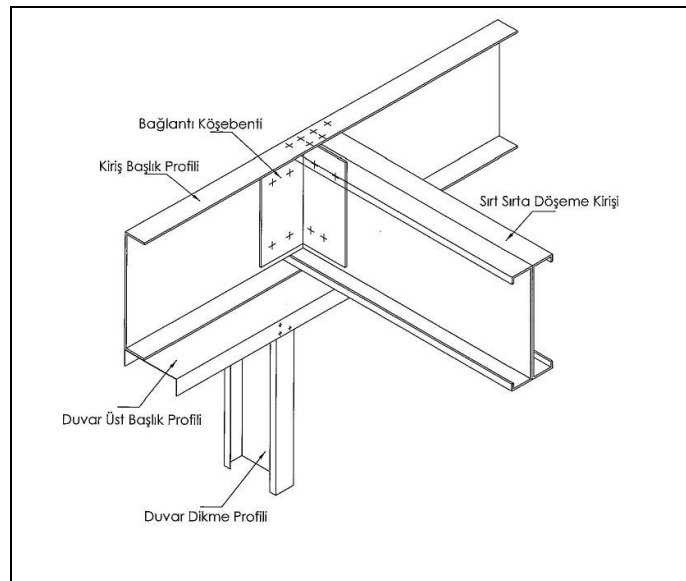


Şekil 2.40 : Hafif çelik döşemenin betonarme perde ile mesnetlenmesi [16]

Düşey yüklerin aktarılmasında dikme ve kirişin aynı hizada düzenlenmesi önemlidir. Duvar dikme profilinin üzerine başlık profili yerleştirilir. Duvar başlık profili üzerine kiriş başlık profili de konduktan sonra döşeme kiriş profili berkitme profili ve bağlantı köşebentisi ile monte edilir (Şekil 2.41). Döşeme kirişleri sırt sırta bağlanarak daha güçlü bir taşıma sağlar (Şekil 2.42).



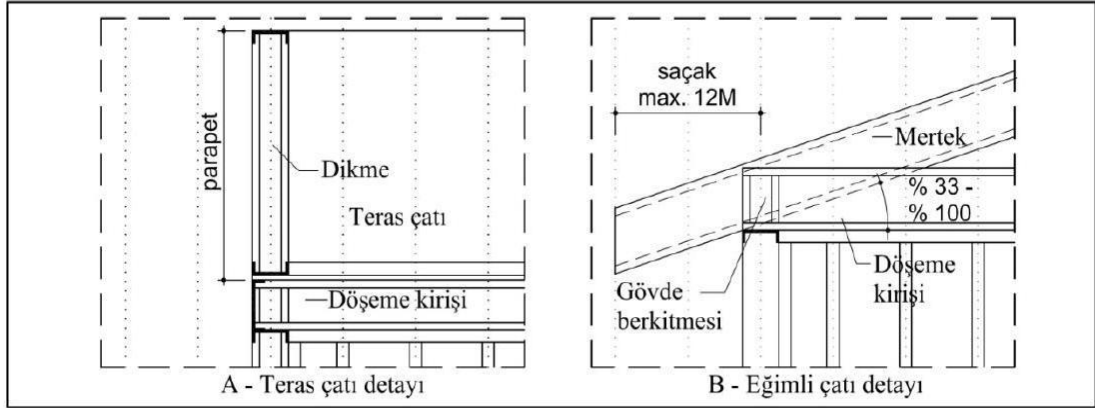
Şekil 2.41: Döşeme kirişinin taşıyıcı duvara mesnetlenmesi [16]



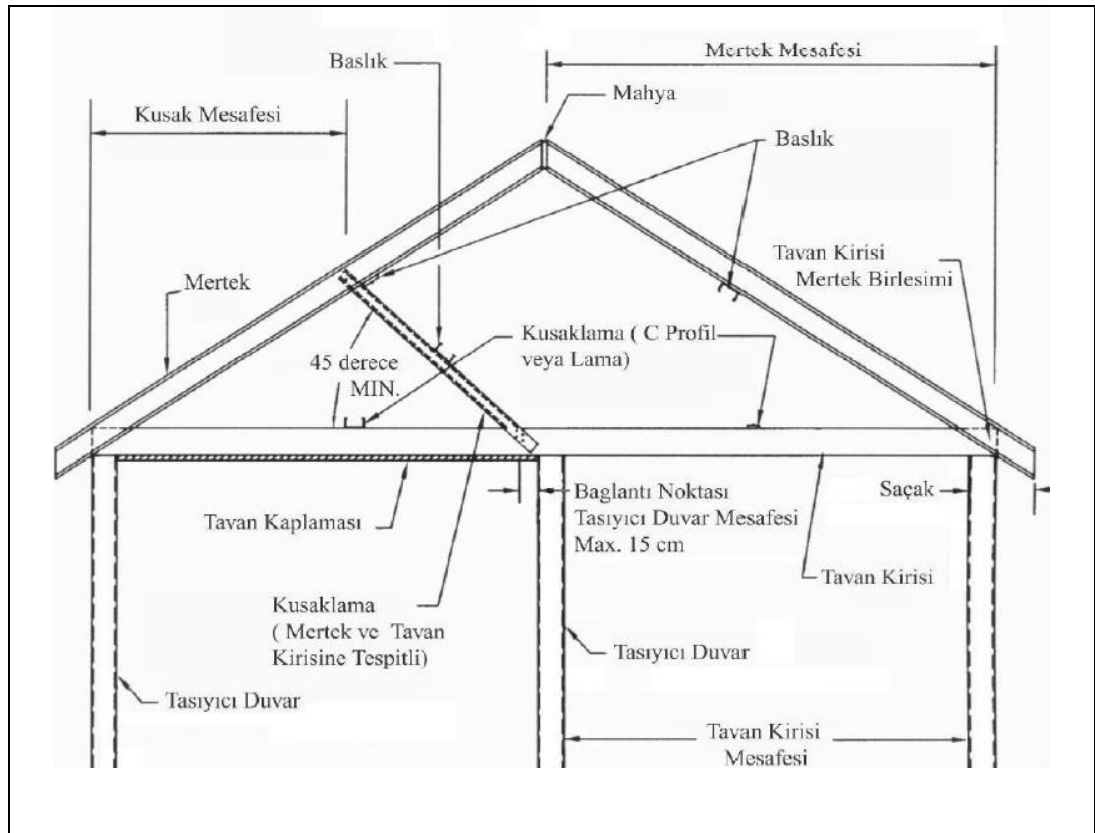
Şekil 2.42: Sırt-sırt döşeme kirişlerinin duvar mesneti [16]

2.3.4 Çatı Sistemleri

Hafif çelik yapım sistemlerinde eğimli çatı ve teras çatı uygulanır. Teras çatı prensipleri, normal kat döşeme prensipleri ile aynıdır. Eğimli çatıda döşeme oluşumunda geçerli olan berkitme profili, boyundurluk, kuşaklama, strüktürel kaplama vb. ile sağlanan stabilite prensipleri çatı mertekleri için geçerlidir (Şekil 2.43).

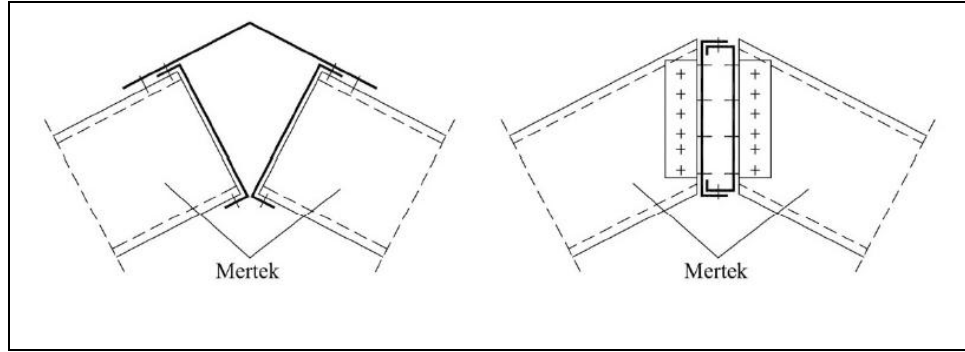


Şekil 2.43 : Teras ve eğimli çatı [4]



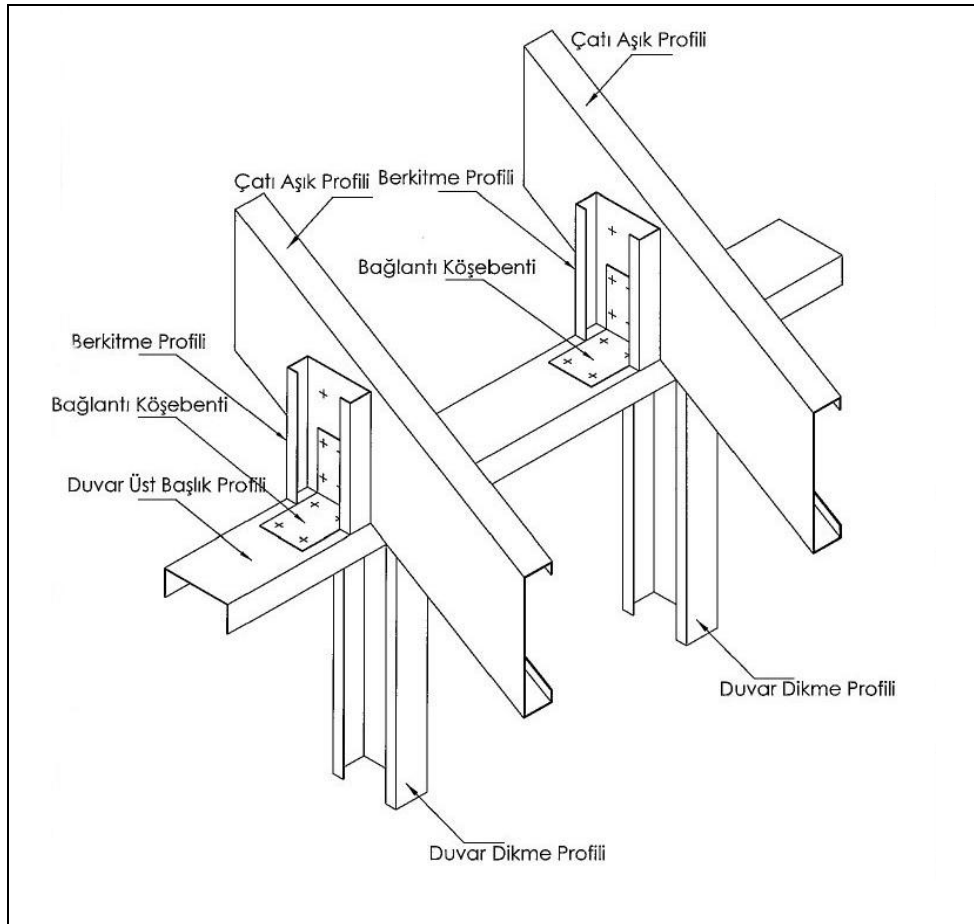
Şekil 2.44 : Eğimli çatı kuruluşu [4]

Mahya detay çözümü Şekil 2.45’ de görüleceği üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir.



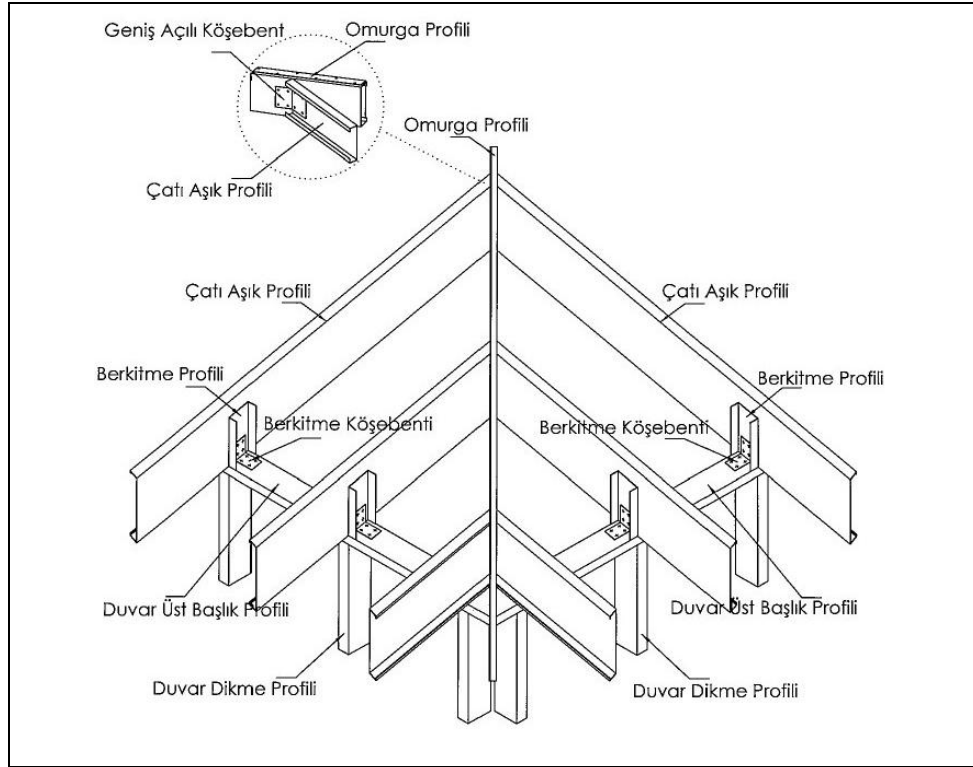
Şekil 2.45 : Mahya detay alternatifleri [4]

Eğimli çatı formunda aşıkların, köşebent ve berkitme profili (destek C profil) gibi bağlantı elemanları ile duvar üst başlık profiline montajı yapılır (Şekil 2.46).

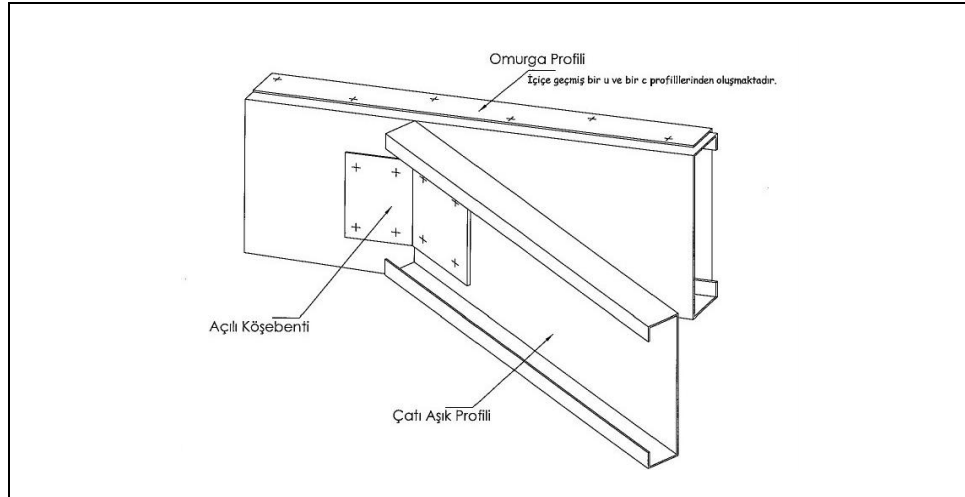


Şekil 2.46 : Çatı aşıklarının duvarlara mesnetlenmesi [16]

Kırma çatılarda aşıklar, yapı köşesinden yükselen omurgaya ve duvar üst profiline oturur (Şekil 2.47).

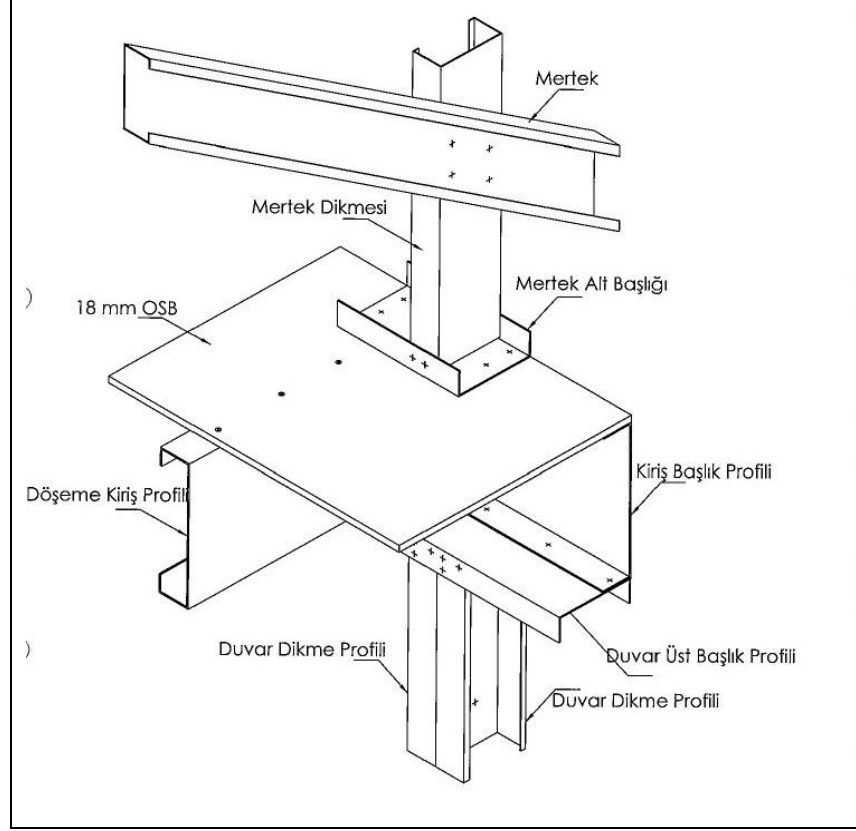


Şekil 2.47 : Aşıkların omurga ve duvara mesnetlenmesi [16]



Şekil 2.48 : Çatı aşıklarının omurgaya bağlanması [16]

Eğimli çatı iki şekilde kurulur; birincisi çatı döşemesi olmadan çatı kurulur, ikincisi çatı döşemesi üzerine çatı kurulur. Şekil 2.49’ da çatı döşemesine oturan eğimli çatı gösterimi kısmi olarak anlatılmaktadır.



Şekil 2.49 : Çatı aşıklık dikmesi ve döşeme bağlantısı [16]

2.3.5 Tamamlayıcı Bileşenler

Kaplama, yalıtım ve tesisat başlıklarında incelenebilir.

2.3.5.1 Kaplama ve Yalıtım

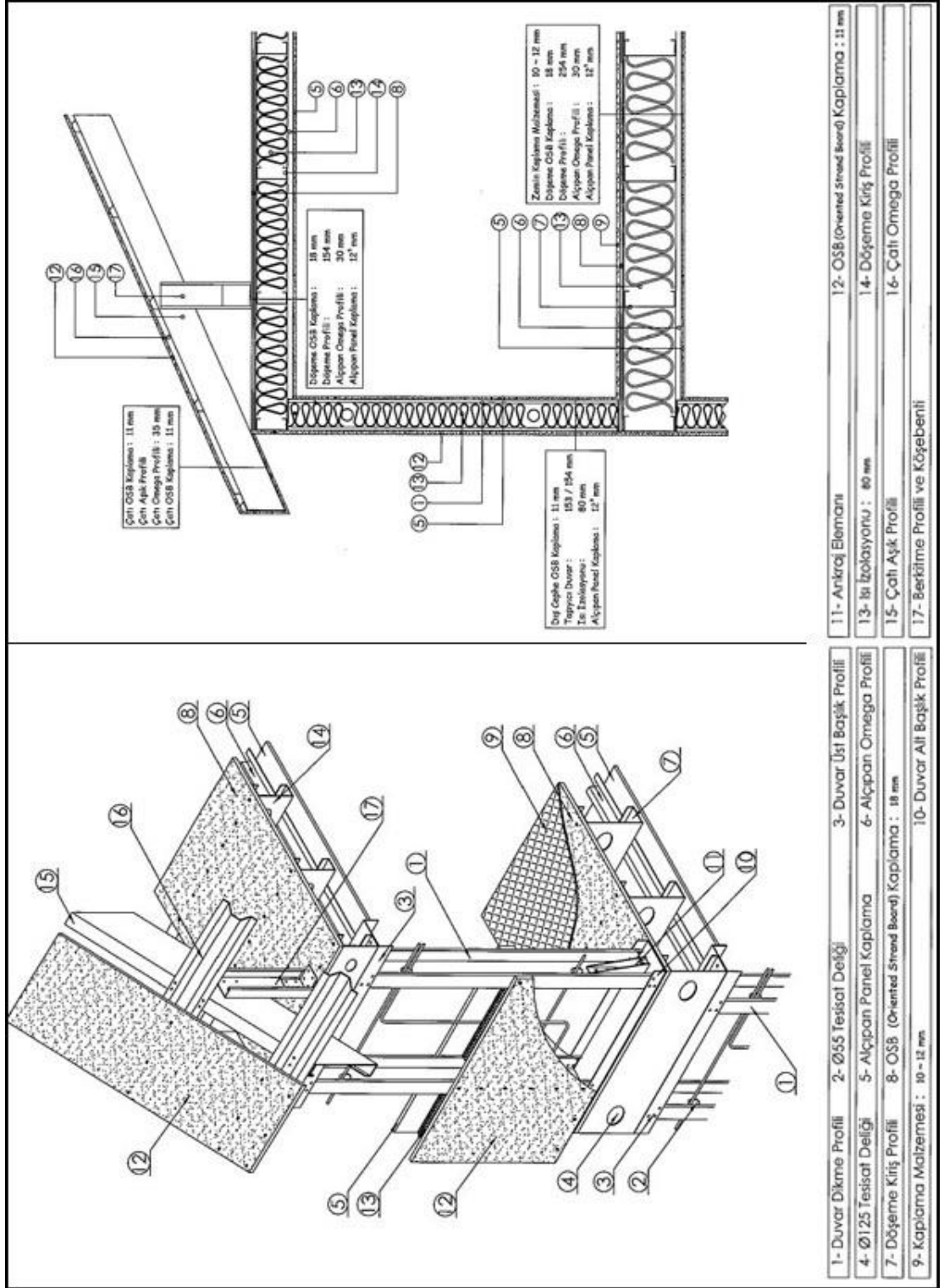
Hafif çelik yapım sisteminde kaplama malzemeleri olarak OSB ve alçı levha ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. OSB çatı ve duvarların dış yüzeylerinde, döşemenin kapatılmasında kaplama olarak kullanılır. Alçı levha dış duvarın iç yüzeyinde, iç duvarların tüm yüzeylerinde ve tavan altının kaplanmasında kullanılır. Yalıtım malzemeleri de (cam yünü, taş yünü gibi) kesitlerin (duvar, çatı, döşeme) içini dolduracak şekilde konumlanır (Şekil 2.50 ve Şekil 2.51).

OSB: Plywood’ a alternatif olarak kullanılmaya başlanan OSB (Oriented Strand Board-Yönlendirilmiş Yonga Levha), tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Hafif çelik yapım sisteminde yüksek mukavemetli ve neme dayanıklı bir panel levha olarak dış kabuk (cephe, çatı) ve döşeme kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. OSB’ nin kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

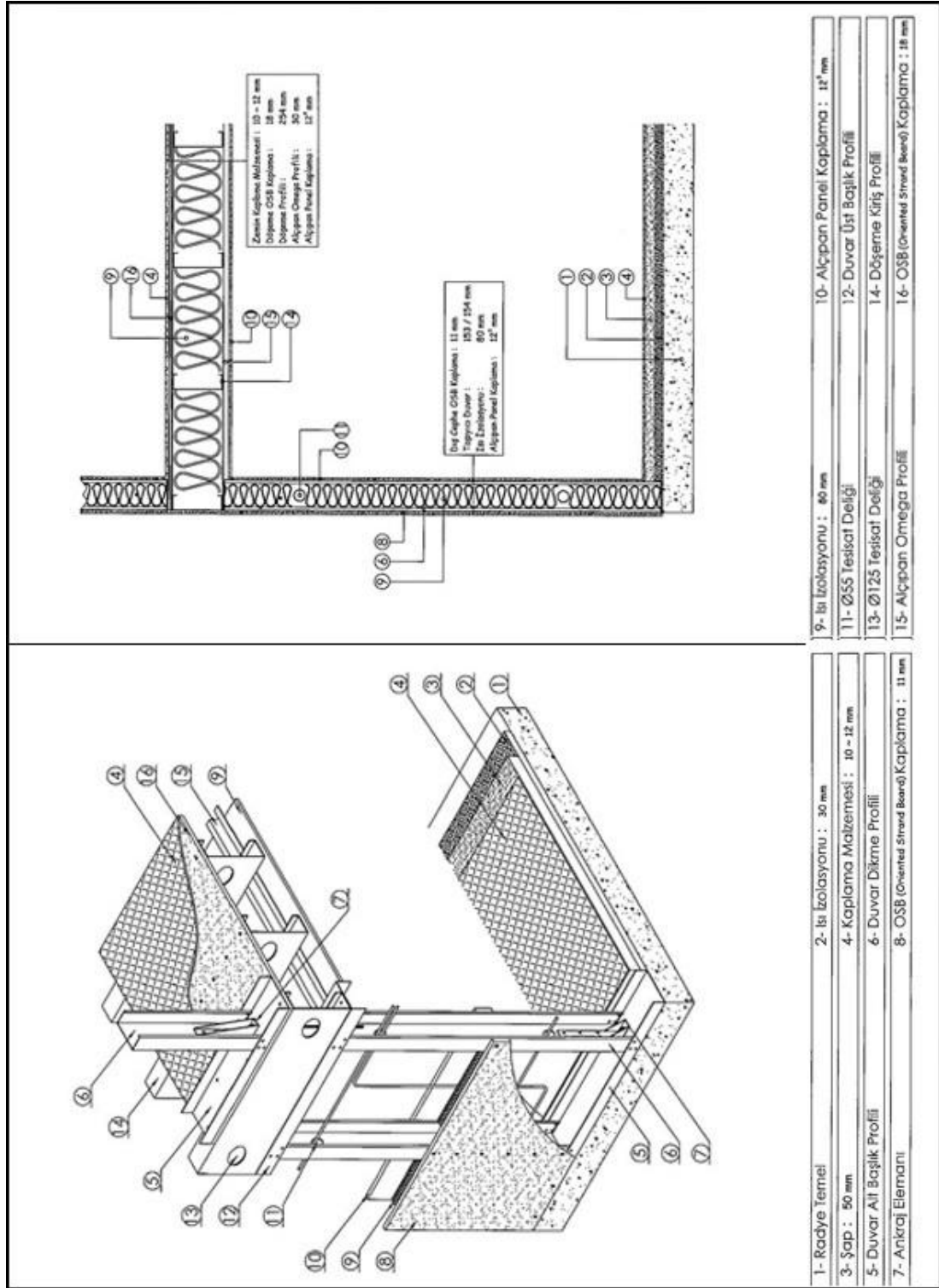
- Çatı mertekleri üzerine kiremit altı tahtası olarak
- Hafif çelik taşıyıcı sistemde dış kabuk duvar dikmeleri üzerine dışarıdan uygulanan kaplama malzemesi olarak
- Döşemenin oluşturulması için altlık olarak kullanılmaktadır.

Kuzey Amerika şartnamesine göre hafif çelik yapılarda kullanılacak OSB levha kalınlığı taşıyıcı duvarda minimum 9 mm, döşemede minimum 18 mm, çatı mertekleri üzerine kiremit altı tahtası olarak minimum 9 mm, teras çatıda ve çatı arasının kullanılması durumunda 18 mm olarak tanımlanmaktadır [4].

Alçı Levha: Ülkemizde alçı esaslı levha, yapı sektöründe bölücü duvar, asma tavan, iç mekan dekorasyon imalatları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İç mekanda kullanılan beyaz renkli alçı levhalara sistemde ALB kodu verilirken, ıslak hacimlerde ve dış mekanlarda kullanılan suya dayanıklı yeşil renkli alçı levhalara ALY kodu verilmektedir. Sistemde ALB ve ALY kodlu alçı levhalar 9 mm, 12,5 mm ve 15 mm kalınlığında, 60 cm ve 120 cm eninde ve 120 ve 240 cm boyunda üretilmektedir [4].



Şekil 2.50 : Sistem detayı 1 – çatı, duvar ve döşeme kaplamaları ile yalıtım malzemelerinin sisteme dahil oluşunun gösterimi [16]



Şekil 2.51 : Sistem detayı 2 – temel üstü, duvar ve döşeme kaplamaları ile yalıtım malzemelerinin sisteme dahil oluşunun gösterimi [16]

2.3.5.2 Tesisat

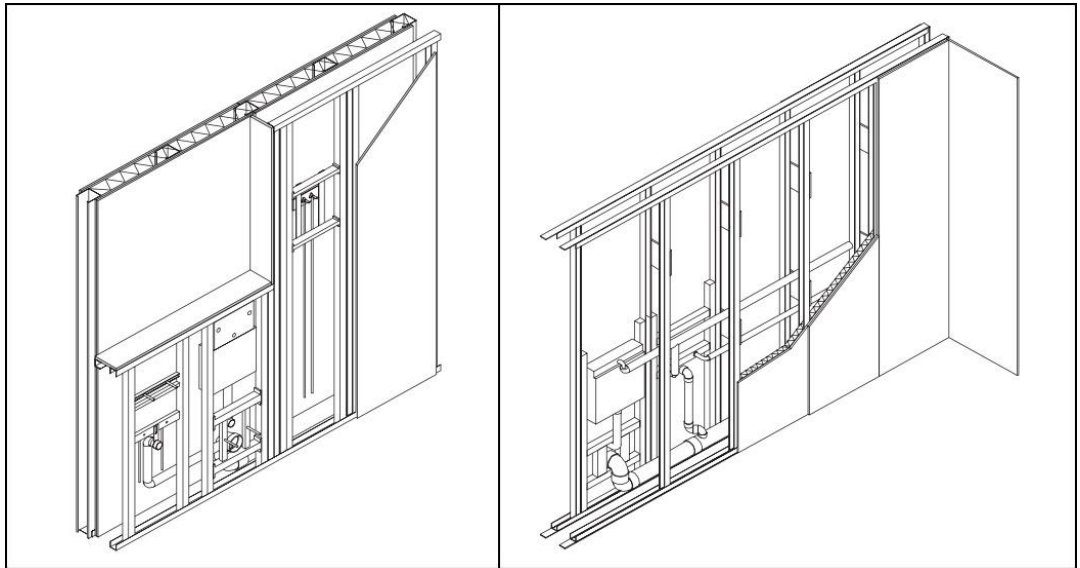
Hafif çelik sistemlerde duvar ve döşeme profilleri arasından delikler açılarak tesisat geçişleri sağlanmaktadır. Tesisatın dağılımı yatayda ve düşeyde taşıyıcı sistem ile birlikte ele alınarak tasarlanmalıdır (Şekil 2.52).



Şekil 2.52 : Tesisatın hafif çelik sistemle birlikte hazırlanması [5]

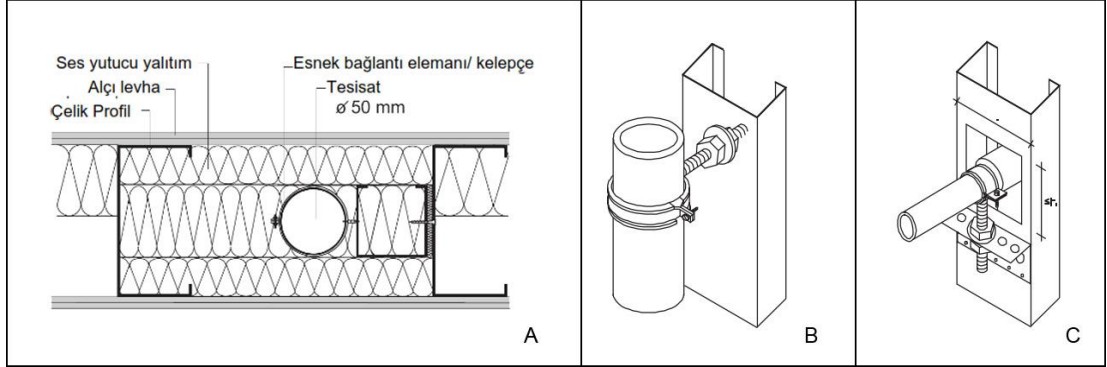
Hafif çelik yapılarda tesisat delikleri sadece profil gövdesinden açılabilir. Aynı zamanda profil derinliğinin (gövde eninin) %70 oranından küçük olması, profil bitim noktasına uzaklığı en az 304 mm olması, delikler arası açıklığın en az 457 mm olması gerekmektedir. Profil derinliğinin (gövde eninin) flanşla kesişen köşesine 30 mm'den az kalacak şekilde yaklaşması durumunda takviye gerektirir.

Duvar içinde kalacak tesisat uygulaması örneği Şekil 2.53'te görülmektedir.



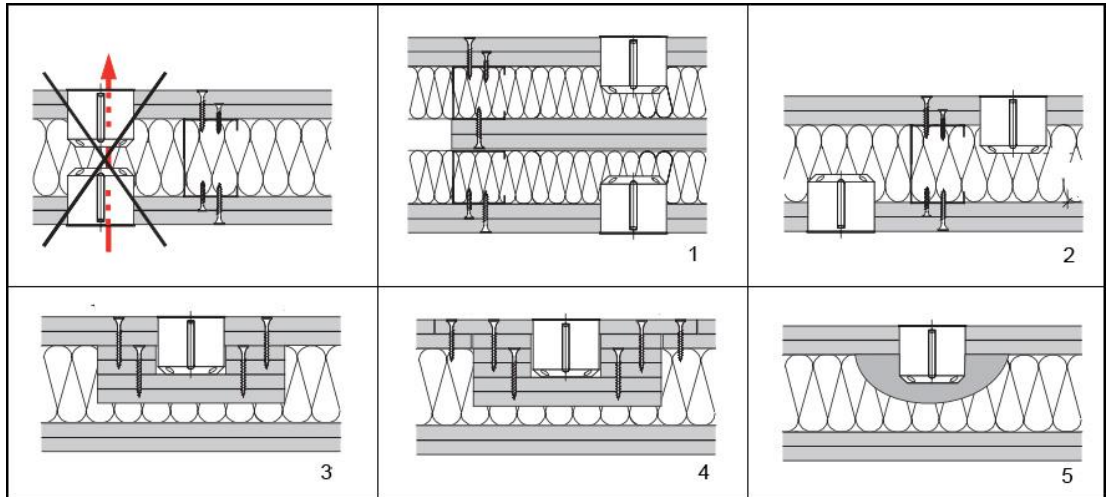
Şekil 2.53 : Duvar içi tesisat örneği [5]

Hafif çelik sistemlerde tesisat bacalarında ses izolasyonunun sağlanması tavsiye edilir. Ses yalıtımının sağlanabilmesi amacıyla ses yalıtım boru hattının ortadan geçirilmesi, tesisat borularının destek metal donanımlarla sabitlenmesi, ses köprüsü olmaması için yalıtım malzemesinin sıkıştırılarak yerleştirilmesi gibi düzenlemeler yapılabilir. Şekil 2.54 A' da borunun ses yalıtımı sağlanarak yerleşimi, Şekil 2.54 B' de ses yalıtımlı tesisatın düşey ve Şekil 2.54 C' de yatay kurulum şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.54 : Ses yalıtımlı tesisat yerleşimi [5]

Ayrıca çeliğin yüksek ısı karşısında mekanik özelliklerini kaybetmesinden dolayı yangın çözümleri üretilmiş olmalıdır. Hafif çelik yüzeyler ile tesisatın kaplanması ve yalıtılması yangından korunmasını sağlayarak, yangında zayıflamasını geciktirir. Şekil 2.55' te olmaması gereken uygulama ve 5 çözüm önerisi gösterilmektedir.



Şekil 2.55 : Duvardaki yangın korumalı elektrik tesisatı [5]

2.4 Hafif Çelik Konstrüksiyon ve Yapım Sistemleri

Hafif çelik yapım sistemin inşası üç farklı şekilde yapılmaktadır. Bu sistemler iskelet, panel ve hücre sistemler olarak sıralanabilir. Üç sistem de birbirine farklı noktalarda üstünlük sağlamaktadır.

2.4.1 İskelet Sistem

Hafif çelik profiller fabrikada üretilir, inşa alanına getirilir ve inşa alanında birleştirilir. İnşa alanına getirilmiş olan profiller hazırlanmış olan temel sistemi üzerine monte edilirler (Şekil 2.56). Süre olarak panel ve hücre sisteme göre daha uzun bir sürede inşa edilir. Profillerin galvaniz katmanlarının zarar görme olasılığı diğer sistemlere göre daha fazladır. İnşa sonrası zarar gören noktalar antipas boya ile tekrar boyanmalıdır [7].

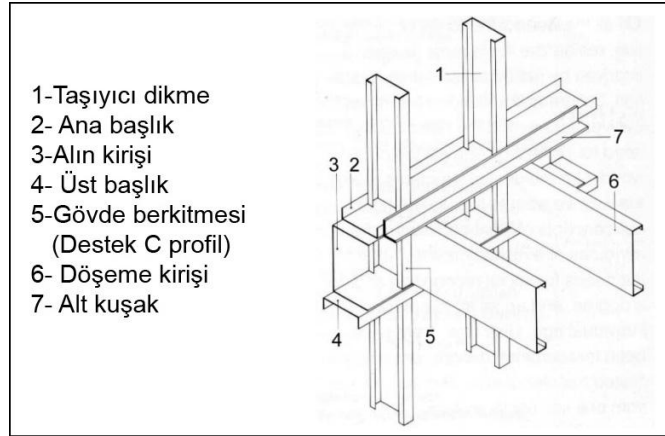


Şekil 2.56 : İskelet sistemin şantiye görüntüleri [5]

Hafif çelik sistemde duvar ve döşemenin birbiri ile bağlantıları ve yük aktarımları farklı şekillerde düzenlenebilmektedir. Duvar ve döşeme taşıyıcısının birbiri ile bağlantı ve yük aktarımı özellikleri açısından platform ve balon konstrüksiyon sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.4.1.1 Platform Sistem

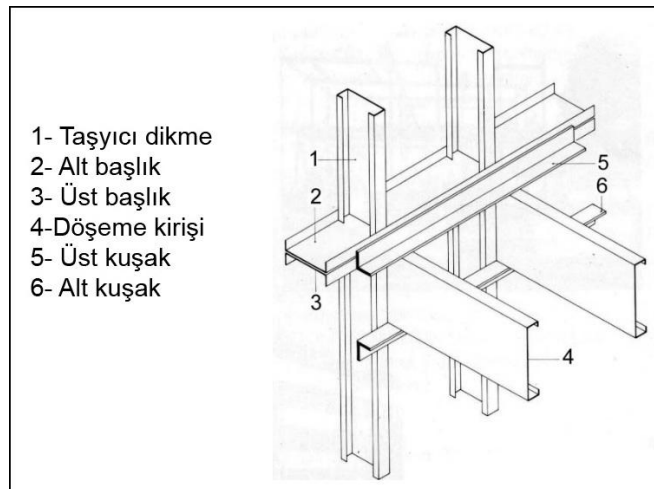
Duvar elemanları döşemenin üzerindedir. Basınç kuvveti döşeme üzerinden taşıyıcı elemanlara aktarılır (Şekil 2.57). Bu sistem balon sisteme nazaran daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde üst katın montajı yapılırken birleşim yerleri daha kolay gerçekleştirilmektedir [4].



Şekil 2.57 : Platform Sistem [4]

2.4.1.2 Balon Sistem

Bu sistemde duvar elemanları düşeyde sürekli devam etmektedir. Normal kolon-kiriş sisteminde olduğu gibi döşeme elemanları bunlara yandan bağlanmaktadır (Şekil 2.58). Yatay eleman bağlantıları ile tasarruf elde edilebilir. Bununla birlikte hava sızdırmazlık seviyesi minimuma indirgenmiş olabilir. Fakat bu sistemin bağlantılarını yapmak daha karmaşıktır [4].



Şekil 2.58 : Balon Sistem [4]

2.4.2 Panel Sistem

Bu sistemde profiller fabrikada boyutlandırılıp üretildikten sonra paneller (duvar, döşeme, çatı) haline getirilip, şantiye alanına bu şekilde taşınır ve paneller birbiri ile birleştirilir (Şekil 2.59). 5-6 kişilik kalifiye bir ekip tarafından 2 katlı standart ölçülerde bir konutun taşıyıcı sistem montaj aşaması birkaç gün içerisinde tamamlanabilmektedir [7].



Şekil 2.59 : Panel sistemin şantiye görüntüleri [5]

2.4.3 Hücre Sistem

Taşıyıcı bileşenler fabrikada üretilir, bileşenler fabrikada monte edilerek hücreler oluşturulur, hücreler inşa alanına getirilir ve her hücre birbirine birleştirilir (Şekil 2.60). Sistem üretilen modüllerin yangın dayanımını arttırmak için hazırlanan özel ısı yalıtım sistemi ve ek çelik bağlayıcı elemanlar sayesinde sistem 6 kata kadar yapı yapılmasına imkan vermektedir. Modül elemanların vinçler ile taşındığı sistemde üst üste konulan modüller dıştan çelik kablo veya farklı çelik gergi elemanları ile birbirlerine sabitlenerek hafif çok katlı yapı oluşumu sağlamaktadır. Sistem iş aletlerinin çalışabileceği bir alanda sadece 2-3 günde kurulabilmektedir. Fakat sistemin endüstrileşme gerekliliği nedeni ile genellikle modül boyutları sabittir (8x3.2 m), yani yapılar benzer özelliktedirler. Ayrıca bu modüller tekrar kullanıma uygun, yer değiştirebilecek şekilde tasarlanmaktadır [7].



Şekil 2.60 : Hücre sistemin fabrika üretimi, şantiye alanına vinçle indirilmesi ve montajı [15]

3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİNİN HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI

3.1 Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini görerek şimdikilerin ihtiyaçlarını karşılayan gelişme olarak tanımlanır. 1987 “Ortak Geleceğimiz” olarak da bilinen Brundtland Raporunda, sürdürülebilir gelişmenin tanımı: "Bugünkü neslin ihtiyaçlarının gelecek nesillerin yeteneklerini tehlikeye atmadan karşılanması" dır [1].

Amerikan nüfusu diğer ülkelerden daha fazla kaynak tüketmektedir. Amerika'daki binaların çevresel etkisi fark edilebilir ölçüdedir. Düşünün ki; Amerika'da üretilen elektriğin % 65'ini binalar tüketmektedir ve temel enerjinin (doğal gaz gibi) %36'sından fazlasını da yine binalar tüketmektedir. Bu yapılar sera gazı emisyonunun %30'unu üretmekte, Amerikan içilebilir suyunun %12'sini kullanmakta, yapı ve dünya çapındaki operasyonlar için hammaddenin %40'ını kullanmaktadır [1].

İnşaat malzemeleri ve inşaat çalışmaları yapının çevresel etkisini büyük ölçüde etkileyebilir. Bazı malzemeler özel biçimlerde kullanılmak zorunda kalabilir ya da sürekliliği sağlayabilmek için farklı kombinasyonlarda kullanılabilir [1].

Birçok tüketici, doğal çevrenin bugünkü ve gelecekteki sağlığı konusunda endişe duymasına rağmen, çok az insan çevresel yükü azaltacak yapı, ürün ya da yenilik için daha fazla ödemeye gönüllüdür. Bina tasarımının seçimi ile ilgili kararlar alınırken; enerji yeterliliği, maliyeti, sağlamlığı, alan esnekliği, çevreye etkisi ve yaşam kalitesi göz önünde bulundurulmalıdır [1].

Sürdürülebilir kalkınma genel prensiplerinde belirli bir binanın çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri bir diziye dayalı olarak geliştirilebilir;

- yapı malzeme seçimi,
- enerji kullanımı ile ilgili sorunlar ve
- yerel çevre üzerindeki etkileri [17].

Bu konuda sorunlar;

- verimli malzeme kullanımı,
- atıkların azaltılması,
- birincil malzeme kullanımını azaltma,
- enerji kullanımı (ve CO2 üretimi),
- çevre kirliliği ve diğer etkileri,
- taşımacılığı azalma ve
- ilgili sosyal konular ile birleştğinde yaşam kalitesinin iyileştirilmesi,
- refah ve biyoçeşitlilik gibi belirli kriterler açısından ifade edilebilir [17].

3.1.1 Sürdürülebilirlik Kavramları

3.1.1.1 Çevresel, Toplumsal ve Ekonomik Faktörler

Çevre, toplum ve ekonomi ana üç konuyu oluşturur. Sosyal sonuçlar işçilerin, komitelerin ve gelişmekte olan ülkelerin üzerindeki etkiyi; bununla birlikte etik, nüfus artışı ve güvenlik gibi konuları içerir. Malzemeler, enerji ve emisyonun azaltılmasının; binaların kendilerinin azaltılmasından daha fazla etkisi vardır. Aralarındaki döngünün doğru sağlanması da yaşam, kalite ve söz ettiğimiz ekosistemin sürdürülebilirliğindeki ana konulardır.

Binalar bir bireyin, sosyal veya siyasi ikliminin sonucudur ve bir bina tasarımına herhangi bir eleştirel değerlendirme, o binaya sebebiyet veren sosyal (toplumsal) ve kültürel bağlamda eşit eleştirel bir değerlendirme ile yapılmalıdır.

Çevre ile ekonomik etki bir araya gelebildiğinde yaşayabilir alanlar, çevre ile sosyal etki bir araya geldiğinde yaşanabilir alanlar oluşurken; ekonomi ve sosyal etkide denge sağlandığında eşit-adil alan ortaya çıkmaktadır. Çevre-ekonomi-sosyal konuların kesişimi sürdürülebilirliği doğurur (Şekil 3.1) [1].



Şekil 3.1 : Sürdürülebilirlik ile çevre-ekonomi-sosyal etkinin şematik anlatımı [1]

Çizelge 3.1 : Sürdürülebilir yapılaşma ile çevre-ekonomi-toplum ilişkisi [18]

Sürdürülebilir Yapılaşma – Çevre	• İklim Değişikliği - Karbon Salımları • Enerji Tüketimi • Kaynak Kullanımı • Atıklar • Geri Kazanım • Türlerin ve Çeşitliliğin Korunması
Sürdürülebilir Yapılaşma – Toplum	• Barınma, Korunma, Sağlık • Gelişme • Estetik ve Konfor • Kültür
Sürdürülebilir Yapılaşma – Ekonomi	• Yaşam Döngü Maliyeti • Kullanımda İşlevsellik, Esneklik, Verimlilik • Portföy Değerinin Korunması • Yeniden Kullanım • Geri Kazanım • Ekotasarım

Toplum küresel olarak da algılanabilir. Örneğin, karbondioksit yayılımı Amerika’da ilk kez 2002’ de azaltılmıştır. Ancak bu azalma, üretimdeki ve durgun ekonomideki düşüşten kaynaklanmıştır. Aynı yıl Çin’in karbondioksit üretiminin Amerika’ dakinden çok daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak bu artış Amerikan vatandaşlarının tükettiği malların üretiminden kaynaklanmıştır. Enerji, üretim, israfın; havaya, karaya ve suya emisyonu; küresel pazardaki küresel bakış açısında doğru ele alınması gerekir [1].

3.1.1.2 Yeşil Bina

Bugün sürdürülebilir, ekolojik, yeşil, çevre dostu vb. pek çok isim altında karşımıza çıkan doğayla uyumlu yapılar; yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirildiği, bütüncül bir anlayışla ve sosyal & çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlandığı, iklim verilerine ve o yere özgü koşullara uygun, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı katılımı teşvik eden, ekosistemlere duyarlı yapılar olarak tarif edilebilir [19].

Dünya'daki Ulusal Yeşil Bina Konseylerinin deneyimi, yeşil binaların yaygınlaşmasını sağlamanın en etkili yollarından birinin bu binalara bir “yeşil etiket” vermek olduğunu ortaya koymuştur. Nasıl yediğimiz yemekler veya satın aldığımız ürünler için bir “eko etiket” söz konusu ise aynı şeyi binalar için de yapmak bu binaların teşviki ve yaygınlaşması anlamında olumlu bir adımdır. Bu etiketler sayesinde bir binanın birtakım standartlar çerçevesinde yeşilliği tescil edilir. Bu standartlar aynı zamanda yeşil bina tasarlamak isteyen mimar ve mühendisler için kılavuz niteliği taşır. Sosyal sorumluluklarını yerine getirdiklerini kamuoyu ile paylaşmak isteyen şirketlere de geçerli bir etiket sağlar. Yeşil yapılaşmaya yönelmek şirketler için aynı zamanda bir sosyal sorumluluk projesi olarak da görülmelidir [19].

Binalar ve yerleşimler, küresel ısınmaya sebep olan başlıca seragazı olan CO₂ salınımının %40'ından sorumludur. Bina ve yerleşimlerin çevreye olan etkileri salgıladıkları CO₂ gazıyla da sınırlı değildir. Aynı zamanda su kullanımının yaklaşık %12'si, atıkların %65'i ve elektrik tüketiminin de %71'inden sorumludurlar [19].

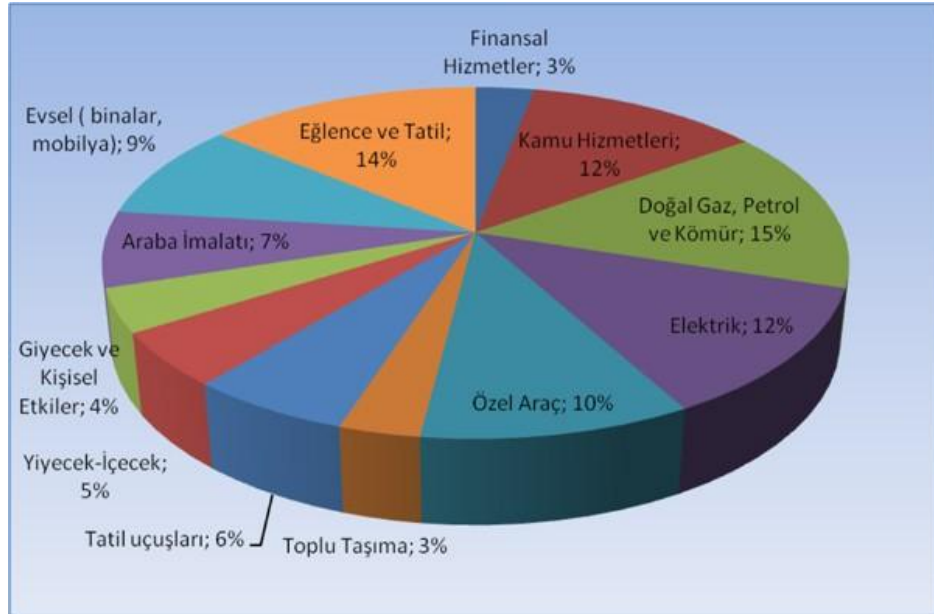
Bu rakamların büyüklüğü, binaların ve yerleşimlerin çevreye olan etkilerinin azaltılması için aynı zamanda büyük bir potansiyelin olduğu anlamına gelir. Amerika'da yapılan bir çalışma, “yeşil” veya “çevreci” olarak nitelendirilen binaların enerji tüketiminde %24-50, CO₂ salınımında %33-39, su tüketiminde %40 ve atıklarda %70'e varan bir düşüş sağlayacağını ortaya koymaktadır [19].

Gün ışığının etkili kullanımı pasif ısıtma ve soğutmanın azaltılmasını sağlar. Gün ışığının ve iç hava-mekan kalitesi olan binalardaki iş üretkenliği de artmaktadır. Yatırım ve maliyet açısından da bakıldığında yeşil yapılara yapılan yatırımların uzun vadede yatırımcıya geri döndüğü söylenebilir [19].

3.1.1.3 Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi her insanın ulaşım, ısınma, enerji tüketimi veya satın aldığı her türlü ürün neticesinde atmosfere yayılmasına neden olduğu karbon miktarını anlatmak üzere kullanılan bir terimdir. Başka bir ifade ile aldığımız her ürün veya gerçekleştirdiğimiz her faaliyet için gerekli olan enerjinin üretilmesi sırasında atmosfere salınan karbon gazı toplamını ifade etmektedir [19] (Şekil 3.2).

Karbon ayak izi, birim karbondioksit cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsüdür ve iki ana parçadan oluşur: doğrudan/birincil ayak izi ve dolaylı/ikincil ayak izi. Birincil ayak izi, evsel enerji tüketimi ve ulaşım dahil olmak üzere fosil yakıtlarının yanmasından ortaya çıkan doğrudan CO₂ emisyonlarının, ikincil ayak izi ise kullandığımız ürünlerin tüm yaşam döngüsünden bu ürünlerin imalatı ve en sonunda bozulmalarıyla ilgili olan dolaylı CO₂ emisyonlarının ölçüsüdür [20].



Şekil 3.2 : Bir kişinin tipik karbon ayak izinin dökümü [20]

İklim değişikliği ve küresel ısınma konularının yaşandığı günümüzde, insan kaynaklı sera gazları neticesinde etkisi ve şiddeti daha da artan iklim değişikliği problemini durdurabilmek veya etkisini en aza indirebilmek için kişisel ve kurumsal çabalar artmıştır. Gerçekten doğal süreçlerin etkisinde milyonlarca yıldır devam eden iklim

değişikliği, günümüzde insan kaynaklı çevresel kirlilik nedeniyle etkisini ve zararını daha da arttırmıştır. Bu çerçevede hem çevre ve iklime karşı duyarlılığımızı göstermek üzere hem de çevre kirliliğine karşı alınan önlemlere somut katkı verebilmek üzere karbon ayak izimizin hesaplanması ve azaltımı konusunda çalışmalar yapmak önemli bir görev haline gelmiştir [20].

Karbon ayak izini azaltmak için öneriler: bitkisel ve hayvansal artıkların çöpe atılması yerine bahçede ya da belde parklarında tabii gübre olarak kullanılması, geriye dönüşüm konusuna özen gösterilmesi, doğal gaz yerine ısınmak için Güneş enerjisinin imkan sağladığı doğrultuda kullanılması, binaların yeteri kadar havalandırılması, yapılacak iyi bir ısı yalıtımı ile doğal gaz ve diğer enerji kaynaklarının kullanımı azaltılarak karbon ayak izini küçültmede önemli bir rol oynanması, elektrik için yenilenebilir enerji kullanılması gibidir.

3.1.1.4 Bütünsel Tasarım

Sürekli tasarımın temel ilkesi bütünsel ya da karma tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, olası sistem etkileşimini ayırt edebilmek için tasarımın şematik aşamasında mimari, yapısal ve mekanik tasarımlarına ve daha sonrasında projenin başarısı için hangi yararlı etkileşimlerin gerekli olduğuna karar vermeyi gerektirir. Örneğin, birkaç pencereli doğuyu ve batıyı gören iyi yalıtılmış bir bina daha az ısıtma ve havalandırmaya ihtiyaç duyar.

Eklenen bu özellik daha az boru ve cihaz gerektirdiğinden mekanik tasarımı etkileyebilir ve belki de bina sınırı boyunca cihazların elenmesine izin verebilir. Tablo 3.2 diğer karma tasarım stratejilerini göstermektedir [1].

Çizelge 3.2 : Sürdürülebilir tasarımda birden fazla takım oluşturma düzenlerini birleştirme stratejileri [1]

Birleşme-Entegrasyon Stratejisi	Sürdürülebilirlik Niteliği
Kanallar gibi içi boş paneller kullanılması	Malzeme ve enerji tutumu; panelin termal kütle maliyetini ve kanalını ortadan kaldırır.
Duvardaki seviyelerin uygun yalıtımla birlikte termal kütle kullanımı.	Termal kütleyle birlikte yalıtım enerjide fayda sağlar.
Duvar panellerinin tasarımının binanın işlevine göre değişmesi.	Alan kullanım ömrünü uzatır.
Dayanıklı malzemeler kullanımı.	Uzun ömür ile birlikte düşük bakım gerektirir.
Havalandırma ve gölge için; güneşiği ve ağaç gibi doğal kaynakların kullanımı.	Aydınlatma ve soğutmada enerji kullanımını azaltır. Kapalı alanın ve yaşayanların verimliliğini artırır.
İnşaat atıklarını azaltma ve geri dönüştürme.	Ulaşım ve atıkların bertaraf maliyetleri azalır. İnşaat atığı geri dönüştürülerek başka bir projede kullanılabilir. Daha az kullanılmamış malzeme kullanılır.

Bütünsel / Karma tasarımın 8 maddesi;

1. Karma sürecinin uygulanması,
2. Binanın bir bütün olarak algılanması
3. Yaşam döngüsünün vurgulanması
4. Baştan itibaren bir takım olarak çalışma kurallarına sahip olunması
5. İhtiyaçları belirlemek ve amaçları oluşturmak adına benzer değerlendirmelerin oluşturulması
6. İhtiyaç ve amaçlarla uğraşırken yararları ortaya çıkaran sonuçlar geliştirme
7. Sonuçları değerlendirmek
8. İhtiyaçlara ve amaçlara ulaşıldığından emin olmak [1]

3.1.1.5 Azalt, Tekrar Kullan, Geri Dönüştür

Kullanılan malzemenin tekrar kullanımı ve geri dönüştürülerek tekrar kullanımı (sıfır) malzeme kullanımının azalmasını sağlar. Bu başlıkları çelik malzeme ile inceleyebiliriz.

Kullanılan malzemelerin miktarını ve atık maddelerin zararını azaltma: çelik malzemede; tasarıma göre planlı bir şekilde fabrikada üretildiği, şantiyede üretim yapılmayarak fabrikada hesaplanarak üretilmiş ürünler sadece monte edildiği için, bütünsel tasarım ilkelerini taşıdığı için, üretimler planlı yapıldığı için mümkün olduğunca az zahiyat verilmektedir.

Ürünün yeniden kullanımı; tekrar kullanabilecekleri tamir etmektir. Çelik malzemede bu mümkündür.

Mümkün oldukça çok geri dönüşüm (geri dönüşüm özelliği olan ürünleri alarak): Ahşap ve çelik elemanlar eskidiğinde ya da kullanılan alandaki işi (işlevi) bittiğinde de tekrar kullanılabilir. Demir cevherinden çelik üretimine göre, geri dönüşümle çelik elde etmek için %60 daha az enerji harcanmaktadır. Az katlı bir konutun hafif çelik taşıyıcı sistemi için 6 adet eski otomobilden geri dönüşüm yapılması yeterli olmaktadır [21].

3.2 Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri

Günümüzde binaları çevresel etkilerine göre değerlendiren pek çok sistem geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Bu sistemler, yeşil dönüşüm sürecinde etkili bir araç, önemli bir ilk adımdır.

Dünya’da birçok yeşil bina sertifika sistemi var. Bunlardan başlıcaları 1990’da İngiltere’de ortaya çıkan BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), 1998’de Amerika Birleşik Devletleri’nde ortaya çıkan LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), 1998’de gelişmiş ülkelerin biraraya gelmesiyle kurulan IISBE (International Initiative for Sustainable Built Environment), 2003’de BREEAM’dan uyarlanarak Avustralya’da oluşturulan Greenstar, 2004’de Japonya’da ortaya çıkan CASBEE (Comprehensive Assessment for Building Environmental Efficiency) ve 2009’da Almanya’da ortaya çıkan DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)’dir [22].

İklim, kültürel ve ekonomik etki sürdürülebilirlik ve yeşil bina değerlendirmelerinde önemli etkenlerdir. Yerel yaklaşım bu anlamda daha doğru noktaya ulaştıracaktır. Değişebilen alanlar, coğrafyalar, iklimler, toplumsal yapıların getirdiği ihtiyaçlara göre değişen etkenlerin de bu sistemlere paralel veya uygunluğu gerekmektedir. Bu amaçla ülkeler doğru sonuç alabilmek için kendi değerlendirme sistemlerini geliştirme yoluna gitmektedirler. Türkiye’de bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri takip ederek geliştirme yoluna gidilmelidir. Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, Bina Kodu ve Sertifikasyon Komitesi, Türkiye’deki boşluğu gidermek için “Yeşil Konut Sertifikası” isimli ulusal koşullara uygun değerlendirme sistemi oluşturmak için çalışmalara başlamıştır [22].

Öncelikle ilk kurulmaları ve yaygın oluşları nedeniyle LEED ve BREEAM sistemlerini inceleyebiliriz.

3.2.1 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED) ABD'deki Çevre Dostu Binalar Konseyi tarafından geliştirilen bir dizi kriterler listesidir.

Farklı projeler için farklı LEED sertifika sistemleri geliştirilmiştir:

- LEED-NC: Yeni inşaat ve renovasyon
- LEED-EB: Mevcut Binalar
- LEED-CI: Binada yaşayanlar için iç tasarım
- LEED-CS: Core-and-shell projects
- LEED-H: Evler
- LEED-ND: Mahalle Gelişimi

Bu sistemin puanlaması 6 kategoride yapılır:

- Sürdürülebilir Araziler (14 puan)
- Su kullanımında etkinlik (5)
- Enerji ve Atmofere (17)
- Malzeme ve Kaynaklar (13)
- İç Hava Kalitesi (15)
- İnovasyon ve Tasarım (4 artı 1 de tasarımda LEED sertifikalı profesyonel kullanmak)

Binalar dört ayrı alanda sertifika alabilirler:

- Sertifika - 26 - 32 puan
- Gümüş - 33 - 38 puan
- Altın - 39 - 51 puan

•Platin - 52 - 69 puan

LEED sertifikası ABD’de USGBC’ ye (ABD Yeşil Bina Konseyi) yapılan başvuru üzerine sadece USGBC tarafından verilir [23].

Hafif Çelik Sistemin LEED İle İncelenmesi:

Hafif çelik puanları üzerinde çalışmalar tamamlanmadığından kısmi puanlamalar verilebilmektedir.

Malzeme ve Kaynaklar Kredisi 2.1 ve 2.2: İnşaat Atık Yönetimi ve Azaltılması

Bu bölümde projenin inşaat atıklarının geri dönüşüm yüzdesi veya yeniden kullanılmasına yönelik puanı sağlar. Çelik özelliklerinden dolayı (atık ve ilave işçiliğinin ortadan kaldırması) yaygın olarak kullanılır. Hareketli olan küresel çelik hurda piyasasında çelik geri dönüşümü basit ve karlı olduğundan çelik sektörü 150 yılı aşkın bir süredir kullanılan ürününü geri almaktadır. Ancak hafif çelik puanları üzerinde çalışmalar tamamlanmadığından kısmi puanlamalar verilebilmektedir, 2 puan atıktan ve % 75 yönlendirme için 3 puan daha alınabilir. Ayrıca hafif çelik sisteme ilişkin çalışmalar tamamlandığında “+” konan kategorilerde de sistem, yüksek puan alacak özelliklere sahiptir.(Çizelge 3.3) (Amerika verilerini içerir) [24].

Çizelge 3.3 : LEED-NC’ nin puanlaması [24]

LEED-NC Kategorisi	Toplam Puanlar	Hafif Çelik Puanları
Sürdürülebilir Yerler	14	+
Su verimliliği	5	+
Enerji & Atmosfer	17	+
Malzemeler & Kaynaklar	13	2 (kısmi) +3 (kısmi)
Kapalı Alan Kalitesi	15	+
Yenilik & Tasarım Süreci	5	
Toplam Puanlar	69	5 + ...
LEED-Nc Sertifika Seviyesi	Minimum Puanlar	
Platin	52	
Altın	39	
Gümüş	33	
Onay	26	

LEED değerlendirme sisteminde çelik yapı ürünlerinin kullanımı inşaatçılar ve tasarımcılar için, Kredi 4.1 ve 4.2 (LEED Sürüm 2.1 için gerekli) puan kazanımı sağlar. Çelik geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Temel oksijen fırını (basic oxygen furnace -BOF-) ve elektronik ark ocağı (electronic arc furnace -EAF-) teknolojilerini kullanan tesislerde geri dönüştürülür. Her iki işlem farklı geri dönüşümlü malzeme girişi ve enerji düzeyi gerektirir. Çeliğin geri dönüştürme tesislerinde üretilen içeriğinin değeri LEED için %5 ve %10 hedeflerini aşmaktadır [24].

Malzeme ve Kaynakları Kredi 4.1 ve 4.2: Geri dönüştürülen İçerik

Hafif çelik yapı elemanlarının yüksek geri dönüştürülmüş içeriği, puan kazanmada önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Çizelge 3.4) (Malzemenin yaygın olarak kullanıldığı Amerika verilerini içerir).

Çizelge 3.4 : Çeliğin geri dönüştürülen içeriği [24]

Üretim Süreci	Endüstri Verisi	Temel Oksijen Fırını	Elektrik Fırını
2006 Yıllık Üretim (tons)	105.928.500	46.802.100	59.126.400
Süreçteki Yerli Üretim A (%)	100.00%	44.18%	55.82%
Üretimde Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Çelik	43.08%	12.631.400	33.005.200
Geri Dönüştürülen İçerik (tons) _A	Tüketici-Sonrası	10.534.588	27.526.337
	Endüstri-Sonrası	2.096.812	5.478.863
Geri Dönüştürülen İçerik (%)	Tüketici-Sonrası	22.51%	46.56%
	Endüstri-Sonrası	6.19%	26.93%

3.2.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM, bir binanın çevreye olan etkilerini basit ve ekonomik bir şekilde değerlendirebilmek ve böylelikle bu etkileri azaltabilmek için 1990 yılında oluşturuldu ve bu süreç içerisinde gelişip çok kapsamlı ve detaylı bir metod haline geldi. Şimdiye kadar dünyada 714.000 bina BREEAM sertifikası almak üzere kayıtlarını yaptırmış ve 116.000 bina da sertifikalandırılmıştır.

BREEAM'a göre puanlama 10 ana kategoride yapılır:

- Bina Yönetimi
- Sağlık ve İyi Hal
- Enerji
- Su
- Arazi Kullanımı ve Ekoloji
- Ulaşım
- Malzeme
- Atıklar
- Kirlilik
- Yenilik

Bu ana başlıkların da bulundukları ülkenin veya coğrafyanın koşullarına göre ağırlıkları vardır. Avrupa'daki ağırlıklar Bina Yönetimi'ne 12%, Sağlık ve İyi Hal'e 15%, Enerji'ye 19%, Ulaşım'a 8%, Su'ya 6%, Malzeme'ye 12.5%, Atıklar'a 7.5%, Arazi Kullanımı ve Ekoloji'ye 10%, Kirliliğe 10% ve Yenilik' 10% ağırlık veriyor. BREEAM'ın bu yöntemi, onu diğer metodlara göre, farklı ülke ve coğrafyalara adaptasyon konusunda çok avantajlı kılmaktadır.

BREEAM metoduna göre puanlama sonucu binalar farklı derecelerde sertifikaya sahip olabilir :

- BREEAM Pass (geçer),
- BREEAM Good (iyi),

- BREEAM Very Good (çok iyi),
- BREEAM Excellent (mükemmel)
- BREEAM Outstanding (sıra dışı)

BREEAM metoduna göre şimdiye kadar 1 bina “BREEAM Outstanding”, 635 bina “BREEAM Excellent”, 1630 bina “BREEAM Very Good”, 435 bina “BREEAM Good ve 74 bina da “BREEAM Pass” sertifikası aldı.

- Mevcut binaların içinde var olan STANDART BREEAM ve
- Daha az yaygın bina tipleri, BESPOKE BREEAM sürümü altında değerlendirilebilir.
- İngiltere dışındaki binalar ise BREEAM INTERNATIONAL sürümü ile değerlendirilir. Bunun dışında
- Avrupa ülkeleri için BREEAM EUROPE,
- Körfez ülkeleri için, BREEAM GULF sürümü bulunmaktadır.

Yapı türleri için incelediği başlıklar:

- Breeam Mahkemeleri (Breeam Courts)
- SürdürülebilirEvler İçin Kod (The Code For Sustainable Homes)
- Breeam Ekoevler (Breeam Ecohomes)
- Breeam Ekoevlerxb (Breeam Ecohomesxb)
- Breeam Sağlık (Breeam Healthcare)
- Breeam Endüstriyel (Breeam Industrial)
- Breeam Uluslararası (Breeam International)
- Breeam Çoklu Yerleşim (Breeam Multi-Residential)
- Breeam Hapishaneleri (Breeam Prisons)
- Breeam Ofisleri (Breeam Offices)
- Breeam Prekande Satış (Breeam Retail)
- Breeam Eğitim (Breeam Education)
- Breeam Cemiyetleri (Breeam Communitites) olarak sıralanabilir.

Son yapılan araştırmalar BREEAM’ın ilk uygulandığı 1990 senesinden bu yana 4.5 milyon ton CO2 emisyon kazancı sağladığını ortaya koyuyor, ki bu da İngiltere’deki 40,000 evin toplam, ya da 750,000 evin ülke standardının üzerinde sağlamış olduğu emisyon miktarına eşdeğerdir [25].

Çizelge 3.5 : BREEAM puanlama [25]

BREEAM	Oran (%)	
	Yeni Binalar, Eklentiler	Bina Donanımı (Programa Uygun)
Bina Yönetimi	12	13
Sağlık ve İyi Hal	15	17
Enerji	19	21
Ulaşım	8	9
Su	6	7
Malzeme	12.5	14
Atıklar	7.5	8
Arazi Kullanımı ve Ekoloji	10	-
Kirlilik	10	11
Yenilik	10	10

Çizelge 3.6 : BREEAM derecesinin belirlenmesi [25]

1-) Breeam değerlendirme kriterlerine göre; bir Breeam deneticisi tüm konularından kazanılan kredi sayılarını tek tek belirler.	BREEAM Alanı	Başarılan Krediler	Toplam Kredi	Başarı Yüzdesi	Ağrılık Oranı	Bölüm Sonucu
2-) Kredi yüzdeleri her Breeam bölümleri için ayrı ayrı hesaplanır.	Bina Yönetimi	7	10	70%	0.12	8.40%
	Sağlık ve İyi Hal	11	14	79%	0.15	11.79%
	Enerji	10	21	48%	0.19	9.05%
	Ulaşım	5	10	50%	0.08	4.00%
3-) Bölüm skorunu bula-bilmek için kredi yüzdeleri ekolojik ağrılıklarının kat-sayısı ile arpılırlar.	Su	4	6	67%	0.06	4.00%
	Malzeme	6	12	50%	0.125	6.25%
	Atıklar	3	7	43%	0.075	3.21%
	Arazi Kullanımı ve Ekoloji	4	10	40%	0.10	4.00%
4-) Tüm bölüm skorları toplanarak toplam skor bulunur.	Kirlilik	5	12	42%	0.10	4.17%
	Yenilik	1	10	10%	0.10	1%
5-) Her yeni buluşta (innovation) %1 eklenir. Maksimum %10’a kadar çıkabilir.	Breeam Sonucu				55.87 %	
	Breeam değerlendirmesi				ÇOK İYİ	

- İncelediğimiz rneklerden “35. Cadde” **ÇOK İYİ** derecesini almıştır.

3.2.3 Yeşil Konut Sertifikası

Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, yeni konut projelerinde uygulanmak üzere Türkiye koşullarına uygun Yeşil Konut Sertifika Sistemi oluşturmuştur. Türkiye’de geliştirilen bu sertifikanın, diğer uluslararası sertifikalara göre en büyük avantajı sertifika gelirinin yurtiçinde kalacak olmasıdır. Yeşil Konut Sertifikası kapsamında konutlar;

- Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi,
- Arazi Kullanımı,
- Su Kullanımı,
- Enerji Kullanımı,
- Sağlık ve Konfor,
- Malzeme ve Kaynak Kullanımı,
- Konutta Yaşam,
- İşletme ve Bakım olmak üzere 8 başlık altında değerlendirilecektir [22].

Yeşil konut sertifikasının amacı; sağlıklı toplumlar, yaşanabilir bir çevre ve gelişmiş bir ekonomi yaratmak olarak açıklanmaktadır. Yeşil Bina Sertifikası, mimarlık, mühendislik, planlama, peyzaj tasarımı, elektrik-mekanik tesisat projelerinden alınan yorumlarla oluşturulmaktadır. Yeşil Konut Sertifikası’ nın odaklandığı soru: Çevresel etki, tasarımın ve inşaatın her adımında nasıl azaltılır? [22].

3.3 Hafif Çelik Sistemin Sürdürülebilirlik Stratejileri İle Değerlendirilmesi

Hafif çelik konstrüksiyon, çok yönlü ve sürdürülebilir bir teknolojidir. Yapı endüstrisinin tüm sektörlerinde kullanılan ve kullanımını arttırmayı amaçlayan bir malzemedir.



Şekil 3.3 : Hafif çelik inşaatı için anahtar kelimeler [17]

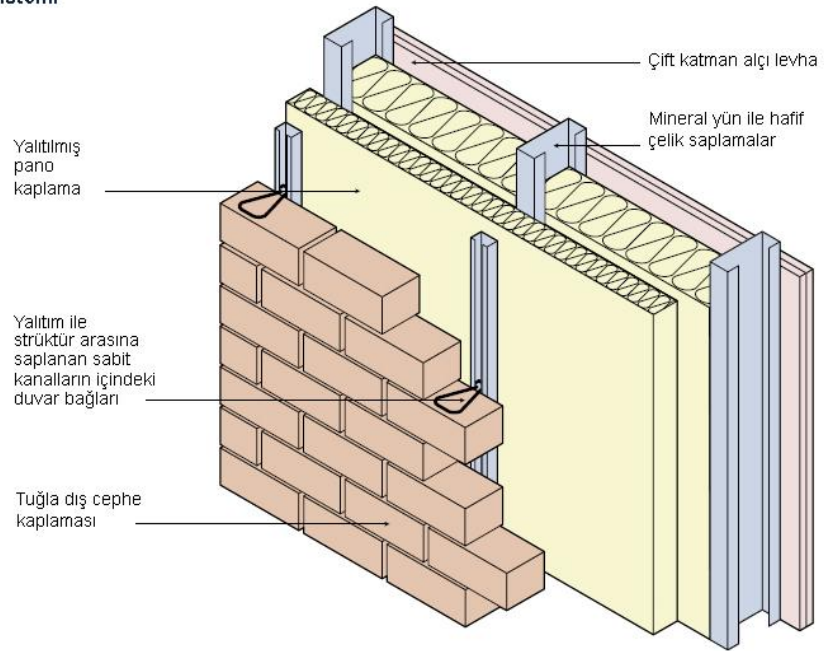
BRE Yeşil Kılavuzu'nda tüm hafif çelik ve modüler yapım teknolojileri çevresel performans açısından A + veya A' ya uygundur.

Çizelge 3.7 : BRE Yeşil Kılavuzu malzemelerin çevresel değerlendirilmesi [17]

Zeminler	
Hafif çelik kirişler veya kaset zemin ve alçıpan tavan	A+
Modüler hafif çelik zemin ve tavan	A+
Akustik esnek katmanlar ile kompozit levha	B
Duvarlar	
Yalıtım ile birlikte duvarı ayıran hafif çelik ve yanı başına alçı levhadan çift katman	A
Tuğla dış kaplama, hafif çelik çerçeve, alçı levha	A+

- İnşaat, malzeme ve kaynakların kullanıcılarından biridir.
- Tüm çelik malzemeler geri dönüştürülebilir ve tekrar çelik bileşenleri olabilir, sökülebilir ve gelecekte yeniden kullanılabilir.
- Hafif çelik çerçeve, alçıpan ve taş yünü izolasyon gibi hafif malzemeler ile korunmaktadır. Hatta tuğla kaplama ve yalıtım ile istenilen “sıcak çerçeveye” ulaşılabilir.

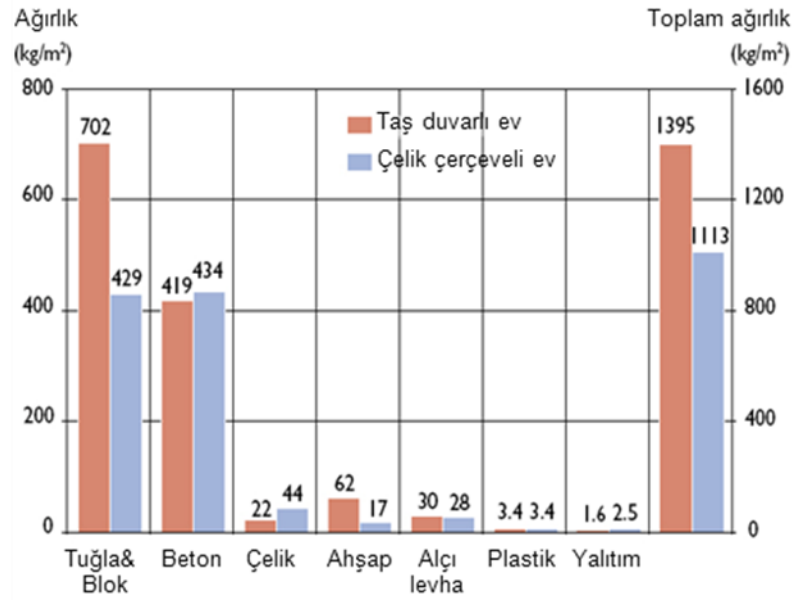
Hafif çelik çerçeveye eklenmiş tuğla kaplama ve yalıtımı gösteren tipik “sıcak çerçeve” sistemi



Şekil 3.4 : Hafif çelik çerçeveye eklenmiş tuğla kaplama ve yalıtım [17]

Az katlı konutta, hafif çelik strüktürün ağırlığı, beton bir çerçeveden % 20 daha azdır ve hatta ahşap bir çerçeve sistemden daha hafiftir. (17)

Orta katlı konutta, kompozit bir zemin ile hafif çelik yapının ağırlığı, beton bir yapı ve zemin döşemenin sadece % 50'sidir.



Şekil 3.5 : 2 katlı ev için tipik tuğla kaplamada kullanılan inşaat malzemelerinin ağırlığı [26]

İlk bakışta, hafif çeliğin en önemli çevresel faydaları şunlardır:

- % 25 az geri dönüştürülmüş içerik ve % 100 geri dönüşüm;
- Standart kalite (üretim) nedeniyle az şantiye atığı (ahşap için %20 karşın çelik için %2);
- Yapının hava geçirimsizliği nedeniyle yaşam döngüsü enerji tasarrufu
- Uzun yapı ömrü ve gelecekte yapılacak binalar için kaynak ihtiyacını azaltır (demir kaynaklarının tükenmesinin azaltılması ve sıfıra indirilmesi) [27].

Hafif çelik sistemi dayanıklılık (deprem dayanımı, rüzgar dayanımı, yangın dayanımı, korozyon dayanımı), enerji (üretim, kullanım, ısı yalıtımı, nakliyat), çevre koruma (ses yalıtımı, geri dönüşüm ve atık, kirlenmenin en aza indirilmesi), zaman, maliyet, tasarım ve net kullanım alanı başlıklarında inceleyebiliriz.

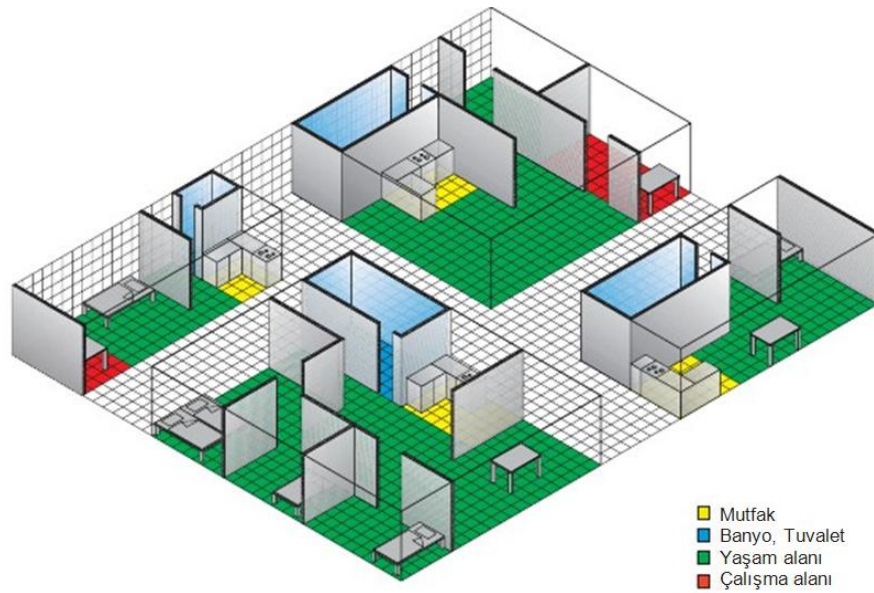
3.3.1 Tasarım

Döşeme profil boyutu ve düzenlenme sıklığına bağlı olarak yaklaşık 12 metre açıklık (berkitme profili ile destekli, sürekli açıklıklı ve kiriş aralığı 30 cm olması durumunda) geçilebilmekte, ancak optimum değer olarak 7.2 m açıklık tavsiye edilmektedir [4].

Hafif çelik profiller ile yapılar yapılan tasarıma göre duvarlar; dış cephede, merdiven kenarları ve banyo çevresinde yapılabilir. Bu şekilde kat planında bağımsız alanı daha düzenli görmek mümkündür.

Tasarımın, daha sonraki bir değişime açık olması önemlidir. Bunun için yapılacak olan iç bölmelerin taşınabilir bir özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu şekilde yapının kaba inşaatı daha uzun ömürlü olup, istenen durumda değiştirme ya da gelişen yeni bir teknolojiyi yapının iç mimarisinde uygulama imkanını sunar. İleriye dönük gelişebilecek bir teknoloji olacağını düşünerek ya da konut sahibinin iç bölmelerde değişiklik yapmak isteyeceği ihtimali göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.

Hafif çelik sistemlerde ince işlerde iç yüzeylerde yapının fiziksel ve statikğine zarar vermemek kaydıyla istenen işlem yapılabilir. (boya-badana, kağıt kaplama, alçı-sıva cam kaplama vb.). Yine aynı şekilde dış kaplamalarda çeşit zenginliği içerir (giydirmce cephe, duvar sıvası, cephe kaplaması vb.).



Şekil 3.6 : Esnek iç bölme değişikliği imkanı sağlayan kat planı örneği [5]

Tasarım aşamasında binanın fiziki davranışı mutlaka hesaba katılmalıdır. Tasarım aşamasında bu hesabın yapılmaması daha sonra çıkacak fiziki hatalarda kırım, ek parça vb. gibi işlem yapmayı gerektirebilir. Bu durum ise inşaatta istenen bir durum değildir.

Yapım yöntemlerini göz önünde bulundurarak (profil kalınlığı, sac kalınlığı, bölme yerleri, yalıtım malzemelerinin kalınlığı vs.) aynı fiziksel ve statik davranışını sağlayacak daha yalın basit çelik profilli konstrüksiyon tasarlamak kullanım alanımızı arttırabilir. Bu yöntem ile 120m² olan net kullanım alanına sahip dairemizi %5-10 arasında arttırmaya imkan verebilir.

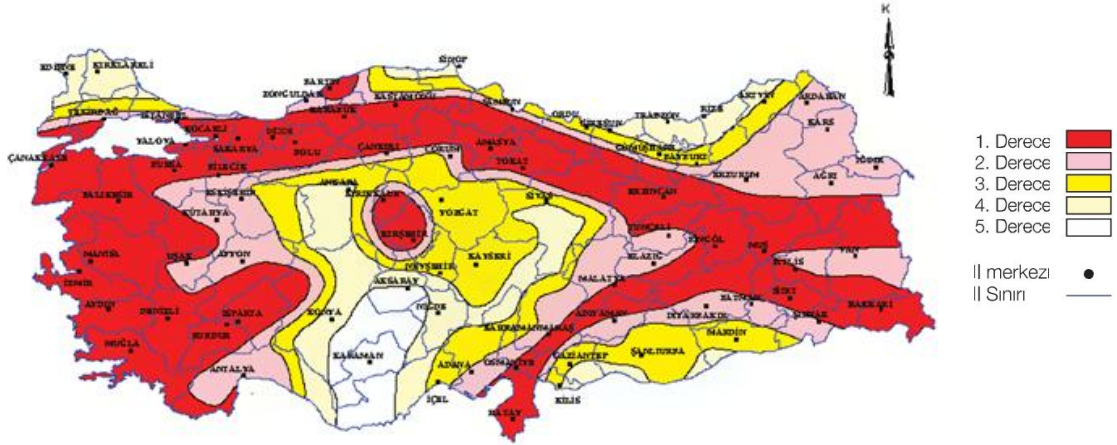
Aynı ısı yalıtım özelliğine sahip konvansiyonel hafif çelik yapı, monolitik yapı sistemine kıyasla azaltılmış duvar kesiti %5-10 daha fazla alan kazandırmaktadır. Ayrıca betonarme sistem gibi iç mekanlarda kolon-kiriş çıkıntıları yaratmaz. Bu alanları kapatmak için kullanılabilecek kaplama (alçıpan vb.) malzemelerinden tasarruf sağlar.

3.3.2 Taşıyıcı Sistemde Aranılan Temel Kriterler

Deprem, rüzgar, yangın dayanımı ve korozyon dayanımı ana başlıklarında incelenebilir.

3.3.2.1 Deprem Dayanımı

Deprem, yer kabuğunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan enerji sonucunda meydana gelen sismik dalgalanmalar ve bu dalgaların yeryüzünü sarsması olayıdır [28]. Ülkemiz de en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Deprem haritasında derecelendirilmeleri görülebilmektedir (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 : Türkiye deprem haritası [29]

Deprem ülkesi olan Türkiye’de, çelik depreme iyi karşılık veren bir malzemedir. Sünekliği ile esnekliğinin ahşaba oranla 21, betonarmeye (beton+demir donatı) oranla 10 kat fazladır.

- Kötü zeminli bölgelere uygunluğu,
- Hafıflığı,
- Özgül ağırlığının taşıyıcı yüke oranının küçüklüğüyle,
- Uzama yeteneğiyle,
- Yükleme altında şekil değiştirişiyile,
- Yükleme kalkınca eski mukavemetini sürdürüşüyle,
- Betona oranla daha homojen (madde dağılımı her yerde aynı olan) ve
- izotrop (maddenin tüm özellikleri her yerde ve her yönde aynı olan) yapısıyla sağlamdır [8]

Esnek oluşu nedeniyle, hafif çelik yapıların güçlü bir depremde salındığı ve yıkılmadığı, bu yapıların duvarlarının da taşıyıcı olduğu, yalnızca kiriş ve kolonlara yük bindirerek risk arttırmadığı da önemli avantajlarıdır [8].

TAŞIYICI SİSTEM AĞIRLIKLARI

- Hafif Çelik Taşıyıcı Sistem Ağırlığı : 5,5 ton

- Betonarme Taşıyıcı Sistem Ağırlığı: 97,1 ton
- Hafif Çelik Toplam Yapı Ağırlığı: 16,9 ton
- Betonarme Toplam Yapı Ağırlığı: 151,7 ton (307) [30]

STATİK HESAP SONUÇLARI

- Depremden doğan yer hareketleri betonarme yapıya, ağırlığından dolayı 6 kat fazla etkir.
- Zemin altı gerilmeler betonarme yapıda 2,5 kat daha fazla olmaktadır [30].

Taşıyıcı sistem çelik ağırlığı, projeye göre 30-50 kg/m² ağırlıkta olup, beton taşıyıcıların 1/10'u ağırlığa sahiptir. Deprem ve fırtınalarda binaya gelen yanal, dinamik yükler ağır kütleleri çok daha kuvvetli etkilemektedir. Hafif olan bu sistemi ise çok az etkilemekte ve esnek olan hafif çelik profiller darbeleri absorbe edebilmektedir.

Ülkemizde 1999 depremi sonrasında yaygınlaşıp, inşa sürecine başlanmıştır. Amerika, Avusturalya, Avrupa ülkelerinde 50 yıldan daha uzun süredir kullanılan bu sistemin dayanıklılığı, geçen süre zarfında test edilmiştir [30].

3.3.2.2 Rüzgar Dayanımı

Depremde olduğu gibi rüzgar ve fırtınada da binaya gelen yanal, dinamik yükler ağır kütleleri çok daha kuvvetli etkilemektedir. Hafif olan bu sistemi çok az etkilemekte olup, esnek olan hafif çelik profiller darbeleri absorbe edebilmektedir.

3.3.2.3 Yangın Dayanımı

Bina için hesaplanan statik, yangın ve ses geçirgenliğe bağlı olarak sac panellerin çeşit ve kalınlığı belirlenmektedir. Bunun dışında ince duvar ve hassas çelik konstrüksiyonlarının yüksek sıcaklık etkilerine karşı yalıtım yapılarak ta ısı deformasyonları önlenmektedir.

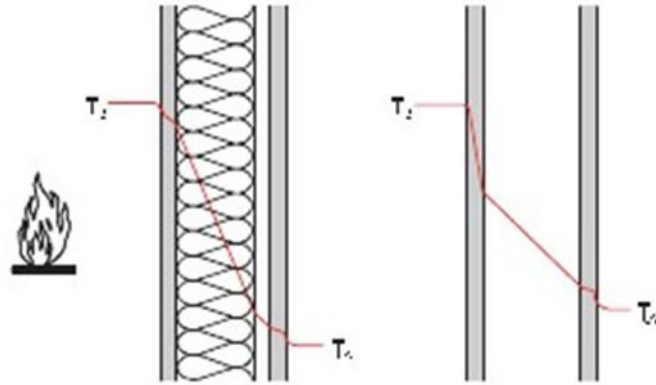
Hafif çelik yapıdaki yapı elemanlarının yangın yalıtım gereksinimleri yapı malzemesi ve yapı elemanının birbirleriyle olan uyumuna bağlıdır. İnce duvarlı çelik profilden yapılan temel konstrüksiyon yanıcı değildir ve bu nedenle yangın

durumunda ilave bir yangın yükü taşımaz. Fakat yukarıda da belirtildiği gibi yangın etkilerine karşı etkili bir kaplama ile korunması gerekmektedir. Yangın etkilerine karşı etkili kaplama için aşağıda tekrar kullanıma dayanıklı levha malzemeler gösterilmiştir:

- DIN 18180'a göre alçı levha
- Fiber alçı levha
- Cam alçı levha
- Kalsiyum silikat levha [5]

Bu yanıcı olmayan yapı malzemeleri yanıcı ve taşıyıcı yapı elemanlarını doğrudan yangından korumak için yapılmaktadır ve aynı zamanda duvar kaplaması olarak ta kullanılmaktadır. Bu malzeme ile ısı akışı yangın yalıtımı yapılan kısımda azaltılmış olacaktır ve yangın olması durumunda yangının diğer kısımlara sıçramasını geciktirecektir.

Taşıyıcı olan yapı elemanında yangına dayanıklı yalıtımın kritik çelik sıcaklığı 500°C ' dir. Bu sıcaklıktan sonra duvarın taşıyıcılık özelliği olmadığından yalıtımın buna göre yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra sıva yada yangın geciktirici kaplama kaplanabilir.

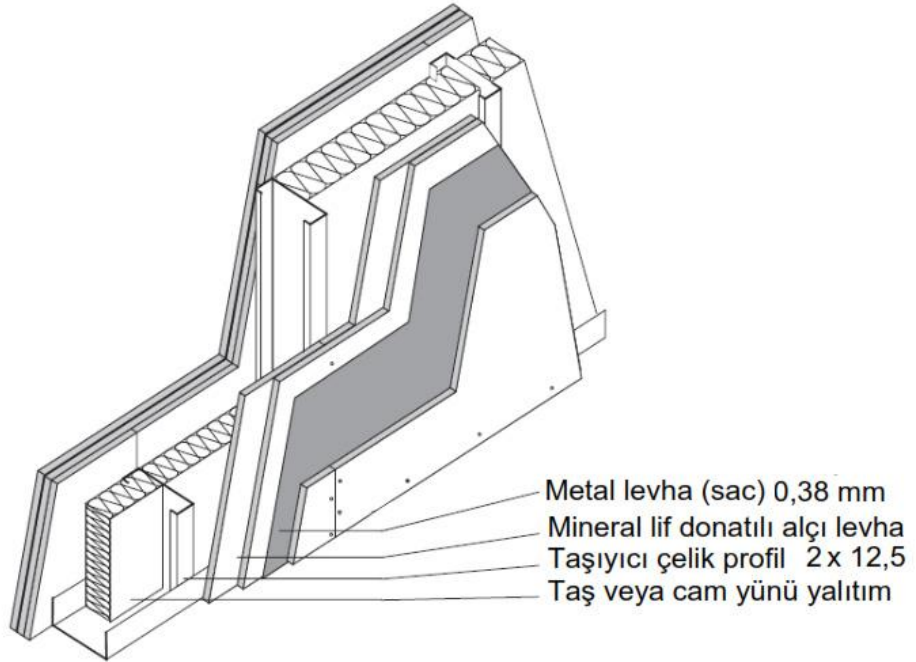


Şekil 3.8 : Bölme duvarda yangın yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın sıcaklık akışı üzerindeki etkisi [5]

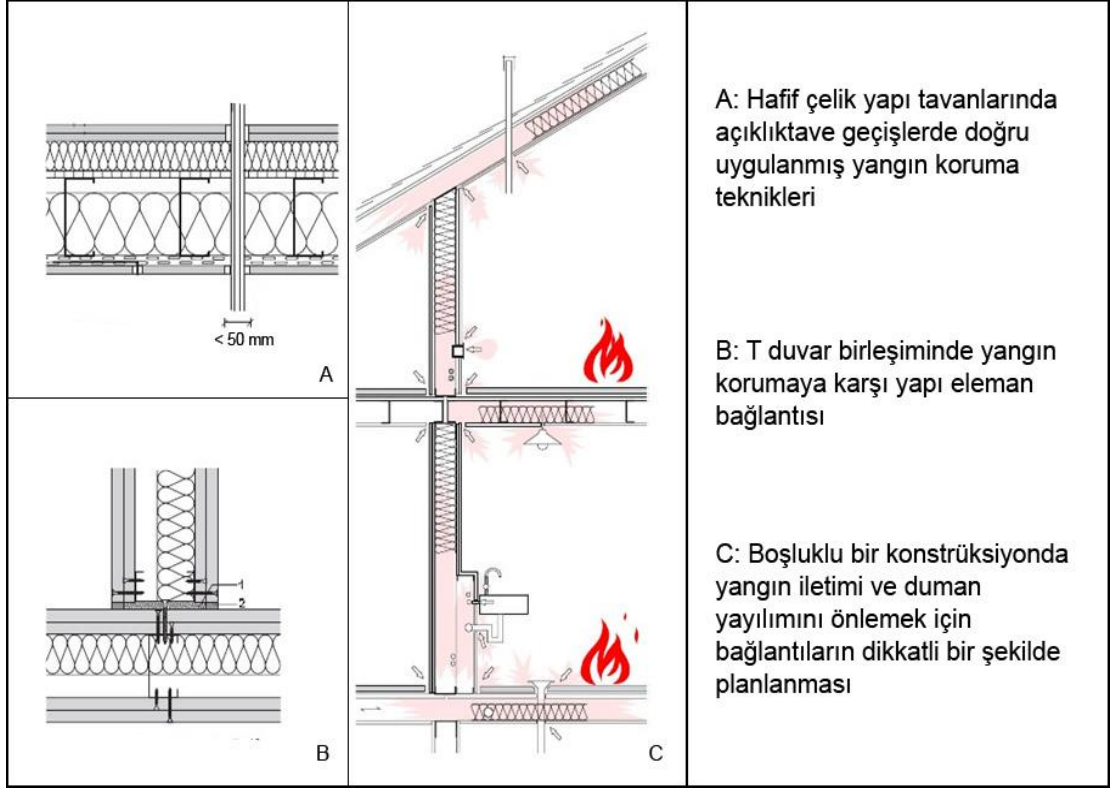
Standart olmayan yapı malzemeleri için yangın koruma kaplaması için aşağıdaki panel türleri kullanılmaktadır:

- Fiber alçı paneller, özel alçı paneller (dokuma yapılmamış paneller)
- Çimentolu yangın koruma panelleri
- Kalsiyum silikat paneller
- Vermikülit paneller
- Mineral fiber paneller [5]

Yangın yalıtımındaki en önemli husus, yangının çıkmasından ziyade yangının yayılmasına yönelik yapılan yalıttır (Şekil 3.9 ve 3.10).



Şekil 3.9 : Hafif çelik yapıda yangın duvarı [5]



Şekil 3.10 : Hafif çelik yapıda yangın koruma teknikleri [5]

Hafif çelik yapıda “boşluklu konstrüksiyon” olarak bilinen yapı elemanındaki boşlukta yangın yayılabilmekte ve zararlı gaz yapı elemanlarının içerisine kadar ilerleyebilmektedir. Bu yayılmayı önlemek için çeşitli önlemlerin alınması gerekmektedir (Şekil 3.10 C).

İlk etapta yatay ve düşey yapı eleman bağlantılarının birleşim yerlerinin yalıtımı dikkate alınmalıdır. Bunların yanıcı olmayan yapı malzemesi ile (A1 yapı malzemesi) ile yalıtılması gerekir ve eklemlerdeki dolgunun dikkatle yapılması gerekmektedir (Şekil 3.10 B).

3.3.2.4 Korozyon Dayanımı

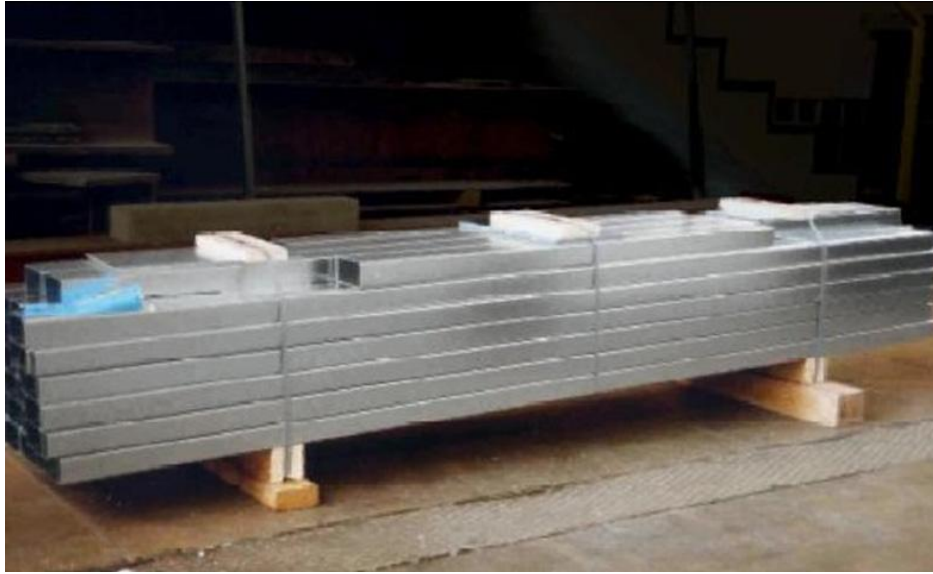
Soğuk işlenmiş çelik profiller galvanizli çelik kaplama ile üretilir. Galvaniz kaplama ağırlığı 275 g/m² dir. Bu galvanizleme yapının ömrü açısından da iyi bir planlama ve uygulama yapıldığında iyi bir korozyon koruması sağlamaktadır. Koruma katmanındaki en ciddi zararlar yükleme ve taşıma aşamasında olur. Bu nedenle taşıma yapmadan paketlemenin zararlı mekanik unsurlardan mümkün olduğunca

uzak tutularak yapılması gerekir. Profiller yüklenirken pislikten ve sudan korunmasına karşı tedbir alınmalıdır.

Güçlü bir korozyon zorlama etkisi olduğunda, örn; Binaların deniz havasına maruz kalması ve profillerin açık alanda istiflenmesi gibi. Böyle bir durumda ek bir çinko galvaniz (organik) kaplama yapılarak koruma süresi uzatılabilir. Bu çözümleme yöntemine “Dubleks – Sistem” de diyebiliriz. Dubleks sistemin koruma süresi tek katmanlı galvanizlemeye göre yaklaşık 1,8-2,5 katı daha fazladır [5].

Soğuk profillerin üretiminde de kullanıldığı gibi ince çelik levha, bant ile kaplanabilir, yani galvanizlemeden hemen sonra organik koruma katmanı vernik ya da film kaplama yapılır. Bunun sonucunda, inşaat alanında yapılan fırçalama ya da haddeleme kaplamasına nazaran bu yöntem çok daha yüksek bir kalite sağlamaktadır.

Hafif çelik yapıdaki yapı elemanlarına uygun bir yüzey ya da yüksek korozyon güvenliği gerektiğinde bant kaplı profil kullanılmaktadır.



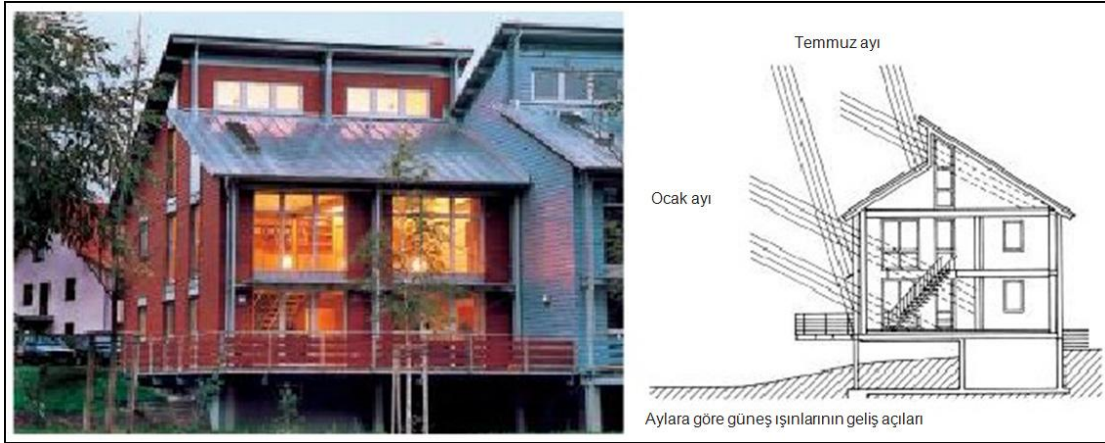
Şekil 3.11 : Korozyondan koruma için profillerin hafif eğimli depolanması [5]

Taze üretilmiş galvaniz bir sac ilk başta göz kamaştıran bir parlaklığa sahiptir. Fakat bir hafta içinde mat gri bir renge sahip olduğu görülür. Bunun sebebi çinkonun su, tuzlu malzeme ve karbondioksit ile etkileşim kuruyor olmasıdır (Şekil 3.11). Normal bir binada yılda yaklaşık 0,1 g/m² çinko yapıdan kaybolmaktadır. Galvaniz kaplama ağırlığı 275 g/m²’ dir. Bu demek oluyorki uzun ömürlü bir galvanize profil kullanımı mevcuttur [5].

3.3.3 Enerji Tüketimi

Yapıda yaşarken kullanılan enerji çelik teknolojilerinde ısı ve hava geçirmez verimli 'sıcak kutu' ile azaltılmaktadır.

Bütünsel tasarım mantığından yola çıkılarak enerji kullanımını yapıların tasarımında programlanması sürdürülebilir tasarıma paralel olacaktır. Enerji kaynaklarından doğru faydalanabilme hususunun tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması gerekir. Örneğin; bu şekilde gün ışığından doğru faydalanabilen ve güneş enerjisini kullanılabilen yapı ortaya çıkabilecektir. Şekil 3.11’de gösterilen resimde konut örneğinde güneş ışınları ile sağlanan enerji; sıcak su, aydınlatma ve ısıtmada kullanılmaktadır. Ayrıca Şekil 3.12’de görüldüğü gibi güneş ışınlarının (aylara göre geliş açısına göre) doğal gün ışığı olarak aydınlatmada faydalanılmaktadır.



Şekil 3.12 : Güneş ışınlarından faydalanan konut örneği [31]

Yapıda kullanılan enerjiyi üretiminden montaj alanına gidişi ve kurulumunu tamamlanmasından sonra yapı ömrü boyunca kullanıldığı dönemdeki enerji tutumuna kadar irdelersek; enerji başlığını üretim, kullanım, ısı yalıtımı ve nakliyat başlıklarında inceleyebiliriz.

3.3.3.1 Üretim

Üretiminde kullanılan enerji; malzemenin çıkarılarak işlenmesi, şekil verilmesi ve monte edilmesi süreçlerinden geçerek kullanım aşamasına gelene kadarki harcanan enerjidir.

- Binalarda kullanılan hafif çelik sistemleri sanayi bileşenleri olarak, modern imalat süreçleriyle üretilir. Bu sistemler, çoğu zaman ön üretimlidir. Yerinde inşaat sürecini ve etkisini en aza indirmek amaçlanır.
- Fabrika koşullarında sıcak, işçiler için güvenli ve yüksek kaliteli ortamlar sağlanır. Hız ve zaman ve uzmanlık kazandırır.
- Tasarım Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemleri tarafından yürütülmektedir.



Şekil 3.13 : Hafif çelik çerçeveleme panellerin (gelişmiş) fabrika üretimi [17]

Tüm bunlarda:

- üretimde verimlilikte artışı
- atık azaltmayı ve
- kaliteyi artırmayı ve
- Yüksek dayanımlı çelik ağırlık oranında bileşen malzemelerini minimize kullanmayı sağlar [17]

Ön üretim sırasında tesisat delikleri açılabildiği için elektrik, sıhhi ve kalorifer tesisatı işçiliğinde kırma dökme olmaz. Dolayısıyla üretimde zahiyat azalırken, hız da kazandırır.

3.3.3.2 Kullanım

Üretiminde kullanılan enerji binanın ömrü boyunca kullanılan enerjinin %5'inden azdır [17].

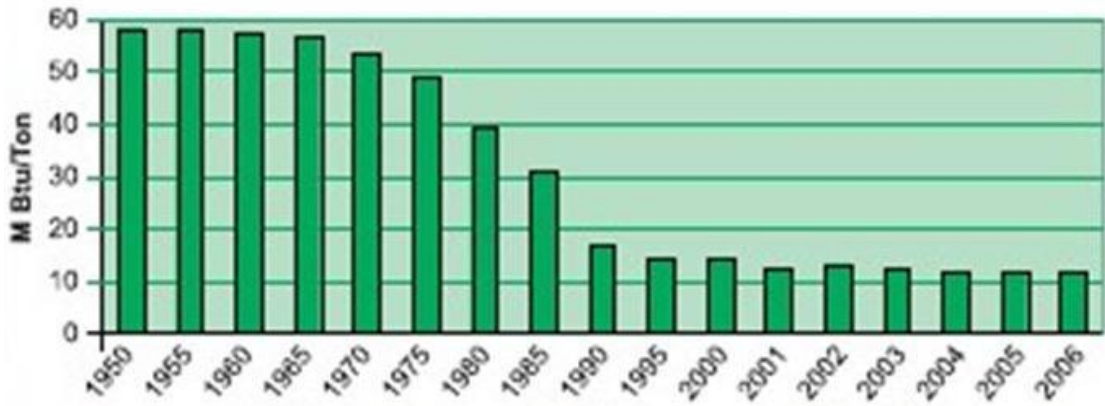
Çizelge 3.8 : Bina Yönetmelikleri ile uyum sağlanan Maksimum U-değerleri (W/m²)
(Breeam'e göre) [17]

Gereksinimi	Dış duvarlar	Zemin döşeme	Eğimli çatı yalıtımı
Hesaplanan Değer Düzenlemeleri (2006)			
Gaz ısıtma	0.30	0.22	0.16
Diğer ısıtma	0.25	0.22	0.16
Sürdürülebilir Evler için Kod (2006) – Seviye değerlendirme			
Gaz ısıtma	0.20	0.20	0.15
Hafif çelik çerçeve kullanılarak sağlanan U-değerleri (W/m²)			
Hafif çelik çerçeve	Dış duvarlar	Zemin döşeme	Eğimli çatı yalıtımı
Tipik inşaat	0.25	0.22	0.15
En iyi uygulama	0.15	0.20	0.10

Çizelge 3.8'de öncelikle normal seviyede dış duvar-döşeme-çatı ısıtma değerleri (gaz ve diğer) belirlenmiştir. Bu değerler ile yapılan irdeleme sonucu Breeam Sürdürülebilir Evler için Kod (2006) değerleri belirlenmiştir. Hafif çelik

uygulamaların da normal ve en iyi uygulama olarak değerleri belirlendikten sonra çıkan sonuç; Breeam Sürdürülebilir Evler için Kod (2006) başlığında istenen dış duvar-döşeme-çatı yalıtımı değerlerinin (0.20-0.20-0.15) altına, hafif çelik çerçeve en iyi uygulama (0.15-0.20-0.15) ile inilebilmektedir (Çizelge 3.8).

Çevresel bina performansını artırmak için, endüstri tasarım profesyonelli keşfetmelidir. Enerjinin binanın ömrü boyunca üzerindeki yatırımıdır; sadece ömrünün belirli aşamalarında değil, örneğin bina kullanımı gibi. ABD’de çelik üretiminde, Amerika Birleşik Devletleri’nde tüketilen enerjinin yaklaşık yüzde 3’ü kullanılırken, sanayi sektöründe kullanılandan da yüzde 10’dan fazladır. Sanayi 1990 yılından bu yana ton başına kullanılan enerji içinde %23 azalarak yenilikler görmektedir [56] (Grafığe bakarsak, ABD çelik sektöründe (sanayinde) ton başına enerji tüketimi sevk). Çelik üretimin çevresel temiz bir metodu, hurda ön ısıtma gibi iyileştirme işlemleri büyürken, şerit döküm ve enerji enjeksiyonunda ayrıca enerji tasarrufu geliştirildi [57]. Amerika’da hafif çelik, ton başına gömülü enerji (somutlaşan/vücut bulan enerjinin) 13.2 MBtu’ dan daha azdır. Çeliğin altı tonu ile inşa edilmiş bir ev için, gömülü enerji evlerin ortalama yıllık enerji kullanımının yaklaşık üçte ikisini temsil eder [58]; ya da 75 yıllık yaşam ömrü üzerinde yayılmış bir evde, gömülü enerji, evin yıllık enerji tüketiminin %1’inden azdır (Amerika verilerini içerir) [24].



Şekil 3.14 : ABD çelik sektöründe ton başına enerji tüketimi [32]

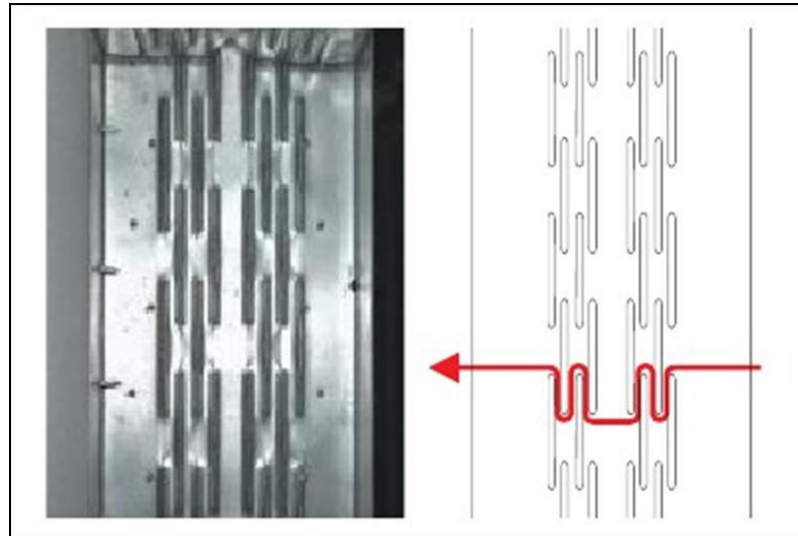
3.3.3.3 Isı Yalıtımı

Statik gereksinim ve istenen enerji özellikleri seçilen profil kesitine bağlıdır. Hafif çelik profillerin arasındaki boşluk tamamen yalıtım malzemesi ile doldurularak yalıtım malzemesi içerisinde ısı köprüleri ve konveksiyon akımların oluşumu önlenir. Bütünleştirici yalıtım genelde başka katkı maddesi ile desteklenmektedir. Bu yalıtım ile metal destekler arasında ısı alışverişi hem içerde hem dış cephede azaltılabilmektedir [5].

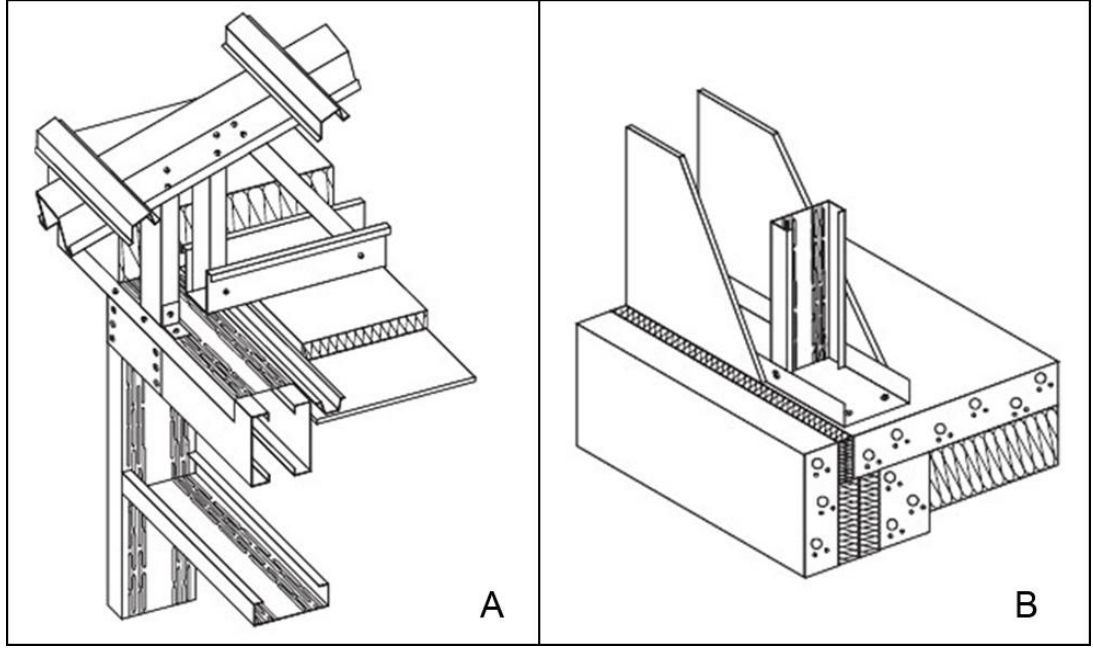
Düşük enerjili ev standardına hafif çelik yapıda her zaman ulaşılabilir. Ayrıca aynı ısı yalıtım özelliğine sahip konvansiyonel hafif çelik yapı, monolitik yapı sistemine kıyasla azaltılmış duvar kesiti %5-10 daha fazla alan kazandırmaktadır [5].

İlave bir dış yalıtım için genel bir planlama olarak, örneğin, ısı yalıtım kalınlığı > 60 mm ve ısı iletkenliği $0,04$ W/mk yalıtım malzemeli konstrüksiyon ile ısı köprülerinin geçişi azaltılmış olur.

Yüksek yalıtımlı dış duvarlarda “Termal profil” olarak da anılan çok katmanlı yalıtım malzemesi yerleştirilir. Çelik profildeki daha az statik yüklü gövde kısmında ısı geçişin az olması için yalıtım uzunlamasına yuvalar ile uygulanır. Çünkü ısı geçişleri profillerde profil gövdelerinden gerçekleşmektedir. Profildeki yuva ve gövde genişliği düzenlemesine göre, ısı iletim mesafesi gövde genişliğinin 3 katı kadar artmaktadır (Şekil 3.15). Bu ısı akışında önemli bir azalma sağlar ve daha az malzeme ve hammadde ile daha fazla verim artışı sağlar [5].



Şekil 3.15 : Termal profil gövdesi ve kesit içerisindeki ısı akışı [5]



Şekil 3.16 : Termal profil ile çatı (A) ve taban (B) birleşimi [5]

Dış cephede rüzgar geçirimsizliğine karşı kaplama yok ise soğuk hava tüm yapıya girer ve tüm yapı elemanlarına dağılır. Bu nedenle dışardan gelebilecek hava ile rüzgar akımına karşı gerekli tüm yalıtımların yapılması gerekir, sonrasında iç kısımda da gerekli ısı yalıtımları yapılmalıdır. Bu yalıtımlar yapıldığı takdirde maksimum enerji kazanımları elde edilmiş olacaktır.

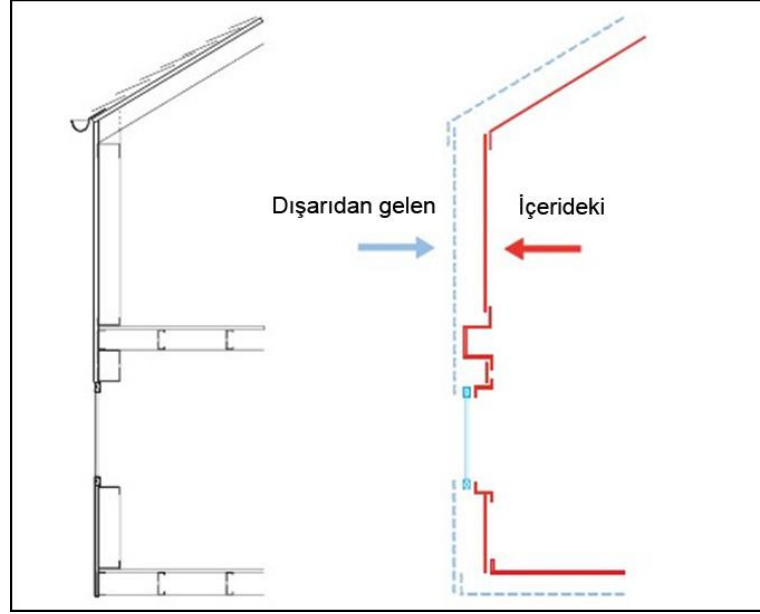
- **Yaz mevsiminde ısı yalıtımı**

Binaya olan ısı girişi önemli ölçüde güneş enerjisine bağlıdır. Bu ağır ve hafif yapı için eşit ölçüdedir. Pencere gibi şeffaf yapı elemanlarından gelen güneş ışınları bina içerisinde ısı enerjisine dönüşmektedir ve oda sıcaklığının artmasında önemli bir etkidir. Dolaylı yoldan da bina içerisine ısı enerjisi girebilmektedir. Örneğin: Dağınık ve yansımaya gelen ışınlar önemli miktarda ısı enerjisi sağlamaktadır. Bununla birlikte kötü ısı yalıtımı veya pencere bölmelerinin yanlış gölgelikli yapılması ile yüksek oda sıcaklığına sebep olabilir.

Binadaki oda sıcaklığının artışı aşağıdaki etkenler tarafından belirlenir:

- Camlı cephenin toplam güneş enerjisi geçirimi (g-değerleri)
- Pencere boyutu ve yönü
- İç ya da dış penceredeki güneş koruması (örn.tenteler, panjur, güneş koruyucu cam, ağaçların varlığı)
- Özellikle gece havalandırmasında oda havalandırma olanakları
- Yapı elemanlarının ısı depolama kapasitesi
- Dış yapı elemanlarındaki yapı malzemelerin ısı yayımı
- Dış yapı elemanlarındaki faz davranışı
- Isı enerjisinin sızması ilk olarak cam yüzeyi doğrultusundadır. Pencere alanının payı, camın toplam enerji geçirimi ve gölgelendirme önlemlerinin etkileri birarada incelenmelidir. Bunun için:
 - Gelecek güneş ışınlarının şiddetinin azaltılması (tasarım, yönlendirme, oda geometrisi, gölgelendirme, cam niteliği)
 - Dış cephenin ısı yalıtımını ve sızdırmazlığını sağlamak
 - İç mekan ve dış mekan iklim koşullarında dış hava ile bağlantılı olarak hava değişimi boyutunun ayarlanması
 - Gölge için ağacın kullanılması gibi.

Temel planlama kriteri, ısı enerjisinin girmesini önlemek ve giren enerjinin dışarı çıkmasını engellemektir (Şekil 3.17) [5].



Şekil 3.17 : Isı geçişinin önlenmesi [5]

3.3.3.4 Nakliyat

Prefabrike çelik inşaat teknolojilerinin kullanımı, inşaat alanına personel ve malzemenin taşınmasını büyük ölçüde azaltır.

İnşaata personel ve malzemenin taşınması, tüm araç hareketlerinin %10'u kadardır ve inşaatta kullanılan enerjinin %40'ı malzeme ürünlerin taşınmasıyla ilgilidir. Planlama ve koordinasyon ile de en aza indirgenebilir [33].

Boyutlamaları esnektir ve bu da nakliyata yardımcı bir özelliktir.

Taş ile betona göre çok daha hafif ve taşınması daha rahattır, araç kullanımını en aza indirir.

Örneğin 10 hafif çelik ev ile 10 geleneksel ev karşılaştırıldığında, araç taşıma hafif çelik evde %85 daha azdır [17].

3.3.4 Çevre Koruma

Ses yalıtımı, atık ve çevre kirlenmesinin azaltılması başlıklarında inceleyebiliriz.

3.3.4.1 Ses Yalıtımı

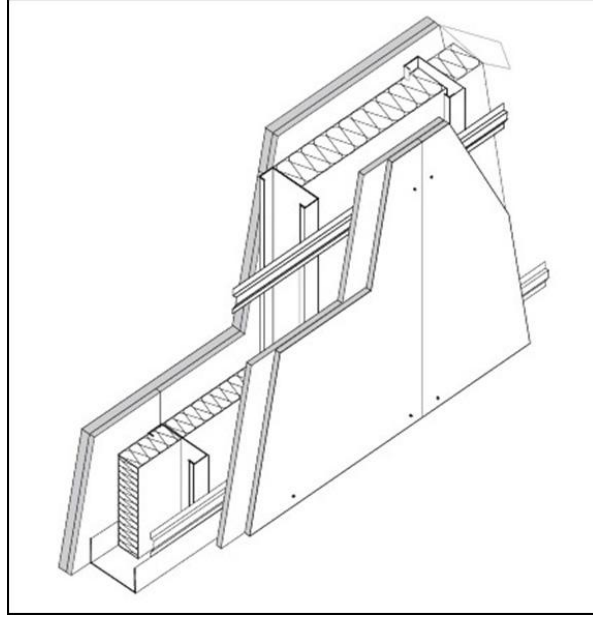
Bina için hesaplanan statik, yangın ve ses geçirgenliğine bağlı olarak sac panellerin çeşit ve kalınlığı belirlenmektedir.

Tüm dünya artan bir ilgi ile konutta ses yalıtımı üzerine daha ekonomik ya da mevcut maliyet ile daha iyi ses yalıtımı gelişimi için uğraşmaktadır. Geniş kapsamlı yapıda yüksek ses korunumu hafif çelik yapıda daha etkili biçimde uygulanabilmektedir [5].

Hafif çelik malzemeli konutlar hava etkili ses ve darbe etkili ses yalıtımında yapı akustik yönteminde alçıpan ve çelik sac geçerlidir. Ses yalıtımının özelliği, ağırlığına, kalınlığına ve maliyetine göre belirlenmektedir. Örneğin alçı plak çok güçlü bir yapı elemanıdır. Başka bileşenler de yer almaktadır. Bu bileşenler karmaşık bir sistem resmetmekte ve yapı akustiğinde kolay çift yüzeyli bir yapı elemanı oluşturmaktadır.

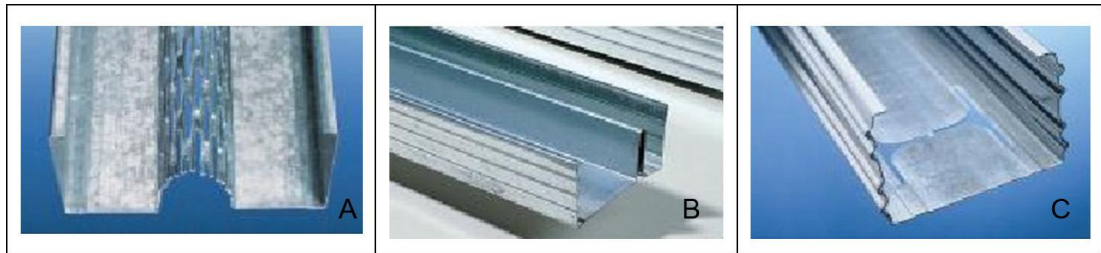
Ses yalıtımı üzerindeki etkiler için aşağıdaki faktörler sıralanmıştır.

1. İki yüzey arasındaki bağlantının rijitliği tasarıma, düşey metal elemanının düzgünlüğüne ve plakaların sağlamlığına bağlıdır.
2. İki yüzey arasındaki mesafeye bağlıdır (profil seçimine bağlı olarak değişen)
3. Herhangi bir yüzeyinin bükülebilirliğine bağlıdır. (plak kalınlığı, plaka malzemesi ve plaka yapısı)
4. Yüzey boyutlarına (plaka malzemesine) bağlıdır.
5. Biçim, özellik ve yalıtım malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır [5].



Şekil 3.18 : Ses yalıtımlı duvar örneği [5]

Şekil 3.19’ da gövde boşluklu akustik profil (A), katlanmış profil gövdeli akustik profil (B) ve oluklu profil başlıklı akustik profil (C) gösterilmektedir.



Şekil 3.19 : Akustik profiller [5]

İyi bir ses yalıtımı için teknik seste kabuk esnek olmalıdır. Esnek kabuk kalınlığı yaklaşık 20mm olan plakalardır. Örn. Alçıpan, Plywood ve alçı fiber plakalar. Kaplamanın alansal ağırlığının yapı elemanının ses yalıtımı üzerinde pozitif etkisi vardır.

Önlemler:

1. Kaplamada daha büyük boyut
2. Çift kaplama
3. Kaplama ağırlığı

İki kabuğun bağlantısı, örneğin iki destek arası bir ses köprüsü olur. Uygun bir ses yalıtımı için bağlantının olabildiğince ayrılmış olması gerekir.

Önlemler:

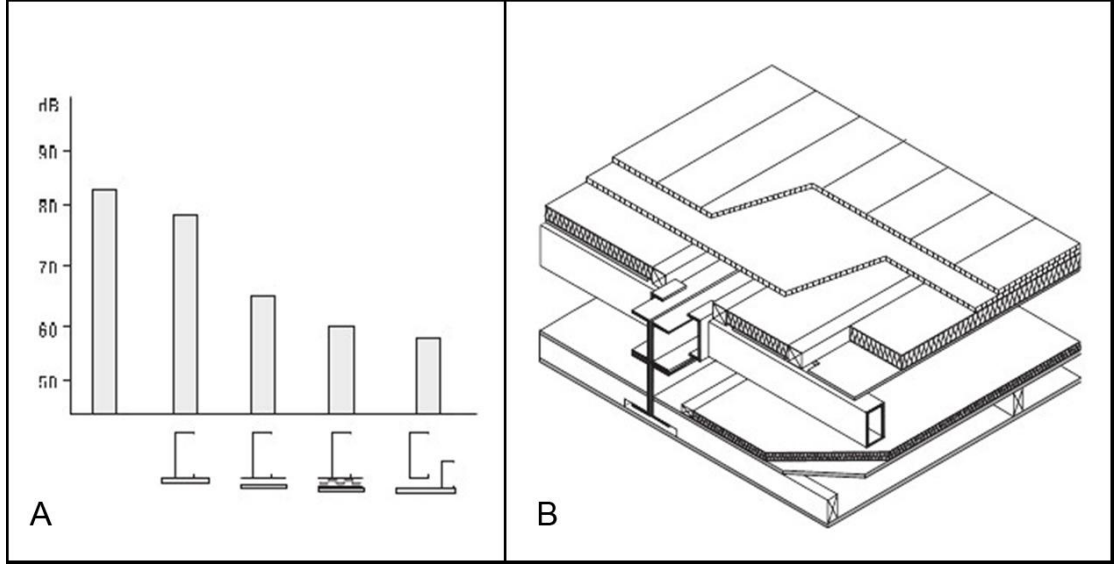
1. Daha büyük destek aralığı
2. Daha büyük kabuk aralığı
3. Yalıtım şeridi, elastik yay rayın veya elemanının plakaya sabitlenmesi
4. Ses yalıtım profilleri
5. İki kabuğun ayrı olması

Sistemdeki kabuklar arası boşluğun yalıtılması gerekir.

Önlemler:

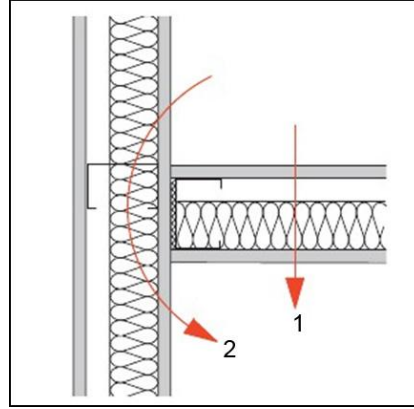
1. Ses yalıtımını arttırmak için boşluğun içi yoğunlukla ses emici malzemesi olan fiber malzeme dolgusu ile doldurulması, bu fiber malzeme ile ses enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi
2. Boşluğun yalıtımında sert köpük malzemesinin ses emici özelliği olmadığı için tercih edilmemesi
3. Kesitin maksimum %80 'ini fiber dolgu ile doldurulması [5]

Tavan konstrüksiyonunda hava etkili ses yalıtımı için, duvarda geçerli olan yalıtım önlemleri geçerlidir. Yüksek darbe etkili ses yalıtımı elde etmek için ise tavanın üst kısmına tamamen yalıtım yaparak tavan altına iletkenliğini geçirmeyecektir ve bu sistem ile daha tutarlı ses ayırımı yapılmış olacaktır. Ayrıca tavandaki şap da darbe etkisine karşı yalıtım görevi görerek taşıyıcı konstrüksiyondan bağlantısını koparır.



Şekil 3.20 : Bağlantı tiplerine göre darbe ses değerleri (A), darbe ve ses yalıtımlı tavan döşeme örneği (B) [5]

Şekil 3.20 ‘de farklı bağlantı tiplerine göre elde edilmiş darbe etkili ses değerleri (A) ve birbirine bağlı 3 ayrı kabuktan yapılmış darbe ve ses yalıtımlı tavan döşemesi (B) gösterilmektedir.



Şekil 3.21 : Hafif çelik yapıda ses iletim yolları [5]

Ses yalıtım ölçüsü hafif, çift taraflı duvarlarda 53 ile 75 arasında olmalıdır. Bu yapılarda tavan, taban ve duvar olarak farketmeksizin ses iletiminin taşındığı 2 yol bulunmaktadır. Bunlardan biri kaplama kalınlığı diğeri ise boşluktur (Şekil 3.21). Tüm önlemler bu iki iletim yolları üzerine ses geçirgenliğini azaltmak için tasarlanmıştır. Alınan önlemler ile ses yalıtımı etkin bir şekilde sağlanabilmektedir.

3.3.4.2 Geri dönüşüm ve Atık

Hafif çelik konstrüksiyon imalatında ve yerinde atığı en aza indirir; tüm çelik yeniden kullanılabilir ya da geri dönüştürülebilir.

Atık inşaatın kullanılmayan parçasıdır. Hafif çelik konstrüksiyon az atık üretir:

- Fabrikada üretimde tüm hurda çelik geri dönüştürülür,
- Çeliğin kalitesi geri dönüşüm işlemi ile azalmaz,
- Yıkım projelerindeki çeliğin %90'ı geri dönüştürülür veya yeniden kullanılır,
- Güncel Avrupa hafif çelik üretiminin %50'si geri dönüştürülmüş kaynaklardandır,
- Su kullanımı minimumdandır ve su geri dönüştürülür [17].

Çizelge 3.9 : Çelik ürünün geri dönüşümü [17]

ÇELİK TÜRÜ	BÖLÜMLER	AŞIKLAR	KAPLAMA	ZEMİN KAP.	DESTEK
Geri dönüşüm	86	89	79	79	91
Yeniden Kullanım	13	10	15	6	1
Toplam %	99	99	94	85	92

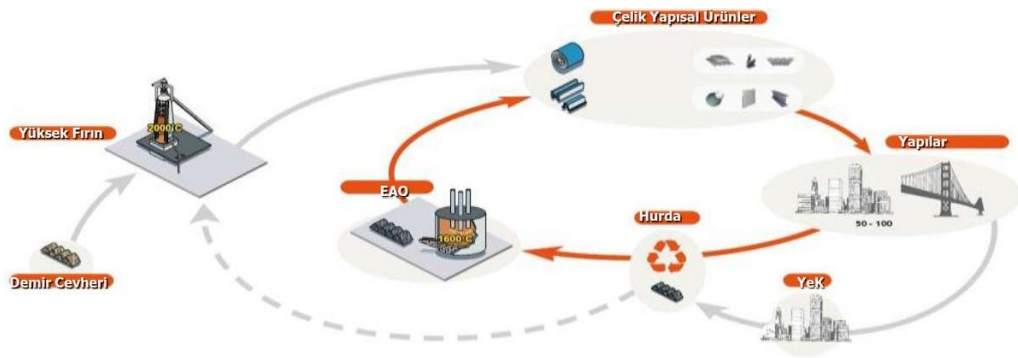
Yapı malzemelerinin tüm yaşam döngüsünde doğaya etkisi:

1. Hammadde çıkarılması ve işlenmesi
2. Yapı malzemeleri üretimi
3. Kullanım ve yeniden kullanım
4. Kullanım sonu geri kazanım [18]

Geri dönüştürülmüş içerik kullanıldığında doğadan yeni cevher (hiç kullanılmamış) alınmadığı veya azaltıldığı için doğaya etki de azalır.

- Her yıl, Kuzey Amerika çelik endüstrisi geri dönüşümlü kutular, beyaz eşya, otomobil ve inşaat malzemeleri çelik hurda milyonlarca ton geri dönüştürür. Bu hurda yeni çelik üretmek için yeniden eritilir.
- Tüm çelik ürünleri %64 geri dönüşümlü - Cam da dahil olmak üzere ABD'de herhangi bir malzemeden, kağıt, plastik ve alüminyumdan daha fazladır.
- Çelik geri dönüşüm programları katı atık azaltır ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur.
- Çelik geri dönüşümü enerji tasarrufu sağlar - Bir yıl için ABD'ki hanelerin beşte biri (ya da yaklaşık 18 milyon evin) elektriğine eşdeğerdir.
- Geri dönüştürülmüş çeliğin her tonu; demirden 2,500, kömürden 1,400 ve kireç taşından 120 kilo tasarruf sağlar.
- Tüm hafif çelik (sistemler) en az %25 geri dönüşümlü çelik içerir [27].

Dünyanın en çok geri dönüştürülmüş malzemesi olan çelik, 1.800 hurda işlemciler ve 12.000 otomatik sökme yoluyla, 150 yılı aşkın bir süredir kullanılan ürünü geri almaktadır [27].



Şekil 3.22 : Geri dönüştürülebilir çeliğin yaşam döngüsü [18]

3.3.4.3 Çevre Kirliliğinin Azaltılması

İnşaatta ve servisinde kirlenmenin en aza indirilmesi malzemenin dikkatli seçimine işlemlere Çelik üretim tesisleri modern ve verimlidir.

Hafif çelik kullanıldığında LEED-NC' de, SS 1: Faaliyet Kirliliğın Önlenmesi ödölünü almayı kolaylaştırır, çünkü hafif çelik temel kazısını ve boyutunu en aza indirir [24].

Üretiminde:

- Kullanım ömrü tamamlandığında geri dönüştürölür.
- Fabrikada kontrollü olarak iyi koşullarda kirliliğı azaltarak, prefabrike hafif çelik üretilmektedir.

Yapımda:

- 'Kuru' inşaat işlemleri su kullanımını en aza indirir.
- İnşaat sırasında prefabrikasyon ile yerinde kirliliğı ortadan kaldırır.
- Taşıma kirliliğı daha ve günlük şantiyeye işçi ulaşımı azdır.
- Şantiyede gürültü, toz ve kirlilik azdır.

Kullanımda:

- Zararlı gazlar üretmez [17].

Çevre başlığı altında incelenen kirlenmenin en aza indirilmesine ilişkin olarak, hafif çelik yapım sisteminde yapılmış olan bir konut örneği resim 3.23’de görülmektedir. Çevreye müdahalesi azdır. Yapı ömrünü tamamlandığında geri dönüştürülerek doğadaki döngüsüne devam edebilmekte, ya da söz konusu alandan sökülerek başka bir alana taşınabilmektedir.



Şekil 3.23 : Hafif çelik iskeleti (A) ve tamamlanmış hali (B) [8]

3.3.5 Zaman

Zaman hız açısından ölçülür. Hızlı inşaat süreci ana yükleniciye büyük tasarruf sağlar.

Çelik inşaatın tüm tipleri ileri prefabrikasyondur ve şantiyede hızla tamamlanır. Bu da zaman ile ilgili fayda sağlar.

Ulusal Denetim Ofisi’nde (NAO) yayınlanan bir rapor, “Verimli ve Hızlı Evlerin İnşasında Modern Yöntemlerinin Kullanılması”. Bu raporda Atölye ve gözlemler bölümü Bremen's CALİBRE veritabanına dayanmaktadır. Çeşitli tipler incelenmiştir: 2D paneller (2 boyutlu) , hibrit 2D ve 3D ve tamamen 3D (3 boyutlu) veya modüler inşaat. Sonrasında da bunlar geleneksel inşaat ile karşılaştırılmıştır. Prefabrike sistemlerdeki maliyet ve zaman ile ilgili sonuçlar aşağıdadır:

Çizelge 3.10 : Prefabrikasyonun çeşitli düzeyler ile sistemlerde maliyet ve zaman faktörlerinin karşılaştırılması [33]

KRİTERLER	GELENEKSEL TUĞLA/BLOK İNŞAAT	PANEL (2D) İNŞAAT	HİBRİT PANEL VE MODÜLER İNŞAAT	TAMAMEN MODÜLER İNŞAAT
Toplam inşaat periyodu	100%	75%	70%	40%
Hava-geçirimsiz kılıf oluşturmak için	100%	55%	50%	20%
Yerinde işgücü gereksinimi	100%	80%	70%	25%
Yerinde malzemelerde toplam maliyet oranı	65%	55%	45%	15%
Yerinde işgücünde toplam maliyet oranı	35%	25%	20%	10%
Yer dışı üretimde toplam maliyet oranı	0%	20%	35%	75%

Hafif çelik sistemler hızlı bir inşaat sistemidir. Fabrikada üretildiği için iklimden etkilenmez. Bu da inşaat süresindeki zaman kayıplarını en aza indirir. İnşaat alanına getirilen ön üretimli sistemin kurulumu tamamlanır. Türkiye’de bir firma 1 haftada ana taşıyıcı sistem kurulumunu tamamlayarak, 2 ay gibi kısa bir sürede anahtar teslimi imalatın tamamlandığını beyan eder [8].

3.3.6 Maliyet

Hafif çelik yapı sistemi, geleneksel yapı sistemlerine oranla daha hesaplıdır [17].

- Kontrollü üretim ile atığı azaltır.
- İnşaat süresi hem kısadır, hem de iklim ve mevsime bağlı değildir.
- Şantiye süresi kısadır. İnşaatta süre tasarrufu sağlar.
- Kontrollü ve daha az sevkiyatlar nedeniyle nakliye değerleri düşüktür.
- İş-zaman çizelgesinin reel olarak oluşturulabilmesi nedeniyle gereksiz işçilik ve şantiye maliyetlerinin önüne geçilir.
- Çelik yapılarda toplam bina ağırlığının daha az olması nedeniyle temel maliyeti azalır.

- Taşıyıcı yapısının ömrü uzun ve bakım ihtiyacı düşük olmakla birlikte, yenileme ve değişiklik ihtiyaçlarına çözümler sunabilmektedir. Düşük bakım uzun vadede sürdürülebilirliği getirir.
- Deprem, rüzgar gibi afetlere sünek yapısı ile daha dayanıklı olup, afetler sonrasında oluşabilecek hasarların tadilinin hızlı ve kolay oluşu hafif çelik yapı sisteminin ekonomik değerini artırır.
- Projede belirlenen miktarda ve mekanik montajla imalatlar yapıldığından, malzeme fire ve zayıfatı az olur.
- Tüm projelerin yalıtım ve enerji kullanımları bölgesel ve iklimsel verilere göre tasarlanabildiğinden, kullanımda enerji tasarrufu sağlayarak sonraki enerji maliyetlerini düşürür.
- Taşıyıcı sistem yeniden kullanılabilir ve geri dönüşümlüdür.

4. HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLİ PROJE ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Enerji sistemlerini içeren ve içermeyen, ülkemizdeki ve yurtdışındaki bina örneklerinin de yer aldığı hafif çelik sistemli yapılar sistem özelliklerine ve sürdürülebilir tasarım stratejilerine göre incelenmiştir.

4.1 Steellife Ekolojik Ev

Hafif çelik üreten Steellife markası Ekolojik Ev Projesi başlıklı olarak çalışmalar başlatarak, Ekolojik Ev Projesi'nin ilk örneğinin tanıtımını Pendik'te yapmıştır. Hafif çelik yapı sistemini yüksek ses ve ısı yalıtımına sahip olarak üretilebilmektedir. Geri dönüşümlü malzemeden üretilen ve ekolojik olması ile öne çıkan hafif çelik yapı sistemi, sahip olduğu yalıtım değerleri ile klasik yapı sistemlerine göre çok daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Düşük enerji tüketimi ve dolayısıyla düşük karbon salımı olan bir bina üretimi gerçekleştirmek amacıyla Ekolojik Ev'in İstanbul için bir prototip oluşturması amaçlanmıştır. Ekolojik Ev, düşük enerji ihtiyacının tamamını yenilenebilir kaynaklardan sağlayacak şekilde pasif ev kriterlerine uygun olarak tasarlanmıştır.

Firma genel müdürü ve Prof. Dr. A. Zerrin YILMAZ / İTÜ şöyle demektedir:

“Türkiye’de kentsel dönüşüm, bina dönüşümü gibi algılanıyor. Umarım şu anda sürdürülen çalışmalarda sadece bina dönüşümüne odaklanılmaz. Gökyüzünün görülebildiği yaşam alanları yaratılmalı. İnsan toprağa ne kadar yaklaşırsa o kadar medeni, ne kadar uzaklaşırsa da o kadar antisosyal olur. Kentsel dönüşümün, bir yaşam dönüşümü olmasını ve binaların tümünün apartman olmamasını istiyoruz. Umarım kentsel dönüşüm İstanbul için bir dönüm noktası olur.” [2]



Şekil 4.1 : Ekolojik ev görünüşü [29]

Enerji verimlilik hesapları İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Zerrin Yılmaz tarafından yapılmıştır. Proje koordinatörlüğünü de İTÜ Mimarlık Fakültesi ve Technobee Academy Öğretim Üyesi Prof. Dr. Atilla Dikbaş yürütmüştür. Güneş enerjisinden maksimum seviyede yararlanılan ve geri dönüşümlü malzemeden üretilen Ekolojik Ev’de karbon salımı minimum seviyeye indirilmiştir. Binanın elektrik enerjisi ihtiyacı, çatıya yerleştirilen 27 adet fotovoltaiik panelle karşılanmaktadır. Tasarım aşamasında panel sistemi binanın ihtiyacı olan yıllık 3.400 kWh elektrik enerjisi üretmek üzere planlanmıştır. Binaın işletmeye alındığı son bir yıl içinde toplam elektrik üretimi 3.800 kWh olarak, hedeflenenin üzerinde gerçekleşmiştir. Dört adet kullanılan termal panelle de hem sıcak su üretimi yapıp hem de yerden ısıtmaya destek sağlanmakta, hava kaynaklı ısı pompasıyla da ısıtma ve soğutma gerçekleştirilmektedir. Geri kazanım cihazı ile ortama sürekli taze hava sağlanmakta, evde yağmur suyu depolama sistemi de yer almaktadır. Gri su arıtma sistemi sayesinde lavabolardan toplanan gri su arıtılmakta ve bahçe sulamada kullanılmaktadır. Böylece yüzde 70’e varan su tasarrufu sağlanır. Merkezi toz emme sistemi olan Ekolojik Ev’de tüm aydınlatmada minimum enerji tüketimi sağlayan LED aydınlatma armatürleri bulunuyor. Evdeki lavabo ve duştaki armatürler de tasarruflu armatürler kullanılmıştır [34].

Kullanımı sırasında sıfır karbon hedefi amaçlanan ve yakalanan, ürettiği enerjiden daha azını kullanan ve içerisinde halen yaşanan Steelife-Eko Ev örnek oluşturmaktadır. Bu projenin tüm enerji verimliliği çalışmaları İTÜ-EKOMİM Teknokent firması tarafından yapılmış, EKOMİM bu proje ve benzer uygulamalarıyla kuruluş faaliyetlerinin başında gelen “Türkiye için Enerji Verimli

Prototip Geliştirme Hedefi” ne de ulaşmıştır. Türkiye’deki binaların gelişmiş ülkeler ortalamasının çok üzerinde enerji tükettiği düşünülürse, EkoEv prototiplerinin uygulanarak yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır [29].

4.1.1 Tasarım

Düşük enerji tüketimi ve dolayısıyla düşük karbon salımı olacak bir ev prototipinin üretilmesi hedefi olan Steelife-EkoEv için tüm tasarım kararları detaylı simülasyonlarla yönlendirilmiştir. Bu tasarım sürecinin sonucu olarak, Steelife EkoEv şu an başlangıç hedefine göre enerji ihtiyacından fazlasını yenilenebilir kaynaklardan sağlayarak, artı enerjili sıfır karbon ev olarak hizmet sunmaktadır. Enerjide dışa bağımlı olan ülkemizde, yükselen enerji fiyatları ve fosil enerji kaynaklarındaki azalma da göz önüne alındığında, bu tür binaların yaygınlaştırılması hem sağlığımızın ve çevremiz, hem de ülke ekonomimiz açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda Steelife, mimari formları da farklı olabilecek ve gerekli yönelimleri sağlayabilecek şekilde İstanbul Çekmeköy’de 10 evlik Eko-site çalışmalarına da başlamıştır [29].

EkoEv’in tasarım ve üretimine ışık tutan enerji verimliliği kavramı aşağıdaki üç ana başlık altında değerlendirilmiş ve uygulanmıştır:

- Isıtma, soğutma ve aydınlatmada enerji ihtiyaçlarını azaltmak
- Enerjiyi verimli kullanmak
- Enerjiyi verimli ve temiz kaynaklar ile üretmek.

Demo amaçlı farklı bir forma ve yenilenebilir enerjileri doğru kullanmak için istenen Steelife EkoEv’in güney tarafından görünüşü Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Güney görünüşü [29]

Ayrıca yapının çevreye müdahalesi, temel ve hafriyat kirliliği olmadığı gibi oturma alanı ve şekli minimumdandır.



Şekil 4.3 : Kuzey görünüşü [29]

Bu prototipin yapımında öncelikle tasarım aşamasında ısı, görsel ve işitsel konfor koşullarını sağlamak kaydıyla ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma enerjisi ihtiyacını en aza indirecek detaylı simülasyonlar yapılmış ve tasarımın tüm detayları, yalıtım kalınlıkları, ısı köprüsü yalıtımları bu dinamik simülasyon sonuçlarına göre belirlenmiştir. Pencerele rin üç cam katmanlı olması öngörülmüştür. Konumlandırılış durumu için ise çevre binaların gölge analizleri yine tasarım aşamasında yapılmıştır.

Çizelge 4.1 A ve B’de ise yalıtım, pencere türü, genişliği ve doğal havalandırma stratejileri dahil farklı tasarım senaryolarının dinamik simülasyonları sonucuna göre tasarlanan binanın enerji ihtiyaçları görülmektedir. Tasarlanan binanın enerji ihtiyacı Türkiye’nin standart referans binasına göre soğutmada yüzde 70’e yakın oranda, ısıtmada ise yüzde 50’ye yakın oranda azaltılmıştır. Isıtma ve soğutma enerjisi azalımı için uygulanan tüm stratejilerde genişliğinden da maksimum yararlanmak ve dolayısıyla aydınlatma enerjisi ihtiyacını olabildiğince düşürmek için de kontroller ve hesaplamalar yapılmıştır. Pencere doğramaları 3 camlı Pasif Ev sertifikalı tipte seçilmiştir ve pencere U-Değeri 0,9 W/m²K’dir.

Çizelge 4.1 : Referans bina ile EkoEv’in enerji ihtiyaçlarının karşılaştırılması [35]

A- Referans Binanın Enerji İhtiyacı		
Toplam kWh/m-yıl	Soğutma İhtiyacı 33,52	Isıtma İhtiyacı 84,49
B- Tasarlanan EkoEv’in Enerji İhtiyacı		
Toplam kWh/m-yıl	Soğutma İhtiyacı 11,17	Isıtma İhtiyacı 43,38

Mimari konsept olarak tek eğimde olması planlanan EkoEv’in çatı eğimi ise güneş enerjisi sistemlerinin yerleştirilmesine uygun olarak ayarlanmıştır. Resim 4.2’de görüldüğü gibi çatıya elektrik enerjisi üreten PV paneller ve kullanım sıcak suyu için termal güneş kolektörleri yerleştirilmiştir. Yeterli güneş ışığının sağlanması ve aynı zamanda ısıtma/soğutma ihtiyaçlarının da minimize edilmesi açısından çatı saçağı gibi yapı elemanlarının boyutları gölge analizleri yapılarak belirlenmiştir. Bu detaylı hesaplamalarla enerji ihtiyacının en aza indirilmesi ve aynı zamanda konforlu iç mekanlar yaratılması sağlanmıştır [2].



Şekil 4.4 : İç mekan görünüşü [29]

4.1.2 Taşıyıcı Sistem

EkoEv'in duvar ve çatı sistemleri hafif çelik yapım sistemleri ile yapılmıştır. Strüktür örgüsü tamamlandıktan sonra da kaplanmıştır. Yapı çelik ayaklar üzerine oturtulmuştur.



Şekil 4.5 : Devam eden taşıyıcı sistem montajı [29]



Şekil 4.6 : Çatı ve duvar taşıyıcı sistem görünüşü [29]



Şekil 4.7 : Birleşim noktaları [29]



Şekil 4.8 : Sistemin kaplanması [29]

Çizelge 4.2 : Steellife Ekolojik Ev'in bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi

BİNA VE HAFİF ÇELİK SİSTEM VERİLERİ			STEELLİFE EKOLOJİK EV
Yapım Sistemi	İskelet Sistem		■
	Panel Sistem		
	Hücre Sistem		
Ek Sistemler	Betonarme		
	Çelik		■
	Kagir		
	Ahşap		
Kat Sayısı	Bir		■
	İki		■
	Üç		
	Dört		
	Beş		
	Altı		
Fonksiyon	Ev - villa		■
	Apartman		
	Toplu konut		
	Yurt - otel		
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği		
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		1-2 yıl	■
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	■
		3-6 ay	
		1-2 yıl	
		3 yıl	
Bölge	Yurt İçi		■
	Yurt dışı		

4.1.3 Enerji Tüketimi

Bu çalışmalarla enerji ihtiyacı minimize edilerek inşa edilen EkoEv'in ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılamak amacıyla hava kaynaklı (havadan suya) bir ısı pompası kullanılmıştır. Isı pompası cihazı sadece elektrik enerjisi kullanmakta ve bir birim elektrik enerjisine karşılık toplamda 3,5-4 birim kadar ısıtma/soğutma enerjisi üretebilmektedir. Cihazın kullandığı elektrik enerjisi ise fosil yakıtlardan bağımsız olarak çatıya yerleştirilen PV panellerden sağlanmaktadır. Yapı, doğalgaz ya da başka herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymadan kendi kendine yetebilmektedir [2].

EkoEv’de ısıtma için yerden ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem geniş bir yüzeyde uygulandığı için düşük su sıcaklıklarıyla çalıştırılabilen ve bu sayede ısı pompası gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin daha verimli çalışmasını sağlayan bir sistemdir. Ayrıca ısı transferi düşük sıcaklıktaki döşemeden gerçekleştiğinden kullanıcılara daha yüksek bir konfor sunar.

Binanın iklimlendirilmesi için kullanılan ve içeride yaşayanların kullanacağı tüm ekipmanların elektrik enerjisi ihtiyacı çatıya yerleştirilmiş olan 27 adet 1.114 x 1.414 mm boyutundaki fotovoltaiik panel ile karşılanmaktadır. Panellerin anlık toplam elektrik üretim kapasitesi 2,7 kWp’dır. Tasarım aşamasında yıllık 3.400 kWh elektrik enerjisi üretmesi planlanan yapı, işletmeye alındığı Ocak 2012 tarihinden itibaren geçen bir yıllık sürede toplam 3.800 kWh elektrik enerjisi üretmiştir. EkoEv bu üretimin bir yılda yüzde 40’ını kullanmıştır [2].

Dört adet 1.215 x 1908 mm boyutlarında termal panelden oluşan kapalı devre güneş enerjisi sistemi ile üretilen sıcak su, 200 litre hacminde bir depoda toplanmaktadır. Toplanan sıcak su ile hem kullanım sıcak suyu üretimi yapılmakta, hem de ısıtma sistemine destek sağlanmaktadır. Sistem depodaki suyun sıcaklığına ve güneş kolektörlerinin sıcaklığına göre çalışan bir otomasyon ünitesi üzerinden kontrol edilmektedir [2].

Binanın ısıtılması ve soğutulması için ihtiyaç duyulan sıcak ve soğuk su hava kaynaklı bir ısı pompası cihazı ile karşılanmaktadır. Bu cihaz, kışın havanın ısınıp kullanarak binanın ısıtılması için gerekli olan sıcaklıkta suyu üretmektedir. Yaz şartlarında ise binanın soğutulmasını sağlayan soğuk suyu üreterek, binadan soğurulan fazla ısıyı havaya atılmasını sağlamaktadır. Cihazın ısıtma kapasitesi 14 kW, soğutma kapasitesi ise 11 kW’dır [2].

Binanın ısıtılması ve serinletilmesi döşeme şapının içine uygulanmış borulardan sıcak/serin su dolaştırılması ile sağlanmaktadır. Geniş yüzeyde uygulanmış bu sistem, ısıtma yaparak mahali ısıtır/serinletir. Sistem, sahip olduğu geniş uygulama alanı sayesinde kışın 33 °C su sıcaklığı ile ısıtmaya, yazın ise 16 °C su sıcaklığı ile serinletmeye imkan tanımaktadır. Bu özelliğiyle de ısı pompasının daha verimli çalışmasına katkıda bulunmaktadır [2].

Kontrollü havalandırma sistemi ve ısı geri kazanım cihazı doğal havalandırma için dış hava sıcaklığı ve nem oranı uygun olmadığı zamanlarda kontrollü havalandırma için kullanılmaktadır. Dış şartlar uygun olduğunda ise taze hava ihtiyacı çatı ve cephe pencereleri aracılığıyla doğal olarak sağlanmaktadır.



Şekil 4.9 : Çatı penceresi [2]

Kontrollü havalandırma sistemi, hem nemin giderilerek konforun sağlanması, hem de yerden serinletme sistemi ile karşılanamayan uç soğutma yüklerinin karşılanabilmesi amacıyla ve gereğinde kullanılmak üzere kurulmuştur. Bu sistemle taze hava ihtiyaca göre mahallere aktarılmaktadır. Kullanılmış ve egzost olarak değerlendirilebilecek hava ise mahallerde emilerek binadan dışarı atılmaktadır. Bu işlev ısı geri kazanımlı ve 100-2.000 m³/h debi aralığında çalışabilen bir havalandırma cihazı ile yerine getirilmektedir [2].

Yağmur suyu depolama sistemi ile çatı alanlarından gelen yağmur suyu borularla toplanarak binanın arka bahçesine gömülü olan 1.800 litrelik yağmur suyu tankında toplanmaktadır. Toplanan bu su, ihtiyaç halinde bahçe sulama amacıyla kullanılmakta veya otomatik olarak çalışan bir hidrofor ünitesi tarafından binaya basılmaktadır ve sonrasında tuvaletlerdeki rezervuarlarda veya çamaşır yıkamada kullanılabilir. Sistemin borulaması ve işletimi için kullanılan otomasyon sistemi ile şebeke suyu ile yağmur suyunun birbirlerine karışmaması sağlanmaktadır. Uzun süre yağışsız geçen dönemlerde sistem 11 litrelik ek haznesinde depoladığı şebeke suyu üzerinden binaya hizmet vermektedir [2].

Gri su arıtma sistemi sayesinde lavabolardan toplanan gri su arıtılmakta ve bahçe sulama amaçlı kullanılabilir. Klozet ve rezervuar sistemleri özel hazne yapıları ve su kullanımını azaltan gömme rezervuar iç takımları gereksiz su tüketimini engelleyecek şekilde seçilmiştir. İnce gömme rezervuar, çift kademeli fonksiyonu ile 2,5-4 litre veya 3-6 litre kapasitesi sayesinde yüzde 70'e varan su tasarrufu sağlamaktadır [2].

Binanın atık su tesisatında sessiz atık su boruları kullanılmış ve daha konforlu bir yaşam alanı sağlanması mümkün olmuştur. Bağlantı noktalarında sızdırmazlık garantisi olan bir borulama sistemi kullanılmış ve böylece evin ömrü boyunca herhangi bir yenileme, tamirat işine girilmesi tehlikesi de ortadan kaldırılmıştır. Lavabo ve duşta tasarruflu armatürler kullanılarak su tüketimi azaltılmıştır. Standart bir lavabo armatürü dakikada 12-14 litre su tüketirken bu armatürler, özel tasarruflu perlatörleri ile bu sarfiyatı dakikada 8 litreye düşürmektedir [2].

Tüm aydınlatmalarda minimum enerji tüketimi sağlayan LED aydınlatma armatürleri kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. 100 bin saate kadar çalışabilen uzun ömürlü armatürler 75 W lamba yerine 10 W ledlerden oluşmaktadır. Bu ledler standart ampullere göre 25 kat daha az ısı üreterek enerjinin ısı olarak kaybını da önlemektedir [2].

4.1.4 Sürdürülebilirlik Faydaları

Enerji sistemleri dışında yapım sistemi olarak tercih edilen hafif çelik ile; çevreye müdahale en aza indirilmiş, kaliteli malzemeler ile tamirat ve tadilat ek masrafları ve malzeme kayıpları engellenmiş, tasarımda ve fabrikada üretimde hazırlanan panolarda tesisat delikleri ve yerleri hazırlandığından şantiyede tesisat yerlerinde kırım için malzeme ve zaman kaybını ortadan kalkmış, deprem bölgesinde olan bölgede depreme dayanıklı sürdürülebilir bir yaşam sağlamış, kullanım ömrünü tamamladığında geri dönüştürülerek başka yapılarda yeniden kullanılabilir veya sökülerek başka bir alanda kullanılma imkanı sağlamış, bodrum ve temel kirliliği yaratmamış, profiller ve modüller fabrika ortamında üretildiği için şantiye alanındaki zaman azalmış, şantiye alanının çevresine betonarme sistemde olan gürültü rahatsızlığı verilmemiş ve kuru sistem olarak montajı yapılmıştır.

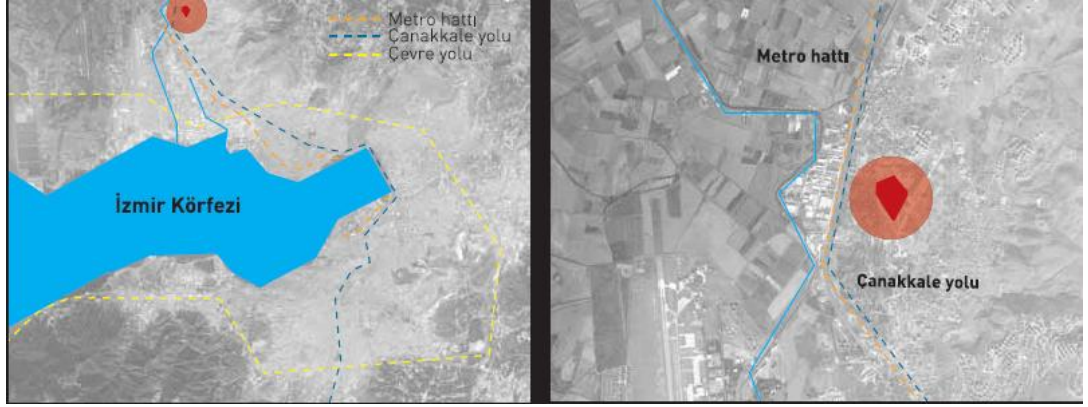
Çizelge 4.3 : Steellife Ekolojik Ev’in sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi

(Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		STEELLİFE EKOLOJİK EV
Dayanıklılık	Deprem Dayanımı	■
	Rüzgar Dayanımı	■
	Yangın Dayanımı	■
	Korozyon Dayanımı	■
Enerji	Üretimde enerji tasarrufu	■
	Kullanım	■
	Isı yalıtımı	■
	Nakliyat	■
	Su tasarrufu	■
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■
	Geri Dönüşüm	■
	Atık Kontrolü	■
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■
	Araziye uyum	■
Zaman	Hız	■
	İklim	■
	Kısa Şantiye Süresi	■
Maliyet	Malzeme kazanımı	■
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■
	Uzun Vadeli Ekonomi	■
Tasarım	Alan Kazanımı	■
	Bütünsel tasarım	■
	Büyük Açıklık	—
Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	Leed	—
	Breeam	—
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	■
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	■
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	■

4.2 35. Cadde

Yatırımcı: Akşan Yapı, mimari tasarım: Teğet Mimarlık – Mehmet Kütükçüoğlu & Ertuğ Uçar, hafif çelik imalat ve montaj: Akkon Hafif Çelik Yapı Sistemleri San.Tic. AŞ. tarafından yapılmıştır. İşe başlama tarihi Aralık 2010 iken, Aralık 2013 olarak iş bitiş tarihi olarak planlanmıştır. Proje Ulukent İzmir’de yer almaktadır [36].



Şekil 4.10 : Proje konumu [37]

İnşaat alanı

- Hafif çelik (Konutlar ve üst yapı) : 78.649 m²
- Betonarme (Otopark ve alt yapı): 35.200 m² [82]

Büyük bir kısmı aktif deprem bölgesi olan ülkemizde depreme tam dayanım gösterebilecek nitelikli ve hızlı konut üretimi için alternatif yöntem olarak yer almaktadır.

Türkiye’nin şu anda en büyük hafif çelik konut geliştirme projesi olan 35. Sokak, projenin sektörde bulunan bazı temel sorunlara getirdiği çözümlerle ortaya çıkmaktadır.

Bu sorunları üç ana başlık altında toplayabiliriz.

- Yapım ve tasarım
- Sürdürülebilirlik
- İnşaat yönetimi

35. Sokak projesini hafif çelik ile inşa ederek; 36 bin ton daha az kesme kuvveti ile Deprem Güvenliği, referans binadan yüzde 50 iyileştirilmiş bina kabuğu ile Enerji Verimliliği, 30 bin 455 ton daha az su kullanımı ile su tasarrufu, iklimlendirme ile 272 bin kg az karbon salımı ve ayrıca 350 kW kurulu güç ile elektrik üretimi yaparak düşük karbon emisyonunu sağlandı. Ayrıca 95 bin m² ortak yeşil alanı ve özel bahçeleri yer almaktadır [36].

4.2.1 Tasarım ve Enerji

35.Sokak'ta müstakil ve bahçeli yaşam ulaşılmaması zor olmaktan çıkmıştır. Apartman dairesinden daha iyi, müstakil büyük bir villadan daha uygun bir ücrete konut sunmaktadır. Bitişik nizam yapılaşmalar bina ısı enerjisi kayıplarını azaltmaktadır. Projede 95.000 m² ortak yeşil alan bulunmaktadır. Ayrıca konutların çok büyük bir kısmının kendine ait özel bahçesi veya terası bulunmaktadır [36].



Şekil 4.11 : Zemin bahçe alanları, üst ve ara kat teras (bahçe) alanları [37]



Şekil 4.12 : Sokak düzenlemesi [37]



Şekil 4.13 : Ortak alan düzenlemeleri [37]



Şekil 4.14 : Gece görünümü [37]



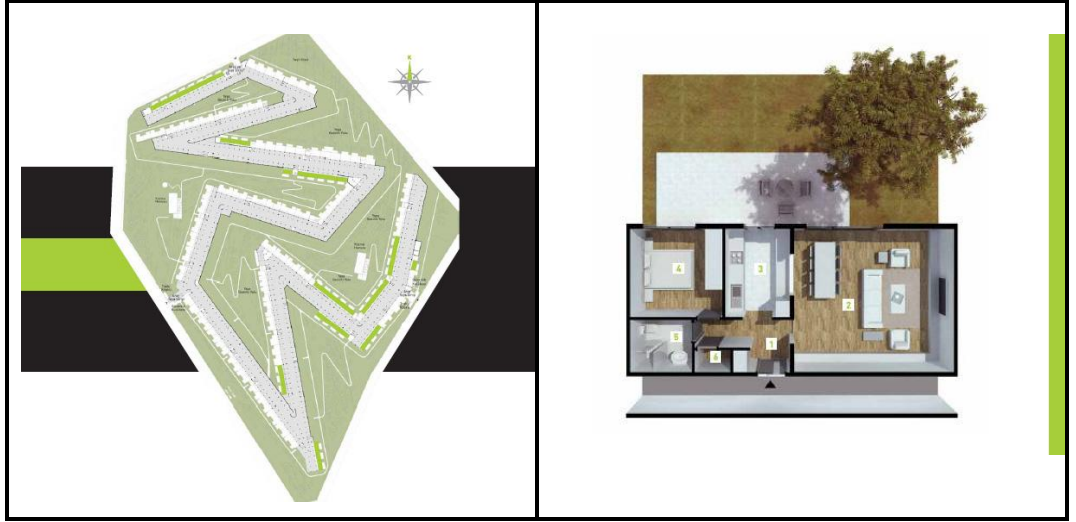
Şekil 4.15 : Sokaklardaki ara bağlantılar [37]

Geniş bir alanda yer alan proje bitişik nizam devam ederek ve aralarında sokak ve yeşil alan konumlandırılarak çözümlenmiştir. Projede toplamda 555 adet daire 6 farklı tip olarak yer alır (Çizelge 4.4) [36].

Çizelge 4.4 : Daire tip, adet ve alanları [36]

TİP	Adet	Brüt Alan
1+1 Bahçeli Evler	52	66
2+1 Daireler	24	87
2+1 Bahçe Dubleksleri	94	113
3+1 Bahçe Dubleksleri	25	151
3+1 Sıra Evler	302	148
4+1 Avlulu Evler	58	242
TOPLAM	555	

Daire şemaları şekil 4.16, şekil 4.17, şekil 4.18, şekil 4.19, şekil 4.20 ve şekil 4.21’de gösterilmektedir.



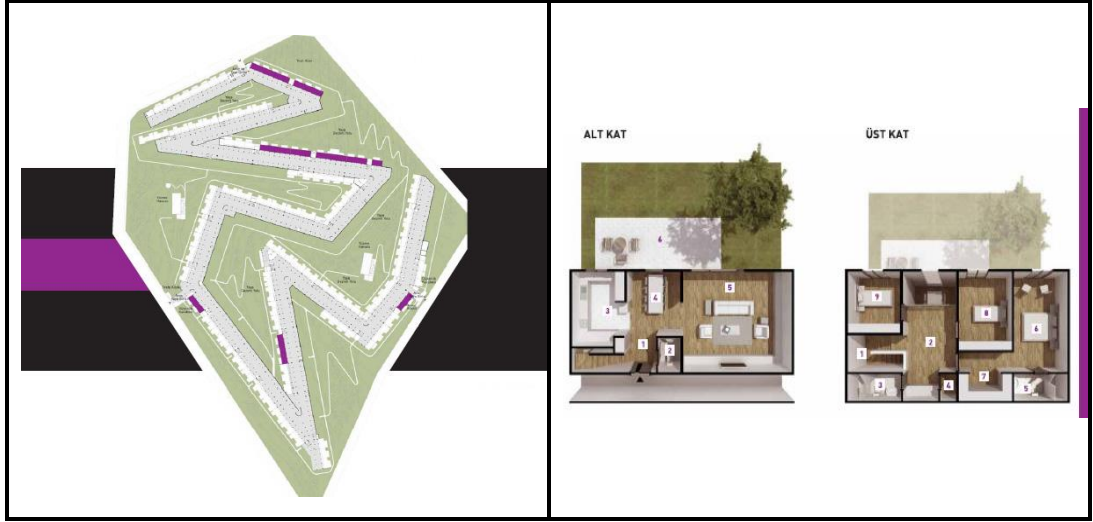
Şekil 4.16 : 1+1 (stüdyo) bahçeli ev [37]



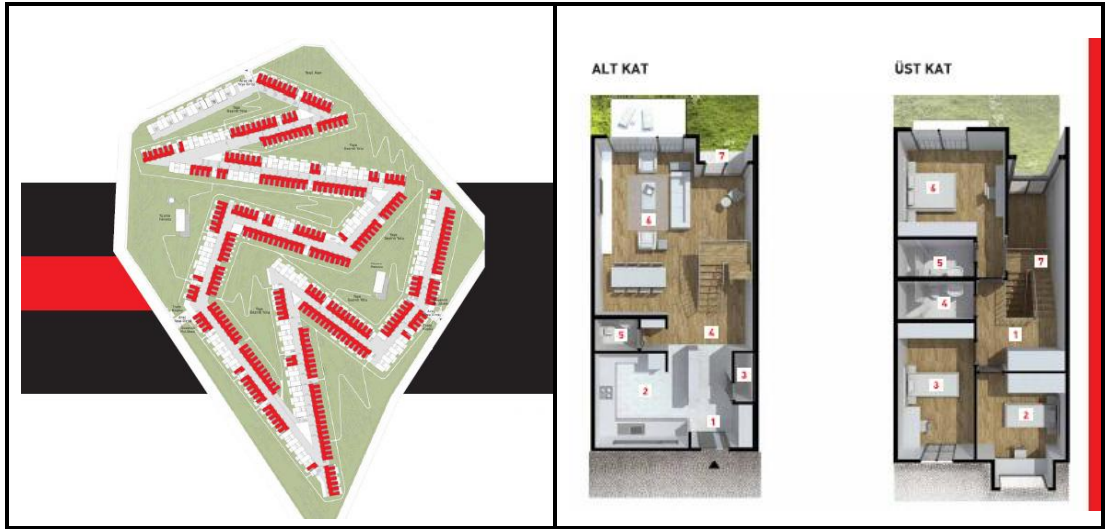
Şekil 4.17 : 2+1 daire [37]



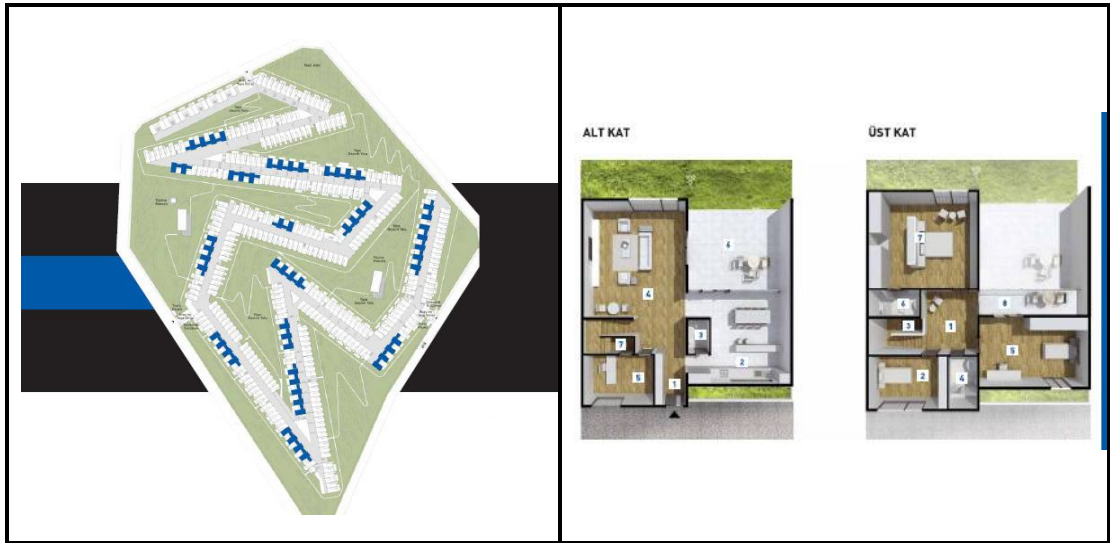
Şekil 4.18 : 2+1 bahçe dubleks [37]



Şekil 4.19 : 3+1 bahçe dubleksli [37]



Şekil 4.20 : 3+1 sıra ev [37]



Şekil 4.21 : Avlulu ev [37]

Daire planlarında her daire tipinde bahçe alanı, teras veya balkon düzenlemeleri yer almaktadır.

Kot farkı olan arazi koşullarına göre kesitte kota göre kademelenme yapılmıştır.



Şekil 4.22 : Proje kesiti [37]

Evlerin ortak duvarlarında kullanıcıların masif ve sert duvar taleplerine cevap vermesi için özel olarak bir kesit tasarlanmıştır. Kaburgalı sıva teli ve alçı sıva ile hem yüksek ses yalıtımı hem de yığma duvar hissi elde edilmiştir.



Şekil 4.23 : Ses yalıtımlı özel tasarlanan duvar [36]

BEP (Binalarda Enerji Performansı) yönetmeliği ve Türk Standartlarına göre farklı iklim koşulları için farklı ve ekonomik çözümlerle yüksek enerji verimliliği elde edilebilmektedir. 35.Sokak, hafif çelik yapı sisteminin genel kurgusu ve farklı kesit tasarımlarına olanak verebilmesi ile İzmir bölgesi için gerekli değerlerden %50 daha fazla verimliliği ekonomik bir şekilde elde etmiştir. Duvar ve döşeme kesitleri için yapılan geçirgenlik ölçümleri sonucu ortaya çıkan %55 - %45 arası değerlerin ortalamasıdır [36].



Şekil 4.24 : Çatı ve cephelerin yalıtılması [36]

4.2.2 Taşıyıcı Sistem

35.Sokak, hafif çelik yapı sistemi ile yüksek deprem performansı sağlayan 555 adet nitelikli konutu tamamı 1.derece deprem bölgesi olan İzmir’de ortaya çıkarmaktadır. Aynı büyüklükte bir deprem sırasında konutlara yaklaşık 36.000 ton daha az kat kesme kuvveti etki edecektir. Hafif çelik sistem ile dört kat yüksekliğinde yapı yapılabilmıştır [36].



Şekil 4.25 : Hafif çelik sistem görünüşü [36]



Şekil 4.26 : Hafif çelik sistem ve betonarmenin bir arada kullanılması [36]

35.Sokak, az bir kısmında taşıyıcı niteliği zayıf olan arazide proje konseptinde değişikliğe gerek duyulmaksızın aynı temel sistemi ile devamlılık sağlayabilmektedir. Üst yapı yaklaşık 13 kat daha hafiftir.

Çizelge 4.5 : 35. Cadde'nin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi

BİNA VE HAFİF SİSTEM VERİLERİ			35. CADDE
Yapım Sistemi	İskelet Sistem		■
	Panel Sistem		
	Hücre Sistem		
Ek Sistemler	Betonarme		■
	Çelik		
	Kagir		
	Ahşap		
Kat Sayısı	Bir		
	İki		■
	Üç		
	Dört		■
	Beş		
	Altı		
Fonksiyon	Ev - villa		
	Apartman		■
	Toplu konut		■
	Yurt - otel		
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği		
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		1-2 yıl	■
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		3-6 ay	
		1-2 yıl	
		3 yıl	■
Bölge	Yurt İçi		■
	Yurt dışı		

4.2.3 Enerji Tüketimi

Su kaynaklarının hızlı kirlenmesi ve tükenmekte, buna ek olarak evsel kullanımların ciddi oranda artmaktadır. Projede uygulanan gri su sistemi ile evsel kullanımdaki lavabo ve duş suları, rezervuar ve bahçe sulamalarında kullanılacaktır. Yaklaşık %50 oranında su tasarrufu elde edilecektir. Bir yılda yaklaşık 64.300 m³ su (yaklaşık 26 adet olimpik havuz) tekrar kullanılabilir [36].



Şekil 4.27 : Tasarruf edilen sudan tekrar kullanımı sağlanan proje havuzu [37]

Sorumlu kaynaklardan malzeme temini ve sürdürülebilir inşaat üretimi için projenin hafif çelik sistem üreticisinin sahip olduğu ISO 14001 belgesi ile aynı belgeye sahip ana madde tedarikçisi ile çalışarak tedarik zincirinden üretim sonrasına kadar programlı ve sistemli bir malzeme üretimi elde etmiştir [36].

Karbon emisyonunun evsel kullanımlardan azaltılması ve Kyoto protokolünün getirdiği ulusal yükümlülöklere hazırlıklı olunması için 35. Sokak evlerinde havadan suya ısı pompası kullanılacaktır. Yüksek verimli ısı pompası ile yılda 272.000 kg daha az karbon salımı gerçekleşecektir. Ayrıca sosyal tesis ve ortak alanların elektriğı güneş panelleri ile elde edilecektir. Yaklaşık 350 kW'lık kurulu güç ile Türkiye'nin sayılı ticari olmayan yenilenebilir enerji üretimi sağlanacaktır [36].



Şekil 4.28 : Teknik donanım [36]

4.2.4 Sürdürülebilirlik Faydaları

Hafif çelik yüksek hacimli ve zor topografik koşullarda hızlı inşaat üretimi sağlamıştır. 35.Sokak, tüm iklim, ortam ve coğrafi koşula bakılmaksızın geleneksel yöntemlerden daha hızlı ilerlemiştir.



Şekil 4.29 : Zor olan topografik arazi ve proje [36]

Tüm konutlarda aynı inşaat kalitesinin bütçeyi arttırmaksızın tutturabilmesi, hafif çelik yapı sistemi sayesinde bilgisayar kontrollü üretim ve saha uygulamalarındaki

kontrol kolaylığı ve pratikliği ile inşaatın genel vasfına bakılmaksızın, bütçeye ek yük getirmeden aynı imalat kalitesini yakalayabilmektedir.

Proje yönetiminde maliyet ve süreç öngörülerinin yüksek hacimli işlerde doğru kalibre edilmesi gerekir. Çelik tasarımı milimetre seviyesinde olduğu için kapı ve pencere gibi donanımlar önceden sipariş edilmektedir. Taşıyıcı sistem malzemesi tek tip olduğundan maliyetin kontrolü kolaydır. İş gücü düzenlenerek proje süresi rahatlıkla optimize edilebilmektedir

Büyük bir kısmı aktif deprem bölgesi olan ülkemizde depreme tam dayanım gösterebilecek nitelikli ve hızlı konut üretimi için alternatif yöntem olarak yer almaktadır.

Brüt alana göre düzenlenen imar sisteminde net yaşam alanlarını arttırılabilmesi özellikle arazi değeri yüksek lokasyonlarda çok önem taşımaktadır.

35.Sokak hafif çelik yapı sisteminin sağladığı kolonsuz-kirişsiz taşıyıcı sistem ve betonarmeye göre daha ince duvar kesitleri ile %6'ya varan net alan artışı sağlamıştır. Projede toplamda yaklaşık 3.700 m² net kullanım alanı elde edilmiştir [36].

Geleneksel sistemde yapının çok büyük bir kısmı gelecekte yıkılması ve taşınması sorun olacak malzemelerden oluşmaktadır. 35.Sokak, hafif çelik yapı sistemi ile inşa edildiği için yapının çok büyük bir kısmı %90 oranında geri dönüştürülebilmektedir. Proje ekonomik ömrünü tamamlayıp yıkılması gerektiğinde yaklaşık 3.300 ton çelik geri dönüştürülebilecektir [36].

Yeşil bina değerlendirme ve sertifika süreçlerinin özellikle konut alanında ülkemizde çok az gündeme gelmesi ve uygulanmaması ve bilinç oluşturulmasındaki zorluklarla karşılaşmıştır. 35.Sokak, BREEAM yeşil bina değerlendirme ve sertifikalandırma sistemine Türkiye'den başvuran ilk konut projesi olmuştur.

Akşan Yapı'nın İzmir'de 555 konutluk 35.Sokak projesi “VERY GOOD-ÇOK İYİ” seviyesinde “Breeam Sertifikası” almaya hak kazanarak, yeşil konut örneği olmuştur [36].

Çizelge 4.6 : 35 Cadde'nin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi

(Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		35. CADDE
Dayanıklılık	Deprem Dayanımı	■
	Rüzgar Dayanımı	■
	Yangın Dayanımı	■
	Korozyon Dayanımı	■
Enerji	Üretimde enerji tasarrufu	■
	Kullanım	■
	Isı yalıtımı	■
	Nakliyat	■
	Su tasarrufu	■
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■
	Geri Dönüşüm	■
	Atık Kontrolü	■
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■
	Araziye uyum	■
Zaman	Hız	■
	İklim	■
	Kısa Şantiye Süresi	—
Maliyet	Malzeme kazanımı	■
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■
	Uzun Vadeli Ekonomi	■
Tasarım	Alan Kazanımı	■
	Bütünsel tasarım	■
	Büyük Açıklık	—
Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	Leed	—
	Breeam	■
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	■
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	■
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	■

4.3 Terrace Life

Proje; yatırımcı AKYE A.Ş, Müteahhit Akşan Etüd Müşavirlik Mühendislik tarafından Göcek Limanına bakan eğimli bir arazinin üzerine hafif çelik yapım sisteminde yapılmıştır. Muğla Göcek’te yer alan projenin mimarı Suat Selvi, DGSA ve yapı alanı 12.800 m2’dir [38].

Proje 100 konuttan oluşmaktadır. 5 farklı tipte yer almaktadır. Konutların 48 tanesi apartman tipi, 52 tanesi de villa tipindedir.

Projenin mimarı Suat Selvi şöyle demektedir:

“Saf heyecan: Terrace Life’ın mimari sürecinin her aşamasında tasarım ekibimizin duygularını en iyi yolu bu olsa gerek. Biz bu projeye, Türkiye’nin en özel noktalarından biri olan Göcek ile dost olacak, onunla var olacak bir yaşam alanı gözüyle baktık. Yapıları, çevreyi ve sosyal alanları planlarken modern yaşamın tüm gereklerini eksiksiz karşılamayı ancak doğa ile barışık kalmayı, onu küstürmemeyi amaçladık. Böylesine büyük bir projeyi mevcut bitki örtüsüne zarar vermeden hayata geçirmiş olmamız Terrace Life’ın işte bu yönünü tarif ediyor. Söylendiği gibi, Terrace Life’da yeniden başlamasını, buraya gelen her insanın aynı duyguyla buluşmasını isterim.” [38].

4.3.2 Tasarım

Göcek’te yer alan projede limana bakan eğimli bir arsaya inşa edilen konut birimleri parça kotlara oturtulmuştur. Ağaçlarla beraber konutlar yer almaktadır.



Şekil 4.30 : Ağaçlarla beraber konumlanma [38]



Şekil 4.31 : Vaziyet planı [36]

100 konuttan oluşan projede 5 farklı tip yer almaktadır.

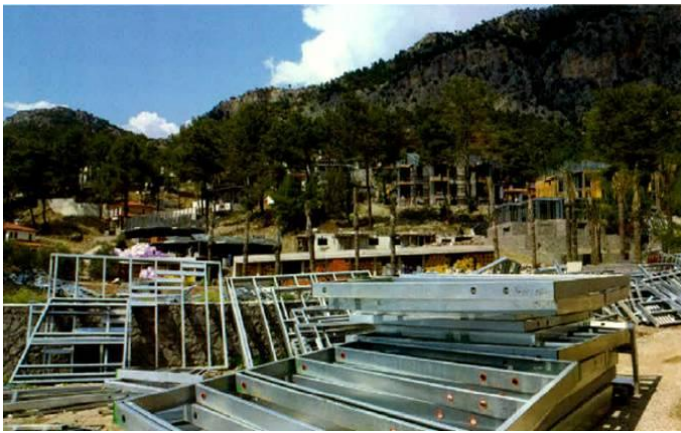
Çizelge 4.7 : Konut tipleri [36]

TİP	ALAN	GÖRÜNÜŞ
Willow Villas Tipi	127 m ²	
Olive Villas Tipi	127 m ²	
Sweet Gum Villas Tipi	154 m ²	
Red Pine Villas Tipi	120 m ²	
Palm Apartmens Tipi	120 m ²	

4.3.3 Taşıyıcı Sistem

Bodrum betonarme, diğer katlar hafif çelik karkaslı yapı sistemidir.

Duvarlar: Taşıyıcı dış duvarlar ve bazı taşıyıcı iç duvarlar 15,4 cm'lik duvar olarak öngörölmüş, diğer duvarlar ise genellikle 10,3 cm düşünölmüştür. Bu karkasın her iki tarafına 11 mm OSB, iç duvarlara alçıpan kaplanmış ve dış cephelere mantolama yapılmıştır. Taşıyıcı duvarlarda pencere ve kapılar için bırakılan boşlukların 300 cm'yi, oda uzunlukları 800 cm'yi geçmeyecek şekilde planlanmıştır. Kat yükseklikleri 300 cm olarak planlanmıştır [38].



Şekil 4.32 : Duvar kurulumu [38]

Döşemeler: İçinde tesisatın işlenebildiği 25,4 cm kalınlıkta C tipi kirişlerle yapılmıştır. Döşeme açıklıkları planlanırken en çok 700 cm açıklığın geçilebileceği kabul edilmiştir. Açık ve kapalı çıkma yapabilmek için döşemeler 150 cm'yi geçmeyecek şekilde konsol çalıştırılmıştır. Ancak köşelerden her iki yönde çıkma yapılamayacağı veya bir yönde köşeden en az konsol boyu kadar uzaklaşarak yapılabileceği göz önüne alınmıştır [38].

Çatılar: Sıcak çatılar (çatı altı kullanılan) ve soğuk çatılar (çatı arası kullanılmayan) olarak oturtma çatı şeklinde ve makaslar arası aşık ve merteklerle yapılmıştır. Statik ve mimari detay çözümlerindeki güçlüklerinin ve maliyetlerinin fazla olmasına rağmen güvercinlikler çatı arası katlarda kullanılmıştır. Makaslarla taşınan aşık ve merteklerle yapılan çatılarda tavan, makas alt kotunda alçıpan asma tavan yapılarak bitirilebilmektedir [38].



Şekil 4.33 : Doğa ile beraber hafif çelik sistem [38]

Merdivenler: Genel olarak orta duvara taşıtılarak kovasız U tipi sahanlıksız tasarlanmıştır. Yelpaze basamaklarda dengelemeyi de göz önüne alarak en dar yeri en az 10 cm tasarlanmıştır [38].

Bacalar: Binalardaki şömine için iç ölçüsü minimum 35x35 cm lik bacalar yapılmıştır. Bu bacalar şömine için üst katı döşeme alt hizasından, kazan ve sobalar için ise kendi döşemesinden itibaren yapılmaktadır. Bu boşluğun içine de ayrıca standartlara uygun çift cidarlı çelik baca konmuştur. Baca şapkaları ise çelikten yapılmıştır [38].

Deprem yükü olarak 1. derece deprem bölgesine göre hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 4.8 : Terrace Life'nin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi

BİNA VE HAFİF ÇELİK SİSTEM VERİLERİ			TERRACE LIFE
Yapım Sistemi	İskelet Sistem		■
	Panel Sistem		
	Hücre Sistem		
Ek Sistemler	Betonarme		■
	Çelik		
	Kagir		
	Ahşap		
Kat Sayısı	Bir		
	İki		■
	Üç		■
	Dört		■
	Beş		
	Altı		
Fonksiyon	Ev - villa		■
	Apartman		
	Toplu konut		■
	Yurt - otel		
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği		
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	■
		1-2 yıl	
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		3-6 ay	
		1-2 yıl	■
		3 yıl	
Bölge	Yurt İçi		■
	Yurt dışı		

4.3.4 Sürdürülebilirlik Faydaları

Projede kullanılan hafif sistem ile; deprem ve rüzgarda binaya gelen yanal, dinamik yükler ağır kütleleri çok daha kuvvetli etkilemekte olup, hafif olan bu sistemi çok az etkilemekte olup, esnek olan hafif çelik profiller darbeleri absorbe edebilmektedir. Deprem güvenliğini sağlamaktadır.

Fabrikada üretilmiş modüller ile daha az zahiyat ve doğru koordinasyon ile belli bir hız getirerek hem enerji hem zaman tasarrufu sağlamıştır.

Isı ve nem korunumlu içerik ile çevre ile bütün olarak sağlık ve konfor sağlamaktadır.



Şekil 4.34 : Sağlık ve konfor [36]

Bu proje 2005 yılı ve sonrasında hafif çelik teknolojilerinin anlaşılmasına ve tanıtılmasına olanak sağlamıştır. Modern dünyanın vazgeçilmez malzemesi çelik geri dönüşümlü bir malzemedir. Kullanım ömrü bittiğinde sökülüp başka bir alan taşınabilmekte ya da geri dönüştürülerek geri dönüşümlü içerik içeren çeliklerde yeni bir yapı yapımında tekrar kullanılabilir. Doğaya kirlilik bırakmadan, doğadaki döngüsünü devam ettirmiş olacaktır.

Eğimli bir arazide konumlanma rahatlığı ve çevreye en az müdahale ile yapılabilmektedir.

‘Kuru’ sistem olan yapı sistemi ile su tasarrufu ve doğal alanda şantiye pisliği bırakmadan montajı yapılabilmektedir.



Şekil 4.35 : Eğimli arazide konumlanma ve ‘kuru’ sistem ile çevre koruması [38]

Ağacın yapının terasının içinden geçebilmesini (doğaya saygılı bakış açısı sonucu) sistem sağlayabilmekte ve yapı ağaçla beraber yükselebilmektedir.



Şekil 4.36 : Ağaç ve yapı [36]

Sonuç olarak bu proje iki yönden yarar sağlayan bir proje olarak inceleyebiliriz: Birincisi çevre bilinci, teknoloji ve estetik gereksinimleri karşılayabilecek hafif çelik yapıların tanıtımı ve yaygınlaştırılması açısından büyük yarar sağlarken, ikincisi hafif çelik yapım sistemi için oluşturulmuş olan sürdürülebilirlik kontrol tablosundaki stratejileri sağlamaktadır.

Çizelge 4.9 : Terrace Life'nin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi

(Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		TERRACE LIFE
Dayanıklılık	Deprem Dayanımı	■
	Rüzgar Dayanımı	■
	Yangın Dayanımı	■
	Korozyon Dayanımı	■
Enerji	Üretimde enerji tasarrufu	■
	Kullanım	■
	Isı yalıtımı	■
	Nakliyat	■
	Su tasarrufu	■
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■
	Geri Dönüşüm	■
	Atık Kontrolü	■
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■
	Araziye uyum	■
Zaman	Hız	■
	İklim	■
	Kısa Şantiye Süresi	—
Maliyet	Malzeme kazanımı	■
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■
	Uzun Vadeli Ekonomi	■
Tasarım	Alan Kazanımı	■
	Bütünsel tasarım	■
	Büyük Açıklık	—
Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	Leed	—
	Breeam	—
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	—
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	—
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	—

4.4 Dinslaken’ de Eski Eser Evin Güçlendirilmesi

Projenin yeri Almanya Dinslaken, kapalı alanın hacmi 527 m³, mimarlık bürosu Husmann, inşaat süresi Mayıs- Eylül 2000 yılıdır [90].

Dinslaken ve çevresinde 17. yüzyıldan kalan kafes sistemli evlerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte koruma kurallarının dikkate alınması gerekiyordu ve bina sahibinin isteği üzerine geniş modern tavanlı bir çatı yapıldı. Yeni yapılan çalışmalar, eski evin statik özelliklerine genel bir artış getirmemektedir. Çelik kafes yapımında yeterli çözüm ve kolay yapı yöntemleri yer almaktadır. Kullanılan malzemenin ağırlığı sadece 4 ton civarında olmuştur. Kısacası çelik konstrüksiyon ile hem eski eser korunmuş, hem eski esere ilave büyük yükler bindirilmemiş ve eski yapının dışından görünür olmaması sağlanmıştır [39].

İnşaat sisteminin duvar, tavan ve çatı modülleri monte edilen filigran ve çok stabil galvanizli hafif çelik profildir. Bunun yanı sıra bu konstrüksiyon yüksek ölçü kalitesi ve stabilitesi açısından uygun bir kullanım sunmuştur. Modüller yeni bağlantı teknolojileri kullanımı altında yapılmış ve monte edilmiştir

Fabrikadaki yapı elemanlarının prefabrikasyonu ile tüm kaba yapı 14 gün içinde tamamlanmıştır [39].

4.1.2 Tasarım

Eski eser yapının mevcut hali incelendi.

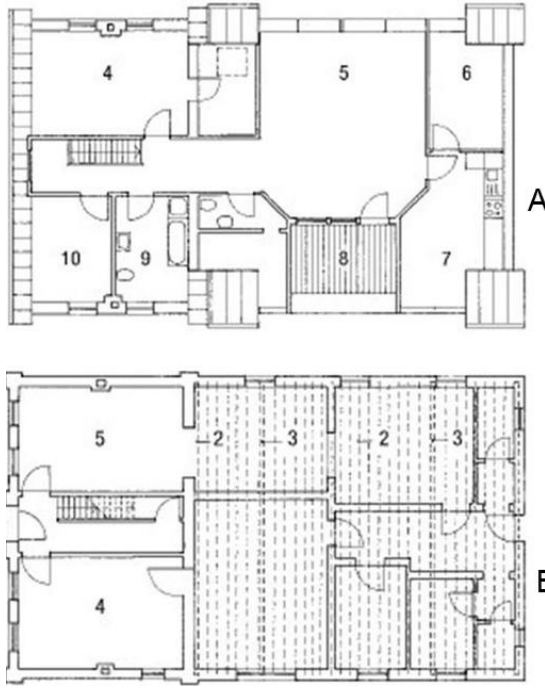


Şekil 4.37 : 17. Yüzyıldan kalan eski evin güçlendirme öncesi hali [39].



Şekil 4.38 : Çatısının sökülmesi/onarılması [39].

Sonrasında yapının güçlendirilmesi için önce projelendirildi. Projelendirme sırasında taşıyıcılık ve yalıtımlarla ilgili detaylar çözüldü. Projenin tamamlanmasından sonra hafif çelik ve malzeme imalatları yapıldı. Ön üretimli olan sistem sayesinde uygulama kısa sürede tamamlandı.



Kat planı (A) -

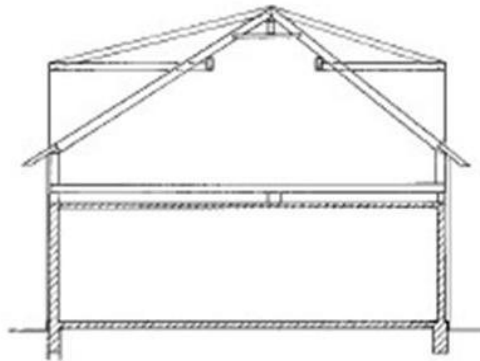
Tavan kirişleri ile Zemin Kat planı (B)

- 1 Giriş
- 2 Hafif çelik profil C 200
- 3 Çelik Profil HEB 200
- 4 Yatak Odası
- 5 Salon
- 6 Çalışma odası
- 7 Mutfak
- 8 Avlu
- 9 Banyo
- 10 Çocuk Odası

Şekil 4.39 : Kat planları ve çatı kirişleri [39]



Şekil 4.40 : Yapı görüşü [39]



Şekil 4.41 : Çatı ve düzenleme kesiti (A görünüşünün solu, B görünüşünün sağındaki alanın) [39]



Şekil 4.42 : Solda kagir duvarları görünen yapının yenilenmiş üst sağ bölümü ve güçlendirilmiş çatısı [39]



Şekil 4.43 : Son hali [39]

4.1.3 Taşıyıcı Sistem

İnşaat sisteminin duvar, tavan ve çatı modülleri monte edilen filigran ve çok stabil galvanizli hafif çelik profildir. Bunun yanı sıra bu konstrüksiyon yüksek ölçü kalitesi ve stabilitesi açısından uygun bir kullanım sunmuştur. Modüller yeni bağlantı teknolojileri kullanımı altında yapılmış ve monte edilmiştir

Fabrikadaki yapı elemanlarının prefabrikasyonu ile tüm kaba yapı 14 gün içinde tamamlanmıştır [39].

Çatı zemin katta ahşap kirişler aşağı kaldırıldı.

Yalıtımlı cephede, çelik destekler arası 150 mm yalıtım ve önünde 80 mm dışında klinker yalıtımı mevcuttur. Eski görünümüne tekrar dönebilmesi için eski ahşapları cephesinde tekrar kullanılmıştır [39].

Çatı yalıtımı 200 mm mineral yün kirişleri arasında bulunmaktadır. Dış tarafında güçlendirilmiş 40 mm kalınlığında PU köpük plakalar kullanılmıştır [39].



Şekil 4.44 : Yapıda kagir duvardan hafif çelik sisteme geçiş ve son hali [31]

Çatı kaplaması çift taraf kaplamalı çelik saçlı sağlam profiller ile yapılmıştır, çok düşük ağırlığına rağmen kendine özel eki sayesinde şiddetli fırtınalara karşı dayanabilir.

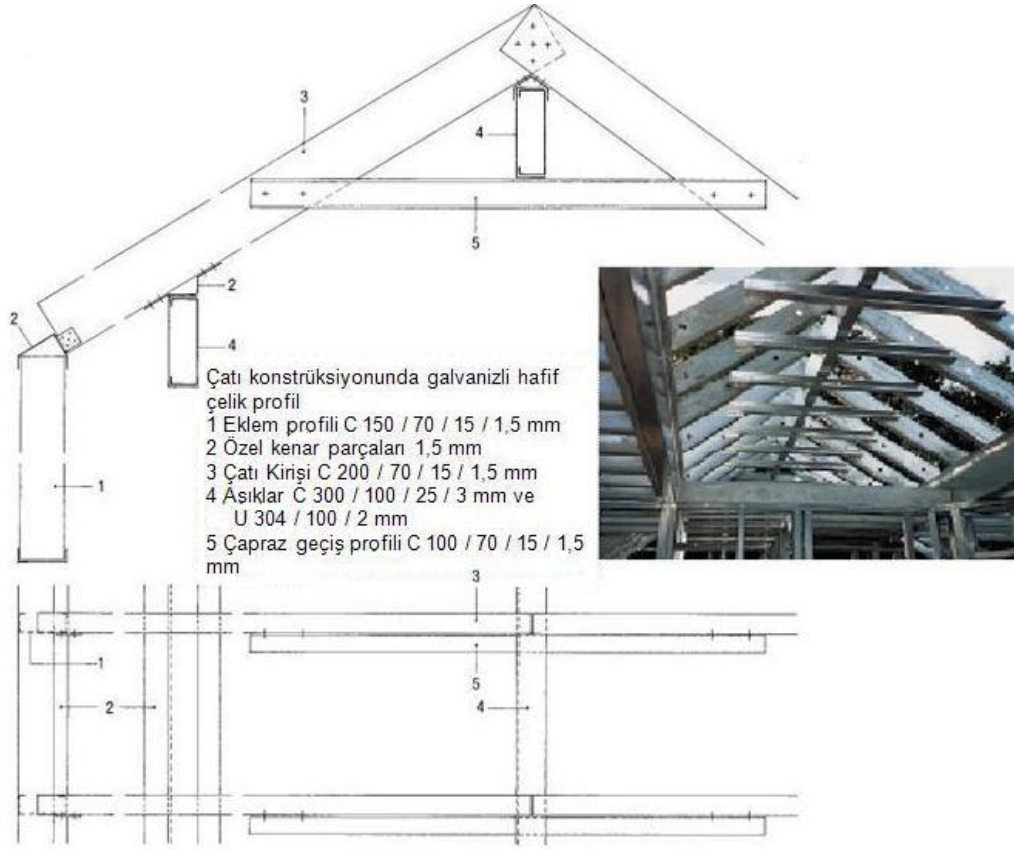


Şekil 4.45 : Tavan konstrüksiyonunda sıcak işlenmiş ve soğuk şekillendirilmiş (hafif) çelik profil kullanımı [39]

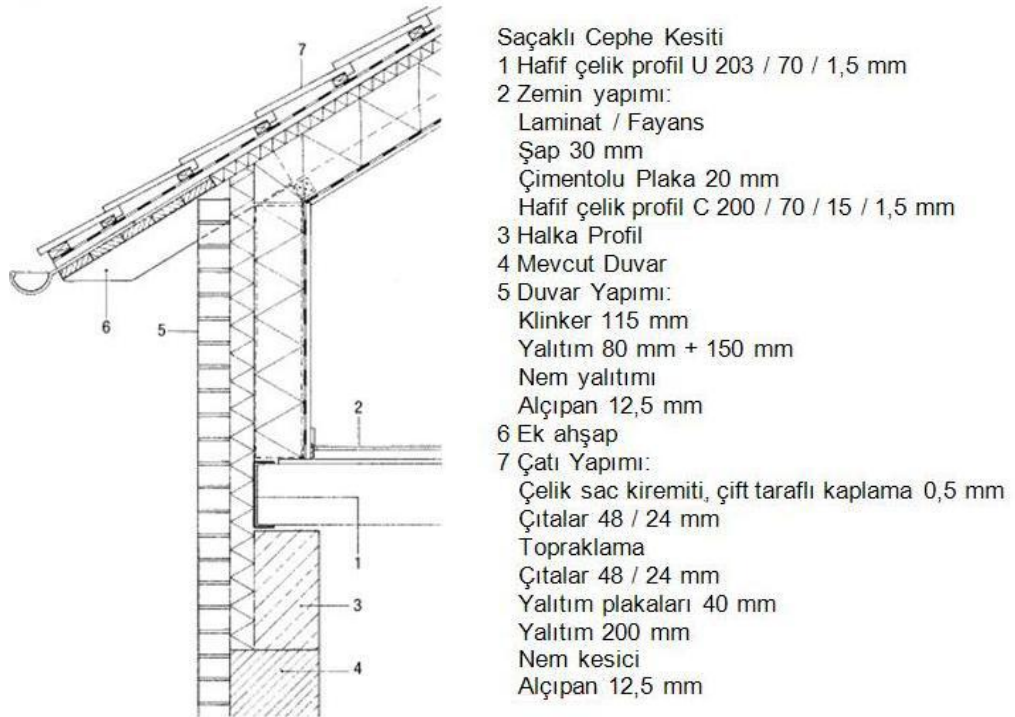
İnşaat süresi Mayıs - Eylül 2000 yılı olan projenin kaba inşaatı 14 gün içerisinde tamamlanmıştır.



Şekil 4.46 : İki hafta içerisinde tamamlanana kaba inşaatı [39]



Şekil 4.47 : Çatı sistemi [39]



Şekil 4.48 : Saçaklı cephe kesiti [39]

İç kısımda tüm odalar alçıpan ile kaplanmıştır. Yeni zemin ise ses yalıtımı, yangın yalıtımı ve iyi bir nem yalıtımına karşı çimentolu plaka ile kaplanmıştır. Isıtma sistemi düşük enerjili ev standardına uygun yapılarak modern yangın tekniğine uygun gazlı ısıtma ile sağlanmaktadır. Tüm tesisat eski esere zarar vermeden çelik profiller arasında rahatlıkla yerleştirilmiştir [39].



Şekil 4.49 : Çelik profiller arasına yerleştirilmiş tesisat [39]

Çizelge 4.10 : Dinslaken’de eski eser evin güçlendirilmesinin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi

BİNA VE HAFİF ÇELİK SİSTEM VERİLERİ			DINSLAKEN’DE ESKİ ESER EVİN GÜÇLENDİRİLMESİ
Yapım Sistemi	İskelet Sistem		■
	Panel Sistem		
	Hücre Sistem		
Ek Sistemler	Betonarme		
	Çelik		
	Kagir		■
	Ahşap		
Kat Sayısı	Bir		■
	İki		■
	Üç		
	Dört		
	Beş		
	Altı		
Fonksiyon	Ev - villa		■
	Apartman		
	Toplu konut		
	Yurt - otel		
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği		■
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	■
		1-2 yıl	
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	■
		1-3 ay	
		3-6 ay	
		1-2 yıl	
		3 yıl	
Bölge	Yurt İçi		
	Yurt dışı		■

4.1.4 Sürdürülebilirlik Faydaları

Yeni yapılan çalışmalar, eski evin statik özelliklerine genel bir artış getirmemektedir. Çelik kafes yapımında yeterli çözüm ve kolay yapı yöntemleri yer almaktadır. Kullanılan malzemenin ağırlığı sadece 4 ton civarında olmuştur. Kısacası çelik konstrüksiyon ile hem eski eser korunmuş, hem eski esere ilave büyük yükler bindirilmemiş ve eski yapının dışından görünür olmaması sağlanmıştır.

İnşaat sisteminin duvar, tavan ve çatı modülleri monte edilen filigran ve çok stabil galvanizli hafif çelik profildir. Bunun yanı sıra bu konstrüksiyon yüksek ölçü kalitesi ve stabilitesi açısından uygun bir kullanım sunmuştur. Modüller yeni bağlantı teknolojileri kullanımı altında yapılmış ve monte edilmiştir

Fabrikadaki yapı elemanlarının prefabrikasyonu ile tüm kaba yapı 14 gün içinde tamamlanmıştır.



Şekil 4.50 : Yaşam alanı [39]

Çelik yapı elemanları ile %5 e kadar daha fazla yaşam alanı elde edilmektedir.

İç kısımda tüm odalar alçıpan ile kaplanmıştır. Yeni zemin ise ses yalıtımı, yangın yalıtımı ve iyi bir nem yalıtımına karşı çimentolu plaka ile kaplanmıştır. Isıtma sistemi düşük enerjili ev standardına uygun yapılarak modern yangın tekniğine uygun gazlı ısıtma ile sağlanmaktadır. Konforlu ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Sonuç olarak; 17 yüzyıldan kalan eski eseri günümüzde güçlendirilerek yaşamına devam ettirilecek, üstüne ek büyük yükler bindirilmeyecek, hafif sistem olmasına rağmen şiddetli fırtınalara da dayanım gösterecek detayları çözülmüş olacak, sistem inceliğinden iç mekan net alanı daha fazla kalacak, ses, yangın ve ısı yalıtımlı sistem ile enerji tasarrufu sağlayacak, doğal çevrede minimum sürede şantiye ortamı yaratacak (kaba inşaatı 14 günde tamamlanacak), ‘kuru’ inşaat olacak şekilde yapının geleceğe sürdürülebilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 4.11 : Dinslaken’de eski eser evin güçlendirilmesinin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi (Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		DINSLAKEN’DE ESKİ ESER EVİN GÜÇLENDİRMESİ
Dayanıklılık	Deprem Dayanımı	■
	Rüzgar Dayanımı	■
	Yangın Dayanımı	■
	Korozyon Dayanımı	■
Enerji	Üretimde enerji tasarrufu	■
	Kullanım	■
	Isı yalıtımı	■
	Nakliyat	■
	Su tasarrufu	■
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■
	Geri Dönüşüm	■
	Atık Kontrolü	■
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■
	Araziye uyum	-Değerlendirilmedi-
Zaman	Hız	■
	İklim	■
	Kısa Şantiye Süresi	■
Maliyet	Malzeme kazanımı	■
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■
	Uzun Vadeli Ekonomi	■
Tasarım	Alan Kazanımı	■
	Bütünsel tasarım	■
	Büyük açıklık	—
Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	Leed	—
	Breeam	—
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	—
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	—
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	—

4.5 Finlandiya’da Apartman, Rautaruukki Oyj

Rautaruukki Şirketi (Fince: Rautaruukki Oyj, pazarlama adı Ruukki kullanarak) inşaat sektörüne ve mühendislik hizmetine metal bazlı sistemleri tedarik eden, Helsinki’de merkezi olan bir Fin şirketidir. Çelik kaynağı sağlamak için Finlandiya Hükümeti tarafından 1960 yılında kurulmuştur. Şirket İskandinav ülkeleri, Baltık Ülkeleri, Çin, Rusya, Ukrayna ve Orta Doğu Avrupa ülkelerinden 11,800 civarında kişi istihdam etmektedir. Bu başlıkta Finlandiya da yapılmış olan bir apartman projesi örneği incelenecektir [40].

4.5.2 Taşıyıcı Sistem

Hafif çelik sistemlerde panel yapım sistemi ile yapılmış olan yapının duvar panelleri fabrikada imal edilmiştir.



Şekil 4.51 : Hazır duvar panel üretimi ve hafif çelik profilde balistik tırnaklı çivi, Rautaruukki Oyj, Finlandiya) [5]

Fabrikada imal edilen hazır paneller şantiyeye getirilip vinç yardımı ile montajlanmaktadır.



Şekil 4.52 : Hazır duvar panel montajı [5]

Planlamada malzeme seçiminin yanı sıra bağlantı türlerinin, montaj kolaylığının ve sahadaki kullanım alanının göz önünde bulundurulması gerekir.

Fabrikadaki imalat miktarı şantiyedeki imalat süreci ile bağlantılı olmalıdır. Bu nedenle fabrikadaki üretim 4 ile 8 hafta önceden başlamıştır. Yine bu sebepten projede oluşabilecek revizyonların imalat başlamadan ön görülmesi gerekmektedir. Kolay, hızlı ve zamanın getirdiği ekonomiyi, geç revize edilen proje daha zor ve maliyetli hale getirecektir [5].

Fabrikada hafif çelik duvar saç paneli ve bağlantı yerleri hazırlanan panellerin sahaya getirilmesiyle montaj tamamlanmaktadır.

Sahaya getirilmiş olan paneller birbirine montajları yapıldıktan sonra kontrol elemanı tarafından kontrolü yapılmakta ve bir sonraki bağlantıya devam edilerek uygulama ilerlemektedir.

İmal ve tedarik edilen elemanlarla yapılan kaba inşaatın montajı hızlı gerçekleşmektedir. Kaba inşaatı 3-4 gün içerisinde tamamlanmıştır [5]

Çizelge 4.12 : Finlandiya’da apartmanın bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi

BİNA VE HAFİF ÇELİK SİSTEM VERİLERİ			FİNLANDİYA’DA APARTMAN
Yapım Sistemi	İskelet Sistem		
	Panel Sistem		■
	Hücre Sistem		
Ek Sistemler	Betonarme		■
	Çelik		
	Kagir		
	Ahşap		
Kat Sayısı	Bir		
	İki		
	Üç		
	Dört		■
	Beş		
	Altı		
Fonksiyon	Ev - villa		
	Apartman		■
	Toplu konut		
	Yurt - otel		
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği		
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	■
		1-2 yıl	
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta	■
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		3-6 ay	
		1-2 yıl	
		3 yıl	
Bölge	Yurt İçi		
	Yurt dışı		■

4.5.3 Sürdürülebilirlik Faydaları

Hafif çelik sistemlerde panel yapım sistemi ile yapılmış olan yapının duvar panelleri fabrikada imal edildiğinden kontrollü, az malzeme zahiyatlı, şantiye gürültüsü tozu ve kirliliği yaratmadan, çok hızlı (3-4 gün), zaman tasarruflu, çok kısa zamanda tamamlanmasının getirdiği maliyet ve enerji tasarrufu, fabrikada üretilen duvar panellerin içinde iklime göre tasarlanmış olan ısı, nem yalıtımlarının da getirdiği enerji kazancı, işçilik tasarrufu (hem zaman olarak hem sayı olarak), ‘kuru’ inşaat ile atıksız olarak tamamlanmıştır.

Çizelge 4.13 : Finlandiya’da apartmanın sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi

(Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		FİNLANDİYA’DA APARTMAN
Dayanıklılık	Deprem Dayanımı	■
	Rüzgar Dayanımı	■
	Yangın Dayanımı	■
	Korozyon Dayanımı	■
Enerji	Üretimde enerji tasarrufu	■
	Kullanım	■
	Isı yalıtımı	■
	Nakliyat	■
	Su tasarrufu	■
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■
	Geri Dönüşüm	■
	Atık Kontrolü	■
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■
	Araziye uyum	■
Zaman	Hız	■
	İklim	■
	Kısa Şantiye Süresi	■
Maliyet	Malzeme kazanımı	■
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■
	Uzun Vadeli Ekonomi	■
Tasarım	Alan Kazanımı	■
	Bütünsel tasarım	■
	Büyük Açıklık	—
Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	Leed	—
	Breeam	—
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	—
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	—
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	—

4.6 Kista'da Öğrenci Yurdu (Daireleri)

İsveç (Kista, Stockholm)'te yer alan mevcut binalara yeni konut önerisi olarak yapılmış olan öğrenci apartları (daireleri) projesi incelenecektir. Hafif çelik sistemlerde hücre yapım sistemi ile yapılan yapıda tek katlı (hücre) daireler, bir araya gelmeleriyle oluşmuş çok katlı yapıdan oluşmaktadır. İsveç hükümeti Malmö bölgesinde uygun bir fiyata 1.200 daire inşa etmeye karar vermesiyle için bu sistem geliştirildi. Heyecan verici yapım sonucunda ortaya çıkan yapı, prefabrik çelik modüllerden yapılmış olmasına rağmen, dış görünüşünde diğer yapılardan bir farkı yoktur [15].

4.6.2 Taşıyıcı Sistem

Hafif çelik sistemlerde hücre yapım sistemi ile yapılmıştır. Fabrikada; hafif çelik profilleri üretilmiş, duvar, çatı, zemin kaplamaları (giydirmeleri) yapılmış, içinde yalıtım ve tesisatı çözülmüş halde hücreler oluşturulmuştur.



Şekil 4.53 : Hazır duvar panel montajı [15]

Hücreler şantiye alanına getirilerek vinç yardımıyla alanına taşınmıştır (Şekil 4.54).



Şekil 4.54 : Hücrelerin inşaat alanına getirilmesi [15]

Fabrikada prefabrike olarak hazırlanmış, "Açık Ev (Open House)" sisteminin modülleri sahada tek tek kurulur. Sistem üretilen modüllerin yangın dayanımını arttırmak için hazırlanan özel ısı yalıtım sistemi ve ek çelik bağlayıcı elemanlar sayesinde 6 kata kadar yapı yapılmasına imkan vermiştir. Günlük ortalama sekiz ile on hazır modüller yerinde monte edilmiştir [15].



Şekil 4.55 : Fabrikada prefabrike olarak hazırlanmış, modüllerin sahada tek tek kurulması [15]

Prefabrik çelik modüllerden yapılmış olmasına rağmen, dış görünüşünde diğer yapılardan bir farkı yoktur (Şekil 4.56).



Şekil 4.56 : Hafif çelik hücrelerden oluşmuş öğrenci daireleri [15]

Çizelge 4.14 : Kista’da öğrenci yurdunun bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi

BİNA VE HAFİF ÇELİK SİSTEM VERİLERİ			KİSTA’DA ÖĞRENCİ YURDU - DAİRELERİ
Yapım Sistemi	İskelet Sistem		
	Panel Sistem		
	Hücre Sistem		■
Ek Sistemler	Betonarme		■
	Çelik		
	Kagir		
	Ahşap		
Kat Sayısı	Bir		
	İki		
	Üç		
	Dört		
	Beş		
	Altı		■
Fonksiyon	Ev - villa		
	Apartman		
	Toplu konut		
	Yurt - otel		■
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği		
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		1-2 yıl	■
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta	
		0-1 ay	
		1-3 ay	
		3-6 ay	■
		1-2 yıl	
		3 yıl	
Bölge	Yurt İçi		
	Yurt dışı		■

4.6.3 Sürdürülebilirlik Faydaları

İsveç hükümeti’nin Malmö bölgesinde uygun bir fiyata 1.200 daire inşa etmeye karar vermesiyle yapılan bir projedir. Hafif çelik sistem sürdürülebilirlik kontrol tablosundaki (Tablo 5.2) koşulları sağlar. Hızlıdır. Günlük ortalama sekiz ile on hazır modüller yerinde monte edilmiştir. Zaman ve enerjiden tasarruf sağlar. Saha yerinde imalat yapılmadığından dolayı doğrudan iklime bağlı bir sistem değildir. Fabrikada; hafif çelik profilleri üretilmiş, duvar, çatı, zemin kaplamaları (giydirmeleri) yapılmış,

içinde yalıtım ve tesisatı çözülmüş halde şantiye alanına getirildiğinden çevre kirliliği ve atığı yoktur.

Çizelge 4.15 : Kista’da öğrenci yurdunun sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi

(Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		KİSTA’DA ÖĞRENCİ YURDU - DAİRELERİ
Dayanıklılık	Deprem Dayanımı	■
	Rüzgar Dayanımı	■
	Yangın Dayanımı	■
	Korozyon Dayanımı	■
Enerji	Üretimde enerji tasarrufu	■
	Kullanım	■
	Isı yalıtımı	■
	Nakliyat	■
	Su tasarrufu	■
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■
	Geri Dönüşüm	■
	Atık Kontrolü	■
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■
	Araziye uyum	■
Zaman	Hız	■
	İklim	■
	Kısa Şantiye Süresi	■
Maliyet	Malzeme kazanımı	■
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■
	Uzun Vadeli Ekonomi	■
Tasarım	Alan Kazanımı	■
	Bütünsel tasarım	■
	Büyük Açıklık	—
Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri	Leed	—
	Breeam	—
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	—
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	—
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	—

5. SONUÇ

Tüm dünyada giderek artan nüfus yoğunluğu, kaynak tüketimi ve çevre kirliliği gezegenimizin ekolojisini olumsuz yönde etkilemektedir. Doğal kaynakların önemli düzeyde azalması, insan neslini ve doğada yaşayan diğer canlıların geleceğini tehdit etmektedir. Bu açıdan bakıldığında sürdürülebilir mimarlığın gelecek nesiller için ne denli önemli ortaya çıkmaktadır.

Yapı malzemeleri sürdürülebilir mimari kapsamı içerisinde yerel malzemelerin, yenilenebilir kaynakların ve dönüşebilir malzemelerin kullanılması, yapı kullanıcılarının yaşayabileceği fiziksel koşulların oluşturulması, sürdürülebilir mimarinin temel koşullarıdır. Bunlara ek olarak mimarinin temel prensiplerinden olan doğal çevre ile uyumlu tasarımlar oluşturmada sürdürülebilir malzeme kullanımı etkin rol oynamaktadır. Sürdürülebilir yapımda, yapı malzemelerinin seçiminde çevreye-doğaya etkileri her açıdan değerlendirilmelidir. Yapı malzemesinin çevresel etkileri değerlendirilirken, malzemenin üretimi, yapımdaki kullanımı, ömrü ve imha edilebilirliği irdelenmelidir.

Yapı malzemesi olarak çeliğin binalarda kullanımı diğer malzemelerin kullanımları ile karşılaştırıldığında oldukça azdır. Bölgesel koşullara uygun bir yapı sistemi olması nedeni ile, sistem son on yıl içinde önemli ölçüde yaygınlaşma göstermiştir.

Yapılan bu çalışmada sürdürülebilirlik kavramları doğrultusunda hafif çelik yapı sistemleri yapı elemanları, bileşenleri ve malzeme özellikleri açısından uygulama örnekleri ile incelenmiştir. Tüm bu incelemeler sonucunda altı durum çalışması (örnekler) ile sistem ve bina verileri Çizelge 5.1’ de tablo haline getirilmiştir. Bu çizelge ile sistemin olumlu ve olumsuz bazı özellikleri ile genel saptamalar elde edilmiştir. Bunlar;

- Panel ve hücre sistem daha hızlı olmasına rağmen örneklerde daha çok iskelet sistem kullanılmıştır.
- Fonksiyon olarak daha çok konut yapılarında kullanılmaktadır. Birbirini tekrar eden fonksiyonların olduğu yurt, okul, otel yapıları için uygun sistemlerdir.

- Yapım süresinin diğer geleneksel sistemler ile karşılaştırıldığında daha kısa olduğu belirlenmiştir. Fabrikada üretim süreci ve şantiyedeki üretim süreçleri arasındaki ilişki, şantiyeye hazır elemanların getirilerek montajlarının yapılması ile yapım süresinin kısılması avantajları ortaya konmuştur. Bunlara bağlı olarak yapım sırasında tüketilecek enerji miktarı azalmaktadır.
- Geri dönüşümlü malzemeden üretilmiş olmaları
- Kuru yapımlı olduğu için yapım sırasında hava şartlarından etkilenilmemesi
- Sökülüp tekrar başka bir yerde kullanılabilme imkanı tanınması
- Fabrikada bitmiş ürünlerde ile gerçekleşmesi yapı kalitesini arttırmaktadır.

Olumsuz özellikleri ise;

- Mekansal boyutlar sınırlıdır. Konsol çıkma imkanı, köşelerde boşluk açılma sorunları bulunmaktadır.
- Kat sayısı maksimum 4 kattır. Deprem bölgelerinde 3 kat önerilmektedir.
- Kalifiye işçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda eğitim almayan işçilerin çalıştırılması uygun değildir. Montaj konusu hassasiyet gerektirmektedir. Herhangi bir küçük hata büyük sorunlara yol açabilir.

Çalışmanın 3. bölümünde hafif çelik yapım sisteminde sürdürülebilirlik kriterleri incelenmiştir.

4. bölümde hafif çelik yapım sistemi, belirlenen sürdürülebilirlik kriterleri ile altı durum çalışması ile irdelenmiş, mevcut durumu ve geliştirilme imkanları da açıklama başlığı olarak Çizelge 5.2’de tablo haline getirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sistemin olumlu ve olumsuz yanları ile birlikte sürdürülebilirlik kriterlerini ne ölçüde gerçekleştirebildiği ortaya konmuştur. Bunlar;

- Isı yalıtım özelliğine sahip konvansiyonel hafif çelik yapı, monolitik yapı sistemine kıyasla azaltılmış duvar kesiti ile 120 m² lik kullanım alanına sahip dairede %5-10 daha fazla alan kazandırmıştır.

- Taşıyıcı sistemde aranan temel kriterleri sağladığı ve dayanıklı bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır. Sünegliği ile esnekliğinin ahşaba oranla 21, betonarmeye oranla 10 kat fazladır. Uzama yeteneğiyle, homojen ve izotrop yapısıyla sağlamdır.
- Planlı ve prefabrikasyona dayalı bir sistem olduğundan enerji tüketimi başlığında da birçok avantaj sağlamıştır. Isıtmada dış duvar-döşeme-çatı başlıkları altında en iyi uygulama ile, Breeam Sürdürülebilir Evler İçin Kod (2006) Seviye 3 değerlendirme başlığındaki değerlerin altına inebilmektedir. Ayrıca hafif çelik profillerin arasındaki boşluk tamamen yalıtım malzemesi ile doldurularak ısı köprülerinin oluşumu önlenabilir ve daha yüksek ısı yalıtımı istenen dış duvarlarda “termal profil” kullanılabilir.
- Çevre koruma başlığında olumlu bir sonuca varılmıştır. İyi bir ses yalıtımı elde edilir (>60 dB ses azaltır). Yüksek ses yalıtımı için “akustik profiller” (gövde boşluklu, katlanmış profil gövdeli, oluklu profil başlıklı akustik profiller) kullanılabilir. Geri dönüşüm ve kuru inşaat özelliğine sahip olmakla birlikte; uygulamasında kalıp malzeme olmaması ve fabrikada üretim sırasında tesisat delikleri açıldığı için şantiye alanında kırma ve dökme olmadığından malzeme kaybını ve atığı önler.
- Hızlı ve zaman kazandıran bir sistemdir. Türkiye’de bir firma 1 haftada ana taşıyıcı sistem kurulumunu tamamlayarak 2 ayda imalatın tümünü tamamlamıştır.
- Uzun vadede ekonomik olduğu söylenebilir. Maliyetinin düşüşü, ülkemizde üretimi yaygınlaşması ile sağlanabilir.
- Yeşil bina değerlendirme sistemlerinden Breeam sertifika şartlarını sağlamıştır.
- Enerji sistemleri entegre edilebilen bir yapım sistemidir.

Sonuç olarak, Dünyada 1970’lerden beri yaygın kullanım alanı bulan, Türkiye’de özellikle 1999 Adapazarı depremi ile birlikte uygulama alanı artan hafif çelik yapım sisteminin gerek yapısal güvenilirliği gerekse enerji kullanımındaki tasarrufu ve diğer olumlu özellikleri nedeni ile daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

Çizelge 5.1 : Tüm örneklerin bina ve hafif çelik sistem verileri ile incelenmesi ve sonucu

BİNA VE HAFİF ÇELİK SİSTEM VERİLERİ			İNCELENEN ÖRNEKLER						SONUÇ
			STEELLİFE EKOLOJİK EV	35. CADDE	TERRACE LIFE	DINSLAKEN'DE ESKİ ESER EVİ GÜÇLENDİRME	FINLANDIYA'DA APARTMAN	KİSTA'DA ÖĞRENCİ YURDU	
Yapım Sistem	İskelet Sistem		■	■	■	■			Örneklerde iskelet sistem daha çok kullanılmıştır.
	Panel Sistem						■		
	Hücre Sistem							■	
Ek Sistemler	Yok								Özellikle temel sistemlerinde ek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.
	Betonarme			■	■		■	■	
	Çelik		■						
	Kagir					■			
	Ahşap								
Kat Sayısı	Bir		■			■			Kat yüksekliği sınırlıdır. Genellikle 1-4 kat aralığındadır.
	İki		■	■	■	■			
	Üç				■				
	Dört			■	■		■		
	Beş								
	Altı							■	
Fonksiyon	Ev - villa		■		■	■			Örneklerde de ev, apartman, toplu konut başlıkları ön plana çıkmıştır. Daha çok konut yapılarında kullanılmaktadır.
	Apartman						■		
	Toplu konut			■	■				
	Yurt - otel							■	
	Eski eser yapı sürdürülebilirliği					■			
	Ofis - ticaret								
Yapım Süresi	Fabrikada ön üretimin başlama süresi	0-1 hafta							Ön üretim süresi, enerji sistemleri ilave edilen yapılarda uzamıştır.
		0-1 ay							
		1-3 ay			■	■	■		
		1-2 yıl	■	■				■	
	Şantiye İmalat süresi	0-1 hafta					■		Prefabrikasyon arttıkça şantiyedeki süreç azalmaktadır.
		0-1 ay				■			
		1-3 ay	■						
		3-6 ay						■	
		1-2 yıl			■				
		3 yıl		■					
Bölge	Yurt İçi		■	■	■				Yurtiçi ve yurtdışında kullanılmaktadır.
	Yurt dışı					■	■	■	

Çizelge 5.2 : Tüm örneklerin sürdürülebilirlik kriterleri ile incelenmesi sonucu oluşturulan hafif çelik sistem sürdürülebilirlik kontrol listesi
(Var/Sağlıyor: ■ , Yok/Sağlamıyor: —)

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ		İNCELENEN ÖRNEKLER						YÜZDE	AÇIKLAMA
		STEEL LIFE EKOLOJİK EV	35. CADDE	TERRACE LIFE	DINSLAKEN'DE ESKİ ESER EVİ GÜÇLENDİRME	FINLANDIYA'DA APARTMAN	KİTA'DA ÖĞRENCİ YURDU		
Tasarım	Alan Kazanımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Isı yalıtım özelliğine sahip konvansiyonel hafif çelik yapı, monolitik yapı sistemine kıyasla azaltılmış duvar kesiti ile 120 m² lik kullanım alanına sahip dairede %5-10 daha fazla alan kazandırmaktadır.
	Bütünsel tasarım	■	■	■	■	■	■	%100	– Tasarımdan anahtar teslimine kadar bütünsel tasarım ilkelerini sağlamaktadır.
	Büyük Açıklık	—	—	—	—	—	—	%0	– Döşeme profil boyutu ve düzenlenme sıklığına bağlı olarak maksimum 12 metre açıklık (berkitme profili ile destekli, sürekli açıklıklı ve giriş aralığı 30 cm olması durumunda) geçilebilmektedir. – Ancak optimum değer olarak 7.2 m açıklık tavsiye edilmektedir. Geçilen mesafe sınırlıdır.
Taşıyıcı Sistemde Aranan Temel Kriterler	Deprem Dayanımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Deprem ülkesi olan Türkiye’de depreme iyi karşılık veren bir malzemedir. – Sünegliği ile esnekliğinin ahşaba oranla 21, betonarmeye oranla 10 kat fazladır. – Uzama yeteneğiyle, homojen ve izotrop yapısıyla sağlamdır.
	Rüzgar Dayanımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Yanal, dinamik yükler ağır kütleleri etkiler. – Hafif ve esnek olan hafif çelik sistem darbeleri absorbe edebilmektedir.
	Yangın Dayanımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Bina hesabına göre saç panellerin çeşit ve kalınlığı belirlenir. – Yalıtım ve yangına dayanıklı kaplama (alçı levha, fiber alçı, levha, kalsiyum silikat paneller) malzemeleri kullanılmaktadır. – Yangın yalıtımında en önemli husus yangın dağılımının engellenmesidir. Bu nedenle birleşim ve kesişim noktalarına özel detaylar çözülmektedir.
	Korozyon Dayanımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Profillere galvaniz kaplama yapılır. Örneğin, deniz yakınında bir alanda ek bir çinko galvaniz kaplama yapılarak koruma süresi uzatılabilir. Buna “dubleks sistem” de denilebilir. Doubleks sistemin koruma süresi tek katmanlı galvanizlemeye göre yaklaşık 1,8-2,5 kat daha fazladır. – Normal binada yılda yaklaşık 0,1 g/m² çinko yapıdan kaybolmaktadır. Galvaniz kaplama ağırlığı 275 g/m² dir. Bu demek oluyor ki uzun ömürlü bir galvanizli profil kullanımı mevcuttur.
Enerji Tüketimi	Üretimde enerji tasarrufu	■	■	■	■	■	■	%100	– Tasarım Bilgisayar Destekli Cad sistemleri tarafından yürütülmektedir. – Ön üretimli sistemde üretim programlı ve şantiye süresi kısadır. Tüm bunlar enerjiden büyük ölçüde tasarruf sağlar.
	Kullanım	■	■	■	■	■	■	%100	– Düşük enerjili ev standardına hafif çelik yapıda her zaman ulaşılabilir. – Isıtmada dış duvar-döşeme-çatı başlıkları altında en iyi uygulama ile, Breeam Sürdürülebilir Evler İçin Kod (2006) Seviye 3 değerlendirme başlığındaki değerlerin altına inebilmektedir.
	Isı yalıtımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Hafif çelik profillerin arasındaki boşluk tamamen yalıtım malzemesi ile doldurularak ısı köprülerinin oluşumu önlenir. Yüksek yalıtım istenen dış duvarlarda “termal profil” kullanılır. – Yaz ve kış mevsimi ısı yalıtımında temel planlama ısı enerjisinin girmesini önlemek, içerideki ısı enerjisinin dışarı çıkmasını engellemektir.
	Nakliyat	■	■	■	■	■	■	%100	– İnşaat alanına personel ve malzeme taşınması tüm araç hareketlerinin %10’nu kadardır. İnşaatla kullanılan enerjinin %40’ı malzemelerin taşınmasıyla ilgilidir. – Prefabrikte hafif çelik inşaat teknolojileri inşaat alanına personel ve malzeme taşınmasını büyük ölçüde azaltır. Bu da önemli bir enerji tasarrufu sağlar. – Örneğin, 10 hafif çelik ev ile 10 geleneksel evin teslimatı karşılaştırıldığında taşıma oranı %85 azdır.
	Su tasarrufu	■	■	■	■	■	■	%100	– Hafif çelik sistem “kuru” bir sistemdir. Üretim ve imalatında betonarme sistemdeki gibi suya ihtiyaç yoktur.
Çevre Koruma	Ses Yalıtımı	■	■	■	■	■	■	%100	– İyi bir ses yalıtımı elde edilir (>60 dB ses azalır). – Yüksek ses yalıtımı için “akustik profiller” (gövde boşluklu, katlanmış profil gövdeli, oluklu profil başlıklı akustik profiller) kullanılabilir.
	Geri Dönüşüm	■	■	■	■	■	■	%100	– Çelik %100 geri dönüşümlü bir malzemedir. – Sıfır cevher kullanımını azaltır. Yapısında geri dönüştürülmüş içerik yer alır. – Avrupa’da hafif çelik kullanımının %50’si geri dönüştürülmüş kaynaklardır.
	Atık Kontrolü	■	■	■	■	■	■	%100	– Malzeme geri dönüştürülebildiğinden doğada atık olarak kalmamaktadır. – Uygulamasında kalıp malzeme atığı yoktur. – Fabrikada üretim sırasında tesisat delikleri açıldığı için şantiye alanında kırma ve dökme olmaz. Bu da malzeme kaybını ve atığı önler.
	Çevre Kirliliğinin Azaltılması	■	■	■	■	■	■	%100	– “Kuru inşaat” sistemi olduğu için ve nakliyatta tasarruf sağladığı için uygulaması daha temizdir. – Şantiyede gürültü, toz ve kirlilik yaratmaz.
	Araziye uyum	■	■	■		■	■	%80	– Uygulama alanına çok müdahale gerektirmez. Kötü zeminli bölgeye uygundur. – Hafif olduğu için zemine yük getirmez. Özgül ağırlığı taşıyıcı yüke oranına göre küçüktür. – Dinslaken’de eski eser evin güçlendirilmesi olduğu için yüzdelik dilimde arazi koşullarına katılmamıştır.
Zaman	Hız	■	■	■	■	■	■	%100	– Prefabrikasyon tabanlıdır, hızlıdır.
	İklim	■	■	■	■	■	■	%100	– Üretim fabrikada yapıldığından iklim koşullarına bağımlı bir sistem değildir.
	Kısa Şantiye Süresi	■	—	—	■	■	■	%60	– Ön üretimli olan sistemde sahadaki süreçler minimuma indirilmektedir. Türkiye’de bir firma 1 haftada ana taşıyıcı sistem kurulumunu tamamlayarak 2 ayda imalatın tümünü tamamlamıştır. – Toplu konut projelerinde m² si fazla olduğundan şantiye süresi diğer projelere artış göstermiştir.
Maliyet	Malzeme kazanımı	■	■	■	■	■	■	%100	– Kontrollü üretim ile malzeme kaybı en aza indirilebilir. – Yeniden kullanılabilir. Tüm bunlar da maliyetten kazanç sağlar.
	Zaman ve hız ile kazanılan maliyet	■	■	■	■	■	■	%100	– İnşaat süresi kısa olup, iklim ve mevsime bağlı değildir. Buda maliyet kayıplarını engeller. – Nakliyat başlıklarındaki avantajları ile de ekonomiktir. Hızlı olan sistem zamandan kazanmakla birlikte maliyetten kazanmayı sağlamıştır.
	Uzun Vadeli Ekonomi	■	■	■	■	■	■	%100	– Dayanıklı (deprem, korozyon vs.), ısı ve ses yalıtımlı olan sistem uzun vadede ekonomiktir. – Malzeme başka bir yere taşınıp yeniden kullanılmayı sağladığı için mülk değeri devam eder.
Yeşil Bina Değerlendirmeye Sistemleri	Leed	—	—	—	—	—	—	%0	– İncelenen örneklerde Leed başvurusu yapılmamıştır. Leed taban puanları hafif çeliğe göre kısmi olarak verilebilmektedir. Sisteme özel puanları tamamen oluşturulmamıştır. – Amerika’daki sistem olan Leed’e göre Avrupa’daki Breeam sisteminin koşulları ülkemize daha yakın olduğundan, verileri daha uygundur.
	Breeam	—	■	—	—	—	—	%20	– İncelenen 35. Cadde toplu konut projesi Breeam “very good-çok iyi” seviyesindeki sertifikayı almaya hak kazanmıştır. Diğer örneklerde Breeam’ e herhangi bir başvuruda bulunulmamıştır. – BRE Yeşil Kılavuzu’nda tüm hafif çelik ve modüler yapıım teknolojileri çevresel performans açısından A + veya A’ ya uygundur. – Yapılarda Breeam Sürdürülebilir Evler için Kod (2006) başlığında istenen dış duvar-döşeme-çatı yalıtımı değerlerinin altına hafif çelik çerçeve en iyi uygulama ile inilebilmektedir.
Enerji Sistemleri	Güneş Enerjisi Sistemleri	■	■	—	—	—	—	%40	– İncelenen örneklerde Steel Life Ekolojik Ev (İTÜ iş birliği ile) ve 35. Cadde örneklerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. – Diğer örneklerde enerji sistemleri entegre edilmemiştir.
	Isıtma ve Isı Geri Kazanım Sistemleri	■	■	—	—	—	—	%40	– İncelenen örneklerde Steel Life Ekolojik Ev (İTÜ iş birliği ile) ve 35. Cadde örneklerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. – Diğer örneklerde enerji sistemleri entegre edilmemiştir.
	Su Kazanım Sistemleri (gri su, yağmur suyu gibi)	■	■	—	—	—	—	%40	– İncelenen örneklerde Steel Life Ekolojik Ev (İTÜ iş birliği ile) ve 35. Cadde örneklerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. – Diğer örneklerde enerji sistemleri entegre edilmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **VANGEEM, M.**, 2006. Achieving Sustainability with Precast Concrete, P.E., LEED A.P., CTL Group, Skokie
- [2] **Yılmaz A.Z. ve Aydın, B.** Toplam Maliyeti Düşük Sıfır Karbon Binalar Mümkün Müdür İstanbul'da Bir Konut Örneği, *EKOYAPI Dergisi Sayı 13*, Şubat 2013.
- [3] **YEM**, 2007. Yapı Endüstri Merkezi, Türk Yapı Sektörü Raporu
- [4] **Yıldırım, S.G.**, 2010. Türkiye'de az katlı konutlar için yarı açık hafif çelik yapım sistemi önerisi, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [5] **STAHL**, 2002a. Häuser in Stahl – Leichtbauweise, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans no: 560, Düsseldorf
- [6] **ASRO, SR EN 1993-1-5**, 2008. Introduction to Cold-Formed Steel Design, Course 11, Standard Roman, Bucureşti
- [7] **Terim, B.**, 2006. Hafif Çelik Çerçeve Sistem, Ege Mimarlık, sayı; 2006/1-56, İzmir
- [8] **Steellife**, Katalog, Nisan 2013.
- [9] **STAHL**, 2007. Häuser in Stahl – Bauen in Bestand-Lösungen in Stahl-Leichtbauweise, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans no: 591, Düsseldorf
- [10] **Erdemir**, 2007. Erdemir Ürün Kataloğu, 2007 –Galvanize Yassı Çelik Ürünler, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş.
- [11] **NASFA**, 2000. Prescriptive Method for Residential Cold Formed Steel Framing, North American Steel Framing Alliance (NASFA). www.steelframingalliance.com
- [12] **AISI**, 1996. Durability of Cold-Formed Steel Framing Members, American Iron and Steel Institute, Washington
- [13] **Ekinci, S.**, 2006. Hafif çelik yapım sistemleri – taşıyıcı sistem, yapı fiziği etkileri ve mimari tasarım ilkeleri açısından analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- [14] **STAHL**, 2000. Häuser in Stahl – Bausysteme aus Stahl für Dach und Fassade, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans no: 558, Düsseldorf
- [15] **STAHL**, 2002. Häuser in Stahl – Neues Wohnen mit Stahl, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans no: 574, Düsseldorf
- [16] Muhtelif internet kaynağı.
- [17] **SCI**, 2009. P370 Sustainability of steel in hoising and residential buildings, The Steel Construction Institute, United Kingdom
- [18] **Özdil, Ö., S.**, Çelik Yapılar ve Sürdürülebilirlik, *Sunum*, Ekim 2013
- [19] www.yesilbinadergisi.com/?sid=1919 . Eylül 2013.
- [20] http://www.yesilokullar.org/tr/karbon-ayak-izi/karbon-ayak-izi-nedir_10.html . Eylül 2013.
- [21] **SFA**, 2008. Steel framing workshop – Introduction, Steel Framing Alliance, Washington. www.steel framing.org
- [22] <http://www.cedbik.org/sayfalar.asp?KatID=3&KatID1=25&ID=25>.Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, Eylül 2013.
- [23] <http://www.usgbc.org> . Eylül 2013.
- [24] **SSMA, SFA**, 2008. Steel and the Enviroment, *Steel Stud Manufacturers Association, Steel Framing Alliance*, Washington
- [25] <http://www.breeam.org> . Eylül 2013.
- [26] **SCI**, 1999. Enviromental Life Cycle Assessmant of Housing, The Steel Construction Institute Report 763, United Kingdom
- [27] **SFA**, 2003. Steel is Green: Recycled & Recyclable, *Steel Framing Alliance*, Washington.
- [28] wikipedia.org/wiki/Deprem . Eylül 2013.
- [29] www.steelife-tr.com . Ağustos 2013.
- [30] <http://dmyk.com.tr/news/116/hafif-celik-yapi-sistemi> . Doğu Marmara Yapı Kataloğu - Hafif Çelik Yapı Sistemi, Eylül 2013.
- [31] **STAHL**, 1999. Häuser in Stahl – Doppelhaus in Rudolstadt, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans no: 075, Düsseldorf
- [32] **AISI**, 2008. U.S. Department of Energy and AISI Courtesy of the American Iron and Steel Institute, 2008.

- [33] **NAO**, 2004. Using Modern Methods of Construction to Build Homes More Quickly and Efficiently, National Audit Office, United Kingdom
- [34] www.ekomim.com . Ağustos 2013.
- [35] **Anon**, Enerji Verimliliği Bir Kültürdür, *GreenPower Gazetesi*, 25.02.2013.
- [36] www.aksanyapi.com . Eylül 2013.
- [37] **35. Cadde**, Katalog, Nisan 2011.
- [38] **TUSCA**, 2007. Göçek Konutları, *Çelik Yapılar Türk Yapısal Çelik Derneği Yayını*, Ağustos 2007.
- [39] **STAHL**, 2000. Häuser in Stahl – Aufstockung eines Fachwerkhäuses in Dinslaken, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans no: 076, Düsseldorf
- [40] <http://en.wikipedia.org/wiki/Rautaruukki> . Ekim 2013.
- [41] **AISI**, 2003. Commentary on the Standard for Cold-Formed Steel Framing – Prescriptive Method For One and Two Family Dwellings, American Iron & Steel Institute, Washington
- [42] **Hara, R., Kaitila, O., Kupari, K., Outinen, J., Perttola, H.**, 2000. Design of cold formed steel structures, Seminar on steel structures, Helsinki University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering Laboratory of Steel Structures, Helsinki
- [43] **AISI**, 2001a. Standard for Cold-Formed Steel Framing – General Provisions, AISI/COFS/GP 2001, American Iron and Steel Institute, Washington
- [44] **Yu, W. W.**, 2000. Cold formed steel design, John Wiley & Sons, Canada
- [45] **Kaitilia, O.**, 2000. Cold Formed steel structures in fire conditions, Helsinki University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering Laboratory of Steel Structures, Helsinki
- [46] **Larson, J., W.**, 2007. AISI Standart for Cold-Formed Steel Framing, Construction Standarts Development, American Iron and Steel Institute, Washington
- [47] **CSSBI**, 2005. The light weight steel frame house construction handbook, Canadian Sheet Steel Building Institute, Canada
- [48] **STAHL**, 2002b. Wohnungsbau mit Stahl – Profilhandbuch, Stahl Informations Zentrum, Yayın no: Markblatt 480, Düsseldorf

- [49] **HUD**, 1999. Innovative Residential Floor Construction: Horizontal Diaphragm Values for Cold-Formed Steel Framing, HUD Office of Policy Development and Research, Araştırma Raporu, Washington DC.
- [50] **NY**, 1987. Report on Our Common Future, World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, New York
- [51] **USGBC**, 2005. An Introduction to the U.S. Green Building Council and the LEED Green Building Rating System, U.S. Green Building Council, USGBC website. www.usgbc.org
- [52] **GREEN VALUE**. Green Buildings Growing Assets, www.rics.org
- [53] **IESNA**, 2000. Illuminating Engineering Society of North America Lighting Handbook, 9th edition, Illuminating Engineering Society of North America, New York. www.IESNA.org
- [54] **USGBC**, 2005. LEED for New Construction, Version 2.2, United States Green Building Council. www.usgbc.org
- [55] **GREEN GLOBES**. www.thegbi.org
- [56] **ASHRAE**, ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta. www.ASHRAE.org
- [57] **ASHRAE**, ASHRAE Standard 62.1 - 2004 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta. www.ASHRAE.org
- [58] **DOE**, 2004. Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, U.S. Department of Energy, Washington
- [59] **DOE**, 1992. 1992 National Energy Policy Act, U.S. Department of Energy. www.DOE.gov
- [60] **NBI**, New Buildings Institute, E-Benchmark. www.newbuildings.org
- [61] **ASHRAE**, Advanced Energy Design Guide For Small Office Buildings, The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta
- [62] **DOE**, Visual DOE 4.0, Architectural Energy Corporation, Boulder, CO. www.archenergy.com

ÖZGEÇMİŞ

Melike Mutlu Akay 1988’de İstanbul’da doğdu. 2010 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Bölümü’nden mezun oldu. 2010 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programı’nda yüksek lisans eğitime başladı. Şu an Kültür ve Turizm Bakanlığı’nda mimar olarak çalışmaktadır.