

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**HAFİF ÇELİK YAPIM YÖNTEMİNDE
KAPLAMA BİLEŞENİ SEÇİMİNİN EKOLOJİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlayda Bahar ÇAMGÖREN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**HAFİF ÇELİK YAPIM YÖNTEMİNDE
KAPLAMA BİLEŞENİ SEÇİMİNİN EKOLOJİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlayda Bahar ÇAMGÖREN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF ÇELİK YAPIM YÖNTEMİNDE
KAPLAMA BİLEŞENİ SEÇİMİNİN EKOLOJİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlayda Bahar ÇAMGÖREN

MİMARLIK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 04/09/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Özlem EREN

Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI (Danışman)

Doç.Dr. Polat DARÇIN

ÖZET

HAFİF ÇELİK YAPIM YÖNTEMİNDE KAPLAMA BİLEŞENİ SEÇİMİNİN EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRMESİ

İlayda Bahar ÇAMGÖREN

Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI

Eylül 2023; 90 sayfa

Hafif çelik yapım yöntemi depreme olan mukavemetiyle özellikle afet bölgelerinde hem dayanıklı hem de hızlı bir çözüm olarak diğer yapım teknolojilerinden ayrılmaktadır. Dünyada hafif çelik malzemeyle üretilen yapıların tarihi 19. yüzyıla dayansa da ülkemizde 1999 Gölcük depremi sonrasında kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Hafif çelik yapılar ülkemizde 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde ilk defa ayrı bir bölüm olarak ele alınmıştır. Ancak güvenilir çözüm olarak geleneksel yapım yöntemlerinin tercih edilmesi ülkemiz için yeni bir yapım teknolojisi sayılan hafif çelik yapıların tanınırlığının yeterli seviyeye ulaşmadığı göstermektedir. Hafif çeliğin sünek bir malzeme olması, kurulum kolaylığı, hava şartlarından bağımsız inşa edilebilmesi, düşük üstyapı ağırlığı, kısa şantiye süresi, modüler yapım sistemine elverişli olması ve hafif çelikte prefabrike yapılar elde edilebilmesi gibi olanaklarıyla özellikle deprem bölgeleri için uygun bir yapım yöntemidir. Hafif çelik yapım yöntemi konut gibi az katlı yapılarda yaygın olarak kullanılmakla birlikte endüstriyel yapılarda, hangar, depo, hastane, okul, yurt, restoran ve ofis binaları gibi farklı fonksiyonlara sahip yapılarda da kullanılabilir.

Yapı sektöründe kullanılan yapı ürünleri ve inşa süreci çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilmektedir. Bu nedenle kullanılacak olan yapı ürünleri seçiminde mümkün olduğunca ekolojik tercihler yapılmalıdır. Hafif çelik yüksek ilk oluşum enerjisine rağmen fiziksel özelliklerini kaybetmeden geri dönüştürülebilirliğiyle enerji korunumuna katkı sağlamaktadır. Hafif bir ürün olması sebebiyle ağır işçilik ve iş makinesi gerektirmez. Hafif çelik yapım yönteminde kısa inşa süresiyle çevreye verilen tahribatın azaltılması, düşük temel maliyeti ve işçiliği, prefabrike bir sistem olmasıyla malzeme sarfiyatının az olması gibi özellikleriyle ekolojik açıdan sürdürülebilir bir yapım yöntemidir. Ancak sadece yapı iskeletinin değil, iskelete eşlik eden tamamlayıcı yapı ürünlerinin de çevre üzerindeki pozitif ve negatif etkileri göz önünde bulundurularak ürün seçimi yapılmalıdır.

Hafif çelik yapılar, hafif çelik iskeletle birlikte bağlantı parçaları, özel büküm parçaları, tesisat bileşenleri, yalıtım bileşenleri ve kaplama bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu çalışma hafif çelik yapım yönteminde çelik iskeletin kaplanması için kullanılan strüktürel ve cephe kaplama bileşenlerinin ekolojik ölçütler açısından değerlendirilmesini içermektedir. Bu kaplama bileşenleri hafif çelik strüktürün duvar gövdesinin oluşturulmasında önemli bir yere sahip olmakla birlikte strüktürel kaplama

bileşeni hafif çelik iskeletin tasarımını doğrudan etkilemektedir. Aynı zamanda kaplama bileşenleri merdiven, döşeme, çatı, tavan kaplamalarında ve cephede dekoratif ürün olarak kullanıldıkları için hafif çelik yapım yönteminde önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda ülkemizde hafif çelik yapı uygulaması yapan otuz firma ile görüşülmüş ve en sık kullanılan kaplama bileşenleri belirlenmiştir. Belirlenen bu ürünler: yönlendirilmiş yonga levha, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha, cam elyaf şilte kaplı levha ve alçı levhadır. Endüstriyel yapı dış cephe kaplamalarında ise galvaniz çelik sac levhalar tercih edilebilmektedir. Bu ürünler dışında yaygın olmamakla birlikte hafif çelik yapım yönteminde kullanılabilen kontrplak levha, tuğla kaplama ve taş kaplama da çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Bu ürünler kullanım öncesi dönem, kullanım dönemi ve kullanım sonrası dönem olmak üzere ürünün yaşam döngüsü boyunca kaynak/enerji etkinliği ve iç/dış çevreye olan etkileri açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi, yenilenebilir ham madde kullanımı, geri dönüştürülebilen ham madde içerme, geri dönüştürülmüş ham madde içerme, üretiminde az su gereksinimi, üretiminde enerji verimliliği, yerel üreticilerden elde edilme, zararlı ham madde içermeme, düşük ya da sıfır zararlı salınım, üretimde az atık oluşumu, uzun kullanım ömrü, düşük bakım gideri, ısı konfor, ses yalıtımına katkı, nem dengesi koruma, hava niteliğini olumsuz etkilememe, onarımda az atık oluşumu, yeniden kullanılabilme, geri dönüştürülebilme, yıkımında az atık oluşumu ölçütleri kullanılmıştır. Kaplama bileşenlerinin genel özellikleriyle irdelenmesinin ardından belirtilen ekolojik ölçüte sahip olması, ölçütün bir kısmına sahip olması veya hiç sahip olmaması açılarından incelenmiştir. İncelenen örnek bileşenler arasında ekolojik ölçütlerin hepsine sahip bir ürün bulunmamaktadır. Değerlendirme sonucunda her bileşenin kendi içerisinde farklı ekolojik avantaj ve dezavantajlar barındırdığı; ürünlerin üretim aşamasında çevreye olan etkilerinin üretildiği fabrika koşullarına bağlı olarak değişebildiği görülmüştür. Ekolojik ölçütlerin hepsine sahip olma açısından yapılan değerlendirmede alçı esaslı levhalar birbirine yakın ekolojik özellikleriyle ölçütleri en çok karşılayan bileşenlerdir. Ölçütlerin tamamına veya bir kısmına sahip olma açısından değerlendirildiğinde ise alçı esaslı levhalardan sonra çimentolu yonga levha, yönlendirilmiş yonga levha, elyaf takviyeli çimentolu levha, tuğla, kontrplak levha, taş kaplama ve galvanize sac levha gelmektedir.

ANAHTAR KELİMELE: Cephe kaplama, Ekolojik yapı ürünleri, Hafif çelik yapım yöntemi, Kaplama bileşeni, Strüktürel kaplama

JÜRİ: Prof. Dr. Özlem EREN

Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI

Doç. Dr. Polat DARÇIN

ABSTRACT

**ECOLOGICAL EVALUATION OF
SHEATHING COMPONENT SELECTION IN LIGHT GAUGE STEEL
CONSTRUCTION METHOD**

İlayda Bahar ÇAMGÖREN

MSc Thesis in Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI

September 2023; 90 pages

The light gauge steel construction method is distinguished from other construction technologies as a durable and fast solution, especially in disaster areas, with its resistance to earthquakes. Although the history of structures produced with light gauge steel materials in the world dates back to the nineteenth century, their use began to become widespread in our country after the 1999 Gölcük earthquake. Light gauge steel structures were handled as a separate section for the first time in Turkey's Building Earthquake Regulation, which came into force in 2019. However, the preference of traditional construction methods as a reliable solution shows that the recognition of light gauge steel structures, which is considered as a new construction technology for our country, has not reached a sufficient level. Light gauge steel is a ductile material and suitable for modular construction system. Since it is a dry method of construction it can be built independent of weather conditions. It has relatively short construction time compared to other construction techniques and easy to install. Moreover, light gauge steel construction technique is a prefabricated construction system and have low superstructure weight, therefore it is a suitable construction method especially for earthquake zones. Although the light gauge steel construction method is widely used in low-rise buildings such as residences, it can also be used in industrial buildings and buildings with different functions such as hangars, warehouses, hospitals, schools, dormitories, restaurants and office buildings.

Building products and the construction process used in the building industry can have negative effects on the environment. For this reason, ecological choices should be made as much as possible in the selection of building products to be used. Although the initial formation energy of light gauge steel material is high, it is an ecologically sustainable building product with features such as durability, reducing the damage to the environment with a short construction period, contributes to energy conservation with the possibility of recycling without losing its physical properties. Furthermore, light gauge steel construction method is not requiring heavy labor and construction machinery due to its light weight. It has low foundation cost and less concrete use. Since it is a prefabricated system, it has low material consumption. However, product selection for the whole building should be made by considering the positive and negative effects of not only the framework but also the complementary construction products accompanying the framework on the environment.

Light steel structures consist of light steel skeleton, fittings, special bending parts, plumbing components, insulation components and sheathing components. This study includes the evaluation of the structural and facade sheathing components used for the cladding of the steel skeleton in the light steel construction method in terms of ecological criteria. While these sheathing components have an important place in the creation of the wall body of the light steel structure, the structural cladding component directly affects the design of the light steel frame. At the same time, sheathing components have an important place in the light steel construction method as they are used in stairs, flooring, roof and ceiling coverings, and facades. In this context, interviews were made with thirty companies that make light steel construction applications in our country and the most frequently used sheathing components were determined. These identified products are: oriented strand board, fiber-reinforced cement board, cemented particle board, gypsum board covered with fiberglass and gypsum board. Galvanized steel sheet plates can be preferred for industrial building exterior cladding. Apart from these products, plywood, brick veneer, natural stone veneer and metal-based facade claddings, which can be used in light steel construction method, were also evaluated within the scope of the study.

These products have been evaluated in terms of resource/energy efficiency and internal/external environment throughout the life cycle of the product, including the pre-use period, the use period, and the post-use period. For this evaluation, raw material is obtained from local sources, use of renewable raw materials, contains recyclable raw materials, contains recycled raw materials, requires less water in production, energy efficiency in production, produced by local producers, does not contain harmful raw materials, low or zero emissions, less waste in production, long service life, low maintenance costs, thermal comfort, contribution to sound insulation, moisture balance protection, not adversely affecting air quality, less waste generation in repair, reusability, recyclability, less waste generation in demolition were used. After examining the sheathing components with their general properties, it was examined in terms of having the specified ecological criteria, having some of the criteria or not having it at all. Among the sample components examined, there is no product with all ecological criteria. As a result of the evaluation, each material has different ecological advantages and disadvantages; It has been observed that the effects of materials on the environment during the production phase can vary depending on the factory conditions where they are produced. In the evaluation made in terms of having all of the ecological criteria, gypsum boards are the components that meet the criteria most with their ecological characteristics close to each other. When evaluated in terms of having all or some of the criteria, cemented particle board, oriented strand board, fiber reinforced cement board, brick veneer, plywood board, stone veneer and galvanized sheet metal come after gypsum based boards.

KEYWORDS: Ecological building products, Facade sheathing, Light gauge steel, Sheathing components, Structural sheathing

COMMITTEE: Prof. Dr. Özlem EREN

Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI

Assoc. Prof. Dr. Polat DARÇIN

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda bana daima güvenen ve cesaretlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. Hacer MUTLU DANACI'ya ve yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgilerini aktaran tüm hocalarıma,

Çalışma hayatıma hafif çelik yapı sektöründe başlamama ve yüksek lisans tez çalışmamı da bu alanda gerçekleştirmeme vesile olan; çalıştığım süre boyunca desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim Ömer ÇAMGÖREN'e, bu süreçte bana sonsuz mutluluk ve enerji kaynağı olan en değerlim, oğlum Ali Yaman'a,

Aklıma en ufak bir soru takıldığında bile bir telefon mesafede bana her zaman destek olan ablam Öğr.Gör.E. Merve BEKAROĞLU'na,

Hayatım boyunca aldığım kararlarda desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, yüksek lisans sürecimde de büyük emeği bulunan annem Mine BEKAROĞLU ve babam H. İbrahim BEKAROĞLU'na,

En içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	4
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	5
2. KAYNAK TARAMASI.....	6
2.1. Hafif Çelik Yapım Yöntemiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	6
2.2. Yapı Ürünlerini Ekolojik Açıdan Değerlendiren Çalışmalar	9
3.MATERYAL VE METOT	12
3.1. Hafif Çelik Strüktür.....	12
3.1.1. Hafif çeliğin tarihsel gelişimi	13
3.1.2. Hafif çeliğin yapı sektöründe kullanımı	13
3.1.3. Hafif çelik yapım yöntemi	17
3.2. Hafif Çelik İskelete Eşlik Eden Tamamlayıcı Yapı Ürünleri.....	19
3.2.1. Bağlantı parçaları.....	20
3.2.2. Özel büküm parçaları.....	22
3.2.3. Tesisat bileşenleri	23
3.2.4. Yalıtım bileşenleri	23
3.2.5. Kaplama bileşenleri	24

3.3. Hafif Çelik İskelet ve Kaplama Bileşeni İlişkisi	25
3.3.1. Strüktürel kaplama bileşenleri	25
3.3.2. Cephe kaplama bileşenleri	25
3.4. Yapı Ürünlerinde Ekolojik Olma Ölçütleri	26
3.5. Ekolojik Açidan Sürdürülebilir Bir Yapım Yöntemi Olarak Hafif Çelik	31
3.5.1. Dayanıklılık	31
3.5.2. Geri dönüştürülebilirlik	33
3.5.3. Zaman tasarrufu	34
3.6. Çalışmanın Metodu	35
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. Strüktürel Kaplama Bileşenleri ve Ekolojik Değerlendirmesi	38
4.1.1. OSB levhanın irdelenmesi	38
4.1.2. Elyaf takviyeli çimentolu levhanın irdelenmesi	44
4.1.3. Çimentolu yonga levhanın irdelenmesi	48
4.1.4. Cam elyaf şilte kaplı levhanın irdelenmesi.....	52
4.1.5. Alçı levhanın irdelenmesi	55
4.1.6. Kontrplak levhanın irdelenmesi.....	59
4.2. Cephe Kaplama Bileşenleri ve Ekolojik Değerlendirmesi.....	63
4.2.1. Tuğla kaplamanın irdelenmesi.....	63
4.2.2. Taş kaplamanın irdelenmesi	68
4.2.3. Metal esaslı kaplamaların irdelenmesi.....	72
4.3. Kaplama Bileşenlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi	75
5. SONUÇ	77
7. KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hafif Çelik Yapım Yönteminde Kaplama Bileşeni Seçiminin Ekolojik Açıdan Değerlendirilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

04/09/2023

İlayda Bahar ÇAMGÖREN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
CO ₂	: Karbondioksit
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
NO _x	: Azot oksitler
SO _x	: Sülfür oksitler
°C	: Santigrat derece
λ	: Isıl iletkenlik değeri

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: American Society for Testing and Materials
cm	: Santimetre
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
dk	: Dakika
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning
İMSAD	: İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LVL	: Laminated veneer lumber
MDF	: Medium density fiberboard

MIT	: Massachusetts Institute of Technology
mj	: Megajul
mm	: Milimetre
MW	: Moment Magnitud
N	: Newton
OSB	: Oriented Strand Board
SWOT	: Strengths-Weakness-Opportunities-Threats
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standardı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UOB	: Uçucu Organik Bileşik
yy	: Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Hafif çelik yapı ürünü sınıflandırılması	12
Şekil 3. 2. Türkiye Çelik Haritası	14
Şekil 3. 3. a) Hafif çelik villa projesi; b) Hafif çelik villa şantiyesi	15
Şekil 3. 4. a) Hafif çelik hangar projesi genel görünüm; b) Hafif çelik hangar detay ..	15
Şekil 3. 5. a) Verandalı hafif çelik küçük ev; b) Hafif çelik küçük ev	15
Şekil 3. 6. a) Hafif çelik üst örtü; b) Hafif çelik veranda çatısı	15
Şekil 3. 7. a) Hafif çelik makas-panel sistemi; b) Hafif çelik misafirhane binası.....	16
Şekil 3. 8. a) Prefabrik konut projesi; b) Hafif çelik arakat döşeme	16
Şekil 3. 9. Tempus House Milton Keynes	16
Şekil 3. 10. Hafif çelik panel çaprazlama parçası, İngiltere	16
Şekil 3. 11. Galvaniz çelik rulo sac dilmeleri, İstanbul	18
Şekil 3. 12. Hafif çelik soğuk büküm profil makinesi, Yozgat.....	18
Şekil 3. 13. Kaplama malzemesinin hafif çeliğe montajı	21
Şekil 3. 14. Taşıyıcı duvara uygulanan strüktürel kaplama	26
Şekil 3. 15. Süneklik düzeyi yüksek sistem ve süneklik düzeyi sınırlı sistemler	31
Şekil 3. 16. Hafif çelik panel parçaları	32
Şekil 4. 1. İnce dikdörtgen biçimli ahşap şeritlerden üretilen OSB.....	39
Şekil 4. 2. Hafif çelik yapı dış cephe OSB kaplama	39
Şekil 4. 3. OSB2	40
Şekil 4. 4. Yalı baskı uygulamasıyla fibercement kaplı prefabrik bir ev	44
Şekil 4. 5. Hafif çelik yapı sistem detayında elyaf takviyeli çimentolu levha uygulama detayı	46
Şekil 4. 6. Hafif çelik strüktür çimentolu yonga levha dış cephe kaplaması	49
Şekil 4. 7. Ahşap desen görünümlü çimentolu yonga levha yalı baskı uygulaması	50
Şekil 4. 8. Cam elyaf şilte kaplı sıkıştırılmış doğal alçı kaplama levha	52
Şekil 4. 9. Hafif çelik yapılarda cam elyaf şilte kaplı levha cephe uygulaması	53
Şekil 4. 10. Hafif çelik yapılarda dış cephe OSB, iç cephe alçı levha kaplama	56
Şekil 4. 11. Kontrplak üretimi	59
Şekil 4. 12. Kontrplak fabrikasında iş akışı	60
Şekil 4. 13. Hafif çelik dış cephe tuğla kaplama	64

Şekil 4. 14. Tuğla üretim süreci	65
Şekil 4. 15. Hafif çelik strüktür dış cephe kaplaması olarak tuğla kaplama kullanımı ..	66
Şekil 4. 16. Dekoratif taş kaplamalı hafif çelik yapı	69
Şekil 4. 17. Çift kat trapez cephe kaplama uygulaması	72
Şekil 4. 18. Trapez sac cephe kaplamalı hafif çelik hangar	73



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Hafif çelik kullanım alanları	15
Çizelge 3. 2. Hafif çelik profillerde önerilen S ve U tip parçalar	19
Çizelge 3. 3. Bağlantı parça özelliklerinin karşılaştırılması	21
Çizelge 3. 4. Yapı ürünlerinin geri dönüşüm işlemleri	28
Çizelge 3. 5. Yapı ürünlerinin ekolojik değerlendirme ölçütleri	29
Çizelge 3. 6. Hafif çelik yapı taşıyıcı sistem sınıfları	33
Çizelge 3. 7. Kaplama bileşenlerini ekolojik olarak değerlendirme ölçütleri	36
Çizelge 3. 8. Ölçüt değerlendirme yöntemi	37
Çizelge 4. 1.OSB'nin uygulama ve kullanım özellikleri	41
Çizelge 4. 2. OSB ekolojik ölçüt değerlendirme tablosu	43
Çizelge 4. 3. Elyaf takviyeli çimentolu levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi ..	47
Çizelge 4. 4. Çimentolu yonga levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi	51
Çizelge 4. 5. Cam elyaf şilte kaplı levha teknik özellikleri	53
Çizelge 4. 6. Cam elyaf şilte kaplı levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi	54
Çizelge 4. 7. Alçı levha teknik özellikleri	57
Çizelge 4. 8. Alçı levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi	58
Çizelge 4. 9. Yapısal kontrplak uygulama ve kullanım özellikleri	61
Çizelge 4. 10. Kontrplak levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi	62
Çizelge 4. 11. Tuğla ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi	67
Çizelge 4. 12. Taş kaplama ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi	71
Çizelge 4. 13. Çelik sac levha ekolojik kriter değerlendirme çizelgesi	74
Çizelge 4. 14. Tez kapsamında incelenen kaplama bileşenlerinin hava niteliğine olumlu ve olumsuz etkileri	77
Çizelge 4. 15. Ekolojik kriterler bağlamında kaplama bileşenlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi	78

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki varoluşundan itibaren insanoğlu, sahip olduğu temel ihtiyaçlarını karşılamak için çevresinde bulunan doğal kaynaklardan faydalanmıştır. Günümüzde ise sanayileşme, teknoloji ve nüfus artışına paralel olarak artan enerji ihtiyacı sırasıyla doğal gaz, petrol, kömür, rüzgâr-güneş, hidroelektrik ve biyoyakıt kaynaklarından sağlanmaktadır (TÇÜD 2023). Ancak fosil yakıtlar çevresel tahribatın en büyük nedenlerinden biridir. Özellikle Sanayi Devrimi'yle birlikte, tüketim süreci yükselen bir ivmeyle devam etmektedir. Doğal enerji kaynaklarının giderek azalması ve atmosferde meydana gelen kirlilik sebebiyle geri dönüşü mümkün olmayan doğa olayları yaşanmaktadır (Eren ve Başarır 2013). Çevre sorunlarının temel sebebi doğal çevreyle kaynak tüketiminin dengesiz şekilde olmasıdır. İnsanoğlunun gerçekleştirdiği faaliyetler yüzünden yeryüzünün taşıma kapasitesi zorlanmaktadır (Sev 2009). Artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak için hızla gelişen yapı sektörü de çevresel tahribata neden olan başlıca kaynaklardan biridir. Bu nedenle enerji korunumuna katkı sağlaması gereken önemli sektörlerden biri de inşaat sektörüdür. Bu noktada farklı disiplinlerde tartışmalara konu olan sürdürülebilirlik kavramı mimaride de ekolojik yapı yapma, kaynak ve enerji tüketimini azaltma, mümkün olduğunca az atık ile inşa etme gibi çevreye asgari düzeyde zarar verecek çözüm yollarını gündeme getirmektedir. Yapı malzemelerinin seçiminde çevreye duyarlı olunmalı, çevresel özelliklerinin de değerlendirilmesiyle sürdürülebilir yapılar üretilmesi sağlanmalıdır (Karaman Öztaş ve Tanaçan 2017). Yapay ve doğal çevrenin korunumu ve sürdürülebilir bir gelecek için çevreye saygılı olunmalıdır. Eldeki kaynakların verimli kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ve sağlıklı mekanlar oluşturulması gerekmektedir.

Yapıların çevreye olan etkileri tasarım aşamasında alınan kararlar ve seçimler ile doğrudan ilişkilidir. Sürdürülebilir tasarım yapmak bir bina tasarımından çok bir felsefedir ve erken verilmiş kararlar birçok açıdan önemlidir (Stitt 1999). Bu nedenle projelendirme ve tasarımda doğru seçimlerin yapılması gerekmektedir. Tercih edilen strüktür çeşidi, kullanılan yapı ve cephe ürünleri gibi detaylar yapının ekosisteme olan etkilerini belirleyen önemli unsurlardandır. Bunlarla birlikte yapının sadece üretim aşamasında değil, kullanım süresi boyunca ve kullanım sonrasında kullandığı enerji kaynakları, ürettiği atık ve çevresiyle olan etkileşimi göz önünde bulundurularak bütünsel tasarım yapılmalıdır. Aynı zamanda yapı tasarımında ekolojik ayak izi değerleri ve sonuçları da göz önünde bulundurulmalıdır (Mutlu Danacı ve Kavas 2016). Geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı, binanın yapım süreci ve bu süreçte çevreye verdiği zararlar gibi etmenler ekolojik mimari açısından önemli verilerdir. Tasarımcı, yapı malzemelerini seçerken tasarımının yaşam döngüsünü ve doğaya vereceği etkileri göz önünde bulundurması açısından sorumluluk sahibidir. Bu aşamada tez çalışmasının da ana konusunu oluşturan hafif çelik yapı malzemesi ön plana çıkmaktadır. Yüksek oranda geri dönüştürülebilir olması, montaj kolaylığı, kısa şantiye süresi gibi avantajlarıyla geleneksel yapı malzemelerinden ayrılmaktadır.

Çeliğin üstün olan ve olmayan özellikleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde sürdürülebilir yapı malzemesinin gerekliliklerine yakın ve konut yapımında tercih edilmesi gereken bir yapı malzemesi olduğu görülmektedir (Uz 2020). Günlük hayatımızda kullandığımız veya karşılaştığımız pek çok ürünün ham maddesi çeliktir. Sektör olarak demir çelik, diğer sektörlerle girdi sağlayan bir lokomotifdir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2022). Çeliğin araç sanayiden yapı sektörüne, sağlık

hizmetlerinden endüstriyel üretime geniş bir yelpazede tüketim alanı bulunmaktadır. Dünya üzerinde üretilen çelik malzemenin önemli bir bölümü çoğunlukla betonarme demiri olmak üzere yapı alanında kullanılmaktadır (Yıldırım 2013). Konvansiyonel çelik sistemle oluşturulan strüktürler hem geniş açıklık geçebilme kapasitesi hem de yüksek mukavemeti ile yapı sektöründe önemli bir yere sahiptir. Ancak çalışmanın konusunu oluşturan çelik konstrüksiyon, soğukta şekil verilen galvanize sac profillerin oluşturduğu hafif çelik çerçeveli sistemler ve bu sistemlerde kullanılan kaplama bileşenleridir. Literatürde hafif çelik, soğukta şekillendirilmiş çelik, ince cidarlı çelik gibi farklı tabirler yer almaktadır. Bu çalışmada ise yaygın olarak hafif çelik yapım metodu veya hafif çelik konstrüksiyon olarak anılacaktır.

Hafif çelik yapım metodu daha çok konvansiyonel çelik sistemi kullanımının ekonomik olmadığı açıklıklarda tercih edilmektedir. Konut gibi az katlı yapılarda tercih edilebilmekle birlikte hastane, okul, yurt, restoran, endüstriyel yapılar vb. fonksiyonlarda geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Taşıyıcı sistemi sadece hafif çelik malzemeden üretilen bileşenlerin oluşturduğu bir yapı tasarlanabildiği gibi, bu bileşenler başka yapım metotlarında da yardımcı yapı elemanı olarak kullanılabilir. Hafif ve sağlam bir yapı malzemesi olması sebebiyle sektörde ilk olarak çatılarda ve iç bölme duvar sistemlerinde kullanılmıştır (Yıldırım 2013). Ülkemizde ise 1999 yılı Gölcük depremi sonrasında meydana gelen acil konut ihtiyacına cevap niteliğinde hafif çelik yapım metodu ön plana çıkmıştır. Depreme dayanıklı başlığıyla piyasada yer alan yeni yapım tekniklerinden günümüze kadar artan potansiyeliyle gelen tek sistem hafif çelik yapım sistemi olmuştur (Terim 2006). 6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş'ta 9 saat arayla Mw:7.7 ve Mw:7.6 büyüklüklerinde iki büyük deprem meydana gelmiştir. Kahramanmaraş'la birlikte 11 ilde olağan üstü hal ilan edilmiş; daha sonra yapılan açıklamayla 6 il daha afet bölgesi olarak eklenmiştir. Resmi verilere göre 50.783 kişi hayatını kaybetmiş; 115.353 kişi yaralanmıştır. 37.984 bina yıkılmıştır (AFAD Başkanlığı 2023). Afet bölgelerinde hızlıca geçici konut yerleşkesi kurulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu yerleşkelerdeki barınma ihtiyacı çadırlar, prefabrik yapılar, konteynerler ve hafif çelik yapılarla çözümlenmiştir. Özellikle afet sonrası acil kullanılması gereken konut, okul, afet evleri gibi yapılarda hafif çelik sistemler ilk olarak tercih edilen yapım sistemlerinden biridir. Hafif çelik yapım sistemi prefabrik yani ön üretimli bir sistemdir. Bu sayede hem montaj kolaylığı sağlanmakta hem de inşa süresi oldukça kısalmaktadır. Ayrıca hafif çelik yapıların sökülüp başka bir yerde tekrar kurulabiliyor olması da yapının kullanım amacını tamamladıktan sonra başka bir amaç için tekrar kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

2019 Aralık tarihinde Çin üzerinden dünyaya yayıldığı varsayılan Covid-19 pandemi dönemi her alanda olduğu gibi mimarlık üzerinde de etkiler yaratmıştır. Bu dönemde sosyal mesafeyi korumak ve virüsten korunmak adına apartman gibi toplu yaşam alanlarından uzakta olma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Devlet tarafından uygulanan zorunlu karantina günlerinde evlerde geçirilen vaktin artmasıyla bahçe, balkon, teras gibi temiz hava alınabilecek yaşam alanlarına ihtiyaç duyulmuştur. Gali Taşçı (2020) rezidans kullanıcılarıyla yaptığı anket çalışmasında pandemi sonrası balkon / bahçe kullanımının arttığını ve bu mekanların kullanıcılar için bir temel ihtiyaç haline geldiğini belirtmiştir. Bu süreçte şehir yaşamından uzakta, veranda veya balkon gibi temiz havayla ve doğayla etkileşimi artıran mahallere sahip müstakil konutlar tercih edilmiştir. Hafif çelik yapım metodunun esnek plan çözümlerine uygun olması ve kısa

sürede inşa edilmesi bu dönem için uygun bir çözüm olmuştur. İhtiyaç doğrultusunda genişleyip, daralabilen, kullanım hedefine ulaştıktan sonra farklı bir amaç için tekrar kullanılabilen veya eklenip çıkartılabilen mekânlar yaratmak için hafif çelik malzeme uygun olabilmektedir. Pandemi döneminde hafif çelik konstrüksiyonla yapılan sahra hastaneleri bu durumun en önemli örneklerinden biridir. Hâlihazırda bulunan hastane binalarına ek bir izole yapı yapmak için hızlı kurulum avantajıyla bu sistem tercih edilmiştir. Doğal afetler, savaş, göç ve nüfus artışı gibi hızlı barınma yapısı inşa edilmesi gereken durumlarda hafif çelik yapılar ön plana çıkmaktadır. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde yaşanan depremler ve bu depremlerde yıkılan yapılar insanlarda güvensizlik duygusu oluşturmaktadır. Yapılacak olan yapıların yeni depremlere hazırlıklı, sağlam binalar olması beklenmektedir. Hafif çelik yapılar malzeme itibarıyla geleneksel yapı sistemlerine nispeten daha hafif oldukları için daha az deprem yüküne maruz kalmaktadırlar.

Hafif çelik yapım metodunda, hafif çelik iskelet kurulumun ardından yapının kullanıma hazır hale gelmesinde görev alan bazı yapı ürünleri mevcuttur. Bunlar çelik iskeletin birbiriyle ve çelik iskeletin kaplama bileşenleriyle birbirine montajını sağlayan bağlantı parçaları, hafif çelik büküm makinesinin ürettiği standart profillerin dışında ve ölçüsünde ihtiyaç duyulan galvanize edilmiş çelik saclara makinelerle şekil verilmesinden oluşan özel büküm parçaları; elektrik, mekanik, sıhhi tesisat bileşenleri; ısı, ses, yangın bileşenleri, hafif çeliğin strüktürel ve dekoratif olarak kaplanmasında kullanılan kaplama bileşenleridir.

Bu çalışmada hafif çelik yapım yönteminde hafif çelik iskelet kaplamasında kullanılan strüktürel ve cephe kaplama bileşeni seçimi ekolojik ölçütler bağlamında değerlendirilmiştir. Hafif çelik malzeme dayanıklılık, geri dönüştürülebilirlik, kısa inşa süresiyle zaman tasarrufu ve çevresel tahribatın azaltılması gibi özellikleriyle ekolojik açıdan sürdürülebilir bir yapı malzemesidir. Ancak yapı ürünleri bağlamında yapının bir bütün olarak ekolojik olabilmesi için yapı iskeletine eşlik eden tamamlayıcı ürünlerde de ekolojik seçimler yapılması gerekmektedir. Hafif çelik malzeme ve yapıların sürdürülebilirliğiyle ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Ancak bu yapım metodunu, yaygın olarak tercih edilen kaplama bileşenleriyle ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Hafif çelik yapım metodunda duvar gövdesi oluşturulurken kullanılan ilk kat strüktürel kaplama hafif çelik panellerle birlikte çalışarak taşıyıcı strüktürün bir parçası olmaktadır. Yapının yanal yük dayanımına katkı sağlamaktadır. Hafif çelik iskelet tasarımı yapılırken hafif çelik dikmelerin ve yatay kayıtların aralıkları strüktürel kaplamanın ölçülerine göre belirlenmektedir. Yani kaplama ürünü seçimi çelik iskelet tasarımını doğrudan etkilemektedir. Çelik iskelette yer alan tüm paneller genellikle levha olarak satılan bu ürünlerle kaplandığından hafif çelik yapım yönteminde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle ürün seçiminde ekolojik ölçütler de göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada hafif çelik yapı uygulayıcı ve üretici firmalarından alınan bilgiler doğrultusunda kaplama bileşenlerinden yaygın olarak kullanılan OSB (yönlendirilmiş yonga levha), elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha, cam elyaf şilte kaplı levha, alçı levha, kontrplak levha, tuğla kaplama, doğal taş kaplama ve metal esaslı cephe kaplamalarından galvaniz sac levha değerlendirilmiştir.

1.1 . Çalışmanın Amacı

Hafif çelik yapıım metodunda kullanılacak olan yapı ürünleri tasarımcının veya uygulayıcı firmanın yönlendirmesiyle seçilmektedir. Yapı kullanıcısı da isteği doğrultusunda sürece dahil olabilmektedir. Genel olarak bir uygulama standardı veya yönetmeliği mevcut değildir. Ülkemizde üretilen hafif çelik yapılarda firma deneyimleri ön plandadır. Ülkemizde 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde hafif çelik ile ilgili uygulama detayları ilk kez ayrı bir bölüm olarak yer almıştır. Bu yönetmelik 2019 yılında yürürlüğe girmiştir. Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute) (AISI) gibi devamlı olarak kendini yenileyen ve geniş kapsamlı bir yönetmeliğimiz bulunmamaktadır. Ülkemizde kapsamlı bir yönetmeliğin bulunmaması ve buna bağlı denetim eksikliği mevcuttur denilebilir. Hafif çelik yapı firmalarıyla yapılan görüşmelerde de her firmanın kullandığı kaplama bileşenlerinin ve cephe sistemlerinin farklı olduğu görülmüştür. Çelik malzeme uzun zamandır yapı sektöründe kullanılmasına rağmen hafif çelik konstrüksiyon ile tasarlanan yapılar ülkemiz için oldukça yeni sayılmaktadır. Bu nedenle literatürde yayınlanmış olan çalışmalar sektöre kaynak olmaları açısından oldukça önemlidir. Hafif çelik yapıım metoduyla ilgili yayınlanan çalışmalarda genel çerçevede hafif çelik yapıların nasıl tasarlanması gerektiği, statik hesaplarının nasıl yapılacağı, yatay ve düşey yüklere karşı profillerin dayanımı ve konstrüksiyon kuruluş detayları üzerine geliştirilmiş olan bilgiler içermektedir. Firmaların ampirik yöntemlerle elde ettikleri veriler de mevcuttur. Daha önce yapılmış yapılarda kullanılan malzeme kalınlıkları veya geçilen açıklıklar standart olarak benzer projelerde tekrar edilmektedir.

Hafif çelik yapıım sürecinde hafif çelik malzemenin esnek tasarım olanakları göz önüne alındığında kullanıcı, tasarım aşamasından itibaren projeye müdahil olup projede veya yapı ürünlerinde istenilen değişiklikleri uygulatabilmektedir. İç ve dış cephe kaplama ürünleri, çatı kaplama ürünleri veya yalıtım ürünleri gibi yapının omurgasından bitiş malzemesine kadar verilen kararlarda fikir beyan etme özgürlüğüne sahiptir. Bu esnada tasarımcı, ekolojik yapı ürünleri kullanma konusunda kullanıcıyı yönlendirmesi gerekmektedir. Seçilen kaplama ürünlerinin fiziksel özelliklerinin yanı sıra çevre üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak ülkemizde kullanıcılar ve üretici firmalar yapı ürünlerinin çevre üzerindeki etkileri konusunda yeterli bilince sahip değildir. Hafif çelik yapıım metodunda kullanılacak olan kaplama bileşenleri, çelik strüktür tasarımını doğrudan etkilemekte ve strüktürel kaplama olarak kullanılan ilk kat yapı ürünüyle hafif çelik panel yığma bir sistem olarak beraber çalışmaktadır. Bu kaplama bileşenlerinin uygulanmasında kullanılacak olan vida çeşidi, uygulama aralığı gibi teknik bilgiler de uygulayıcı tarafından doğru bilinmelidir. Genellikle levha olarak üretilen OSB, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha gibi ürünlerin yapı strüktürüyle ilişkisi iyi kurulmalıdır.

Bu çalışma hem hafif çelik malzemenin ekolojik bir yapı malzemesi olarak yapıım yönteminde kullanımının sağlayacağı avantajlarla yeterli bilince ulaşılmasına katkı sağlanmasını hem de kaplama bileşenlerinin hafif çelik yapıım metodundaki önemini vurgulayarak sektörde yaygın olarak kullanılan kaplama ürünlerinin ekolojik açıdan değerlendirilmesini hedeflemektedir. Böylece hafif çelik karkas yapılması kararı verildikten sonra ikinci aşama olan kaplama ürünü seçiminde tasarımcı ve kullanıcıda yeterli bilinç oluşturularak ekolojik olan yapı ürünlerinin kullanımına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada kaplama bileşenleri belirlenen ekolojik ölçütler açısından

değerlendirilmiştir. Hafif çelik malzemeyle sürdürülebilir bir yapı sistemi oluşturulabilmektedir. Yüksek oluşum enerjisine karşın, özelliklerini kaybetmeden geri dönüştürülebilir bir malzeme olması; kullanım aşaması ve kullanım sonrasında çevreyle olan ilişkisi bağlamında ekolojik açıdan sürdürülebilir ve tercih edilmesi gereken bir yapı malzemesidir. Ancak alışkanlıklar ve yeterli bilinç eksikliği gibi nedenlerden ötürü konvansiyonel yöntemler tercih edilmektedir. Çalışmada belirlenmiş olan ölçütler kapsamında incelenen kaplama bileşenlerinin ekolojik açıdan pozitif ve negatif özellikleri değerlendirilmiştir. Literatürde hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan kaplama bileşenlerini bir başlık altında toplayıp ekolojik bağlamda değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmada sektörde yaygın olarak kullanılan iç-dış duvar kaplama malzemelerinin; döşeme, merdiven ve çatı kaplama malzemelerinin tespit edilerek ekolojik kriterler bağlamında değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Hafif çelik yapıım metodunda kullanılan kaplama bileşenlerini bütünsel bir yaklaşımla ele alıp ekolojik kriterler açısından değerlendirmesi yönüyle özgün bir çalışmadır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Yapı sektöründe çelik farklı alanlarda, farklı formlar ve farklı işlevlerde kullanılabilir. Bu çalışmada tanımlanan hafif çelik konstrüksiyon sistemi sac plaka formuna getirilen çeliğin firmalar tarafından çinkoyla kaplanarak yani galvanize edilerek rulo haline getirilmesiyle oluşmaktadır. Hafif çelik profil üreticileri tedarikçilerden dilme usulü veya tam rulo olarak aldıkları bu sacları profil bükme makineleriyle şekillendirerek istenilen ebat ve kesitlerde profil haline getirmektedir. Bu profiller bir araya getirilerek panel sistemi oluşturulmakta ve hafif çelik iskelet sistemi kurulmaktadır. İskelete eşlik eden tamamlayıcı yapı ürünleri: bağlantı parçaları, özel büküm parçaları, tesisat bileşenleri, yalıtım bileşenleri ve kaplama bileşenleridir. Bu sistemin taşıyıcısı tek başına kolon ve kirişler değil panellerin kendileridir. Panel tasarımı yapılırken hafif çelik profillerin dikme aralıkları kaplama yapılacak olan ürüne göre belirlenmektedir. Bu nedenle strüktürel kaplama bileşeni seçimi tasarımın başında yapılmalıdır. Strüktürel kaplama bileşenleri genellikle plakalar şeklinde satılmaktadır. Ölçüleri yaygın olarak standart olmakla birlikte uygulama detayına göre şantiyede veya ön üretimli panel ise fabrikada biçimlendirilmektedir. Hafif çelik iskelet kaplanmasında genellikle çift kat kaplama bileşeni uygulaması yapılmaktadır. İlk kat kaplama direkt olarak hafif çelik panellerin üstüne vidalanmakta ve taşıyıcı sisteme dahil olmaktadır. İkinci kat kaplama bitiş kaplaması olarak kullanılır ve ilk kat kaplamanın üzerinden çelik profillere monte edilir. Bu çalışmada sektörde üretim yapan otuz hafif çelik firmasıyla görüşülmüş ve görüşme sonucunda yaygın olarak kullanılan kaplama bileşenleri tespit edilmiştir. Bu görüşmelere istinaden strüktürel kaplamalarda genellikle OSB, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha, cam elyaf şilte kaplı levha, iç duvarlarda ise alçı levha kullanımının yaygın olduğu tespit edilmiştir. Hafif çelik yapılarda istenilen cephe kaplama ürünleri projeye özgü çözümlerle yapıların cephesinde uygulanabilmektedir. Strüktürel kaplama bileşenlerinin üstüne tasarıma uygun olarak yine aynı ürünlerden veya başka bir dekoratif cephe kaplama ürünü bitiş elemanı olarak seçilebilmektedir. Çalışma kapsamında cephe kaplama ürünlerinden yaygın olarak kullanılan strüktürel kaplama ürünlerine ek olarak hafif çelik yapılarda kullanımı tercih edilebilen tuğla kaplama, doğal taş kaplama ve metal esaslı cephe

kaplamaları genel özellikleri açısından incelenmiş ve ekolojik ölçütlerle değerlendirilmiştir. Çatı panellerinin ilk kat kaplamalarında ise yaygın olarak OSB kullanılmakta ve üzerine sac, kiremit gibi yapı ürünleri tercih edilmektedir. Panellerin aralarında kalan boşluklarda ise camyünü, taş yünü gibi yalıtım bileşenleri kullanılmaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu tez çalışmasında teknolojik ve ekolojik bir yapım sistemi olarak hafif çelik yapım metodu incelenmiş, çelik iskelete eşlik eden tamamlayıcı yapı ürünleri ele alınmıştır. Tamamlayıcı yapı ürünlerinden kaplama bileşeninde yaygın olarak kullanılan ürünler ekolojik açıdan değerlendirilmiştir. Bu amaca uygun olarak literatürde yapılan çalışmalar hafif çelik yapım metodu ve yapı ürünlerini ekolojik açıdan değerlendiren çalışmalar olarak iki başlık altında incelenmiştir. Çalışmanın bulgular bölümünde ise elde edilen veriler tezin metoduyla ilişkilendirilmiştir.

2.1. Hafif Çelik Yapım Yöntemiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında hafif çelik yapım yönteminde seçilen kaplama bileşenleri sürdürülebilir ekoloji yönünden irdelenmiştir. Hafif çelik ile ilgili yapılan literatür taramasından edinilen ortak sonuç: çelik malzemenin geri kazanım özelliği, malzeme ve kaynak verimliliği, renovasyon kolaylığı, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre çalışabilmesi, prefabriğe bir sistem olması gibi özelliklerinden dolayı ekolojik açıdan sürdürülebilir bir yapı malzemesi olduğudur. Ancak üretiminde ihtiyaç duyulan enerji beton veya ahşap üretiminde gereken enerjiden çok daha fazla olduğundan sürdürülebilir bir yapı olabilmesi için ömrünü tamamladıktan sonra malzemelerinin geri dönüştürülerek tekrar kullanılması gerekmektedir (Tuna Kayılı ve Özmen 2020). Literatür araştırması yapılırken öncelikli olarak hafif çelik yapım metodunu genel kullanım ve ekoloji yönünden ele alan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen yayınlardan tezin kapsamına en uygun kaynaklar kitaplar, tezler ve makaleler detaylandırılmıştır.

Eren (2014) kitabında hafif çelik konstrüksiyonlu yapı yapacak kişiler için genel bir tasarım rehberi sunmaktadır. Kitabın ilk bölümünde hafif çelik yapılarda tasarım prensipleri genel bir çerçevede ele alınmıştır. Temel düzenlemeleri; döşeme, duvar ve çatı kuruluşlarının ardından HVAC ve sıhhi tesisat sistemleri açıklanmıştır. Aynı zamanda elektrik sistemleri, yalıtım sistemleri (ses, ısı, yangın) ve bitirme işleri olmak üzere konstrüksiyon kuruluşuna dair tüm kalemler detaylandırılmıştır. Yazarın kullandığı tasarım verileri Almanya ve Kanada'nın teknik şartnamelerinden elde edilmiştir.

Yıldırım (2013) çalışmasında hafif çelik yapım teknolojisinin bilinirliğine ve yaygınlaşmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Endüstrileşmiş bina ve açık sistemler kavramsal çerçeveleri kapsamında hafif çelik metodun kuruluşunu bir modülasyona bağlı şekilde ele alınmaktadır. Çalışmanın son bölümünde betonarmayla üretilmiş bazı yapı örneklerine hafif çelik uygulama çözüm önerileri getirilmiştir. Yıldırım (2003) çalışmasında hafif çelik strüktürlü endüstrileşmiş konut tasarım verilerini incelemiştir. Hafif çelik yapı ve ahşap yapıların benzer özelliklerine değinilerek; hafif çelik sistemin yangın, ses ve ısı izolasyonu, korozyon özellikleri

irdelenmiştir. Çalışmada çeliğin üretiminde kullanılan enerji ve atıklar göz ardı edildiğinde ancak tekrar kullanım oranı göz önüne alındığında ekolojik bir yapı malzemesi olduğu sonucuna varılmıştır. Ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılmasıyla ülke ekonomisine katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Ekinci (2006)'nin çalışmasında çelik malzemenin avantajları irdelenerek konvansiyonel çelik kullanımının ekonomik olmayacağı koşullarda hafif çelik yapım metodu kullanımının önerisi yapılmaktadır. Ülkemizde yeni bir yöntem olarak hafif çelik yapım yöntemi değerlendirme ölçütleri çerçevesinde avantajları ve dezavantajları analiz edilmiştir. Tezde üç ana konu başlığı mevcuttur. Birincisi hafif çelik sistemin tanımı ve kullanım alanları, ikincisi konstrüktif kuruluşu ve üçüncüsü taşıyıcı sistem, mimari tasarım olanakları, yapı fiziki ve statik bağlamlarında değerlendirilmesidir. Çalışmanın sonucunda hafif çelik malzemenin sağladığı avantajların yanında taşıyıcı duvarda boşluk oluşturma olanaklarının sınırlı olması, konvansiyonel sisteme nispeten daha düşük yangın dayanımı olması, sınırlı açıklık geçebilme kapasitesi, yüzde yüz oranında kalifiye işçilik gerektirmesi gibi dezavantajlarının bulunması sebebiyle konut gibi 1-3 katlı yapılar için uygun olduğu önerilmektedir.

Yılmaz (2017) çalışmasında modüler kutu sistemli hafif çelik yapıların yaşam döngüsü sürecini değerlendirmiştir. Bu sistemin sürdürülebilir bir yapım metodu olduğunun gösterilmesi ve esnek tasarım imkanlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Hafif çelik modüler kutu yapım sisteminin ülkemizde yeterince tanınmaması, çelik yapıların pahalı olduğu düşüncesi, montajının doğru yapılabilmesi için kalifiye eleman gerektirmesi gibi özelliklerinden dolayı ülkemizde fazla tercih edilmemektedir. Ancak maliyet analizi sadece üretim aşamasında değil yapının yaşam döngüsü boyunca değerlendirilmelidir. Bu kapsamda tez çalışmasında hafif çelik sistemler çubuk, panel ve modül sistem olarak sınıflandırılmış, örnek bir çalışma modül sistemi üzerinden farklı tasarımların yapılmasının mümkün olduğu ortaya konulmuştur. Hafif çelik malzeme ve modül sistemin yaşam döngüsü süresince avantajlarından bahsedilerek yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Mutlu Akay (2013) çalışmasında hafif çelik yapım sistemini avantaj ve dezavantajlarıyla ele almayı ve sürdürülebilirlik çerçevesinden incelemeyi hedeflemiştir. Hafif çelik üretiminin az olması ve dünyadaki ekolojik dengenin hızla bozulması problemleri bir araya getirilerek bağlantı kurulması amaçlanmıştır. Hafif çelik malzemenin sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak uygun olup olmadığını saptamak hedeflenmiştir. Çalışmada yöntem olarak firma katalogları ve yapı örnekleri incelenerek sürdürülebilirlik kriterlerini gerçekleştirme oranları çizelgelerle ortaya konulmuştur. Çalışmanın sonucunda yapı malzemelerinin sürdürülebilir mimarlık kapsamında olduğu ve çeliğin kullanımı diğer malzemelere göre az olmasına rağmen son yıllarda yaygınlaşma gösterdiği belirtilmektedir. Panel ve hücre sistem daha hızlı olmasına rağmen iskelet sistem daha çok kullanılmaktadır. Hafif çelik yapım metodu daha çok konut yapılarında kullanılmaktadır ancak yurt, okul, otel gibi yapılar için de uygundur. Yapım süresi daha kısadır, geri dönüşümlüdür. Breeam sertifika şartlarını sağlamaktadır. Enerji sistemleri ile entegre edilebilmektedir.

Tartar (2002) çalışmasında Türkiye gibi deprem bölgelerinde hafif çelik konstrüksiyon gibi teknolojilerin değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmada hafif çelik yapı malzemesinin üretim teknikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Strüktürel ve statik detayların ardından konstrüksiyon hakkında bilgi verilmiştir. Hafif çelik malzeme kullanılarak bina yükünden sağlanan azalmayla depreme karşı avantaj kazanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında hafif çeliğin tarihsel gelişimi, uygulama alanları, strüktürel özellikleri, statik tasarım yöntemleri, korozyondan korunma yöntemleri, tasarım olanakları, modüler konstrüksiyon, cephe kaplamaları, sistemin avantajlı olduğu veya geliştirilmeye ihtiyaç duyulduğu noktalar ele alınmıştır. Hafif çelik yapım yönteminin potansiyel faydaları hakkında bir vizyon oluşturulması hedeflenmiştir.

Alica (2013) çalışmasında OSB, elyaf takviyeli çimentolu levha ve çimentolu yonga levha kaplanmış ve kaplanmamış toplam yirmi bir adet hafif çelik panel duvar numunesinde yatay yük etkilerini araştırmıştır. Duvar panelleri üzerinden statik yüklemeye deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonucunda numunelerin çoğunda çekme ankraj elemanında meydana gelen hasardan dolayı panellerin ulaşması gereken yük kapasitesine ulaşamadığı belirlenmiştir. Panellerin kaplamasına bağlı olarak, vida aralığının 30cm yerine 15cm kullanılmasıyla yük kapasitesi %37 ile %85 oranında artış göstermiştir. Hafif çelik duvar panellerinin yük altındaki davranışlarını belirleyen en önemli unsur kaplama çeşidi-kalınlığı ve profiller arası kullanılan vida aralığı olduğu tespit edilmiştir. Panellere diyagonal profillerin eklenmesi OSB kaplı panellerde duvarların yük kapasitesini arttırırken elyaf takviyeli çimentolu levha ve çimentolu yonga levha kaplı panellerde kayda değer bir değişim yaratmamıştır.

Eren ve Başarır (2013) yapıların tasarım aşamasından yıkımına kadar geçirdiği evrelerde farklı çevresel etkiler yarattığını belirterek, çelik malzemenin yaşam döngüsü içerisinde belirlenen kıstaslar çerçevesinde sürdürülebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada çelik strüktürün sağladığı birçok avantajdan ötürü yüksek üretim maliyetine rağmen sürdürülebilir bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Tuna Kayılı ve Özmen (2020) sürdürülebilir mimarlık kapsamında düşük gömülü karbon değerine sahip ve oluşumunda düşük enerji tüketen malzeme kullanımının önemini vurgulamaktadır. Çelik ve alüminyum malzemenin gömülü karbon değerinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Çalışmada çelik duvar konstrüksiyonu ve hafif ahşap, gömülü karbon değerleri bakımından karşılaştırılmıştır. Birim hacimdeki değerler karşılaştırıldığında çelik malzeme ahşaba göre 6 kat daha fazla gömülü karbon değerine sahiptir. Ahşap malzeme karbon depolama özelliğine sahiptir. Bu durum göz önüne alındığındaysa fark 55 kat olmaktadır. Çelik malzemenin yaşam döngüsünü tamamlamasının ardından mutlaka geri dönüştürülmesi ve atık yönetim senaryolarının kurulması önerilmektedir.

Dudás (2003) çalışmasında Macaristan'da artışa geçen hafif çelik çerçeveli konut sistemini kullanıcıya sağladığı sağlıklı çevre ve sürdürülebilir gelişim bağlamında incelemiştir. Hafif çelik yapım yönteminin ekolojik ve bakımını kolay bir yapım teknolojisi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Mahdavinejad vd. (2011) hafif çelik gibi yeni teknolojilerin ekonomik ve sürdürülebilir konut sağlanmasındaki rolünü vurgulamaktadır. Çalışmada 75 m²'lik standart bir konut üretmek için ihtiyaç duyulan konvansiyonel temel inşaat maliyetleriyle hafif çelik yapım yöntemi için ihtiyaç duyulan temel inşaat maliyetleri hesaplanıp karşılaştırması yapılmıştır. Böylelikle hafif çelik yapım yönteminin konut maliyetlerinde azalma yaratıp yaratmadığı araştırılmıştır. Çalışma Qom, Kashan,

İsfahan ve Tehran şehirlerinde yer alan tüm hafif çelik evleri içermektedir. Çalışmanın sonucunda geleneksel yapım yöntemiyle hafif çelik yöntem rakamlar üzerinden karşılaştırılmış ve hafif çelik teknolojisinin konut sektöründe kullanılmasının uygun maliyetli, ekonomik açıdan sürdürülebilir olduğu ortaya çıkmıştır.

Harshavardhan vd. (2021) betonarme veya sıcak haddelenmiş çelik gibi ağır insan gücü, makine ve yüksek maliyet gerektiren geleneksel yöntemlerin yanı sıra hızlı ve sürdürülebilir bir inşaat teknolojisi olan hafif çelik yapım yöntemine odaklanmıştır. Çalışmanın sonucunda hafif çelik yapım yönteminin sıcak haddelenmiş çelikten %50, betonarmeden ise %65 daha hafif olduğu kanıtlanmıştır. Hafif çelik yapım yönteminin maliyet analizi betondan %2, sıcak hadde çelikten ise %4,5 daha azdır. Altyapısı için gerekli beton miktarı geleneksel yöntemlere göre %7 daha azdır. Üstyapı montajı geleneksel sistemlere oranlar %75 daha hızlıdır. Proje tamamlanma sürecine kadar inşaat maliyetleri aynı kaldığı için piyasadaki dalgalanmalardan etkilenmemektedir. Orta katlı yapılar için geleneksel sistemlere oranlar sürdürülebilir bir sistem olarak en uygun alternatiftir.

Sanyuan ve Juan (2009) hafif çelik elemanların ABD, Avustralya ve Japonya'da geniş kullanım alanına sahip olduğunu ve bazı Avrupa ülkelerinde de yaygınlaştığını belirtmektedir. Hafif çelik yapım yöntemi teknolojik açıdan birçok avantaja sahipken günümüz ihtiyaçlarını da karşılamaktadır. Aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma için uygun bir yöntemdir. Yapıların inşasında doğal çevre korunmakta ve yapının ömrü boyunca sağlıklı bir çevre garanti etmektedir. Çalışmada hafif çelik yöntemin avantajlarından bahsedilirken Çin'de yeterince yaygınlaşmamasının sebebi şu şekilde açıklanmaktadır: a) Çok az sayıda yerli üreticinin olduğundan az üretimin aşırı maliyet getirmesi, b) standartların yerli normlara uygun olmaması ve c) geleneksel tüketici profiline yeni yapım yöntemine aşina olmamasıdır.

Mowrtage (2015) farklı hafif çelik strüktür kaplama bileşenlerinin döngüsel yanal yükler altında davranışlarını incelemiştir. On adet duvar paneli numunesi dört farklı malzeme türüyle kaplanarak teste tabi tutulmuştur. Deneylerde trapez çelik sac, çelik sac, betopan ve püskürtme beton uygulanmış ince nervürlü çelik sac kaplamaları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda trapez sac ve çelik sacla kaplı panellerin yanal yüklere hemen hemen aynı tepki verdiği belirlenmiştir. Betopan ile kaplı duvarlar diğer malzemelerden 1.5 kat daha fazla mukavemete sahip olmuşlardır.

2.2. Yapı Ürünlerini Ekolojik Açıdan Değerlendiren Çalışmalar

Tez çalışmasının kapsamını oluşturan hafif çelik yapım yönteminin kaplama bileşenlerinin ekolojik kriterler bağlamında değerlendirilmesi için araştırmanın ikinci adımı olarak literatürde ekolojik açıdan sürdürülebilir yapı malzemeleri ile ilgili yapılmış çalışmalar araştırılmıştır. Yapı malzemelerinin ekolojik kıstaslar çerçevesinde nasıl değerlendirildiği incelenmiştir. Yapılan kaynak incelemesinden edinilen ortak sonuç bir yapı malzemesinin çevresel dengeye zarar vermeyen ve ekolojik açıdan sürdürülebilir olabilmesi için bazı ölçütler mevcuttur. Bunlar malzemenin üretim aşamasından kullanımına ve ömrünün tamamlanmadığında geri dönüştürülmesine veya atık olarak ayrılmasına dair süreçleri içermektedir. Bu ölçütler malzemenin üretiminde harcanan enerji miktarı, yerel olarak temin edilebilirliği, bakım-onarım maliyeti, ürettiği

atık miktarı, insan sağlığını ne yönde etkilediği, kullanıldığı ekosisteme sağladığı fayda-zarar oranı, geri dönüşebilme oranı gibi temel başlıklar altında incelenmektedir.

Sev (2009) yapılarda malzeme ve ürün seçiminin doğal çevreyi ve kullanıcıları üzerindeki negatif etkilerini ortadan kaldırmak, toplumsal yarar sağlamak adına önemli bir adım olduğunu ifade etmektedir. Çevresel etki değerlendirmesi yapmak için yapı malzemesinin yaşam döngüsü süresince ele alınması gerekmektedir. Yapı malzemesi üretiminde kirliliği engelleme, az atık üretme, geri dönüştürülebilir bileşen kullanımı gibi önlemler alınmalıdır. Yapı malzemelerinin bir kısmı yenilebilir veya yenilenemeyen, doğal ya da sentetik kaynaklardan üretilmektedir. Bu nedenle çevresel etkilerini ölçmek güçtür. Kaynak etkinliği, iç mekân hava kalitesine olan etkisi, estetik ve karşılanabilirlik başlıkları altında değerlendirme yapılması gerçekçi bir sonuca ulaşmaya katkı sağlamaktadır. Sev, çalışmasında sürdürülebilir malzemenin belirlenmesi ve seçiminin karmaşık bir süreç olduğunu belirterek kitabında tanımladığı on aşamanın takip edilmesini önermektedir.

Uz (2020) konut üretiminde sürdürülebilirlik kavramını incelerken, kullanılan yapı malzemelerinin de sürdürülebilirliğe etkilerini değerlendirmiştir.

Hashi (2020) örnek LEED sertifikalı ofis projelerini inceleyerek sürdürülebilir malzeme kullanımı yönünden değerlendirmiştir. Ekolojik olarak sürdürülebilir bir yapı tasarlamak için sürdürülebilir malzeme ilkelerini de uygulamak gereklidir. Çalışma sonucunda incelenen örneklerden çoğunluğun malzeme ve kaynaklar bölümünden düşük puan alarak başarısız olduğu ortaya çıkmıştır.

Bribian vd. (2011) üç farklı etki kategorisini kullanarak yaşam döngüsü analizi metoduyla sık kullanılan bazı yapı malzemelerini eko malzemelerle karşılaştırmaktadır. Bu etki kategorileri Avrupa bölgesindeki mevcut enerji ve çevre sorunları ve 20-20-20 hedefine ulaşma ihtiyacı (enerji verimliliğinin %20 yükseltilmesi, sera gazı emisyonlarının en az %20 azaltılması ve enerji tüketimi içerisinde yenilenebilir enerji payının en az %20'ye yükseltilmesi) göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu etkenler şunlardır: birincil enerji talebi, küresel ısınma potansiyeli, su gereksinimi. Böylelikle ekoyapı tasarımında ve mevcut yapıların rehabilitasyonunda malzeme seçimi için kılavuz sağlamayı amaçlamaktadır.

Berber (2012) ekolojik yapılar, enerji verimliliği, ekolojik konutların temel prensipleri, sürdürülebilirlik, ekolojik mimarlık ve malzemeler konularını incelemiştir. Ekolojik yapı malzemelerinin konut tasarımında kullanılmasıyla enerji tüketiminin minimuma indirilmesi hedeflenmektedir. Malzemelerin ana kaynağı doğadır. Ancak her malzemenin üretimi veya tüketimi çevre için farklı tahribatlara sebep olabilmektedir. Çevre sorunlarının önemli boyutlara ulaşması doğaya verilen zararın kanıtıdır. Bu nedenle yapı malzemelerinin ekolojik dengeye zarar vermeyecek şekilde seçilmesi önerilmektedir.

Onat (2004) temel yapı malzemelerini ekolojik bir yaklaşımla değerlendirmiş, çevreye olan olumlu ve olumsuz etkilerini ortaya koymuştur. Doğal taşlar, agrega, kireç, çimento, pişmiş toprak malzeme, cam, metal, ahşap malzemelerinin, plastikler ve boyaların ekolojik değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken ham madde etkinliği, enerji etkinliği, su etkinliği, atıklar ve insan sağlığına etki başlıkları altında belirlenen alt başlıklarla bir puanlama sistemi uygulanmıştır.

Kartal (2018) doğal taşlar, ahşap, beton, cam, metal, polimer esaslı yapı malzemeleri, biyolojik ve toprak kökenli alternatif yapı malzemelerini gömülü enerji, karbon salınımı, geri dönüşüm ve yeniden kullanım özelliklerine göre incelemiştir.

Tufan ve Özel (2018) yapı malzemeleri açısından sürdürülebilirlik kavramını ve inşaat sektöründe kullanımını araştırmıştır. Çalışmaya göre sürdürülebilir malzemelerin özellikleri şu şekildedir: insan sağlığına zararlı değildir, geri dönüşümlüdür, işlevlerini yitirince doğal çevreye zarar vermezler ve yerel kaynaklardan elde edilirler. Çalışma sonunda çevresel, ekonomik ve sosyal kriterler belirlenerek malzeme seçiminde bu ölçütlerin göz önüne alınması ve kaynak tüketiminin azaltılması önerilmektedir.

Balo ve Sua (2018) çeşitli kriterlere göre temel inşaat malzemelerinin ekolojik etkilerini araştırmışlardır. Bu malzemeler cam, kiremit, seramik, demir-çelik, ahşap, beton, bakır ve alüminyumdur. Dokuz farklı çevresel etki ve iki çeşit fiziksel özellik bakımından incelenmiştir. Çevresel etkiler: fotokimyasal oksidasyon, karasal ekotoksitesite, insan toksitesite, stratosferik ozon incelmeye, iklim değişikliği, su gereksinimi, küresel ısınma potansiyeli, birincil enerji talebi ve tatlı su ekotoksitesitesidir. Fiziksel özellikler ise yoğunluk ve termal iletkenliktir. Büyük miktarda enerji ve hammadde tüketen yapı sektörü Bribian vd. (2011)'a göre %24'lük bir hammadde tüketim oranına sahiptir. Franzoni (2011)'ye göre sürdürülebilir çevresel gelişme için yapı malzemesi seçimi önemli bir rol oynamaktadır. Ekolojik yapı malzemesi seçimi zorlu bir süreç olduğundan malzemelerin ekolojik etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada çok kriterli karar verme konuları ile ilgili genel bir çerçeve elde edebilmek adına hiyerarşik bir model oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda sekiz malzeme içerisinde ahşabın en ekolojik malzeme olduğu ortaya çıkmıştır. Beton, seramik ve cam ahşabı çok yakın değerlerle takip etmektedir. Demir ve çelik de yine yakın bir değerle beşinci sıradadır.

Esin (2007) binaların negatif çevresel etkilerinden kaynaklı yapı malzemelerinin, özellikle üretim süreçlerinin önemli olduğunu belirtmektedir. Çalışmada Türkiye'de yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri geliştirilen puanlama metoduyla çevresel etkiler açısından değerlendirilmiştir. Kaynak etkinliği, enerji etkinliği, su etkinliği, atıklar ve insan sağlığına etkiler ana başlıklarıyla analiz edilmiştir. İncelenen yapı malzemeleri %51 oranında kaynak verimliliği, %52 oranında enerji verimliliği, %68 oranında su verimliliği, %62 oranında üretilen atık ve %70 oranında insan sağlığına etkileri açısından başarılı bulunmuştur.

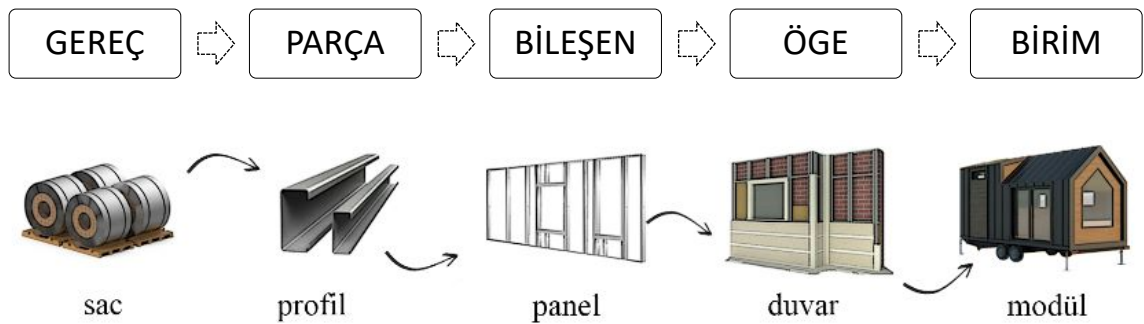
Tudora (2011) inşaat, yalıtım ve kaplama için kullanılan her yapı ürününün farklı özelliklere ve birbirlerine kıyasla avantaj ve dezavantajlara sahip olduklarını belirtmektedir. Malzeme seçiminde dikkatli değerlendirme ve analiz yapılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. İnşaat sektöründeki büyümeyle üretilen yapı malzemelerinin geri dönüşü mümkün olmayan çevresel etkilere yol açtığı belirtilmektedir. Bu nedenle çevre dostu yapı yapmak için çevre dostu yapı malzemeleri kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Yeşil malzemeleri tanımlamak için ise; malzemelerin yerel mevcudiyeti, malzemenin gömülü enerjisi, kullanılan geri dönüştürülmüş/ atık malzemelerin yüzdesi, hızla yenilenebilir malzemeler, binaların enerji verimliliğine katkısı, malzemelerin geri dönüştürülebilir olması, dayanıklılık ve çevresel etki kriterleri kullanılabilir.

3.MATERYAL VE METOT

Hafif çelik yapım yöntemi ve bu yöntemde yer alan kaplama bileşenleri tezin ana materyalini oluşturmaktadır. Çalışmada hafif çelik yapım yönteminin tarihsel gelişiminin ve yapı sektöründe kullanımının ele alınmasının ardından çelik iskelete eşlik eden tamamlayıcı yapı ürünleri incelenmiştir. Kaplama bileşenleri de hafif çelik iskelete eşlik eden tamamlayıcı yapı ürünlerinden bir tanesidir. Strüktürel ve cephe kaplama bileşenleri olarak iki ana başlık halinde hafif çelik iskeletle olan ilişkisi incelenmiştir. Kaplama bileşenlerinin ekolojik olarak değerlendirmesini yapabilmek için yapı ürünlerinde ekolojik olma kriterleri araştırılmış; hafif çelik yapım yöntemi ekolojik açıdan sürdürülebilir bir yapım metodu olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu incelemelere istinaden kaplama bileşenleri ekolojik açıdan değerlendirilmiştir.

3.1. Hafif Çelik Strüktür

Balanlı (1997)'nin yapı ürünleri sınıflaması ve bu sınıflamanın birbiriyle olan ilişkiler şemasına göre gereçler doğada bulundukları haliyle üretime girdikten sonra çeşitli işlemlerden geçirilmekte ve farklı bitirilmişlik düzeylerine göre sıralanmaktadır. Mutfak, yatak odası gibi tek başlarına belirli bir kullanım amacına sahip olan yaşam alanlarına birim adı verilmektedir. Yapı ürünlerinin üretiminde elde edilen ürünler farklı işlenme düzeylerine göre sırasıyla gereç, parça, bileşen, öge ve birim olarak sıralanmaktadır. Bu sisteme göre hafif çelik yapı birimlerinin meydana getirilmesinde kullanılan temel gereç çeliktir. Çeliğin galvaniz kaplanması ve soğuk büküm yöntemiyle makinelerde şekillendirmesinden meydana gelen hafif çelik profiller ise parça sınıflandırmasına girmektedir. Elde edilen bu profiller farklı birleşim yöntemleriyle -genellikle vidalama- bir araya getirilerek hafif çelik paneller üretilmektedir. Bu paneller üretim sınıflandırmasında bileşen olarak yer almaktadır. Hafif çelik panellerin projeye uygun şekilde birbirine monte edilmesi ve uygun yapı malzemeleriyle kaplanmasıyla duvar gövdesi yani öge oluşturulmaktadır. Kaplaması, yalıtımı ve gerekli tesisat işlemleri tamamlanmış duvar ögeleriyle ise istenilen yaşam alanları yani birimler elde edilebilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. Hafif çelik yapı ürünü sınıflandırılması (Darçın 2022'den uyarlanmıştır)

3.1.1. Hafif çeliğin tarihsel gelişimi

Yapısal çeliğin tarihçesinde 1851 yılında Londra Hyde Park'ta, Joseph Paxton tarafından yapılan, cam ve çelikten oluşan 70.000m²'lik "Crystal Palace" fuar binası kilometre taşı olarak kabul edilmektedir (Ekinci 2006). Yapı sektöründe hafif çelik malzemenin kullanılması ise Amerika ve İngiltere'de 1850'lerde başlamış ancak 1940'lara kadar yapılarda geniş bir kullanım alanına sahip olamamıştır. 1946 yılından itibaren Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute) (AISI) tarafından hazırlanan soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının tasarımı için şartnamenin çeşitli sürümleri ile hızlanmıştır (Yu vd. 2020). Günümüzde ise AISI standartları sürekli olarak güncellenmektedir.

II. Dünya Savaşı (1939-1945) sonrasında Japonya, Almanya ve İskandinav ülkelerinde hafif çelik yapılarla ilgili çalışmalar yapılmıştır. 1950'nin son yıllarında Almanya'da ilk uygulama deneyleri gerçekleştirilmiş; bugünkü halini alması ise 1980'li yılları bulmuştur (Terim 2006). II. Dünya Savaşı'nın ardından ABD'de yaygın olarak bir iki katlı yapılarda kullanılan hafif çelik sistemle günümüzde ekonomik bir şekilde dört kata kadar binalar inşa edilebilmektedir (Eren 2014). Yapı endüstrisine tren, otomotiv ve uçak endüstrilerinden taşınan sac malzemenin hafif çelik profil biçimlendirme makinesi (rollforming) makinelerinde çekilmesiyle oluşan profiller, ilk olarak iç mekân bölücü elemanları ve çatı sistemlerinde kullanılmıştır (Yıldırım 2013).

Türkiye'de hafif çelik konstrüksiyon kullanımı 1999 Kocaeli ve Düzce'de meydana gelen depremlerden sonra artış göstermiştir (Çelik ve Öncü 2010; Yıldırım 2013). 1999 depremi sonrasında ülkemizde az katlı konut alanına ilginin yönelmesi ile alternatif yapı sistemleri arayışının sonucu Amerikan evlerine olan benzerliği ve depreme dayanıklılığıyla hafif çelik yapı yöntemi gündeme gelmiştir (Yıldırım 2013).

3.1.2. Hafif çeliğin yapı sektöründe kullanımı

Çelik, doğada farklı formlarda yaygın olarak bulunan demir elementine karbon ve diğer katkı maddelerinin eklenmesiyle elde edilen bir alaşımdır. İçerdiği karbon oranına göre farklı mukavemet değerlerine sahip olmaktadır. Taşıdığı yüke oranla öz ağırlığının düşük olması dayanıklı bir yapı malzemesi olduğunu göstermektedir.

Çeliğin yapı sektöründe iki şekilde kullanımı mevcuttur. Birincisi geleneksel bir yöntem olarak sıcak haddeleme yöntemiyle elde edilen çeliğin kolon-kiriş taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı, ağır çelik olarak da adlandırılan yapılar, ikincisi nispeten yeni bir yöntem olan soğukta şekil verilmiş çelik profillerin bir araya gelerek oluşturduğu yapılardır. İkinci yöntem olan soğuk büküm, 1950'li yıllardan sonra konvansiyonel çelik yapılarda bölme duvar, döşeme ve cephe sistemlerinde kullanılmaya başlanarak hafif çelik sistemler (light gauge steel systems) olarak adlandırılmış; Kuzey Amerika'da konut ihtiyacına yönelik 1970 yılından sonra üretimi devam ettirilmiştir (Ekinci ve Eşsiz 2005).

Hafif çelik yapılar konvansiyonel sistemlere alternatif bir teknoloji olarak son yıllarda üretim hacmini arttırmıştır. Hafif çelik yapı iskeleti ince cidarlı çelik sac

malzemenin hafif çelik profil biçimlendirme makinesi (rollforming) adı verilen soğuk büküm profil çekme makineleriyle şekillendirilerek elde edilen profillerin bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Çelik sac galvanizleme yöntemiyle çinko kaplanmaktadır. Bu çinko tabaka çeliği nemden ve havadaki diğer elementlerin zararlı etkilerinden korumaktadır. Böylece korozyona karşı dirençli bir yapı parçası ortaya çıkmaktadır.

Hafif çelik yapım yöntemi genellikle konut gibi büyük açıklığa sahip olmayan yapılarda tercih edilmektedir. Geniş açıklık gerektiren yapılarda dayanıklılık ve maliyet açısından ağır çelik tercih edilmektedir. Ancak hafif çelik malzemeyle de geniş açıklıklı yapılar üretme çalışmaları devam etmektedir. Özellikle hangar, depo gibi endüstriyel yapılarda geliştirilen hafif çelik sistemlerle daha geniş açıklıklar elde edilebilmektedir. Sadece hafif çelik sistem kullanılarak yapılar elde edilebilirken bazen de hafif çelik malzeme yapılarda yardımcı yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Farklı yapım sistemleriyle eşgüdümlü kullanımları mevcuttur. Hafif çelik yapım sisteminin kullanım alanları Çizelge 3.1’de detaylandırılmıştır.

Hafif çelik yapıların kullanımı ve bilinirliği gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 3.2’de Türkiye Çelik Üreticileri Derneği’nin yayınladığı Türkiye Çelik Haritası bulunmaktadır. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Demir-Çelik Sektör Raporu’na göre 2021 yılı itibariyle dünyada çelik üretimi bir önceki seneye kıyasla %3,7 artarak 1,95 milyar tona, ülkemizde ise %12,7 oranında artarak 40,4 milyon tonla tüm zamanların en yüksek üretim miktarına ulaşmıştır. 2021 yılı itibariyle Türk çelik sektörü Avrupa’da birinci sırada yer alırken, dünyada ise yedinci sırada bulunmaktadır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2022).



Şekil 3. 2. Türkiye Çelik Haritası (TÇÜD 2019)

Çizelge 3. 1. Hafif çelik kullanım alanları (Orijinal 2023)

1) Konut (Şekil 3.3a ve b), okul, yurt, misafirhane, hastane vb. fonksiyonlarda kullanımı	 (a) (b) Şekil 3. 3. a) Hafif çelik villa projesi; b) Hafif çelik villa şantiyesi (Anonim 2)
2) Hangar, depo gibi endüstriyel yapılarda kullanımı (Şekil 3.4a ve b)	 (a) (b) Şekil 3. 4. a) Hafif çelik hangar projesi genel görünüm; b) Hafif çelik hangar detay (ZMS Çelik fotoğraf arşivi)
3) Hareketli veya sabit “tiny house” olarak tanımlanan küçük evlerde kullanımı (Şekil 3.5a, b)	 (a) (b) Şekil 3. 5. a) Verandalı hafif çelik küçük ev; b) Hafif çelik küçük ev (ZMS Çelik fotoğraf arşivi)
4) Sundurma, gölgelik, veranda vb. çatı örtüsü olarak kullanımı (Şekil 3.6a, b)	 (a) (b) Şekil 3. 6. a) Hafif çelik üst örtü; b) Hafif çelik veranda çatısı (Ömer Çamgören arşivi)

Çizelge 3.1'in devamı

5) Çatılarda taşıyıcı makas sistemi olarak kullanımı (Şekil 3.7a ve b)	  (a) (b) Şekil 3. 7. a) Hafif çelik makas-panel sistemi; b) Hafif çelik misafirhane binası- Yozgat (Orijinal 2021)
6) Prefabrik yapılarda döşeme kirişi ve taşıyıcı eleman olarak kullanımı (Şekil 3.8a, b)	  (a) (b) Şekil 3. 8. a) Prefabrik konut projesi; b) Hafif çelik arakat döşeme (ZMS Çelik arşivi)
7) İç mekân bölme duvar elemanı olarak kullanımı (Şekil 3.9)	 Şekil 3. 9. Tempus House Milton Keynes (Ömer Çamgören arşivi)
8) Hafif çelik panellerde çaprazlama elemanı olarak kullanımı (Şekil 3.10)	 Şekil 3. 10. Hafif çelik panel çaprazlama parçası, İngiltere (Ömer Çamgören arşivi)

Hafif çelik malzemenin kullanım alanları Çizelge 3.1’de yer alan maddelere ek olarak şu şekildedir:

- Güvenlik kulübesi, taksi durağı gibi yapılarda modüler bir yapı birimi olarak kullanımı
- Halihazırda mevcut bir yapıya ilave bir kat veya ilave bir yapı olarak kullanımı
- Hafif bir ürün olarak özellikle yüksek katlı yapılarda cephe tasarımında kullanımı
- Çatı aşık profili olarak kullanımı
- Köşebent olarak kullanımı
- Sac levha olarak kullanımı
- Kaplama ve güçlendirme malzemesi olarak kullanımı
- Özel ölçülerde üretilen bükümlerle yardımcı yapı parçası olarak kullanımı
- Asma tavan yapımında kullanımı
- Merdiven olarak kullanımı

3.1.3. Hafif çelik yapım yöntemi

Hafif çelik yapım yöntemi bir yapının fiziksel olarak üretilmesi için kullanılan düzeneğin ana taşıyıcı sisteminin hafif çelik olarak tanımlanan ince cidar kalınlığına sahip çelik malzemenin oluşturduğu bir yapım teknolojisidir. Bu sistemde ağır çelik veya betonarme gibi yapım sistemlerinde kullanılan taşıyıcı kolon-kiriş düzeni genellikle yer almamaktadır. Hafif çelik profiller ahşap iskelet yapım yöntemine benzer şekilde belirli aralıklarla yatayda ve düşeyde bir araya gelmektedirler. Ahşap yapım yönteminden farklı olarak hafif çelik yapım yöntemi uygun yapı malzemeleri ve detaylarla birleştiğinde nemli ortamlarda böcek veya haşere oluşumu gibi negatif etkilere sebep olmamaktadır. Hafif çelik malzemenin ısı iletkenliği yüksektir. Bu nedenle yapı boyunca yalıtım bileşenleri doğru detaylarla kullanılmalı, ısı köprüleri engellenmelidir.

Hafif çelik parça üretmek için her iki yüzeyi çinkoyle kaplanmış galvaniz çelik saclar rulo şeklinde satın alınabilmektedir. Bu rulo saclar farklı ebatlarda ve kalınlıklarda olabilmektedir. Projenin gerekliliğine göre uygun genişlikte ve kalınlıkta sac kullanılmaktadır. Üretici firmadan elde edilen rulo saclar net ölçülerde kesilebilmekte böylelikle malzeme sarfiyatının önüne geçilmektedir. Fabrikaya getirilen rulo dilmeler uygun şekilde yerleştirilmektedir (Şekil 3.11). Üretilcek olan profilin kalınlığına ve genişliğine uygun rulo dilme, hafif çelik profil biçimlendirme makinesi (rollforming) adı verilen hafif çelik sac büküm makinesinin rulo açıcı bölümüne takılmaktadır (Şekil 3.12). Hafif çelik makinesinin “decoiler” olarak da bilinen rulo açma bölümüne takılan çelik sac, açılarak makinenin giriş kısmına yerleştirilmektedir. Böylelikle çelik sacda rulo formundayken meydana gelen kavislenmenin giderilmesi için hazır hale gelmektedir. Giriş kısmında yer alan düzleme istasyonundaki merdanelere sıkıştırılan sac düzlenerek diğer istasyonlara iletilmektedir. Çelik sacda yapılması istenen işlemler bu istasyonlar sayesinde uygulanmaktadır. Örneğin tesisat deliklerinin oluşturulması teknik uygulamalar bu aşamada yapılmaktadır. Elde edilen

çelik profiller bulon, perçin, vida veya ihtiyaç durumunda kaynaklı birleşimlerle bir araya getirilmektedir.



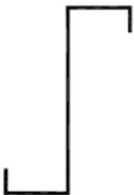
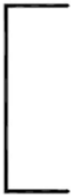
Şekil 3. 11. Galvaniz çelik rulo sac dilmeleri, İstanbul (Orijinal 2020)



Şekil 3. 12. Hafif çelik soğuk büküm profil makinesi, Yozgat (Orijinal 2021)

Galvaniz kaplı çelik rulo saclardan soğuk büküm makineleriyle genellikle U, C veya Σ gibi kesitlere sahip çelik profiller elde edilmektedir (Çizelge 3.2). Elde edilen bu profiller bir araya getirilerek bir panel düzeneği oluşturulmaktadır. Bu paneller de birleştirilerek duvar, döşeme, çatı sistemi, merdiven ve strüktüre ait diğer bileşenlerle bir sistem oluşturmaktadır. Bu sistemde yük aktarımı taşıyıcı kolonlar yerine panellerin kendisi tarafından sağlanmaktadır. Panellerin tabanında ve tavanında bulunan U veya C profillerin içerisine geçirilen dikmeler düşey yüklerin iletimini sağlamaktadır. Duvar panellerinin olmadığı açıklıklarda hafif çelik profiller kolon gibi çalıştırılarak, içerisinde çapraz profillerin bulunduğu kirişler vasıtasıyla yük aktarımı sağlanabilmektedir. Hafif çelik fabrikasında oluşturulan paneller bir montaj planıyla uygulayıcıya teslim edilmektedir. Fabrikada profillerin bir araya getirilmesiyle oluşan paneller karkas olarak teslim edilebilmekte veya kaplama ürünleriyle kaplanabilmektedir. Hafif çelik iskeletin fabrikadaki bitirilmişlik düzeyine bağlı olarak şantiye süresi kısaltılabilmekte böylece inşa sürecinde meydana gelen çevresel tahribat azaltılabilmektedir.

Çizelge 3. 2. Hafif çelik profillerde önerilen S ve U tip parçalar (Yıldırım 2013)

Bileşen tipi		S					U
		S1	S2	S3	S4	S5	
		C (Ce)	C+ (Ce plus)	Σ (Sigma veya epsilon)	Σ^+ (Sigma veya epsilon plus)	Z (Zed)	
Bileşen şekli							
Kullanım yeri	Dikme	X	X	X	X	-	Başlık profili
	Kiriş	X	X	X	X	X	
Profil kalınlığı		min. 0,84 mm- max. 2,5 mm					

3.2. Hafif Çelik İskelete Eşlik Eden Tamamlayıcı Yapı Ürünleri

Hafif çelik yapım yönteminde, çelik iskelet kurulumuna eşlik eden ve yapının bütünlüğüne kavuşmasını sağlayan farklı yapı ürünleri mevcuttur. Çelik iskelete

eklenen bu yapı ürünleri sayesinde yapım sistemi bütünlüğe ulaşmakta, kullanıma hazır hale gelmektedir. Bu ürünler çelik strüktür kurulumunu sağlayan bağlantı parçaları, projeye özel üretilen ve çelik sacın farklı formlarda şekillendirilmesiyle elde edilen özel büküm parçaları; elektrik, mekanik ve sıhhi tesisat bileşenleri, ısı ve ses yalıtım bileşenleri; dış cephe, döşeme, çatı ve merdiven kaplama bileşenleridir.

3.2.1. Bağlantı parçaları

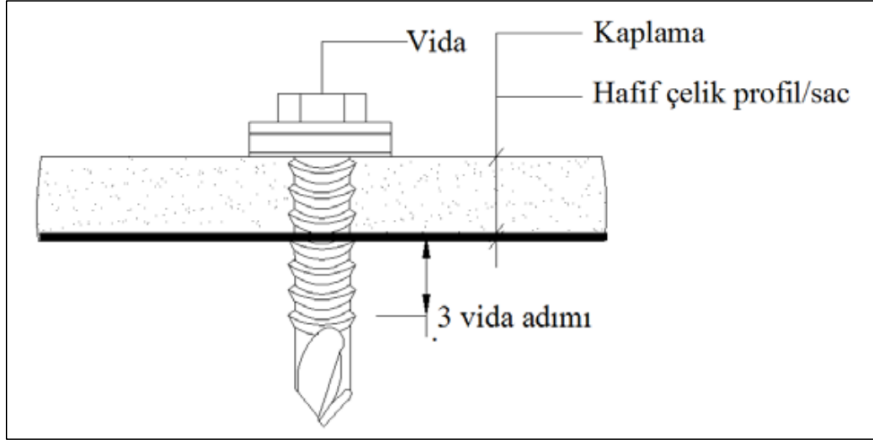
Hafif çelik panellerin birbirlerine veya başka bir yüzeye monte edilmesi esnasında kullanılan çeşitli birleşim elemanları vardır. Yapı elemanlarının bir araya geliş şekillerine göre kullanılacak olan bağlantı elemanları da farklılık göstermektedir. Çelik profillerin birbirlerine montajında yaygın olarak matkap uçlu vida kullanılmaktadır. Bununla beraber bulon, perçin, kaynak, punto, çivi gibi bağlantı elemanlı yöntemlere de başvurulabilmektedir (Çizelge 3.3). Duvar veya zemin panellerinin beton zemine sabitlenmesi gibi ekstra mukavemet gerektiren detaylarda ankraj ayağı ve çelik dübel kullanılmaktadır. Daha kalın mesnet elemanlarıyla hafif çelik birleşimlerinde pnömatik çivileme yönteminin yanı sıra pres perçinleme ya da yapıştırma gibi teknolojiler geliştirilmiştir (Öztürk 2014).

Vidalı birleşimler hafif çelik sistemlerde en yaygın olarak kullanılan bağlantı yöntemidir. 0.0879 mm veya daha az kalınlıktaki çelik için keskin uçlu vida kullanılırken, çeliğin toplam kalınlığı 0.879 mm'yi geçiyorsa matkap uçlu levha metal vidalar kullanılmalıdır (Eren 2014). Akıllı vidaların matkap ucu kendinden delik açma kabiliyetine sahiptir. Uygulama öncesinde delik açılmasına gerek kalmadan tek işlemde vidalama yapılabilir. Kaplama levhaları da kendilerine uygun vidalarla çeliğe montajlanır. İki veya daha fazla malzeme birleşiminde kullanılabilirler. Bu noktada dikkat edilmesi gereken vida uzunluğunun toplam malzeme kalınlığına uygun seçimidir.

Vidalar minimum 3 açık yivle çelik içine geçmeli, vida ve çeliğin serbest ucundaki mesafe en az 1.5 vida çapı olmalı, vidaların en az merkez mesafesi 2.5 vida çapı olmalı, tüm vidalar 0.008mm çinko ya da ona eşdeğer veya daha iyi korozyon direnci gösteren bir malzemeye kaplanmalıdır (Eren 2014).

TBDY 2018 10.3.4.4. maddesine göre kaplamalı panel sistemlerinin birleşimlerinde şu sınırlamalara uyulması gerekmektedir:

- Kenar dikmelerde vida aralığı en çok 200 mm olacaktır.
- İç dikmelerde vida aralığı en çok 300 mm olacaktır.
- Kayma panelinin kenarları boyunca vidaların kenar mesafesi en az 10 mm olacaktır.
- Paneli oluşturan sac elemanların birleşiminde kullanılacak vidanın boyu en az $2t_{dikme} + 10$ mm olacaktır. Ayrıca vidalar, vida başının temas etmediği sacın içine en az 3 vida adımı girecektir (Şekil 3.13).
- Kaplama malzemesinin panele birleşiminde kullanılacak vidanın boyu en az $t_{kaplama} + 2t_{dikme} + 10$ mm olacaktır (TBDY 2018).



Şekil 3. 13. Kaplama malzemesinin hafif çeliğe montajı (TBDY 2018)

Bulonlu birleşimler genellikle çeliğin çelikle, betonla veya taş malzemeye birleşim noktalarında tercih edilmektedir. Somun ve pul yardımıyla uygulanması gerekmektedir (Eren 2004). Ankrajlar ve bulonlar yüksek dayanım performansı göstermesi beklenen bölgelerde daha çok tercih edilmektedir. Çelik yapıda daha önce açılmış olan deliklerden geçirilerek somun yardımıyla sıkıştırılır. Uygulamadan sonra sökülebilmeye özelliğine sahiptirler.

Çizelge 3. 3. Bağlantı parça özelliklerinin karşılaştırılması (Ekinci 2006)

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

Perçinli birleşimlerde kalıcı bağlantılar için kullanılmaktadır. Geri sökülemezler, sökülse dahi deforme olmuş şekilde çıkartıldığından tekrar kullanılamazlar. Perçinler önceden açılmış olan deliklere yerleştirilmektedir. Önceden delme işlemi gerektirdiğinden daha yavaş bir uygulamadır ve perçin pimi koparak bağlantı sağlandığından malzeme sarfiyatı oluşturmaktadır. Bulonlamaya göre avantajı malzemenin arkasına ulaşmaya gerek kalmadan birleşim işleminin uygulanabilmesidir.

Kaynaklı birleşimlerde parçaların eriyerek birbirlerine yapışacak şekilde ısıtılması esastır. Birleşecek olan malzemeler yeterli sıcaklığa geldiğinde basınç uygulanarak veya uygulanmayarak bir araya getirilirler. Bu yöntemle malzemenin fiziki yapısı deforme olup galvaniz kaplama zarar görmektedir. Bu nedenle sökülüp tekrar kullanılamazlar. Diğer yöntemlere göre daha rijit bir bağlantı elde edilmektedir. Puntolamada ise noktasal pres uygulanarak çelik levhalar birleştirilmektedir. Kaynak uygulamasında olduğu gibi ezilen malzemenin kaplaması zarar görmektedir. Çivili birleşim ise yaygın kullanılmamakla birlikte çatı kaplama malzemelerinin montajında kullanılabilmektedir.

3.2.2. Özel büküm parçaları

Hafif çelik yapı bileşenlerinin doğrusal olmayan farklı formlarda bir araya geldiği detaylarda birleşim yerlerinde yardımcı yapı parçalarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Çelik profiller birbirlerine doğrudan bağlandığı gibi arada bir birleşim parçası vasıtasıyla da bir araya gelebilmektedirler. Projede uygulama noktasındaki detaya özel yardımcı parça üretilebilmektedir. Levha halindeki çelik saclar soğuk büküm pres makineleriyle şekillendirilmektedir. Özellikle mahya birleşimi gibi açılı birleşen panellerde birleşim noktalarında temiz bir bitiş alanı oluşturmak için büküm parçaları kullanılmaktadır. Kaplanacak düzgün bir yüzey elde edilmesi sağlanmaktadır.

Montaj profili olarak ihtiyaç duyulan, yapısal özelliği olmayan omega kesitli profiller sık kullanılmaktadır (Çelik ve Öncü 2010). Çatı merteklerinde veya makas panellerinin altında alçı levha kaplama yapmak için “omega” denilen profiller kullanılmaktadır. Çatılarda bu profillerin uçlarını kapatmak için U şeklinde bükme profiller, çatı saçaklarında Z profiller kullanılmaktadır. Odaların tavan kaplamalarında ve ihtiyaç duyulan birleşimlerde köşebentler ve L profiller kullanılmaktadır. Projeye bağlı olarak birleşim detaylarına uygun açılarda ve uzunluklarda çeşitli bükümler gerekebilmektedir. Bükülen malzemeler adet bazında alınıp şantiyede istenilen ölçülerde kısaltılarak veya uç uca birleştirilerek kullanılabilmektedir. Sektörde levha olarak alınan çelik sacın boyu 2500 mm, 2800 mm, 3000 mm gibi standart ölçülerde olduğundan pres makinesinin tezgâh boyutunun da genelde 3 metreye kadar büküm yapabilmesi yeterlidir. Ancak daha yüksek boyutlarda büküm yapabilen makineler de mevcuttur.

3.2.3. Tesisat bileşenleri

Tesisat bileşenlerinin yatayda ve düşeyde devamlılığı profillerin gövdelerine uygun ebatlarda açılan delikler sayesinde sağlanmaktadır. Bu deliklerin yerleri projenin tasarım aşamasında belirlenmektedir. Mümkün olduğunca hizalı açılan bu deliklerin erişilebilir olması için başka bir profil veya yapı malzemesi tarafından kapatılmayacak şekilde planlanmalıdır. Projede eksik olan delikler yerine gerekli görüldüğü takdirde sonradan da boşluk açılabilir. Ancak tesisat deliklerinin büyük çoğunluğu üretim esnasında açıldığından şantiye koşullarında kesme, delme işlemine çok az ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer sistemlerle kıyaslandığında tesisat montajı maliyeti %40 oranlarında daha az olmaktadır (Koç 2021). Dış cephe kaplaması yapıldıktan sonra panellerin arasına yerleştirilen ve genellikle taş yünü tercih edilen yalıtım malzemesinin döşenmesi ve tesisat işleri hemen hemen eş zamanlı ilerlemektedir. Panel içi tüm işlemler bittiğinde ise iç cephe kaplamaları yapılarak tamamlanmaktadır.

Havalandırma, elektrik, su, ısıtma sistemlerine ait kablolar ve borular profil gövde merkezlerine açılan boşluklar aracılığıyla düzenlenmektedir. Sıva üstü veya sıva altı tesisat kullanılabilir. Çelik iletken bir malzemedir. Bu nedenle kablo ve kanalların taşıyıcı sistemle teması yalıtımla engellenmeli, elektrik tesisatı plastik borulardan geçirilmelidir (Koç 2021). Elektrik kablolarının çelikte direkt olarak temasını engellemek için koruyucu kaplamalar kullanılmalı, su tesisatında ise boruların etrafının izolasyon malzemesiyle kaplanması, böylelikle ses yalıtımının sağlanması gerekmektedir (Eren 2014). İki ya da daha fazla katlı yapılarda tesisat planlaması yapılırken pis su giderleri mümkün olduğunca bir arada toplanıp düşey tahliyesinin nereden yapılacağı planlanmalıdır. Pis su tesisatında kullanılan boru çapları daha geniş olduğu için, geçeceği yerlerde çapına uygun olacak şekilde duvar veya döşeme kalınlığı artırılmalıdır. Döşemede tesisat şaftları için açılacak olan boşluklarda gerekli olduğu takdirde güçlendirme gibi düzenlemeler yapılmalıdır.

3.2.4. Yalıtım bileşenleri

Hafif çelik yapılarda diğer yapı sistemlerinde olduğu gibi ısı, ses ve yangın güvenliğinin sağlanması adına yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Yalıtım, suyun yapı kabuğunu geçerek içeri girip yapı malzemelerine zarar vermesini engellemek, istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarını önlemek, gürültüden ve yangından korunmak vb. amaçlarla yapılmaktadır (Sev 2009). Modüler hafif çelik sistemlerde paneller bitmiş olarak sahaya nakledilmektedir. Bu nedenle ısı, ses, yangın gibi konfor koşullarının sağlanmasında ihtiyaç duyulan yalıtım uygulamalarının döşeme ve duvar kuruluşlarının tasarımı aşamasında planlanması gerekmektedir (Yılmaz ve Eren 2022). Panel sistem ile kurulacak olan yapılarda ise tasarıma ek ihtiyaç halinde şantiyede gerekli uygulamalar ilave edilebilmektedir. İhtiyaca göre kullanılan bu malzemeler sayesinde yapı ısı konforuna erişmekte, yangına karşı dayanımı artmakta ve akustik anlamda konforlu bir düzeye erişmektedir. Duvarlar olası yangınlara karşı yangının yayılmasını engelleyici bir bariyer görevi gördüğü için duvar yalıtımı yapılırken yangın yalıtımına da özellikle önem verilmesi gerekmektedir (Koç 2021).

Hafif çelik sistemde yer alan çelik profil dikmelerin aralarında bulunan boşluklar yalıtım malzemesinin kullanılması için uygundur. Duvar panellerinin dış yüzeyden, döşeme panellerinin ise alt yüzeyinden tek kat kaplama uygulaması yapılmaktadır. Sonrasında ise yalıtım malzemesi yerleştirilmekte ve tesisat kabloları yapılmaktadır. Böylece yalıtım malzemesi ve tesisat elemanları dış etkenlere karşı korunmakla birlikte stabilizasyonu sağlanmaktadır. Ardından panelin diğer yüzü de kaplanarak yalıtımlı bir sistem haline gelmektedir. Bu uygulama yaygın olarak kullanılmakla birlikte, yalıtım için kullanılacak malzemenin uygulama detayına göre değişkenlik de gösterebilmektedir.

Binalarda ısı yalıtım miktarı cephede metrekare başına düşen ısı kaybı yani U değeri ile hesaplanmaktadır. Isı yalıtımındaki temel amaç U değerini olabildiğince düşük tutmaktır. Böylece konfor koşullarında yaşam sağlanmaktadır. Yapıyı ısıtmak için tüketilen enerji kaynaklarının kullanımı sınırlandırılarak çevre kirliliği azaltılmakta, ekolojik dengeye katkı sağlanmaktadır. Yakıt tüketiminin azaltılmasıyla harcanan enerji de azalmaktadır. Sürdürülebilir yapılarda enerji kullanımını en aza indirmek ana görevdir (Thormark 2005). Bir yapının genel çevresel etkilerini azaltmak için binanın enerji gereksinimlerini azaltmak en önemli stratejidir (Tanaçan ve Ersoy 2005).

Yapılarda meydana gelen ve konfor ortamının bozulmasına sebebiyet veren istenmeyen sesler için de yalıtım uygulanmalıdır. Rüzgâr etkisi ve tesisatların yapının içinden geçmesi sebebiyle hafif çelik yapılarda akustik problemler ortaya çıkabilmektedir (Koç 2021). Hafif çelik yapılarda hem ses hem de ısı yalıtımını bir arada sağlayan ürünler kullanılabilir. Çelik malzeme yapısı gereği elektrik, ısı, ses, yangın iletimi yüksek bir malzemedir. Ancak uygun yalıtım çözümleriyle bu sorunlar giderilebilmektedir. Örneğin çelik yapıların yangın dayanımını arttırmak için kaplama levhaları yangına dayanıklı malzemelerden seçilmelidir. Taş yünü yalıtım ısı direnci çok yüksek ve yanmaz bir malzemedir. Kullanıldığı takdirde yapının yangın dayanımına fayda sağlamaktadır. Aynı şekilde A1 sınıfı yanmaz alçı levhaların kullanılması yangına karşı yapının direnç göstermesini sağlamaktadır.

3.2.5. Kaplama bileşenleri

Hafif çelik iskeletin üzerine gelecek olan ilk kaplama için yaygın olarak levhalar kullanılmaktadır. Bu ürünlerden dış cephe kaplaması olarak genellikle OSB, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha ve cam elyaf şilte kaplı levha kullanılmaktadır. İç cephe kaplamasında ise alçı levha, mdf, sunta, plywood, çimentolu sunta levhalar ve ahşap lambriler kullanılabilir (Koç 2021). Genellikle duvarların kesme mukavemetini arttıran kaplama levhalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Lawson 2012). Dış cephe kaplamasındaysa farklı cephe sistemleri uygulanabilmektedir. Örneğin tuğla örgü, havalandırılabilir giydirme cephe, metal, yalıtımlı sıva veya ilk kat kaplamada kullanılan kaplama levhaları kullanılabilir (Lawson 2012).

Hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan kaplama malzemeleri kil esaslı, taş esaslı, plastik esaslı, cam esaslı, bitüm esaslı, çimento esaslı, metal esaslı, ahşap esaslı olarak gruplandırılmaktadır (Eren 2014):

- Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri: Terra cotta kaplama, tuğla kaplama vb.
- Metal esaslı cephe kaplama malzemeleri: Demir, sac, alüminyum, bakır, çinko, kurşun vb. yapı metalleri; paslanmaz çelik, pirinç, bronz gibi alaşımlar
- Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri: Betopan, GFRC vb.
- Taş esaslı cephe kaplama malzemeleri: TS 699 özelliğindeki taşlar
- Ahşap esaslı cephe kaplama malzemeleri: OSB, kontrplak vb.

3.3. Hafif Çelik İskelet ve Kaplama Bileşeni İlişkisi

Hafif çelik iskelet sisteminde belirli aralıklarla devam eden dikmeler ve yatay kayıtlar içten ve dıştan kaplanarak ara boşlukları yalıtım bileşeniyle doldurulmakta böylelikle duvar gövdesi oluşturulmaktadır. Duvarın iki yüzeyinden yapılan kaplamalar duvarın bütünselliğini ve rijitliğini arttırmaktadır (Koç 2021). Hafif çelik iskeletin ilk kat kaplaması strüktürel kaplama olup yapının mukavemetine de katkı sağlamaktadır. Ardından bitiş yüzeyi aynı veya farklı bir ürünle kaplanabilmektedir. Bu kaplamalar rüzgâr gibi yanal kuvvetlere karşı taşıyıcı iskelet sisteme destek olmakta ve hızlı bir şekilde iskeletin dış etkenlere kapanmasını sağlamaktadır (Eren 2004). Aynı zamanda izolasyon malzemesinin de örtüsünü oluşturmaktadır. İnce cidarlı iskelet üzerine monte edilen kaplama bileşenleriyle birleşik bir parça oluşturulmakta ve panel kullanıma hazır hale getirilmektedir. Yapının süneklik ve rijitlik özelliklerini iyileştiren kontrplak, OSB gibi yapısal levhalar yapıya etki eden ani kuvvetlere karşı dayanıklılık sağlamakta ve bu etkiyi tüm yapıya dağıtmaktadırlar (Demir 2019). Statik olarak kullanımına izin verilen bu kaplama bileşenlerinin rijitlik değerleri çok yüksek olduğundan, soğuk bükme profillerin burkulması olasılık dahilinde kabul edilmemektedir (Eren 2014).

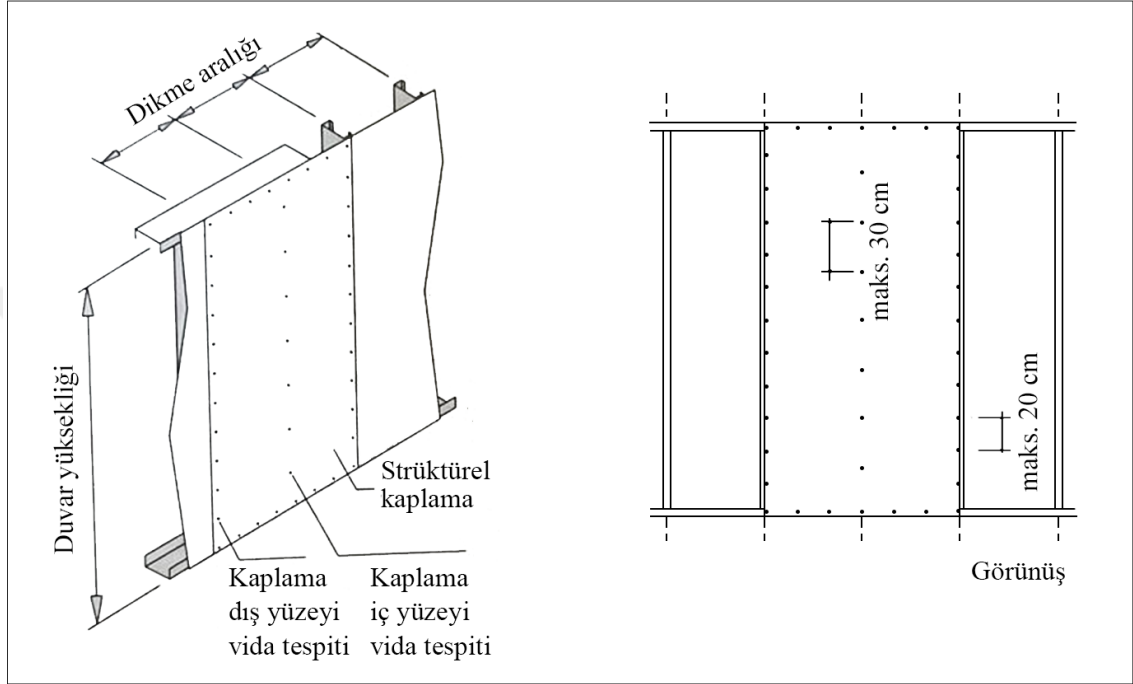
3.3.1. Strüktürel kaplama bileşenleri

Yapıda kullanılacak strüktürel kaplama bileşeninin kararı tasarım aşamasında verilmelidir. Kaplama bileşenleri hafif çelik dikmelere ve yatay kayıtlara vida ile monte edilmektedir. Bu nedenle kullanılacak olan kaplama malzemesinin ölçüleri hafif çelik iskelet tasarımını doğrudan etkilemektedir. Kullanılan malzemenin uzun kenarı, düşeyde olacak şekilde kullanılmalı şayet yatayda kullanılacaksa panelin içine yatay kuşak yerleştirilmelidir (TBDY 2018). Örneğin ilk kaplamada OSB malzemesinin düşey kullanılması planlanmışsa, OSB ölçüleri yaygın olarak 122 x 244 cm'dir. Bu nedenle kaplama levhasını ortalayacak şekilde dikey profiller 61cm, yatay profiller ise 122cm aralıklarla yerleştirilmelidir. Kaplama bileşeninin dış kenarlarında en fazla 20 cm arayla, orta akslarda ise en fazla 30cm arayla vida tespiti yapılmalıdır (Yıldırım 2013) (Şekil 3.14).

3.3.2. Cephe kaplama bileşenleri

Hafif çelik yapım yönteminde cepheyi meydana getiren duvarlar aynı zamanda taşıyıcı duvar görevindedir (Yıldırım 2013). Kullanılan kaplama bileşenleri de taşıyıcılığa katkı sağlamaktadır. Dış cephede projenin tasarımına uygun farklı kaplama

bileşenleri tercih edilebilmektedir. Strüktürel kaplamada kullanılan çimento esaslı ve su geçirimsiz levhalar bitiş ürünü olarak cephede de kullanılabilmektedir. Böylelikle hafif çelik yapı yağmur suyu vb. dış etkenlerden korunabilmektedir. Bir diğer yöntem olarak ise kaplamada cam elyaf şilte kaplı levha ürün tercih edilecekse üzerine sıva ve su geçirimsiz boya uygulaması yapılabilir. Cephede son ürün olarak levha ürünleri dışında giydirme cephe, ahşap esaslı kaplamalar, tuğla kaplama, taş kaplama veya metal esaslı cephe kaplamaları gibi çeşitli cephe kaplama bileşenleri tercih edilebilmektedir.



Şekil 3. 14. Taşıyıcı duvara uygulanan strüktürel kaplama (Yıldırım 2013'ten düzenlenmiştir)

3.4. Yapı Ürünlerinde Ekolojik Olma Ölçütleri

Yapı ürünlerinden, yapı kullanıcılarından veya yapının dış çevresinden kaynaklı farklı biyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iç hava kirleticileri bulunmaktadır. Bu kirleticiler yapı içi hava kirliliği oluşturarak insanlarda kanser ve kanser dışı hastalıklara sebep olmakta; sağlıksız bina sendromuna sebebiyet vermektedir (Darçın 2014).

Yapı ürünleri, üretiminde ihtiyaç duyulan oluşum enerjisi başta olmak üzere yapı ürünlerinden kaynaklanan kimyasal salınımlarda -örneğin sera gazları, karbondioksit gazları- büyük role sahiptir (Karaman Öztaş 2014). Yaşam döngüleri süresince bulundukları ortama parçacık ya da gaz şeklinde kirleticiler bırakarak hava kalitesini bozmakta, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Onat 2004).

Yapı ürünleri zehirli ham madde içerebilmektedir. Örneğin bazı doğal taşlar radyoaktif mineral içeriğine sahiptir. Radon kirliliği gibi birçok sağlık riskini taşıyabilirler. Bu nedenle, doğal kayaç yapısına bağlı olarak toprak esaslı ürünler, taş

ürünler ve bu ürünlerden oluşan yapay ürünler dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Ham maddesi tamamen doğal ve sağlıklı olmasına karşın üretiminde kullanılan katkı bileşenleri de ürünün ekolojik olarak nitelendirilmesinde önem sahibidir. Fabrikalarda endüstriyel üretim sürecinde kullanılan yapıştırıcılar, kimyasallar ve vernikler gibi ürünler sebebiyle kullanıcıların sağlığına zarar veren uçucu organik bileşikler yapı ürünlerinin yapısına işlenerek iç mekân hava kalitesinin bozulmasına neden olmakta, insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Zorlu ve Tıkansak Karadayı 2020) Örneğin yonga levhaların üretiminde kullanılan yapıştırıcılar (izosiyanat, formaldehit vb.) insan sağlığını ciddi ölçüde tehdit etmektedir. Bu gibi etkilerden olumsuz olanlarının tespit edilip mümkün olduğunca giderilmesi için çalışmalar yapılması, daha az ekolojik tahribata sebebiyet veren ve insan sağlığına daha az zarar veren ürünler tercih edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapının tasarımında verilen ürün seçimi kararı önemlidir. Ancak ürün seçimi, çok boyutlu kriterleri içeren karmaşık bir süreçtir ve bu süreçte gelişen ilişkilerin sorgulanması gerekmektedir (Sezgin ve Çelebi 2011). Çevre dostu yapı ürününe karar vermek için çok sayıda ve çeşitli ölçütlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapı ürünlerinin çevre üzerindeki fayda/zarar oranlarına bakılarak mümkün olduğunca fayda oranı en yüksek olan ürünlerin tespit edilip bu ürünlerden seçim yapılması gerekmektedir. Çeşitli ürün alternatifleri ve çok sayıda ölçütler arasından amaç doğrultusunda bir ürün seçmek için sistematik bir yol izlenmelidir. Doğru ürüne ulaşmak, çevreye duyarlı bir yapı tasarlamak, malzeme seçmek ve yapım sürecini yönetmek, karar vericilerin beşikten mezara yaklaşımıyla yapıyı sadece mekânsal olarak değil, çevreye etkileri olan bir sistem olarak düşünmesini gerektirir. (Alptekin 2014). Yapılan yeni çalışmalarda beşikten mezara yaklaşımının beşikten beşiğe olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Bu kavram ürünler kullanım ömrünü tamamladıktan sonra atık üretimini ve kaynak tüketimini azaltmak için döngüye mutlaka tekrar girmesi ve bu kararların tasarım sürecinde alınması gerektiği yaklaşımını temel almaktadır (Tuna Taygun ve Balanlı 2013). Böylelikle ürünlerin kullanım ömrü tamamlandıktan sonra geri dönüştürülerek tekrar kullanıma hazır hale getirilmektedir.

Ülkemizde Yapı Malzemeleri Yönetmeliği kullanılmaktadır. Yapı malzemeleri ve yapı işleri bu yönetmelikte belirtilen ölçütlere uygun olmalıdır. Yönetmeliğe göre yapı işleri yaşam döngüsü süresince insanların sağlığını ve güvenliğini göz önünde bulundurmalıdır. Ayrıca, yapı işlerinde kullanılan malzemeler ve bölümler, yıkımdan sonra geri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir olmalıdır (Çizelge 3.4). Bunun yanı sıra uzun bir süre boyunca kaynak tüketimini azaltmak için yüksek geri dönüşüm potansiyeli olan yapılar üretilmesi gerekmektedir (Thormark 2005). Temel yedi başlığa sahip olan yapı işlerinde; dayanıklı, çevreye uyumlu ham madde veya ikincil madde kullanılmalıdır. Bu başlıklar şu şekildedir:

- Yangın durumunda emniyet
- Gürültüye karşı koruma
- Kullanımda erişilebilirlik ve güvenlik
- Hijyen, sağlık ve çevre
- Mekanik dayanım ve stabilite
- Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı
- Enerjiden tasarruf ve ısı muhafazası (Yapı Malzemeleri Yönetmeliği 2013)

Çizelge 3. 4. Yapı ürünlerinin geri dönüşüm işlemleri (Türkiye İMSAD 2022)

Yapı Ürünü	Geri Dönüşüm İşlemi	Geri Dönüştürülmüş Ürün
Beton	Kırma-ufalama	Geri dönüştürülmüş agrega (kırmataş) Dolgu malzemesi Düşük dayanımlı beton bileşiminde agrega (grobeton) Yol yapımında altyapı malzemesi Parke taşı, sıva ve peyzaj elemanları
Tuğla-kiremit	Harç atıklarının temizlenmesi Kırma- ufalama Yakılarak uçucu küle dönüştürme	Yeniden kullanılacak tuğla Dolgu malzemesi Tuğla / kiremit üretiminde ham madde
Doğal taş	Kırma-ufalama	Beton ve asfalt uygulamalarında agrega Dolgu malzemesi Asfalt, çimento-beton harcında ve zemin iyileştirmede dolgu katkı malzemesi
Metaller	Doğrudan kullanım Eritme	Yeniden kullanılacak metal Yeni metal üretimi
Ahşap	Doğrudan kullanım Temizleme, kesme, yeniden boyutlandırma Yüksek su buharı altında şekil verme Rendelenerek lif, talaş ve yonga haline getirme Yakma	Yeniden kullanılacak ahşap Mobilya ve mutfak elemanları Enerji kaynağı Ahşap kökenli malzemeler Yalıtım levhası Hafif yalıtım ve dolgu malzemesi Kâğıt
Yalıtım bileşenleri	Yıkama, kurutma Öğütme ve ezme Yakma	Yeniden üretilecek yalıtım malzemesi Asfalt

Yapı ürünleri sahip olduğu özellikler bakımından ekolojik etkilere sahiptir. Günümüzde kullanılan temel yapı ürünlerini ekolojik kriterler bağlamında değerlendiren farklı çalışma modelleri mevcuttur. Bu çalışmalarda ele alınan ekolojik değerlendirme ölçütlerinden bazıları Çizelge 3.5'te verilmiştir. Çalışmalar, yapı ürünlerinin çevre üzerindeki etkilerini farklı ancak benzer ölçütler çerçevesinde incelemektedir. Literatür çalışmalarından edinilen ortak sonuç yapı ürünlerinin çevre üzerindeki etkilerini

araştırabilmek için üretiminden itibaren ömrünü tamamlaması ve ardından atık olarak nasıl bertaraf edildiği, nerelerde tekrar kullanılabildiğinin irdelenmesi gerektirir. Ürünlerin çevre üzerindeki en önemli etkileri enerji kaynaklarına olan gereksinimi ve oluşturduğu atık miktarıdır.

Çizelge 3. 5. Yapı ürünlerinin ekolojik değerlendirme ölçütleri (Orijinal 2023)

Hashi (2020)	* Malzemelerin yerel olma durumu * Malzemelerin çevresel etkileri * Çevresel atık yönetimi * Yeniden kullanım * Geri dönüşüm * Malzemelerin insan sağlığına etkileri
Balo ve Sua (2018)	* Fotokimyasal oksidasyon * Karasal ekotoksitesite * İnsan toksisitesi * Stratosferik ozon incelmeleri * İklim değişikliği * Su gereksinimi * Küresel ısınma potansiyeli * Birincil enerji talebi * Tatlı su akustik ekotoksitesite
Kartal (2018)	* Malzemenin gömülü enerji miktarı * Karbon salınım miktarı * Geri dönüştürülme imkânı
Alptekin (2014)	* Besin birikimi * Asitleşme * Ekolojik zehirlenme * Stratosferdeki ozon tüketimi * Fotokimyasal oksit oluşumu * İnsan sağlığına ve iç hava kalitesine etkileri * Biyoçeşitliliğin zarar görmesi * Fosil yakıt tüketimi * İklim değişikliği * Su tüketimi * Hava kirliliği
Bribian vd. (2011)	* Birincil enerji gereksinimi * Küresel ısınma potansiyeli * Su gereksinimi

(Devamı arkada)

Çizelge 3.5'in devamı

Sezgin ve Çelebi (2011)	* Termal özellikler * Fiziksel özellikler * Teknolojik özellikler * Optik özellikler * Kimyasal özellikler * Ekonomik açıdan değerlendirme * Akustik özellikler * Mekanik özellikler * Kullanıcı istekleri
Tudora(2011)	* Malzemelerin yerel mevcudiyeti * Malzemelerin geri dönüştürülebilirliği * Malzemelerin gömülü enerjisi * Çevresel etki * Dayanıklılık * Kullanılan geri dönüştürülmüş/atık malzemelerin yüzdesi * Hızla yenilenebilir malzemeler * Binaların enerji verimliliğine katkısı
Sev (2009)	* Etkin kaynak kullanımı: Geri dönüşümlü bileşen içirme, kolay kullanım, montaj ve söküm; geri dönüştürülebilirlik * Üretimde çalışan kişi ve kullanıcıların sağlığını koruma: Düşük kimyasal emisyon; yüksek miktarda toksik bileşen içermeme, dayanıklılık, az bakım-onarım * Toplum ve ekolojik çevre için yararlı olma: Yenilenebilir kaynaklardan elde edilme, yerel kaynak ve üreticilerden elde edilme, düşük gömülü enerji değerine sahip olma, ömrünü tamamladıktan sonra doğada çözünebilme
Esin (2007)	* Kaynak etkinliği * Enerji etkinliği * Su etkinliği * Atık özellikleri * İnsan sağlığına etkileri * Standartlar
Onat (2004)	* Ham madde etkinliği * Enerji etkinliği * Su etkinliği * Atıklar * İnsan sağlığına etkiler

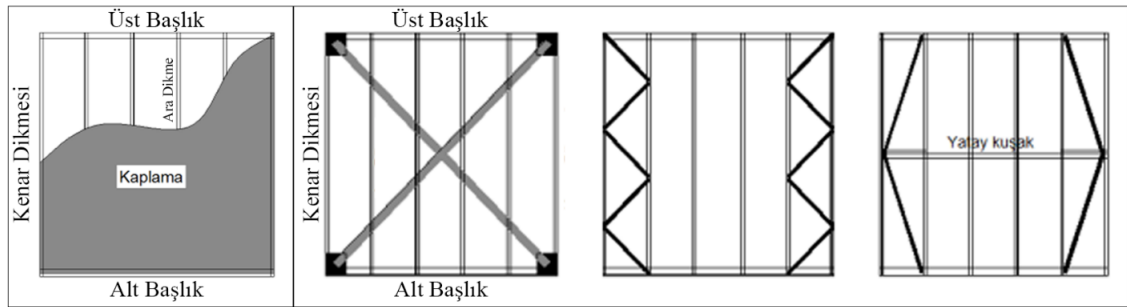
3.5. Ekolojik Açıdan Sürdürülebilir Bir Yapım Yöntemi Olarak Hafif Çelik

Hafif çelik yapım yönteminin sürdürülebilir ekoloji içerisindeki yeri dayanıklılık, geri dönüştürülebilirlik ve zaman tasarrufu olarak üç ana başlıkta incelenmiştir.

3.5.1. Dayanıklılık

Hafif çelik yapım yöntemi özellikle deprem bölgelerinde hızlı ve prefabrik yapı inşa etme ihtiyacına yönelik alternatif bir yapım sistemidir. Yapıda kullanılan hafif ürünler sayesinde yapının kütesinin azalmasıyla maruz kaldığı yatay ve düşey yükler kütle ile doğru orantılı olarak azalmakta, böylece yapı güvenliği artmaktadır. Yapı üst kotlarına doğru kütle azalması depreme karşı güvenliği artırmaktadır (DBYBHY 2007). Çelik malzeme beton ile kıyaslandığında 10 kat daha esnek bir yapı malzemesi olduğundan deprem titreşimleri, dinamik yükler ve stabilite sorunlarına karşı uygun davranışlar sergilemektedir (Of ve Öztürk 2022).

2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te hafif çelik yapılar için ayrı bir bölüme yer verilmezken 2018 yılında resmî gazetede yayınlanan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde hafif çelik yapı sistemlerinin tasarımına ait özel kurallara yer verilmiştir. Bu yönetmeliğe göre hafif çelik yapılar depreme karşı davranış bakımından iki sınıfa ayrılmaktadır. Birincisi, deprem etkilerini kontrplak (plywood) veya OSB duvar panelleriyle karşılayan bulonlu veya vidalı süneklik düzeyi yüksek sistemlerdir. İkincisi deprem etkilerini çaprazlı paneller veya alçı levha içeren kaplamalı paneller ile karşılayan süneklik düzeyi sınırlı sistemlerdir (Şekil 3.15). Hafif çelik yapıların deprem bölgelerinde en fazla üç, diğer bölgelerde ise dört kat kullanılması önerilmektedir (Mutlu Akay 2013).

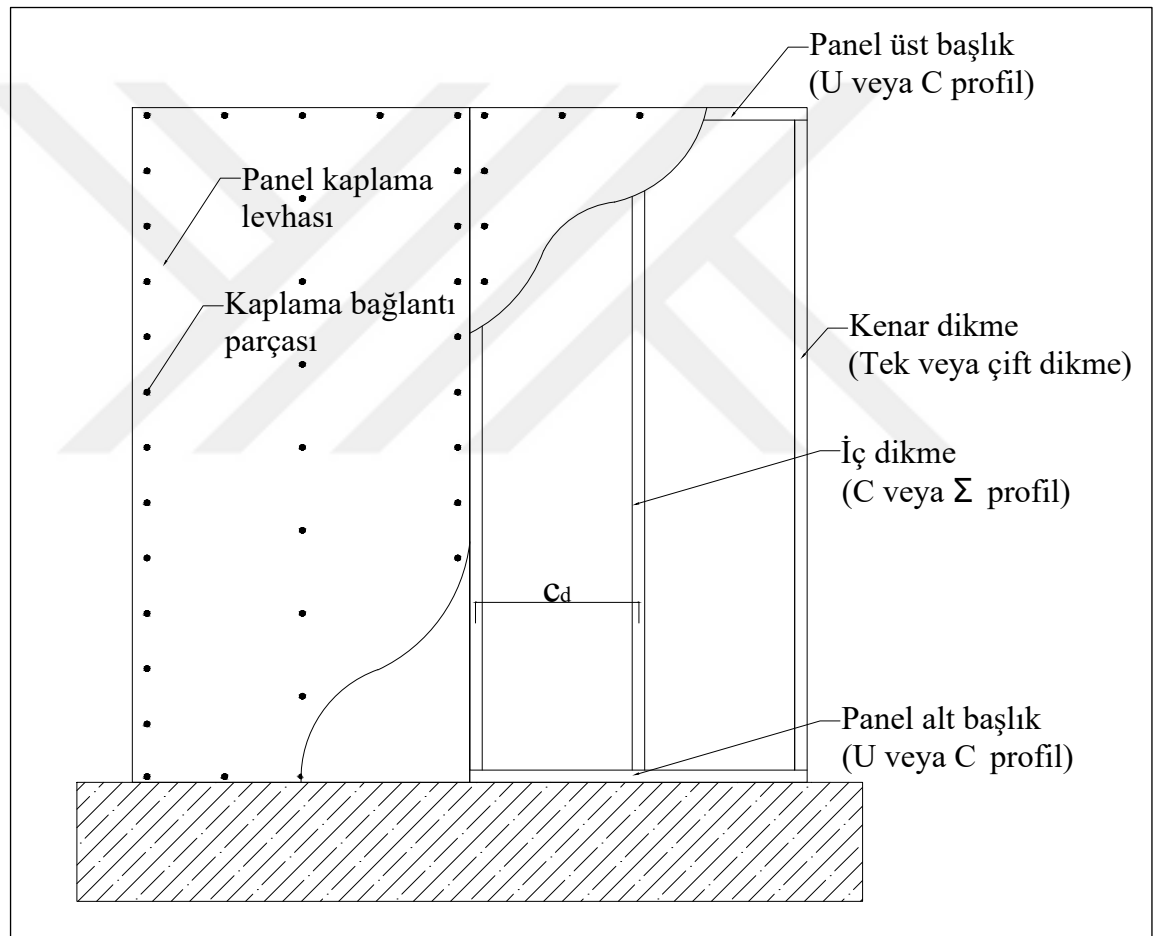


Şekil 3. 15. Süneklik düzeyi yüksek sistem ve süneklik düzeyi sınırlı sistemler (TBDY 2018)

Doğal afetlerden sonra ortaya çıkan hızlı barınma ihtiyacı için hafif çelik toplu konutlar veya geçici sığınma evleri yapılabilmektedir. Hafif çeliğin sökölüp, başka yerde kurulabilme özelliği geçici yapılar için uygun olmaktadır. Düşük kütesine ek olarak, yapının tüm duvarlarının rijit paneller halinde depreme karşı koyması da yapının yatay bir yük olan depreme karşı iyi bir davranış sergilemesini sağlamaktadır (Koç

2021). Aynı zamanda çelik sünek bir malzemedir. Tekrarlayan yüklere karşı kırılmadan durma kabiliyeti ile depreme karşı dayanıklı bir malzemedir (Of ve Öztürk 2022).

TBDY'ye göre taşıyıcı dikmeler C veya Σ enkesitli profillerden olmalı, et kalınlığı en az 0.8 mm, gövde yüksekliği en az 70 mm ve kenar berkitme boyu en az 9 mm olmalıdır. U veya C kesitli panel alt ve üst başlığının et kalınlığı en az 0.8mm olmalıdır. Kullanılacak olan U profillerin başlık genişliği minimum 20 mm, C ve Σ kesitlerin ise minimum 30 mm olmalıdır. Kaplama malzemesinin uzun kenarı düşey doğrultuda olacak şekilde kullanılmalı, yatay kullanılacak ise panelin içine yatay kuşak yerleştirilmelidir. Hafif çelik kaplamalarının taşıyıcı olarak kabul edilebilmesi için Şekil 3.16'da " c_d " olarak gösterilen en geniş dikme aralığı 625mm olmalıdır (TBDY 2018).



Şekil 3. 16. Hafif çelik panel parçaları (TBDY 2018'den üretilmiştir)

TBDY'ye göre hafif çelik yapılarda izin verilen bina yükseklik sınıfı 8'dir (Çizelge 3.6). Deprem tasarım sınıfına göre 1, 1a, 2 ve 2a olarak tanımlanan binalarda H_N yani bina yüksekliği $\leq 7m$ olmalıdır. 3, 3a, 4 ve 4a ise $H_N \leq 10.5m$ olmalıdır. Deprem riski arttıkça bina yükseklik sınırı düşmektedir. Yönetmeliğe göre yüksek deprem riski olan bölgelerde 2 kat, diğer bölgelerde ise 3-4 katlı hafif çelik yapı yapılabilir.

Çizelge 3. 6. Hafif çelik yapı taşıyıcı sistem sınıfları (TBDY 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı <i>R</i>	Dayanım Fazlalığı Katsayısı <i>D</i>	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D.HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı, bulonlu sac, OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8

3.5.2. Geri dönüştürülebilirlik

Çevre tahribatının en önemli kaynaklarından biri olan yapı sektörü için hafif çelik malzemenin geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilme özelliği önem taşımaktadır. Hafif çelik genellikle %85'in üzerinde geri dönüştürülmüş içeriğe sahiptir (Harini vd. 2020). Çelik malzemenin geri dönüştürülerek çelikten çelik üretimiyle enerji %74, hammadde ise %90 korunmaktadır. Su tüketimi %40 azalırken, su kirlenmesinde %76, maden atıklarında %97 ve hava kirlenmesinde ise %86 azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bir kg çeliğin geri kazanımıyla 2720 kcal enerji kaynağı ve 120 watt elektrik enerjisi korunmaktadır (Öztürk 2004). Çelik her ne kadar geri dönüştürülme işleminden geçse de özelliğini kaybetmeyen çevreci bir malzemedir (Of ve Öztürk 2022; Hekim Seçkin 2022). Böylece daha az enerji ve ham madde tüketmektedir.

Yapı ürünlerini sürdürülebilirlik açısından değerlendirmek için üretim için gerekli olan enerji önemli bir faktördür. Çelik için bu değer 38MJ/kg iken; alüminyum 170 MJ/kg, plastikler 80-90 MJ/kg, tuğla 2,8 MJ/kg ve beton 2 MJ/kg'dır (Sev 2009). Ancak en çok geri dönüştürölüp, ekonomiye de en çok katkı sağlayan malzeme çeliktir (Eren ve Başarır 2013). Bu yönüyle sürdürülebilir yapı malzemesi kriterine uymaktadır.

Hafif çelik yapım yönteminde ise bileşenlerin sökülebilir parçalarla birleştirilmesi kullanım sonrası geri dönüştürme işlemi kolaylaştırmaktadır. Hafif çelik strüktürün çoğu bileşeni geri dönüştürülebilmektedir (Yang ve Yang 2017).

3.5.3. Zaman tasarrufu

Hafif çelik yapım yönteminin sağladığı en büyük avantajlardan bir tanesi hızlı kurulum yapılabilmesidir. Bu özelliğiyle acil yapı yapma ihtiyacı doğan durumlarda tercih edilen bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Fabrikada üretim süresi de kısa olmakta olup, sahaya prefabrik yani ön üretimli ulaşan panellerin montajı da hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Şantiye süresinin kısa olmasıyla çevreye verilen negatif etkiler de azalmaktadır.

Hafif çelik yapım sistemi kuru bir yapım sistemi olduğundan hava şartlarından etkilenmez. İşçilerin çalışabileceği uygun her sıcaklık değerinde bina kurulumu yapılabilir. Mevsim şartlarından bağımsız olarak kısa zamanda ve kısa sürede üretilebilmesi zaman açısından tasarruf sağlamaktadır. Fabrikadan üretilen bitmiş ürünlerle kurulum yapıldığı için insan kaynaklı hata yapma oranı düşüktür. Paneller vida, bulon, perçin gibi bağlantı parçalarıyla çeliğin yapısı bozulmadan kurulmaktadır. Kaynak, puntolama gibi malzemenin fiziksel özelliklerini deforme edici yöntemler zorunluluk olmadıkça kullanılmaz. Bu sayede istenildiği zaman çelik strüktür sökülüp, taşınıp başka bir yerde tekrar kullanılabilir. Sıhhi tesisat ve elektrik tesisatı için gerekli boşluklar tasarım aşamasında projelendirilmektedir. Çelik profillerin gövde kısmında hafif çelik profil biçimlendirme makinesi (rollforming) makinesinde yer alan istasyonlar sayesinde projede belirtilen yerlere ihtiyaca göre farklı büyüklüklerde boşluklar açılabilir.

Hafif çelik yapılar kullanıldıkları amaca ve boyutlara göre bitmiş modüler yapılar şeklinde de kurulabilir. Hafif çelik modüler yapı sisteminde yapı birimleri fabrika şartlarında üretildiğinden dış koşullardan bağımsız bir imalat süreci oluşmaktadır. Modüler sistemde panellerin kaplama levhalarıyla kaplanmış bir şekilde şantiyeye getirilmesi zaman tasarrufu sağlamaktadır. Şantiye ofisleri, işçi konaklama kampları, askeri kamplar, mülteci kampları, mobil hastaneler gibi hızlı yapı ihtiyaçlarına yönelik yaşam birimleri için hafif çelik modüler yapı sistemi uygun olmaktadır. Modüler yapı sistemi kapalı, yarı açık ve açık sistemler olarak üç şekilde tasarlanabilir (Eren 2014). Fabrikada üretilen modüler kutu birimleri şantiye alanında vinç yardımıyla bir araya getirilerek yaşam alanına dönüşmektedir. Hafif çelik açık ve yarı açık modüler yapı sistemi ile tasarlanmış birimler esnek plan çözümlerine kolay adapte olabilmektedir. Böylece oluşturulacak olan yapıda ihtiyaç duyulan metrekairelerle tek katlı veya çok katlı yapılar elde edilebilir. Yüksek fabrikasyon içeriğinden dolayı modüler sistemde üniteler %60-%98 oranlarında tamamlanmış olur (Eren 2014). Kaplaması yapılmış, tesisatları tamamlanmış kapalı kutu şeklinde üretilen modüler sistemler ise fabrikada tamamlanıp yerine koyulmaya hazır sistemlerdir. Ancak böyle birimlerin gelişme imkânı sınırlı olduğundan daha çok belirli bir amaca hizmet verecek şekilde tasarlanmaktadır.

Hafif çelik yapım yönteminde fabrikada üretilen yapı bileşenlerinin nakliyesi kolay sağlanmaktadır. Prefabrik olarak fabrikada kurulan paneller yapının metrekaresine bağlı olarak çeşitli nakliye araçlarıyla şantiye alanına ulaştırılmaktadır. Geri kalan kaplama malzemeleri, yalıtım malzemeleri, vitrifiyeler, kapı ve pencereler, sıhhi tesisat bileşenleri, hırdavat parçaları, elektrik bileşenleri, boyalar yine hafif çelik fabrikalarından temin edilip nakliye edilebilir. Yapının boyutuna göre değişmekle birlikte yapı bileşenlerinin bir veya birkaç araçla nakliyesi

sağlanabilmektedir. Böylelikle her bir yapı ürünü için farklı bir nakliye aracı ve ekstra nakliye süresi beklenmesine gerek kalmamaktadır. Şantiye alanında gerekli temel hazırlığının yapılmış olması yeterlidir. Hafif çelik yapılar genellikle zemin betonu üzerine kurulmaktadır. Hafif çelik duvar panelleri hazır beton zemin üzerine ankraj ayağı ve çelik dübellerle monte edilmektedir. Ayrıca hafif çelik yapı elemanlarının taşınması da kolaydır. Sadece insan gücüyle tek veya çift katlı hafif çelik yapıların kurulumu mümkündür. Şantiye esnasında çelik panellerin ağırlığının az olması daha az iş gücüyle, ağır makine ekipmanlara ihtiyaç duymadan bina kurulumu yapılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda hafif üstyapı sistemi sayesinde ihtiyaç duyulan temel işçiliği az olmaktadır. Temel beton-kalıp maliyetleri de düşük olmakla birlikte, az katlı yapılarda iskele kurulmasına ihtiyaç duyulmadan şantiye tamamlanabilmektedir. Şantiye süresinin kısa olması kurulum aşamasında harcanan enerji miktarını da azaltmaktadır.

3.6. Çalışmanın Metodu

Hafif çelik strüktür kullanılarak üretilen yapıların kullanılan yapı ürünleri bağlamında ekolojik olarak nitelendirilebilmesi için hafif çelik iskeletle birlikte kullanılan diğer yapı ürünlerinin de çevre dostu olması gerekmektedir. Kaplamalar da hafif çelik sistemin önemli bir bileşeni olması sebebiyle yapının ekolojik olma durumu üzerinde etkiye sahiptir.

Çalışmanın akışı genel bir sistem aktarım çerçevesi üzerinden kaplama bileşenleri özeline doğru sürmektedir. Kaplama bileşeni ölçeğinde değerlendirme yapmadan önce hafif çelik yapım yöntemi ele alınmış ve kaplama bileşenlerinin sistem içerisindeki yeri aktarılmıştır. Bu amaçla hafif çelik strüktürün tarihsel gelişimi, yapı sektöründe kullanımı ve hafif çelik yapım yöntemi incelenmiştir. Hafif çelik iskelete eşlik eden bağlantı parçaları, özel büküm parçaları, tesisat bileşenleri, yalıtım bileşenleri ve kaplama bileşenleri incelenerek hafif çelik iskelet ve kaplama bileşeni ilişkisi detaylandırılmıştır. Kaplama bileşenlerinin ekolojik olarak değerlendirmesini yapabilmek için literatürde yapılmış olan çalışmalardan yapı ürünlerini ekolojik olarak değerlendirmede kullanılan ölçütler araştırılmıştır. Hafif çelik yapım yönteminin sürdürülebilir ekoloji açısından incelenmesinin ardından her bir kaplama bileşeni hakkında genel bir bilgilendirme sonrası ekolojik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yer alan kaplama bileşenlerinin seçiminde sektörde hafif çelik yapı strüktürü üreten otuz firma ile görüşülmüştür. Firma seçiminde İstanbul ve Ankara merkezli firmalar ağırlıkta olmak üzere Balıkesir, Sakarya, Kayseri, Antalya, Konya gibi ülkemizin farklı bölgelerinde faaliyet gösteren firmalar seçilmiştir. Firmalarla yapılan sözlü mülakatta, hafif çelik yapı uygulamalarında tercih edilen kaplama bileşenleri sorularak alınan cevaplara istinaden en yaygın kullanılan kaplama bileşenleri belirlenmiştir. Hafif çelik yapım yönteminde yönlendirilmiş yonga levha, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha, cam elyaf şilte kaplı levha ve alçı levhalar en yaygın olarak kullanılan kaplama ürünleridir. Çalışma kapsamında ülkemizde kullanımı yaygın olmasa da tercih edilebilen bir ürün olan kontrplak levhalar ve proje tasarımına bağlı olarak özellikle dış cephe kaplamasında tercih edilebilen tuğla kaplama, taş kaplama ve metal esaslı cephe kaplamaları da incelenmiştir.

Literatürden edinilen teorik bilgiler ve şekiller, Türkiye’de yer alan hafif çelik yapı şantiyelerinde / fabrikalarında çekilmiş veya elde edilmiş çalışmaya katkı sağlayacak görsellerle güçlendirilmiştir. Bu fotoğraflar hafif çelik yapım sistemine ait üretim detayları, kurulum detayları, kaplama detayları ve bitmiş yapıya ait fikir oluşturması açısından önemlidir. Yazılı olarak verilen bilgiler görsellerle desteklenmiştir. Hafif çelik yapım yönteminin ve kaplanmasına ilişkin detayların ilk defa bir yönetmelikte ayrı bir başlık olarak ele alınması sebebiyle 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nin konuyla ilgili bölümü çalışmada ele alınmıştır.

Yapı ürünlerini ekolojik kriterler açısından değerlendiren farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda yer alan ölçütlerden faydalanılarak, özellikle ortak değerlendirme odağı olan başlıklar bir araya getirilmiştir. Bu kriterlere göre yapı ürünlerinin ekolojik olarak değerlendirilebilmesi için üretiminde, kullanım aşamasında ve kullanım sonrasında çevreye olan etkileri bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Çevreci yapının kendisi ve ürünlerinin üretiminde, kullanımında ve yok edilmesinde: en az kaynak tüketimi, en az atık üretimi ve canlı sağlığını olumsuz etkilememesi gerekmektedir (Tuna Taygun ve Balanlı 2013). Bu amaçla tez çalışmasında incelenen yapı ürünleri kullanım öncesi dönem, kullanım dönemi ve kullanım sonrası dönem olmak üzere üç ana dönemde incelenmiştir. Bu süreçler Sev (2009), Esin (2006), Bribian (2011), Tudora (2011), Güner (2017) ve Hashi (2020) çalışmalarından esinlenerek geliştirilmiş olan alt başlıklarla detaylandırılmıştır (Çizelge 3.7). Kaplama bileşenlerinin her biri bu çizelge aracılığıyla değerlendirilerek ekolojik yapı ürünü kriterlerine uygunluğu incelenmiştir. Ürünlerin yerel üreticilerden elde edilme kriteri ülke içi ve ülke dışı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme çizelgeleri hazırlanırken iki akademisyen, sektörden bir uzman mimar ve ürün üreticilerinin görüşlerine başvurulmuştur.

Çizelge 3. 7. Kaplama bileşenlerini ekolojik olarak değerlendirme ölçütleri (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			ÜRÜN ADI
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	
		Üretiminde az su gereksinimi	
		Üretiminde enerji verimliliği	
		Yerel üreticilerden elde edilme	

(Devamı arkada)

Çizelge 3.7'nin devamı

KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	
		Üretimde az atık oluşumu	
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	
		Düşük bakım gideri	
		Kullanımda enerji verimliliği	
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	
		Onarımında az atık oluşumu	
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	
		Geri dönüştürülebilme	
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	
		Yıkımında az atık oluşumu	

Oluşturulmuş olan çizelgede kaplama bileşeninin ölçüte uygun olup olmadığı yanındaki kutucuk Çizelge 3.8'de yer aldığı gibi ürün özelliğe sahip (+), ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥) ve ürün özelliğe sahip değil (—) olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3. 8. Ölçüt değerlendirme yöntemi (Orişinal 2023)

	Ürün özelliğe sahip	+
	Ürün özelliğın bir kısmına sahip	⊥
	Ürün özelliğe sahip değil	—

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Hafif çelik yapılarda kullanılan kaplamalar çelik iskeletin üstüne ilk kat kaplamada kullanılacak olan strüktürel kaplamalar ve proje tasarımına bağlı ikinci kat kaplama olarak kullanılabilen cephe kaplama bileşenleri olarak incelenmiştir.

4.1. Strüktürel Kaplama Bileşenleri ve Ekolojik Değerlendirmesi

Hafif çelik yapı iskeleti belirli aralıklarla devam eden yatay ve düşey profillerden oluşan boşluklu bir panel sistemidir. Tesisat ve yalıtım bileşenleri duvar gövdesinde bulunan bu boşluklara yerleştirilmektedir. Panellerin içten ve dıştan kaplanmasıyla gerekli sıhhi, elektrik ve mekanik tesisat altyapısı hazır, yalıtımı uygulanmış ve kaplanmış hafif çelik duvar ögesi hazır olmaktadır.

Yapılan firma görüşmeleri sonucu tez çalışması kapsamında OSB, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha, cam elyaf şilte kaplı levha, alçı levha ve kontrplak levha hafif çelik strüktürel kaplama bileşeni olarak irdelenmiş ve ekolojik ölçütlerle değerlendirilmiştir. Elyaf takviyeli çimentolu levha ve çimentolu yonga levha aynı zamanda cephe kaplama bileşeni olarak da kullanılabilir. Cam elyaf şilte kaplı levha ise üzerine sıva ve boya uygulaması yapılarak cephede kullanılabilir.

4.1.1. OSB levhanın irdelenmesi

Yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ahşap esaslı bir panel levha ürünüdür. Almanya’da W.Klauditz ve arkadaşlarının çalışmalarıyla yönlendirilmiş yonga levhalarla ilgili ilk patent 1954 yılında alınmıştır (Yapıcı 2008). Kavramsal olarak 1965 yılında Armin Elmendorf tarafından etiket yonga levha (waferboard) olarak icat edilmiş ve patenti alınmıştır (Zerbe vd. 2015). OSB, kare biçimdeki yongalardan üretilmiş olan waferboard denilen etiket yongalı levhadan geliştirilmiştir (Akbulut vd. 2002).

1970’li yılların sonlarında plywooda alternatif olarak ilk defa Kuzey Amerika’da üretilip kullanılmaya başlanan OSB, yüksek mukavemeti ve neme dayanım özelliğiyle hafif çelik yapı yöntemi cephe, çatı ve döşeme kaplamalarında dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Yıldırım 2013). 1980 yılında Amerikan Yapı Konseyi’nin yayınladığı MRB-108 raporunda kompozit levhalar ve kontrplağın yapılarda güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir (Yapıcı 2008). OSB standart yonga levhaların kullanımının yeterli kalmadığı, direnç gerektiren tüketim yerleri için geliştirilmiştir (Alvur 2001). OSB’nin boyutları, yoğunluğu ve kalınlığı istenilen ölçülerde üretilmektedir (Şekil 4.1).

Yapısal kaplama pazarında 1980’lerde önde gelen bir rakip olan OSB, şimdiye kadar artık olarak kabul edilen tomrukların kullanılarak orman yönetimine önemli bir katkıda bulunmuştur (Zerbe vd. 2015). Ülkemizde ise 1990’lı yıllarda Kanada ve ABD firmalarından ithal edilerek kullanılmaya başlanmıştır (Çakmak 2018). OSB yönlendirilmiş yonga levhanın İngilizce karşılığı olan “Oriented Strand Board”

kelimelerinin baş harflerinin kısaltmasından meydana gelmektedir. Hafif çelik yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4. 1. İnce dikdörtgen biçimli ahşap şeritlerden üretilen OSB (APA 2010)



Şekil 4. 2. Hafif çelik yapı dış cephe OSB kaplama (ZMS Çelik arşivi)

OSB çapraz yönlendirilmiş katmanlar halinde dikdörtgen şekilli ahşap şeritlerin su geçirmez, ısıyla sertleşen yapıştırıcılarla birleşmesinden üretilmektedir (Çizelge 4.1). Tutkal ilave edilen yongaların yönlendirilmesiyle hazırlanan levhanın sıcaklık ve basınç altında preslenmesinden meydana gelmektedir. Ahşap ve yapıştırıcıların bir araya

gelmesiyle sağlam, bükülmeye karşı dayanıklı, zorlu rüzgâr ve sismik koşullarının meydana getirdiği şekil bozukluklarına karşı dirençli ve bu sağlamlığına nispeten hafif ağırlığıyla taşınması ve montajı kolay paneller meydana gelmektedir (APA 2017). Malzemenin özellikleri TS EN 300 Yönlendirilmiş lif levhalar (Oriented strand boards) standardında tariflenmektedir. Bu standarda göre OSB levhalar OSB1, OSB2, OSB3 ve OSB4 olmak üzere teknik ve üretim özelliklerine göre dört farklı sınıfa ayrılmaktadır ve levha kalınlığı 6mm'den 25mm'ye kadar değişebilmektedir (Yıldırım 2013). Günümüzde 40mm'ye kadar OSB üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Ülkemizde yaygın olarak kuru ortamlarda OSB2 ve nemli ortamlarda OSB3 kullanılmakta, OSB4 yaygın kullanılmamaktadır.

OSB1: Kuru şartlarda yük taşıyıcı olmayan levhalar

OSB2: Kuru şartlarda yük taşıyıcı olarak kullanılan levhalar (Şekil 4.3)

OSB3: Nemli şartlarda yük taşıyıcı olarak kullanılan levhalar

OSB4: Nemli şartlarda aşırı yük taşıyabilen levhalar (TS EN 300).

OSB ile kontrplağın kullanım alanları birbiriyle benzerlik göstermektedir. Kontrplak üretiminde belli ölçülerde kaliteli tomruk kullanılması gerekirken, OSB'nin daha düşük kalitelerdeki tomruklardan üretilabiliyor olması, ham maddesinin kolay bulunmasının yanında ucuz olması, yüksek taşıma kabiliyeti gibi özelliklerinden dolayı özellikle inşaat sektöründe kontrplağın yerine tercih edilmektedir (Alvur 2001; Güller 2001). Eğilme direnci bakımından etiket yonga levhadan (waferboard) daha yüksek dirence sahipken, kontrplağa göre iki kat daha düşüktür (Akbulut vd. 2002).



Şekil 4. 3. OSB2 (Orijinal 2023)

OSB üretiminde ağaç kabuğu kullanılması istenmemektedir. Ancak yongalar genelde kabuğu soyulmamış odunlardan elde edilir ve kabuk miktarı ağacın türüne, yetiştirme ortamına, yaşına bağlı olarak %5-%25 arasında değişkenlik gösterebilmektedir

(Yapıcı 2008). En az 5cm çapa sahip ağaçlar kullanılırken; özgül ağırlığı düşük ve büyümesi hızlı olan çam, kavak gibi ağaç cinsleri kullanılmaktadır (Çakmak 2018; Güller 2001). Yüksek özgül ağırlığa sahip ağaç türlerinden üretilen levhaların ağırlığı fazla, işlenmesi ve taşınması zor olduğundan kullanılmaktan kaçınılmaktadır (Alvur 2001). Bütün odun ve odun kökenli malzemelerde olduğu gibi OSB de suya maruz kaldığında kabarmaktadır. Bu nedenle kuru şartlarda depolanmalı, yeterli çatı havalandırması ve yan buhar bariyerlerinin kullanılması gerekmektedir (Akbulut vd. 2002).

OSB üretiminde kullanılan ham maddeler şunlardır:

- 1) Odun ham maddesi: Genellikle titrek kavak (*populus tremula*) gibi düşük yoğunluklu ağaç türleri tercih edilmektedir.
- 2)Yapıştırıcı maddeler (tutkallar): Odundan ham maddesinden sonra gelen en önemli ham maddedir. Hayvansal, sentetik ve bitkisel olarak üç grupta incelenir. Genellikle fenol formaldehit tutkalı, izosiyanat tutkalı ve melamin üre fenol formaldehit tutkalı kullanılmaktadır.
- 3)Katkı maddeleri: Levha özelliklerini iyileştirmek amacıyla ilave edilmektedirler.
- 4)Hidrofobik maddeler: Boyutsal stabilitenin sağlanması ve suyla temas halinde levhanın su almasının yavaşlatılması amacıyla kullanılmaktadır.
- 5)Sertleştirici maddeler: Kullanılan tutkalın türüne bağlı olarak kullanımı gerekli veya değildir.
- 6)Koruyucu maddeler: Biyolojik bozulma, mantar ve böceklerle karşı koruma ve yangına dayanıklı levha üretebilmek için eklenen malzemelerdir (Yapıcı 2008)

Çizelge 4. 1.OSB'nin uygulama ve kullanım özellikleri (Demirkır 2012)

OSB	
Ham madde	Şerit yonga 1-150 mm
Tipik tutkal	Fenol formaldehit ya da izosiyanat
Uygulama tipi	Yapısal
Yüzey düzgünlüğü	Zımpara ile düzgün yüzey
Kenar işlenebilirliği	Çok sınırlı
Uygulama alanları	Çatı, zemin, duvar kaplama ve zemin altı
Özel uygulamalar	Endüstriyel, hibrit ürünler, I kiriş
Tipik kalınlıklar (mm)	6- 32
Tipik yoğunluk (kg/m ³)	580- 700
Geri dönüşüm (Ürün hacmi/Ham madde hacmi)	0,65

İzosiyanat tutkalları rutubete karşı dirençli oldukları için dış ortam uygulamaları için uygun olmaktadır. Uygulanmasındaki teknik zorluklar, yüksek fiyat ve insan sağlığına olumsuz etkileri sebebiyle ticari uygulamalarda fazla yer almamıştır. Ancak levha ürünlerine olan talebin artması ve formaldehit miktarına getirilen sınırlamalarla yonga levha üretiminde kullanılmasına vesile olmuştur. Oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda sertleşebilmektedir. Fenol formaldehit tutkalı ise kontrplak, LVL, OSB gibi ahşap malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İzosiyanat tutkallarına göre fiyatı daha uygundur (Demirkır 2012).

OSB’lerde kullanılan yapıştırıcılar ve katkı malzemelerinde uçucu organik bileşen emisyonlarına rastlanmaktadır. Heksanal, asetik asit, a-pinen kirleticilerinin mekâna yayılmasıyla iç hava kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Ancak malzeme kullanıldıktan sonra üç gün içinde bu emisyon salınımlarının en yüksek seviyeye ulaştığı, zaman içerisinde de azaldığı gözlemlenmiştir (Zorlu 2019).

Hafif çelik yapılarda kullanılan kaplama levhası çelik profillerin hangi aralıklarla yerleştirileceğini belirlemesi açısından önemlidir. OSB ilk olarak inch cinsinden üretildiği için ülkemizde de yaygın olarak bu ölçüye karşılık gelen 122cm x 244cm ebatlarında üretilmektedir. Yatay veya dikey olarak kullanılabilir. Kaplama levhasının dikey kullanılması durumunda, panellere malzemenin başında sonunda ve ortasında olacak şekilde 61cm aralıklarla dikme profil eklenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda taşıyıcı dikmelerin döşeme kirişleriyle aynı hizada olup temele yük aktarımını sağlaması gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda OSB uygulamasında kullanılan vidaların aralık mesafesinin de önemli olduğu görülmüştür. Yılmaz vd. (2022) OSB kaplı hafif çelik paneller üzerinde deneyler yapmışlardır. Bu deneylere göre vida aralığının azaltılması duvar panellerinin yanal yük kapasitesini, başlangıç rijitliğini ve enerji dağıtma kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Daha kalın OSB kullanılan panellerde yanal yük taşıma kapasitesi, enerji dağıtımı ve başlangıç rijitliği daha yüksekken, ince OSB kullanılan panellerde ise süneklik miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Yılmaz vd. 2022). Lawson vd. (2019) bir veya iki tarafı OSB ve alçı levhalarla kaplı hafif çelik panellerle yaptıkları deneylerde, tek tarafı OSB kaplı C kesitlerin basınç dayanımının %55 arttığını; iki tarafı OSB kaplı panellerin kırılma yükünü %92 arttırdığı; iki tarafı alçı levha kaplı duvarların ise kırılma yükünü %71 oranında arttırdığı sonucuna varmıştır (Lawson vd. 2019). Yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin azaltılmasında sürdürülebilir yönetim stratejisi izleyen firmalar rol almaktadır. Kapalı malzeme döngü sistemiyle üretilen ürünlerde geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı sağlanabilmektedir. Ürünler sürdürülebilir şekilde özel olarak yetiştirilen ormanlardan elde edilebilmektedir. Ahşap ham maddeden çıkan atıklar üretim işlemlerinde tekrar kullanılabilir; kullanılamayan atıklar ise elektrik ve ısı üretiminde termal enerjiye dönüştürülebilmektedir. Formaldehit miktarı ise Avrupa E1 sınıfı limitlerinin altında tutularak ahşap bazlı malzemeden kaynaklanan uçucu organik bileşik miktarı güncel olarak kontrol ettirilmektedir.

Yonga levhalarda %30 oranında geri dönüştürülmüş malzeme bulunmaktadır. Böylece her yıl 1,73 milyon ton karbondioksitin atmosfere salınımını engellemektedir. 1 m³ OSB levha 931 kg, 1 m³ ham yonga levha 812 kg, 1 m³ ladin ahşabı 825 kg, 1 m³ MDF levha 669 kg CO₂ tutmaktadır (Anonim 6). Yönlendirilmiş yonga levhanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. OSB ekolojik ölçüt değerlendirme tablosu (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			OSB
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	+
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	+
		Üretiminde enerji verimliliği	+
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Üretimde az atık oluşumu	+
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	+
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımda az atık oluşumu	+
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	+
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Yıkımında az atık oluşumu	+

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.1.2. Elyaf takviyeli çimentolu levhanın irdelenmesi

Elyaf takviyeli çimentolu levha çimento, elyaf, su ve katkı maddelerinden oluşan; hafif ve dayanıklı, inşaatlarda, özellikle hafif sistemlerde tercih edilen; kaplama, yalıtım ve su geçirmezlik özelliğine sahip bir üründür (Hincapie-Rojas vd. 2023).

20.yy başlarında kendi adıyla bilinen bir yöntem geliştiren Avustralyalı Hatschkek pek çok uygulama alanında yüz yıla yakın bir süredir kullanılan levhalar geliştirmiştir. 1990'lı yıllarda ise günümüzde fibercement levha olarak bilinen selüloz elyafı ilaveli çimentolu levhalar geliştirilmiştir. Otoklavlarda sertleştirilen levhalar ahşap, düz, doğal taş gibi çeşitli görünümde üretilmektedir (Şekil 4.4). Doğal lifli çimento esaslı levhalar ülkemizde ilk olarak 2001 yılında üretilmeye başlanmıştır. Elyaf takviyeli çimentolu levhaların içeriğinde selülozik elyaf, mikronize edilmiş kuvars ve çimento ham maddeleri bulunmaktadır. Asbest içermezler (Anonim 8).



Şekil 4. 4. Yalı baskı uygulamasıyla fibercement kaplı prefabrik bir ev (Anonim 9)

Elyaf takviyeli çimentolu levhalar üretiminde yüksek sıcaklık ve basınç kullanıldığından zorlu koşullara karşı dayanıklıdırlar. İçerdiği malzemeler sayesinde uzun ömürlüdürler. Deniz suyundan veya iklim koşullarından etkilenmezler. İnsanlara veya çevreye zararlı maddeler içermezler. Gaz salınımına sebep olmazlar. Tek başlarına yalıtım bileşeni olarak kullanılamazlar. Ancak ses ve ısı yalıtımına katkı sağlamaktadır (Hekim Seçkin 2022). Şekil 4.5'te elyaf takviyeli çimentolu levha uygulaması sistem detayı görülmektedir.

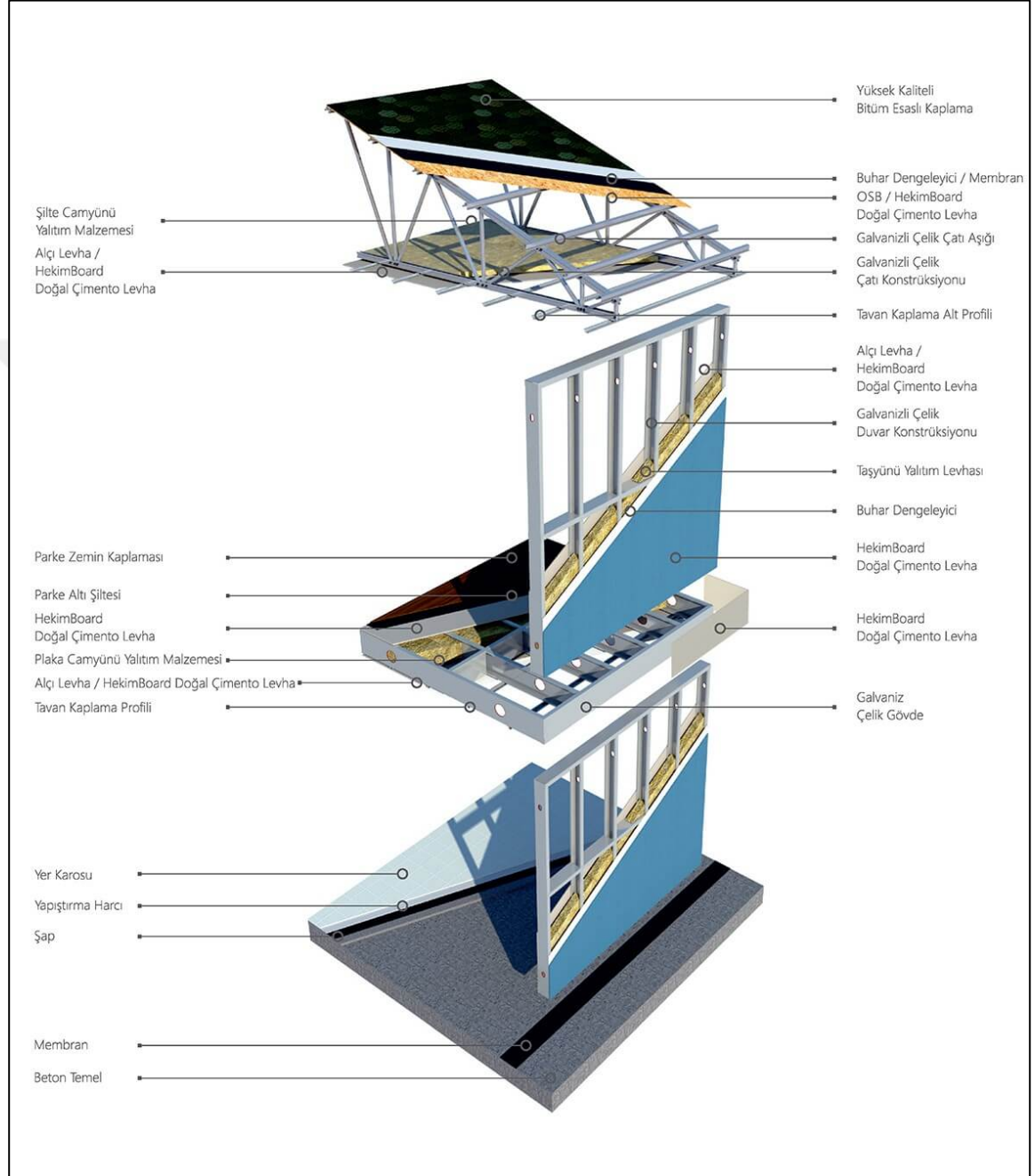
Elyaf takviyeli çimentolu levhaların kullanım yerleri: her çeşit yapının iç mekan ve dış cephe kaplamalarında, havalandırmalı cephe giydirme sistemlerinde, yalıtımlı-sıvalı giydirme sistemlerinde, prefabrik ve çelik yapılarda, çelik konstrüksiyonla oluşturulan yapı bölümlerinde, bitiş ürünü olarak sadece boyanarak, duvar kaplama bileşeni ve backerboard olarak, ıslak hacimlerde fayans altı uygulamalarda, iç ve dış mekan tavan kaplamalarında, asma tavan sistemlerinde, yangın duvarı yapımında, ses yalıtımı istenen yerlerde, ısı yalıtım sistemlerinde, çatı üstü kaplamalarında alt levha olarak, dolap ya da panoların alt malzemesi olarak, balkon ve terasların duvar, parapet ve tavanlarında, saçak alın ve altlarında, çelik kolon ve yalancı kolon kaplamalarında, şantiye çevre çitlerinin yapımında, şaft duvarlarında olarak sıralanabilmektedir.

Elyaf takviyeli çimentolu levha uluslararası A1 sınıfı yanmazlık belgesine sahip bir yapı ürünüdür. Yangın dayanım testlerinde F120 yani 120dk yangına dayanımı olduğu resmi olarak belgelenmiştir. Ürün yanmaz bir malzeme olduğu gibi yangının sönmesine de yardımcı olmaktadır. Muhtemel bir yangında ise insan ve çevre için zararlı herhangi bir gaz emisyonu bulunmamaktadır. Yaklaşık olarak 300-1400 kg/m yoğunluğa sahiptir. Bu da cephede metrekaşe başına yaklaşık 10 kilograma denk gelmektedir. Elyaf takviyeli çimentolu levha kullanımında binalara deprem açısından ilave bir risk eklenmemektedir. Her türlü su bazlı akrilik boyayla boyanabilmektedir. Su geçirmezler. Sudan veya deniz suyundan etkilenmezler. Tek başına bir izolasyon malzemesi özelliği göstermese de yüksek ısı ve ses izolasyon değerine sahiptirler. Çevreye herhangi bir gaz salınımı yapmazlar. Özel bir bakım ya da onarıma ihtiyacı yoktur. Uzun ömürlü bir üründür. Ultraviyole ışınlardan etkilenmez. Kireç çözücüler hariç kimyasallara dirençlidirler. Elyaf takviyeli çimentolu levhalar 1250 mm eninde, 2500 mm, 2800 mm, 3000 mm boylarında ve 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 mm kalınlıklarında üretilmektedirler (Anonim 9).

Elyaf takviyeli çimentolu levhalar mukavemeti ve dayanıklılığı sebebiyle birçok ülkede yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu tip levhalar için tasarım sınırlarını belirleyen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Badr vd. 2019; Zeynalian ve Ronagh 2015). Aşağıda yer alan ekolojik değerlendirme çizelgesi Hekim Yapı tarafından üretilen elyaf takviyeli çimentolu levhayla ilgili firmayla yapılan sözlü görüşmeye istinaden doldurulmuştur. Bu bilgilere göre elyaf takviyeli çimentolu levhalar yerel üreticilerden elde edilebilmektedir. İçeriğinde bulunan elyaf yurtdışından ithal edilmekte, diğer malzemeler yerel temin edilmektedir. İçeriğindeki elyaf yenilenebilir ham madde olarak değerlendirilebilmektedir. İçeriğinde geri dönüştürülmüş ham madde mevcut değildir.

Üretiminde çok miktarda su tüketilmekle birlikte geri dönüşümlü su kullanılmaktadır. Zararlı ham madde, asbest içermemektedir. Zararlı gaz salınımı mevcut değildir. Hava niteliğini olumsuz etkilemez. Uzun ömürlü, bakım gideri düşük, ses yalıtımına katkı sağlayan bir üründür. Ortamın nem dengesine katkısı yoktur. Yapının kullanım ömrü kadar uzun ömürlü bir üründür. Elyaf takviyeli çimentolu

levhanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4. 5. Hafif çelik yapı sistem detayında elyaf takviyeli çimentolu levha uygulama detayı (Anonim 9)

Çizelge 4. 3. Elyaf takviyeli çimentolu levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			ELYAF TKV. ÇİMENTOLU LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	⊥
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	⊥
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	—
		Üretiminde az su gereksinimi	⊥
		Üretiminde enerji verimliliği	⊥
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Üretimde az atık oluşumu	⊥
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	⊥
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımda az atık oluşumu	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	⊥
		Geri dönüştürülebilme	—
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.1.3. Çimentolu yonga levhanın irdelenmesi

Kompozit ürünler iki farklı ya da daha çok malzemenin değişik türlerden yapıştırıcılarla bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Odun kompozitleri ise odunsu malzemenin bir odunla veya başka bir malzemeyeleştirilmesinden oluşmaktadır (Güller 2001). Kompozit ürünler genellikle kendilerini oluşturan malzemelerden daha üstün özelliklere sahip olmaktadır. Yapı ürünü olarak çimentolu odun kompozitleri 60 yıldan fazla süredir üretilmekte ve kullanılmaktadır (Yapıcı vd.2013).

Ahşap-çimento kompozitleri yapmak inşaat yıkımlarından kaynaklanan atıkların, hizmet dışı kalan korunmuş ağaçların, tarım veya gıda işleme operasyonlarından kaynaklanan odun dışı artık gibi ahşapların geri dönüştürmede uygun bir yol olabilmektedir. Öte yandan bu tür kompozitler uçucu külün kısmen çimento yerine kullanılmasıyla geri dönüştürölme olanağını da sunmaktadır (Jorge vd. 2004).

Odun kompozitlerinden odunun- odun dışı inorganik bir malzemeye bağlayıcı olarak kullanımının tarihi uzun zaman öncesine dayanmaktadır. İnorganik bağlayıcı tüm kompozit malzemeler yangın, bakteri ve böcek gibi zararlı etkenlere karşı dayanıma sahiptir. Magnezyum çimentosu, alçı ve portland çimentosu olmak üzere inorganik bağlayıcılar üç başlığa ayrılabilir. Magnezyum çimentosu ve alçı nem ve rutubet konusunda portland çimentosuna göre daha hassastır. Portland çimentosu kullanılan kompozitler hem iç hem de dış maksatlı kullanılabilir. Portland çimentosu suyla temas ettiğinde hidrasyon reaksiyonuna girmekte ve sert bir form almaktadır (Güller 2001).

Çimentolu yonga levhalarda diğer yonga levhaların aksine odun elemanlarını bağlayıcı eleman olarak çimento kullanılmaktadır. Odun malzemenin hafifliği ve elastikliği ile çimentonun sağlamlık özellikleri bir araya getirilerek kompozit bir levha oluşturulmaktadır. Ahşap ve çimento bir araya getirilirken bu iki malzemenin birbiriyle uyumu önemlidir. Odunun içerisinde bulunan ve suda çözünen şekerler çimentonun hidrasyonunda olumsuz etkilere sahip olabilmektedir.

Çimentolu yonga levhalarda portland çimentosu, ağaç yonga veya tarımsal bitkiler, suyla birlikte düşük miktarda kimyasal maddeler ham madde olarak kullanılmaktadır. Kullanılan odunsu materyalin eldesinde tüm ağaç türleri eşit oranda verimli olmamaktadır. İğne yapraklı ağaçların yapraklı ağaçlardan daha uygun olduğu araştırmalar sonucu anlaşılmıştır. Çimentolu yonga levhalara herhangi bir emprenye işlemi uygulanmamasına rağmen, levhadaki odunsu parçacıklar çimento ile kaplı olduğundan ve bu durum alkali bir ortam yarattığından levhalarda mantarlanma problemi görülmemektedir (Bozkurt 1982).

Ahşap-çimento kompozitlerinde genel olarak uyumluluk terimi incelendiğinde; çimento sertleşirken meydana gelen kimyasal süreç, ahşabın mevcudiyeti tarafından bozulmamışsa veya bozulma çok az gerçekleşmişse bu çimento ve ahşap uyumlu demektir. Bazı ağaç türlerinin esans içeriklerinin çimentonun hidrasyonu konusunda inhibitör etkisi yarattığı bilinmektedir (Jorge vd. 2004).



Şekil 4. 6. Hafif çelik strüktür çimentolu yonga levha dış cephe kaplaması, Marmaris (Orijinal 2023)

Çimentolu yonga levhalar neme ve suya dayanıklı ürünlerdir. Yapılarda kullanıldığı takdirde ısı ve ses yalıtımına katkı sağlamaktadırlar. Prefabrik ve hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan dış cephe ve döşeme kaplama bileşenlerinden bir tanesidir. Geniş bir desen yelpazesine sahip olan levhaların düz veya farklı dokulara sahip olanları tercih edilebilmektedir. Uygulanacak olan projenin tasarımına uygun olarak fugalı, ahşap desenli veya farklı dekoratif desenlere sahip olan çeşitleri mevcuttur. Yanma özellikleri bakımından çimentolu yonga levhalar B1 yani güç yanan madde sınıfındadır.

Çimentolu yonga levha boya tutuculuğu yüksek, sürdürülebilir, nem ve biyolojik atıklara karşı dayanımlı, geri dönüşümlü bir yapı malzemesidir (Doğan 2021). Tarihte ilk olarak İsviçre’de 1967 yılında çimentolu yonga levha fabrikası kurulmuştur (Kalaycıoğlu vd. 2011). Ülkemizde 1984 yılında Ankara’da Türkiye’nin ilk çimentolu yonga levha fabrikasını kurulmuştur (Anonim 7) (Şekil 4.6).

Çimentolu yonga levhalar standart olarak 1250 mm genişliğinde ve 2500 mm, 2800 mm, 3000 mm boylarında üretilmektedir. Kalınlıkları ise 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 ve 30 mm olarak değişmektedir. Öngörülen kullanım amaçları: iç ve dış duvar kaplamalarında, yalıtım için dış duvar kaplamalarında (Şekil 4.7), iç mekanlarda dekoratif uygulamalar, baca ve parapetlerin kaplanmasında, zeminlerde, saçak altı ve saçak alını kaplamalarında, duvar inşasında, bina cephe kaplamalarında, prefabrik bina cephelerinde, istinat duvarlarının kaplanmasında, ara zeminlerde, ıslak alanların inşasında, sınır duvarlarının kaplanmasında olarak sıralanabilmektedir (Tepe Betopan Performans Beyanı).



Şekil 4. 7. Ahşap desen görünümlü çimentolu yonga levha yalı baskı uygulaması, Marmaris (Orijinal 2023)

Çimento üretimi çevre üzerinde negatif etkileri olan bir süreçtir. Bir torba çimento üretiminde 25 kg kömür kullanılması gerekmektedir. Üretim tesislerinde meydana gelen hava kirliliği çevresel negatif etkilere neden olmaktadır. Bunlar küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurları vb. Ayrıca yoğun bir şekilde CO₂ gazı atmosfere verilmektedir. Bir ton portland çimentosu üretiminde yaklaşık olarak bir ton CO₂ açığa çıkmaktadır. SO_x ne NO_x çimento üretimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu gazların suyla veya diğer bileşenlerle tepkimeye girmesinden kaynaklı asitlenme ve sonucunda da asit yağmurları meydana gelmektedir (İriş 2019). Çimentolu yonga levhaların zımparalanmasında veya diğer kullanım koşullarında ortaya çıkan toz salınımı göz, deri ve solunum yolu rahatsızlıklarına sebep olabilmektedir (Tepe Betopan Güvenlik Bilgi Formu 2017).

Dönmez Çavdar vd. (2012) çimentolu yonga levha üretiminde kullanılan portland çimentosu yerine kâğıt fabrikalarından elde edilen arıtma suyu çamurunun kullanımını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda atık çamur kullanımının çimentolu yonga levhaların özelliklerinde önemli bir azalmaya neden olmadığı; mekanik özelliklerinde ise iyileşme sağladığı belirlenmiştir. Böylece çevreci ve maliyeti uygun bir yonga levha elde edilebilmektedir. Yılmaz (2012)'in yaptığı test sonuçları ise çimentolu yonga üretiminde kenar kesme işlemi uygulanırken meydana gelen çimentolu yonga levha atıklarının çimento ham maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Yılmaz 2012). Çimentolu yonga levhanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Tepe Betopan tarafından üretilen çimentolu yonga levhayla ilgili firmayla yapılan sözlü görüşmeye istinaden hazırlanmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4. 4. Çimentolu yonga levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

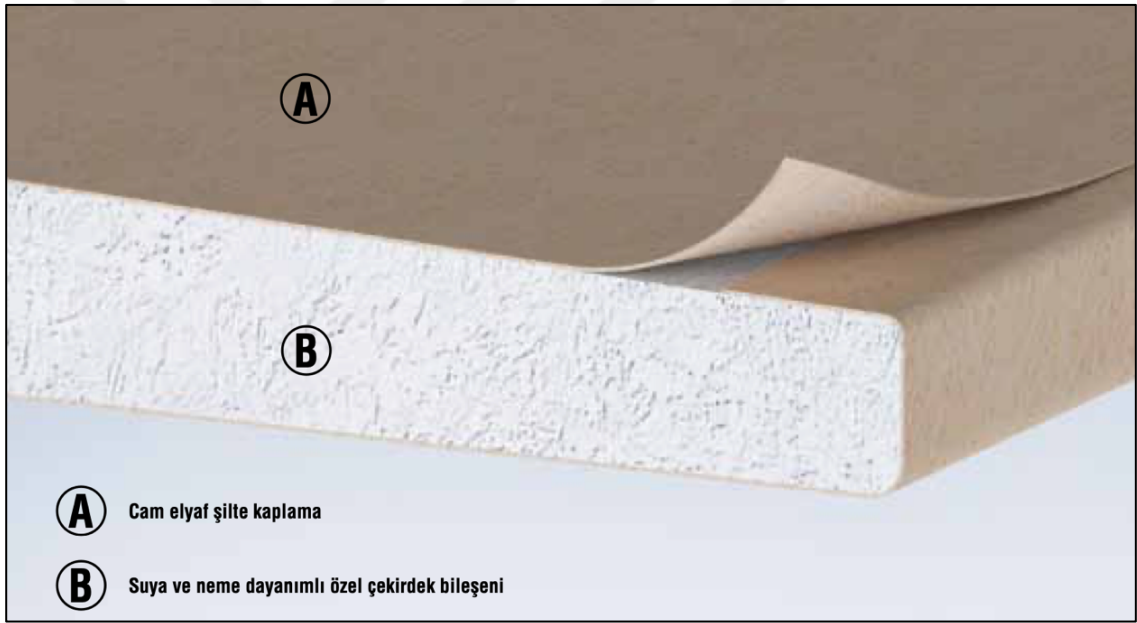
EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			ÇİMENTOLU YONGA LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	⊥
		Geri dönüştürülebilen ham madde içirme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içirme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	⊥
		Üretiminde enerji verimliliği	⊥
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Üretimde az atık oluşumu	⊥
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	⊥
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımda az atık oluşumu	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	⊥
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğin bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.1.4. Cam elyaf şilte kaplı levhanın irdelenmesi

Cam üretim firması olan Owens-Illinois, 2.Dünya Savaşı öncesinde Corning Glass firmasıyla camı eriterek endüstriyel olarak ince cam liflerini üretmek için bir süreç geliştirmişlerdir. Böylelikle kompozit sektörü doğmuştur (Ball 2011). Eski cam şişeler geri dönüştürülerek cam elyafı elde edilebilmektedir. Üretilen cam elyaf katkılı kompozitlerin sahip olduğu avantajlar gözlemlenerek, farklı kaplama ürünlerinde kullanım çeşitlerinin araştırılmasına fırsat sağlanmıştır (Tekin, 2017).

Cam elyaf şilte kaplı levha doğal alçı taşının sıkıştırılmasının ardından her iki yüzeyinin özel cam elyafından elde edilen kaplamayla kaplanmasından meydana gelen bir üründür (Şekil 4.8). Hafif çelik yapılarda cam elyaf şilte kaplı dış cephe kaplama levhaları yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.9). Bu levhalar A1 sınıfı yanmaz özelliktedir. Böylelikle yaşam alanları yangına karşı dayanım kazanmış olmaktadır. Neme, suya ve hava koşullarına karşı dayanıklı, sağlam bir yapı ürünüdür. Üzerinde bulunan cam elyaf şilte kaplaması sayesinde küf ve bakteri oluşumunu engellemektedir. Yüksek sıcaklıklara karşı çekirdek dayanımı arttırılmıştır. Maket bıçağı gibi standart el aletleri kullanılarak kesim işlemi yapılabilir.



Şekil 4. 8. Cam elyaf şilte kaplı sıkıştırılmış doğal alçı kaplama levha (Boardex ürün tanıtım föyü)

Cam elyaf şilte kaplı alçı levhalar dış cephe duvar sistemlerinde, ıslak hacimlerde, havalandırılmalı cephe sistemlerinde, şaft duvarlarında, her türlü kaplama malzemesinin altında altlık (backerboard) olarak, saçak altlarında vb. çeşitli yerlerde kullanılabilir. Tek başına yalıtım ürünü olarak kullanılmaz, ancak yapının yalıtımına katkı sağlamaktadır. Çimento esaslı kaplama levhalarına nispeten daha hafif bir üründür. 12,5 mm ve 15 mm kalınlıklarında üretilmektedir (Çizelge 4.5). Çimentolu yonga levhanın üzerine astar uygulaması yapıp sonra sıva yapılırken cam elyaf şilte kaplı levhalar için astara gerek duyulmamaktadır.

Dış cephe kaplaması olarak cam elyaf şilte kaplı levha kullanılan yapılarda istenilen ısı yalıtım değerini sağlamak için daha düşük yoğunluklu taş yünü kullanılmaktadır. Böylelikle binaya etkileyen yalıtım malzemesi yükü azalırken, yalıtım oranı artmaktadır. Çimento esaslı levhalarla kıyaslandığında işlenme özelliklerinin daha konforlu olduğu görülmektedir. Hafif ve taşınması kolay bir levha olmasının yanı sıra yüksek dayanıma sahiptir. Her iki yönde de birbirine yakın eğilmede kırılma yükü değerine sahiptir. Böylece sadece yatay veya sadece dikey kullanımı gerektirmemektedir. Uygulandığı cephede 12 aya kadar ekstra bir kaplamaya ihtiyaç duyulmadan açık yüzey kullanılabilir. En fazla 20cm vida aralıklarıyla sabitlenmelidir. Böylece şantiyelerde korunma sağlanmış olmaktadır. TS EN 15283-1+A1 “liflerle güçlendirilmiş alçı levha” standardına sahiptir. Cam elyaf şilte kaplı levhanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4. 9. Hafif çelik yapılarda cam elyaf şilte kaplı levha cephe uygulaması, Yozgat (Orijinal 2022)

Çizelge 4. 5. Cam elyaf şilte kaplı levha teknik özellikleri (Boardex ürün tanıtım föyü)

Cam Elyaf Şilte Kaplı Levha		
Uzunluk	1200- 2400 mm	
Genişlik	1200 mm	
Kalınlık	12,5 mm	15 mm
Ortalama Ağırlık	~10,8 kg/m ²	~13,5 kg/m ²
Kesme Dayanımı	≥ 1000 N	

(Devamı arkada)

Çizelge 4.5'in devamı

Toplam Su Emme	≤%5 TS EN 15283-1, H1'e göre
Neme Bağlı Boyutsal değişimi	0,004 mm/m.%RH
Sıcaklığa bağlı boyutsal değişim	0,015 mm/m.°C
Bükülme yarıçapı	1,5 mt
Küfe Direnç	10 * (ASTM D 3272-12'ye göre)
Su buharı geçirgenlik direnç faktörü	10
Isı iletkenlik katsayısı	0,25 W/m.K
Kenar Tipi	İK (İnceltirilmiş Kenar)- KK (Küt Kenar)
Yangın Sınıfı	A1: Hiç yanmaz yapı malzemesi TS EN 13501'e göre

Çizelge 4. 6. Cam elyaf şilte kaplı levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			CAMELYAF ŞİLTE KAPLI LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	⊥
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	—
		Geri dönüştürülebilen ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	+
		Üretiminde enerji verimliliği	⊥
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Üretimde az atık oluşumu	+

(Devamı arkada)

Çizelge 4.6'nın devamı

KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	⊥
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımında az atık oluşumu	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	⊥
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.1.5. Alçı levhanın irdelenmesi

Alçı, doğada jips olarak bilinen alçı taşının pişirilerek öğütülmesinden elde edilmektedir. Alçı taşının ortalama 163°C olan uygun sıcaklıkta ısıtılmasıyla, atmosfer basıncı altında kısmi dehidratasyon işlemine tâbi tutulup, öğütülmesi ve elenmesinden oluşmaktadır (Karahana ve Erşahin 2016). Bu reaksiyon tersinirdir, suyla tekrar karıştırıldığında kısa bir zaman sonra katılaşmaktadır (Gürdal ve Acun 2003). Alçı, ortamdan aldığı nemi uygun koşullarda geri vererek nem düzenlemede yardımcı olmaktadır.

Alçının yapılarda kullanılması milattan önceki yıllara dayanmaktadır. Bağlayıcı olarak yapılarda kullanımına derz harcı ve duvar sıvası olarak Mısır piramitlerinde rastlanmaktadır (Gürdal ve Acun 2003). Endüstriyel olarak gelişmesi ise 19.yy başlarında kimyanın gelişmeye başlamasıyla olmuştur. Amerikalı Augustine Sackett ve Fred L. Kane, 1980 yılında kâğıt ve ziftten ürettikleri yapı levhasının patentini almışlardır. Ziftin kâğıt tarafından emilmesi üzerine, farklı kâğıt tipine geçilerek ve zift yerine alçı kullanarak iki yüzü kartonlu alçı levhalar üretilmiş; yapı sektöründe yerini almıştır. 1917'de İngiltere'ye sonrasında ise bütün Avrupa'ya yayılan bu icat, ülkemizde 1980'li yılların sonunda yapı sektörüne dahil olmuştur (Gürdal 2010).

Her iki tarafı kartonla kaplı alçıdan üretilen alçı levhalar duvar ve asma tavan imalatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alçı levhaların kendine özel galvaniz sac profillere vidalar aracılığıyla monte edilmesiyle ara bölme alçı duvarlar oluşturulmaktadır. Aynı şekilde hafif çelik yapılarda da yaygın olarak çelik iskelet kaplama levhası olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı olmayan bölme duvarlarda kullanıma uygundur (Şekil 4.10). Çekirdeği yüksek saflıkta doğal alçı taşından oluşmaktadır. Hafif ve esnek bir ürün olması sayesinde yatay ve düşey taşımada kolaylık sağlamakta; binanın ölü yükünü çok arttırmamaktadır. Geleneksel harçlı duvar sistemlerine göre hafif olması yönüyle avantajlıdır. TS EN 520+A1 standardına sahiptir.



Şekil 4. 10. Hafif çelik yapılarda dış cephe OSB, iç cephe alçı levha kaplama (Orijinal 2022)

Standart olarak 1200 mm x 2500 mm boyutlarında ve 12.5 mm kalınlığında üretilmektedir. Ancak seçilen ürüne göre farklı boy ve kalınlık üretimleri de mevcuttur (Çizelge 4.7). Kullanılacağı yere göre suya dayanıklı, yangına dayanıklı, darbeye dayanıklı, ses yalıtımı sağlayan vb. özelliklere sahip çeşitleri bulunmaktadır. Islak hacimlerde genel olarak yeşil alçı levha kullanılmaktadır.

Türkiye Alçı Üreticileri Derneği'ne göre alçı elde edilmesinde çimento üretiminde kullanılan enerjinin 1/5'i; tuğla üretiminde kullanılan enerjinin de yarısı harcanmaktadır (Anonim 10). Ülkemizde hurda kağıtların geri dönüştürülmesiyle alçı levha kâğıdı imalatı ve ihracatı da yapılmaktadır.

1980'li yılların başlarında alçı levha atığının zararlı olmadığı düşüncesiyle karada gömülme yoluyla bertaraf etme yöntemi kullanılmaktaydı. Ancak araştırmalar

sonucu alçı taşı / alçı levhanın doğada çözünen diğer atıklarla gömüldüğünde, bazı koşullar altında yanıcı ve zehirli bir gaz olan hidrojen sülfid gazı oluşturduğu tespit edilmiştir. Sonrasında ise Kanada yerel yönetimi tarafından tanımlanan bertaraf yöntemlerinden belirlenen derin sulara dökme yöntemi uygulanmaya başlanmıştır. Okyanusa dökme esnasında ufalanan alçı atığının yeniden alçı levha yapımında kullanılabileceği keşfedilmiştir. Böylece yeni alçı levhanın kalitesinden ödün verilmeden %33'e kadar geri dönüştürülmüş materyal içerebileceği kanıtlanarak atık alçının yol açtığı çevresel sorunların azaltılmasında katkıda bulunulmuştur (Anonim 10).

Çizelge 4. 7. Alçı levha teknik özellikleri (Beyaz Corex ürün tanıtım föyü)

Alçı Levha (Beyaz Corex)						
	Genel tip	Tüm tipler				
Uzunluk	2500 mm	2000 mm – 3600 mm				
Genişlik	1200 mm	1200 mm				
Kalınlık	12,5 mm	6,5 mm	9,5 mm	12,5 mm	15 mm	18 mm
Ortalama Ağırlık	~8 kg/m ²	6kg/m ²	7,30kg/m ²	8 kg/m ²	9,6kg/m ²	15kg/m ²
Eğilmede kırılma (Kağıt liflerine dik)	≥550N	≥280N	≥400N	≥550N	≥650N	≥770N
Eğilmede kırılma (Kağıt liflerine paralel)	≥210N	≥110N	≥160N	≥210N	≥250N	≥300N
Isıl iletkenlik değeri (λ)	0,25W/mK					
Su buharı geçişine direnç katsayısı	10					
Yangına tepki	A2-s1,d0 (TS EN 520+ A1'e göre)					

Dünya çapında üretilen alçı paneller çoğunlukla Avrupa, Japonya ve ABD'de üretilmektedir. Üretiminden yıkımına kadar tüm aşamalarda ortaya çıkan atık alçı paneller ortalama 15 milyon ton civarındadır. Bu atıklar hafriyat alanlarına gönderilmektedir. Atık olarak ortaya çıkan alçı levhalar yeniden kullanılabilmekte; yeni levhaların üretiminde ham madde olarak yer alabilmektedirler (Aydın İpekçi vd. 2017). Alçı levhanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.8'de verilmiştir.

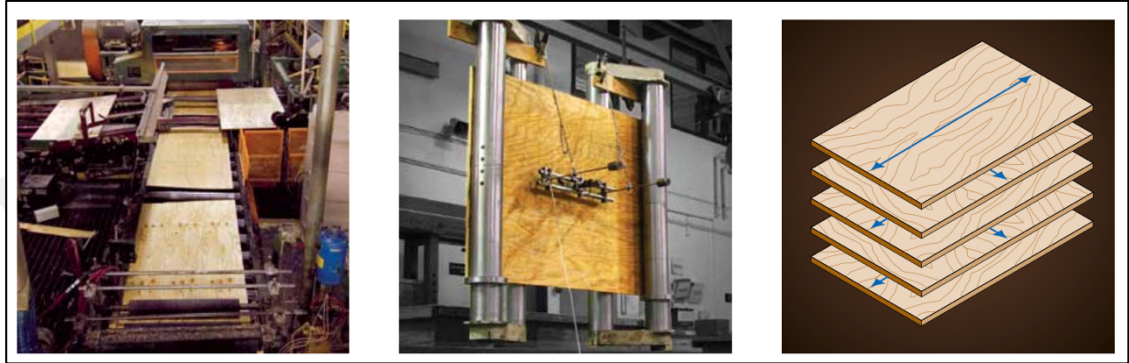
Çizelge 4. 8. Alçı levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			ALÇI LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	⊥
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	—
		Geri dönüştürülebilen ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	+
		Üretiminde enerji verimliliği	+
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Üretimde az atık oluşumu	+
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımda az atık oluşumu	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	⊥
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.1.6. Kontrplak levhanın irdelenmesi

Kontrplak ahşap esaslı bir panel levha ürünüdür. Üretiminde belirli özelliklere sahip tomruklar kullanılmaktadır. Özel tomruk soyma makinelerinde elde edilen ince soyma levhalar, lifleri birbirlerine dik gelecek biçimde tutkallanarak en az 3 tabaka olmak üzere tek katlı sayılar halinde üst üste konularak preslenmekte, böylelikle kontrplak levhası üretilmiş olmaktadır (Güller 2001) Kaplamaların yönünün katmandan katmana değiştirilmesiyle her iki yönde levha mukavemeti arttırılmaktadır (APA 2010) (Şekil 4.11). Tabakaların lif yönlerinin birbirlerine dik oluşu levhaya boyutsal stabilite sağlamaktadır (Kılıç 2007).



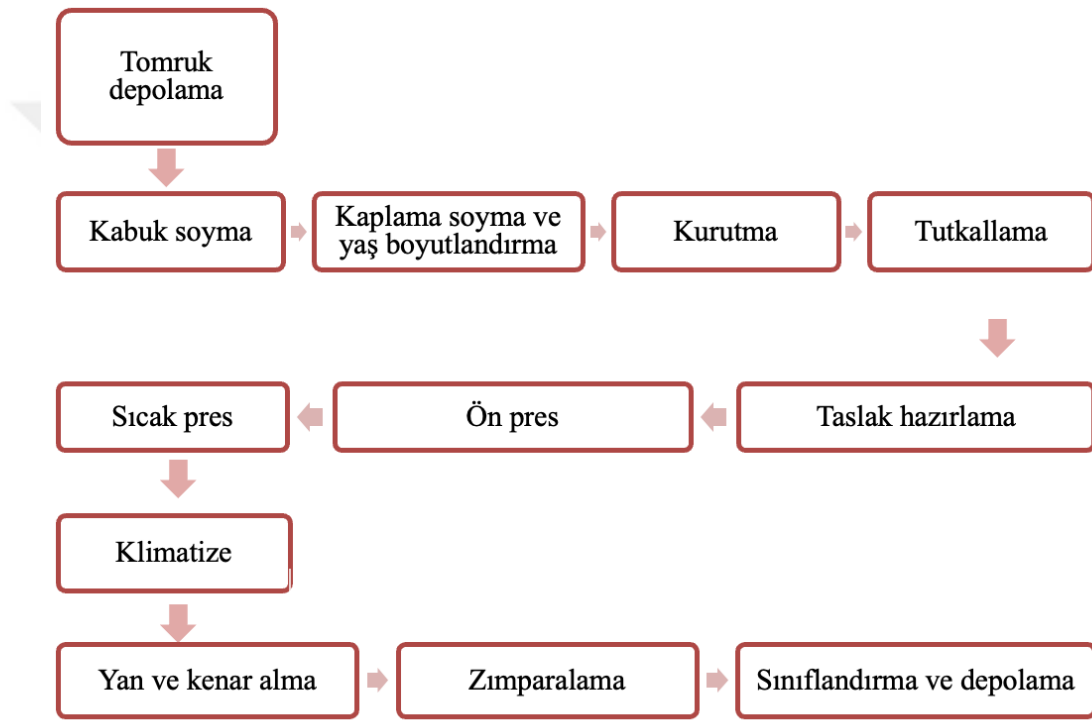
Şekil 4. 11. Kontrplak üretimi (APA 2010)

Kontrplak için çapı en az 35 cm boyu ise 1.5m olan, mümkün olduğunca budaksız, çürüksüz, çatlaksız, dolgun gövdeli, lif kıvrıklığı olmayan, yıllık halka içinde ilkbahar ve yaz odunu kontrastı fazla olmayan bol miktarda tomruk gerekmektedir (Akbulut vd. 2002). Kontrplak taşıyıcı kaplama olarak kullanılacaksa en az 8-10 mm kalınlığında olması gerekmektedir (Koç 2021). Bütün odun ve odun kökenli malzemelerde olduğu gibi kontrplak da su almaktadır. Ancak OSB'ye oranla daha kısa sürede doygun hale gelmektedir; kenarları şişmeye meyilli değildir ve daha çabuk kurumaktadır (Akbulut vd. 2002). Çivi ve vida tutma direnci oldukça yüksektir. Yapıya etkileyen deprem, rüzgâr vb. yanal yüklere karşı yapı mukavemetini arttırmaktadır. (Demir 2019). Aynı kalınlıktaki diğer ahşap malzemelere oranla daha mukavimdir; kırılma ve çatlama olmadan kenarlara yakın çivilenebilmektedir (Demirkır 2012).

Kontrplak inşaat sektöründe kaplama levhası olarak, hafif çerçevelevli konstrüksiyonlarda zemin, duvar ve çatı kaplamalarında, mobilyalarda, beton kalıplarında, mutfak dolapları vb. alanlarda geniş kullanım alanına sahiptir. Yapılarda yeterli direnç göstermesinin yanı sıra termal ve ses yalıtımına olumlu etkileri mevcuttur. Yapısal kullanılacak olan kontrplaklarda kavak, huş, kayın gibi yapraklı ağaçlar kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra ladin, tsuga, çam, gibi iğne yapraklı ağaçlar da kullanılmaktadır (Demir 2019). Avustralya, Amerika, İngiltere, Yeni Zelanda ve Kanada'da iğne yapraklı ağaç kullanımı oldukça yaygınken, Türkiye'de yaygın değildir. Ülkemizde tabakalı ağaç malzeme üretiminde genel olarak kayın kullanılmakta; ancak ham madde temini ve maliyet gibi problemlerle karşılaşmaktadır (Çakıroğlu vd. 2018). En fazla üretim ABD'de yapılmakta olup, üretilen kontrplaklar iğne ağaçlı yapraklardan üretilmekte ve yapı sektöründe kullanılmaktadır (Demirkır 2012). Ülkemizde kontrplak üreten fabrikaların çoğunda kayın ve kavak ağaçları kullanılmaktadır. Şekil 4.12'de

kontrplak üretimi iş akışı gösterilmektedir. Kuru ve yaş sistemlerle kontrplak üretimi yapılabilirken ülkemizde daha çok kuru üretim yapılmaktadır (OKA 2013). Demirkır (2012)'dan uyarlanan yapısal kontrplak özellikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Kontrplak levha kaplanmış perde duvarlı ahşap iskelet yapılarda deprem esnasında performanslarının çok iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ek yerlerinin az olması nedeniyle yapının yalıtım yönünden avantaj sağladığı da bilinmektedir. Düzlemsel olarak rijit bir malzeme olan kontrplak, yapının çökmesini engellemek için deprem esnasında fazla miktarda yer değiştirme olanağı sağlamaktadır. Çürüyen kısımları hariç uzun bir süre boyunca da dayanım göstermektedir (Demir 2019).



Şekil 4. 12. Kontrplak fabrikasında iş akışı (Calay 2015'ten uyarlanmıştır)

Kontrplakların çeşitli özelliklerine göre sınıflandırmaları şu şekildedir Güller 2001):

a. Yapılarına göre

Plakalı kontrplak
Göbekli kontrplak
Kompozit kontrplak

b. Yapıştırıcıda kullanılan tutkal tipine göre

Kapalı yerde kullanılan kontrplak
Açıkta kullanılan kontrplak

c. Levha yüzeyine yapılan işleme göre

Zımparalanmış kontrplak
 Zımparalanmamış kontrplak
 Yüzeyi kaplanmış kontrplak
 Özel işlem görmüş kontrplak

d. Koruyucu madde ile işlem görme durumuna göre

Korunmuş (emprenye edilmiş) kontrplak
 Korunmamış kontrplak

e. Biçimine göre

Düz kontrplak
 Şekillendirilmiş kontrplak

f. Tabakalarda kullanılan ağaç türüne göre

Homojen kontrplak (Bütün tabakaları aynı ağaç türünden yapılmış)
 Karışık kontrplak (Çeşitli tabakalarda farklı ağaç türü kullanılmış)

g. Kullanım amacına göre

Genel amaçlar için üretilmiş kontrplak
 Özel amaçlar için üretilmiş kontrplak (yapı, kalıplık vb.) (Güller 2001).

Çizelge 4. 9. Yapısal kontrplak uygulama ve kullanım özellikleri (Demirkır 2012'den uyarlanmıştır)

Yumuşak ağaç kontrplağı	
Ham madde	Yumuşak ağaç kaplama
Tipik tutkal	Fenol formaldehit
Uygulama tipi	Yapısal
Yüzey düzgünlüğü	Zımpara ile düzgün yüzey
Kenar işlenebilirliği	Sınırlı
Uygulama alanları	Çatı, zemin, duvar kaplama, zemin altı ve korunmuş ahşap temel
Özel uygulamalar	Endüstriyel, LVL, beton kalıbı, tekne kontrplağı
Tipik kalınlıklar (mm)	6- 31,5
Tipik yoğunluk (kg/m ³)	450 – 500
Geri dönüşüm (Ürün hacmi/Ham madde hacmi)	0,5

Yapılan çalışmada eğilme direnci bakımından kontrplak, OSB'ye göre iki kat daha yüksek dirence sahiptir. Bu fark OSB'den daha yüksek yoğunluğa sahip olmasının yanı sıra kontrplağın yapısal özelliklerinden de kaynaklanmaktadır. Vida tutma gücü bakımından ise OSB'ye göre 1,5 kat daha fazla değere sahiptir (Akbulut vd. 2002)

Kontrplaklarda kullanılan yapıştırıcılar ve katkı malzemelerinde uçucu organik bileşik emisyonlarına rastlanmaktadır. Bu nedenle iç mekân hava kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. (Zorlu 2019). Ahşap endüstrisinde kullanımı yaygın olan fenol formaldehit reçinesi 1872 yılında A. Von Bayer tarafından keşfedilmiştir (Demirkır 2012). Alkol grubunda yer alan fenol ve aldehit grubunda yer alan formaldehit insan sağlığına zarar veren hastalıklara neden olabilen uçucu organik bileşiklerden iki tanesidir (Darçın ve Balanlı 2018). Kontrplaklar, LVL, OSB gibi tabakalı ahşap levha ürünlerinde kullanılmaktadır. Özellikle iğne yapraklı ağaç kontrplaklarının üretiminde kullanılmaktadır (Demirkır 2012).

Kuzey Amerika'da ahşap ürünlerin üretiminde kullanılan ağaçlar çabuk büyüyen, daha ucuz ve özel olarak yönetilen ormanlarda yetişen ağaçlar türlerinden üretilmektedir. Böylelikle orman yönetimine katkı sağlanabilmektedir Kontrplak, OSB gibi malzemelerin üretiminde kaynakların daha verimli kullanılması sağlanabilmektedir (APA 2010). Kontrplak malzemenin çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4. 10. Kontrplak levha ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			KONTRPLAK
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	+
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	—
		Üretiminde az su gereksinimi	+
		Üretiminde enerji verimliliği	—
	Çevre	Yerel üreticilerden elde edilme	+
		Zararlı ham madde içermeme	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Üretimde az atık oluşumu	⊥

(Devamı arkada)

Çizelge 4.10'un devamı

KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Onarımında az atık oluşumu	+
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	⊥
		Geri dönüştürülebilme	⊥
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.2. Cephe Kaplama Bileşenleri ve Ekolojik Değerlendirmesi

Hafif çelik duvar gövdesinde strüktürel kaplama yapılmasının ardından cephe detayına uygun farklı bitiş ürünleri seçilebilmektedir. Çalışma kapsamında bu ürünlerden tuğla, taş ve metal esaslı cephe kaplama bileşenleri irdelenmiştir.

4.2.1. Tuğla kaplamanın irdelenmesi

Tuğla, ham maddesi kil olan ve pişirme yöntemiyle elde edilen bir yapı parçasıdır (Şekil 4.13). Tuğla yapımıyla ilgili en eski kaynaklara Mısır fresklerinde ve yazılı malzemelerde rastlanmaktadır. Ham maddesinin doğada yaygın olarak bulunması sebebiyle uygun kil olan her yerde üretilebilmektedir (Eroğlu ve Akyol 2017). Dünyanın yedi harikasından biri olan Babil'in Asma Bahçeleri'nde yer alan Babil Kulesi pişmiş tuğlanın sistematik olarak kullanıldığı ilk yapı sayılmaktadır. Anadolu'da ise ilk pişmiş tuğla kullanımı Babil Kulesi ile aynı dönemlere denk gelmektedir (Görçiz 1996). Cephe ürünü olarak tuğlanın yapıların dış yüzeylerinde kullanılması Cumhuriyet'in ilk yıllarında Eskişehir'de tuğla ve kiremit fabrikalarının kurulmasıyla başlamıştır (Gökaltun 2010). Günümüzde geleneksel bir yöntem olarak hem duvarlarda hem de cephe kaplamasında yaygın kullanılan yapı parçalarından bir tanesidir. Yüksek

termal kapasitesi, az bakım masrafı ve uzun ömürlü bir ürün olması sebebiyle tercih edilmektedir.

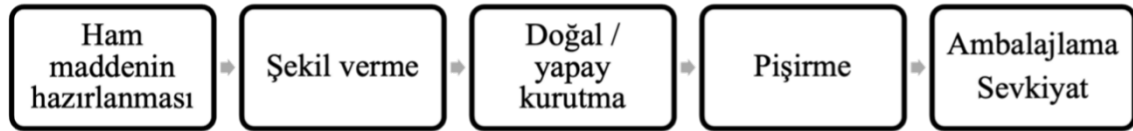
Toprağın işlenebilirlik özelliği kazanması için içerisinde bulunan taş, çöp gibi istenmeyen maddelerden ayrıştırılması gerekmektedir. Ayrıştırılan toprak öğütülerek homojen bir yapı haline getirilmektedir. Hamur formuna getirilen toprak, üretilmek istenen tuğlanın özelliklerine uygun olacak şekilde şekillendirilmektedir. İklim şartları uygunsa doğal yollarla değilse suni yöntemlerle kurutulmaktadır. Bu işlem toprağı şekillendirmek için bünyesine katılan suyun farklı yöntemlerle bünyesinden çıkartılmasıdır (Eroğlu ve Akyol 2017). Şekillendirilen ve kurutulan tuğlalar yüksek sıcaklıklı fırınlara yerleştirilerek pişirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Pişirme işleminde Hoffman fırını veya tünel tipi fırın kullanılmaktadır. Hoffman fırınında mamuller sabit, ateş hareketliken; tünel fırında ise fırın vagonları hareket halindeyken ateş sabittir. Hoffman fırınlarındaki enerji tüketimi tünel fırınlara nispeten daha yüksektir (Bayraktar 2018). Pişirme esnasında kilin maruz kaldığı kimyasal reaksiyonlar sonucu malzeme, içeriğindeki suyu da kaybederek son halini almaktadır. Böylelikle sert, belirli bir mukavemete ve renge sahip tuğla malzeme üretilmiş olmaktadır. Şekil 4.14’te tuğla üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4. 13. Hafif çelik dış cephe tuğla kaplama (Anonim 4)

Tuğlanın pişirilmesinde kullanılan fırınlama aşamasında tüketilen yakıtlar çevreye zarar vermektedir. Kömürün yanması sonucu doğaya tehlikeli gazlar salınmaktadır. Bu gazlar nedeniyle asitleşme, küresel ısınma ve ötrofikasyon gibi

ekolojiye zararlı olgular ortaya çıkmaktadır (İriş 2019). Toprak malzemenin fırınlarda pişirilmesi esnasında kullanılan yakıtın çevreye verdiği kirliliği azaltmak için gerekli önlemler alınmalı, doğal gazla çalışan fırınlar tercih edilmelidir (Sev 2009). Üretiminde alınacak tedbirlerle enerji etkin bir yapı malzemesi olması sağlanmalıdır. Tuğla üretiminde kullanılan ham madde eldesinde verimli tarım topraklarının zarar görmemesi, topoğrafyanın ve ekolojik dengenin bozulmaması için çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 4. 14. Tuğla üretim süreci (Orijinal 2023)

Ham maddenin ocaktan alındıktan sonra son ürün olan tuğla haline gelinceye kadar geçirdiği süreçte tuğla atığı olarak ortaya çıkan kaybın %20-25 oranında olduğu varsayılmaktadır (Bayraktar 2018). Üretim ve kullanım sürecinde meydana çıkan bu atıkların en ekolojik şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Altyapı işleri için dolgu olarak kullanımı, spor alanlarında öğütülmüş mucur zemin olarak kullanımı gibi farklı yapı ürünlerinin üretiminde ham madde olarak kullanımı mevcuttur.

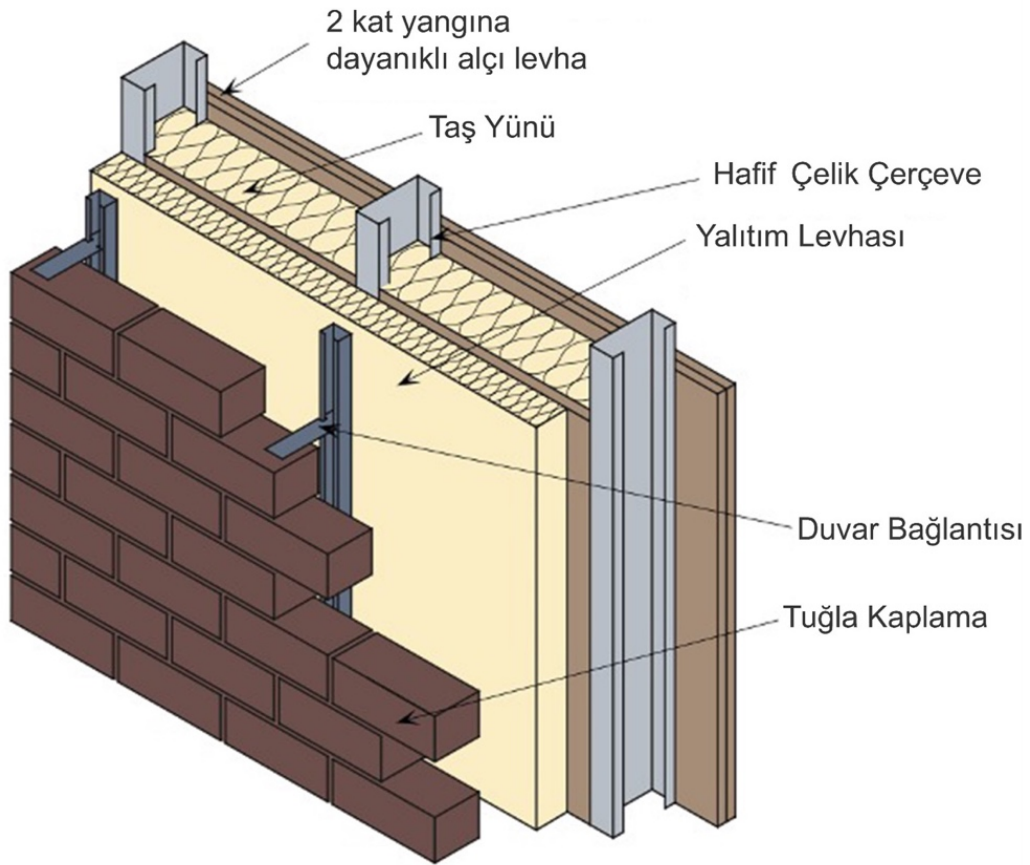
Çeşitli nedenlerle kullanılamaz hale gelen tuğlalar öğütülerek tuğla tozu elde edilmektedir. Üreticiler için tuğla tozunun bertaraf edilmesi önemli bir sorundur. Yapılan çalışmalar sonucunda ikame malzeme olarak tuğlanın en uygun kullanımının, tuğla tozu olarak öğütülmesi olduğu görülmüştür. Renkli beton ve harç üretiminde tuğla tozu kullanılması önerilmektedir (Bayraktar 2018). Tuğlanın geri dönüştürülebilmesi atık miktarlarının azalması ve ham maddelerin tükenmesini önlemeye yardımcı olmaktadır.

İriş (2019) Kocaeli ili Gebze ilçesinde tuğla üretimi gerçekleştiren bir fabrikadan elde ettiği verilere göre; ham maddenin tamamı yerli kaynaklardan sağlanmaktadır. Ham madde çıkarılması esnasında araziye zarar verilmektedir. Kullanılan iş makinelerinden kaynaklı çevreye gaz salınımı olmaktadır. Tesisteki makineler tam verimli çalıştığı takdirde günlük 11.000 kWh elektrik tüketmektedir. 1m³ tuğla üretiminde harcanan su miktarı 226,12 kg/m³'tür. Ayrıca günlük 31,11 ton su, kilin ham madde formuna getirilmesi için harcanmaktadır. 1m³ pişmiş tuğla üretimi için 39,33kg/m³ taş kömürü harcanmaktadır. Ambalajlama esnasında 1m³ tuğla için 0,707 kg streç naylon tüketilirken yıllık toplam 19bin ton ahşap palet kullanılmaktadır.

Tuğla üretiminden kaynaklı yüksek karbon salınımı ve çevre kirliliği gibi negatif etkileri azaltmak adına farklı yöntemlerle tuğla malzeme elde edilmesi için çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda atık malzeme kullanımı ön plana çıkmakla birlikte tuğla üretiminde fırınlama esnasında ortaya çıkan karbondioksit salınımını azaltacak çözüm

önerileri geliştirilmektedir. Bu çalışmalardan bir tanesi MIT bünyesinde yer alan TATA Center araştırmacılarının geliştirdiği hem çevresel hem de ekonomik anlamda sürdürülebilir bir tuğla çeşididir. Tuğlanın üretiminde bitkisel toprak yerine endüstriyel atıkların kullanılmasıyla düşük maliyetli ve düşük enerjili üretim gerçekleştirilmektedir. Geleneksel tuğla üretiminde kullanılan yoğun kömür tüketimine gerek kalmadan, kimyasal reaksiyonlar kullanılarak ortam sıcaklıklarında güçlenmektedirler. Aravindhan vd. (2019) tuğla üzerinde yaptıkları deney sonucunda tuğla yapımında zararlı uçucu kül kullanılarak değerlendirildiği, tuğla maliyetinin azaltılabileceği, ekolojik bir tuğla üretilabileceği sonucuna varılmış; yük taşımayan duvarlar için bu tuğlanın kullanımı tavsiye edilmiştir (Aravindhan vd. 2019).

Hafif çelik yapı sistemlerinde de ülkemizde yaygın olmamakla birlikte dış cephe bitiş elemanı olarak tuğla kullanılabilir (Şekil 4.15). Tuğla kaplamanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4. 15. Hafif çelik strüktür dış cephe kaplaması olarak tuğla kaplama kullanımı (Lawson 2012)

Çizelge 4. 11. Tuğla ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			TUĞLA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	—
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	—
		Üretiminde enerji verimliliği	—
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Üretimde az atık oluşumu	⊥
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	+
		Kullanımda enerji verimliliği	+
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	⊥
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımda az atık oluşumu	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	+
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.2.2. Taş kaplamanın irdelenmesi

Taş, ana malzemesi yer kabuğu olan ve insanların ihtiyaçları doğrultusunda şekillendirdiği kaya olarak tanımlanmaktadır. Doğal taşın jeolojik oluşumundan kaynaklı farklı fiziksel özellikleri mevcuttur. Buna bağlı olarak farklı performanslar sergilemektedir. Isı depolama kapasitesi ve iletkenliği yüksek taş, yazın gün boyunca çevresindeki ısıyı toplamakta ve geceleri ise bu ısıyı yaymaktadır. Taşın bileşimini oluşturan mineraller ve kayanın çıkarılma süreci, taşın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde etkilidir (Oğan Musaağaoğlu 2005).

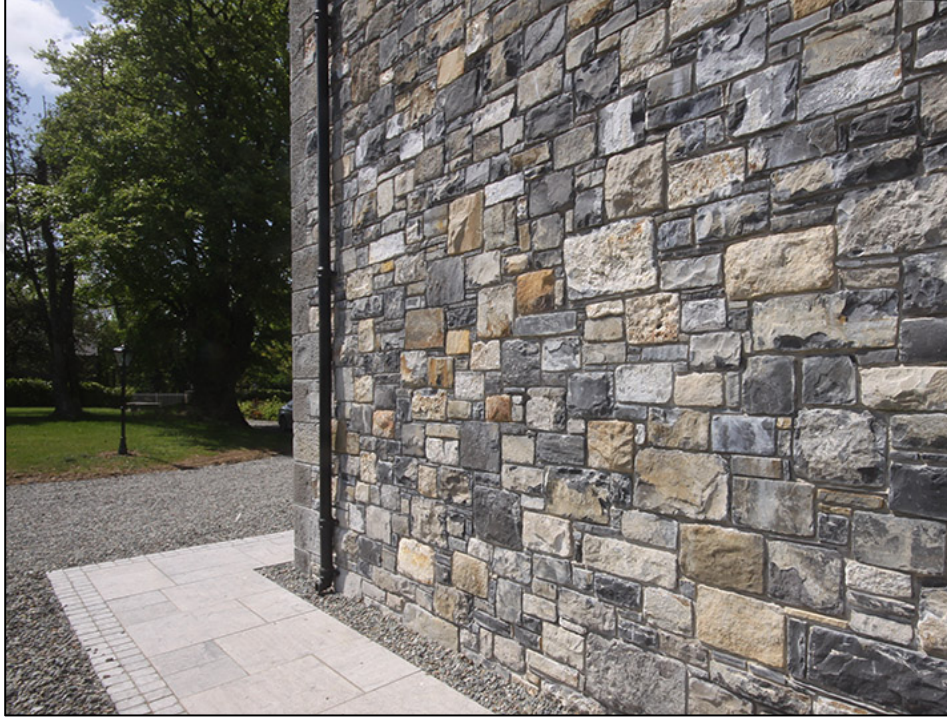
Yer kabuğunda bulunan 2000'den fazla minerallerden yaklaşık 20-30 tanesi bir araya geldiğinde taş oluşturma özelliğine sahip olmaktadır. Bazı taşlar çeşitli minerallerin bir araya gelmesiyle oluşurken bazıları ise tek bir mineralin çok sayıda bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Örneğin granit; kuvars, feldispat, mika ve amfibol gibi minerallerin bir araya gelmesinden oluşurken; metamorfik bir taş olan mermer sadece kalsit mineralinden oluşmaktadır (Yüzer vd. 2016). Doğal taşlar, oluşumlarına göre (jeolojik durum ve yapıları) volkanik, tortul ve başkalaşım kayalar olarak üç gruba ayrılır. Volkanik kayalar grubundan cephede kaplama için yaygın olarak kullanılan doğal taşlar granit ve diyabazdır. Başkalaşım grubundan cephe kaplama sistemlerinde kullanılması için en uygun olan doğal taşlar; mermer, serpentin ve kayrak iken, tortul grubundan ise kumtaşı kireç taşı ve traverten olarak sıralanmaktadır.

Yapı malzemesi olarak doğal taşın medeniyet tarihi kadar eski bir kullanımı vardır. Geçmişte yapılan yapılarda doğal taşlar, iç cephe, dış cephe (Şekil 4.16), döşeme, tavan ve süslemede kullanılmıştır. Günümüzde ise doğal taşların kullanımı daha çok kaplama amaçlı plakalarda görülmektedir. Doğal taşlar, belirlenmiş bir kullanım ömrüne sahip değildir. Kırılmış mermer parçaları yeniden inşaat malzemesi olarak kullanılabilir ve öğütülerek çimento ve kireç yapımında değerlendirilebilmektedir (Aksoy ve Özcan 2020). Taş kullanımı sırasında dikkate alınması gereken en önemli faktörler; dayanıklılık, görünüm, mukavemet ve maliyettir. Püskürük kayalar (granit, siyenit, diyorit) en sert ve dayanıklı olanlardır. Bunları başkalaşmış kayalar (mermer, kayağan taş, kuvarsit) ve tortul kayalar (kumtaşı, kireç taşı) izlemektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, doğal taş farklı alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Mimari anlamda özel bir niteliği olmayan yapılarda taş malzemenin masif taşıyıcı eleman olarak kullanımı giderek azalmaktadır. Yapılarda doğal taş kullanımı plaka, karo, blok, çeşitli ebatlarda kırma taş, toz formda katkı malzemesi veya ısı/ses yalıtımı olarak kullanılmaktadır (Alptekin 2021). Kısacası, doğal taşlar yapı teknolojisinin gelişimiyle daha sık kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir ve yapıların dış cephe kaplamasında kolay işlenebilir olması, doğada bol miktarda bulunması, renk seçeneğinin fazla olması gibi diğer avantajları da bulunmaktadır (Eriç 2002).

Yapılarda kullanılacak olan taşlarda uygulanacağı yere bağlı olarak uygulamayı yapan mimar veya mühendisin kullanılacak olan taşla ilgili mekanik ve fiziksel bazı özellikleri bilmesi ve uygun testleri yaptırması gerekmektedir. Dış cephelerde kullanılması planlanan taşlar için: yoğunluk, su emme, donat dayanım, sertlik, tuz kristallenmesi, kimyasal etkilere dayanım, petrografik analiz, donat dayanım, tuz buharı etkisi, pas oluşumu, termal genleşme ve yangın etkisi analizlerinin ve testlerinin

yapılması gerekmektedir. Yağış yoğunluğu olan bölgelerde dış cephe kaplamasında kullanılacak olan taşın porozitesi ve nem tutma özelliğinin düşük olması gerekmektedir. Sıcak ve kuru bölgelerde ise güneş gören cephelerde porozitesi yüksek ve beyaz renkli taşlar tercih edilmelidir. Dış cephe kaplamalarında mekanik montaj önerilmektedir. Taş ağırlığının binaya taşıtılmaması gerekmektedir. Suların derzlerin arasından taşın arkasına geçmesi, bina salınımı, kötü hava koşulları, rüzgâr yükü vb. riskler sebebiyle sadece çimento harcı üzerine serim önerilmemektedir (Güneri 2009).



Şekil 4. 16. Dekoratif taş kaplamalı hafif çelik yapı (Anonim 5)

Doğal taşlar, dış cephe malzemesi olarak en güçlü malzemelerden biridir ve yapının dış duvarına yapıştırma, vidalama gibi yöntemlerle uygulanmaktadır. Taşın ağırlığı göz önüne alındığında daha hafif malzemelerin (volkanik tüf, traverten, kum taşları vb.) yapıştırarak, ağırlığı daha fazla olan taşların (mermer, granit vb.) ise vidalama ve kenetleme gibi yöntemlerle kullanımı önerilmektedir (Toydemir vd. 2011).

Taşların fiziksel performansları çeşidine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Taşların kullanıldığı yere ve işleve göre beklenen performanslar da değişmektedir. Doğal taşlarda ısıl kapasite, atmosferik etkilere ve mikroorganizmalara dayanım, durabilite, asitlere dayanım, ısıl kapasite, donma dayanımı, porozite, estetik, bakım ve onarım gereklilikleri kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır (Alptekin 2021). Bu kriterler değerlendirildiğinde dış cephe kaplamalarında yaygın olarak kullanılan taş malzemeler; traverten, mermer, kumtaşı, kompozit taşlar, kireçtaşı ve granittir. Kaplama malzemesi olarak TS 699 (Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları)'da tanımlanmış deneyler uygulandığında olumlu sonuç alan taşlar kullanılmalıdır. Taş kaplama çeşitlerinin seçiminde kullanılan diğer standartlar TS 1910

Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, TS 2513 Doğal Yapı Taşları ve TS 6809 Mohs Sertlik Cetveli'dir (Aksoy ve Özcan 2020).

Hafif çelik yapıların cephelerinde taş kullanılırken kaplamayla taşıyıcı arasında hava sirkülasyonu sağlayacak boşluklar bırakılmalıdır. Kaplamanın birbirine geçecek şekilde olması sağlanarak yağmur suyunun içeri girmesi engellenmeli ya da plastik macun veya fitiller kullanılmalıdır (Eren 2014).

Doğal taşların uzun ömürlü olması ve dayanıklılığı sürdürülebilir bir malzeme olduğunu göstermektedir. Ancak doğal olması ve tükenebilir bir kaynak türü olması fiziksel ve çevresel sürdürülebilirlik açısından düşünüldüğünde kısıtlı bir kullanımını olması gerektiğini göstermektedir (Alptekin 2021). Bununla birlikte taşların çıkartıldığı kazı alanındaki üst tabakanın nitelikli toprağa sahip olması ve maden ocakları rezervlerinin tüketilmesiyle doğal peyzaja zarar verilmektedir. Çıkartılan taşlar işlenirken tüketilen su ve enerji miktarının yüksek olması ekolojik anlamda olumsuz bir özelliktir.

2016-2018 yıllarında sektör bazlı değerlendirilen TÜİK verilerine göre, karbondioksit (CO₂) emisyonuna ait verilerde sera gazı kaynakları içerisinde mineral ürünlerinin yıllık toplam CO₂ emisyonunun %10 oranında olduğu görülmüştür. Bu miktar minerallerle ilgili bütün endüstriyel işlemleri kapsamaktadır. Ancak genel anlamda doğal taşların üretiminde meydana gelen CO₂ salınımının yüksek miktarda olduğunu göstermektedir (TÜİK 2020).

Taş ağır bir malzemedir. Bu nedenle nakliyesi de zorlaşmaktadır. Nakliye sırasında kullanılan araçların fazla enerji harcayacak olması hem trafik yükünü hem de CO₂ salınımını artırmaktadır. Ağır olmasının bir diğer olumsuz yönü ise yapıda düşey yönde kullanımıdır. Güvenlik için ekstra önlem gerektirirken aynı zamanda yapıya etkileyen hareketsiz yükü de artırmaktadır. Taş çıkarma esnasında meydana gelen toz emisyonları çalışanlar ve etrafta yaşayanlar için ciddi ölçülerde toksikolojik etkilere sahiptir (Bingöl 2020). Her 5 yılda bir dış kaplamasında doğal taş kullanılan yapıların bakımının yapılması, zarar gören derzlerin yenilenmesi ve gerekli olduğu takdirde sağlamlaştırma, koruma ve onarım işlemlerinin yapılması önerilmektedir (Güneri 2009). Taşların ekolojik olarak en avantajlı olduğu nokta ise, malzemenin uzun ömürlü olmasıdır. Ayrıca yeniden kullanılabilme ve dönüştürülebilme imkânı da bulunmaktadır. Sürdürülebilir yapı malzemesi seçiminde bu kriterler önem arz etmektedir (Thormark 2007). Bununla birlikte var olan kaynakların uzun dönemli, verimli ve etkin kullanılması; doğal taş üretme sektörünün ülkemiz ekonomisine katkıları, nakliye ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi, yarattığı iş imkanları, yeniden kullanım ve geri dönüşümünden sağlanan faydalar malzemenin avantajları hakkında değerlendirilebilir (Şen 2018). Taş malzemenin çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4. 12. Taş kaplama ekolojik ölçüt değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			TAŞ KAPLAMA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	—
		Geri dönüştürülebilen ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	—
		Üretiminde enerji verimliliği	—
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	—
		Üretimde az atık oluşumu	+
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	—
		Kullanımda enerji verimliliği	+
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Onarımda az atık oluşumu	+
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	+
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Yıkımında az atık oluşumu	+

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.2.3. Metal esaslı kaplamaların irdelenmesi

Günümüz mimarisinde özellikle cephe konstrüksiyonlarında, duvar ve tavan kaplamalarında veya bölücü olarak çok çeşitli amaçlarla metal malzemeler kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak üretilmesi sebebiyle fiyatının uygun olması; az bakım gerektirmesi ve kolay montaj imkanıyla tercih edilmektedir. Paslanmaz çelik, çinko, alüminyum, çelik, kurşun, titanyum, kalay ve bakır metal cephelerden kullanılan malzemelerdir (Eşsiz ve Ekinci 2012).

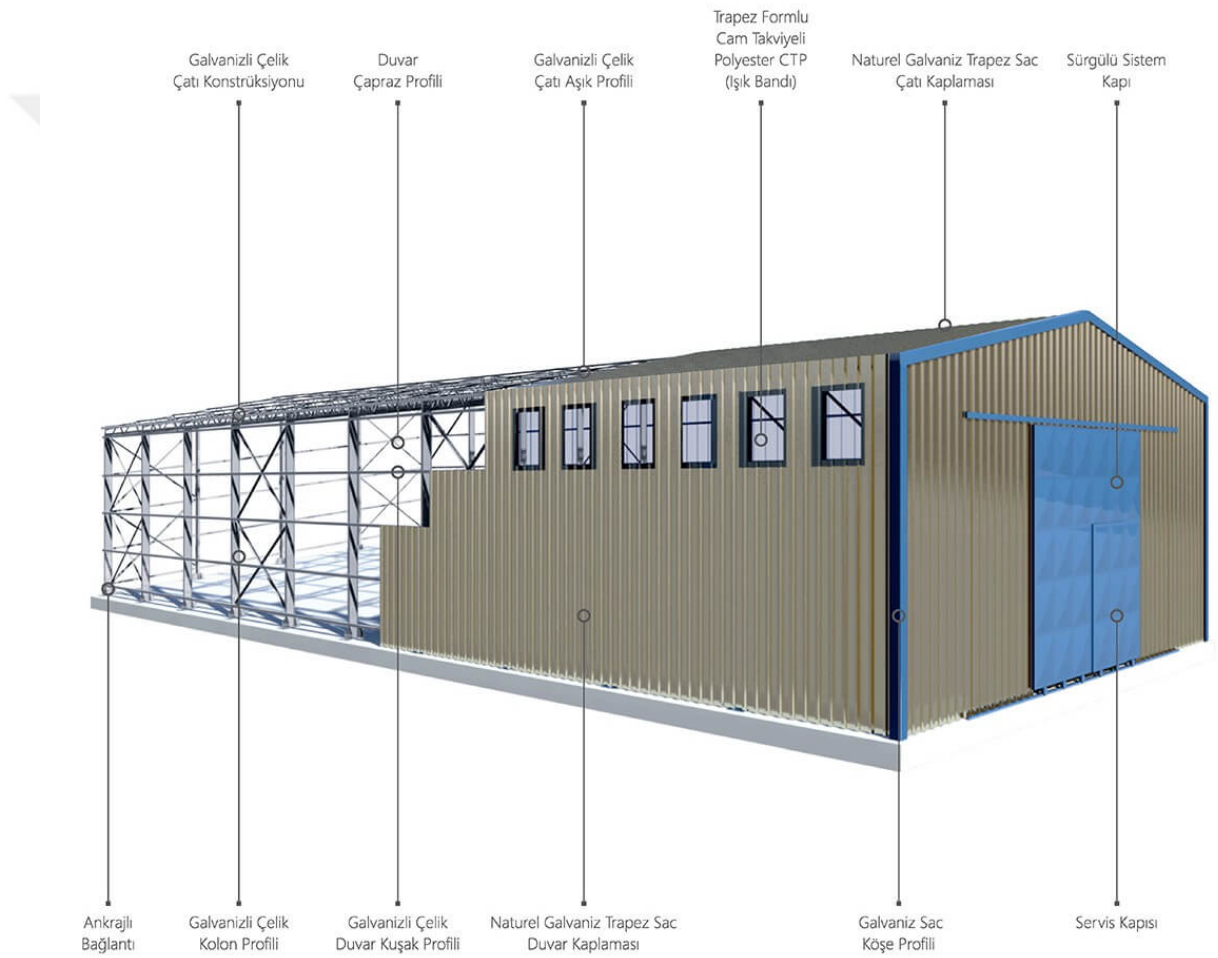
Metal kaplamalar özellikle çelik konstrüksiyonlu endüstriyel yapıların cephelerinde tercih edilmektedir (Şekil 4.17). Hafif çelik yapılarda da yine yapı iskeleti gibi ancak daha ince kalınlıklarda şekillendirilmiş galvanize sac levhalar cephe kaplaması olarak kullanılabilir. Galvanize saclar kendinden boyalı olduğu için üstüne herhangi bir işleme gerek kalmadan bitmiş kaplama yüzeyi olarak kullanılabilir. Ancak istenildiği takdirde galvaniz kaplama üzerine boya yapılabilir. Hafif çelik yapılarda özellikle çatı kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel yapılarda dış cephe kaplaması olarak trapez sac levha tercih edilmektedir (Şekil 4.18). Trapez sac levhalar birbiri üstüne bindirme yoluyla monte edilmektedir. Böylelikle ek yerleri belli olmadan ve cephede bütünlük sağlanmaktadır. Su geçirimsiz olması ve mukavemeti nedeniyle metal kenet çatı sistemlerinin örnekleri son zamanlarda artış göstermektedir. Paslandırılmış çelik olarak da bilinen Corten çelik paneller mimari tasarımlarda dış cephe kaplaması olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4. 17. Çift kat trapez cephe kaplama uygulaması (Anonim 12)

Çelik kaplama 0.35-3 mm kalınlığında, içeriğindeki karbon, sülfür ve fosfor bakımından demirden farklı üretilirken; paslanmaz çelik, en az %10,5 krom veya magnez gibi malzemelerden üretilmektedir, Alüminyumun saf bir şekilde madenden elde edilmesi maliyetli bir işlem olduğundan diğer malzemelere oranla fiyatı yüksektir. Ancak korozyona ve diğer atmosferik etkilere karşı dayanıklı olduğundan kendi maliyetini tolere edebilmektedir. Yüzeyin dekoratif görünümü mekanik veya kimyasal işlemlerle değiştirilebilmektedir. Korozyona dayanım ve dekoratif amaçlarla boyanabilmektedir. Çinko; alüminyum, çelik ve bakırdan sonra en çok yıllık tüketimi

olan metaldir. Üretimi yapılan çinkonun büyük bir bölümü çelik, demir gibi malzemelerin korozyona karşı kaplanmasında kullanılmaktadır. Titanyum; gümüş, beyaz, düktil ve korozyona karşı oldukça dayanıklı bir malzemedir. Aynı dayanıma sahip çelikten %42 hafif olmasında rağmen fiyatı çok daha yüksektir (Eşsiz ve Ekinci 2012). İki kat metal arasına poliüretan köpük (pur) veya poliizosiyanurat (pır) köpük yalıtım koyularak elde edilen sandviç paneller de çatı ve cephe kaplamalarında; soğuk hava depolarında kullanılmaktadır. Titanyum, bakır, kurşun, kalay, çinko metallerinden ziyade hafif çelik yapı dış cephe kaplamalarında sıklıkla galvanize çelik sac kaplama kullanılmaktadır.



Şekil 4. 18. Trapez sac cephe kaplamalı hafif çelik hangar (Anonim 9)

Galvaniz çelik sac levhanın çalışma kapsamında belirlenen ekolojik ölçütlere uygunluk değerlendirmesi Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4. 13. Çelik sac levha ekolojik kriter değerlendirme çizelgesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK ÖLÇÜTLER			ÇELİK SAC LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	⊥
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	—
		Geri dönüştürülebilen ham madde içerme	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+
		Üretiminde az su gereksinimi	—
		Üretiminde enerji verimliliği	—
		Yerel üreticilerden elde edilme	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	—
		Üretimde az atık oluşumu	—
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+
		Düşük bakım gideri	⊥
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	—
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥
		Onarımda az atık oluşumu	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	+
		Geri dönüştürülebilme	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥

Ürün özelliğe sahip (+), Ürün özelliğın bir kısmına sahip (⊥), Ürün özelliğe sahip değil (—)

4.3. Kaplama Bileşenlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında belirlenmiş olan ekolojik ölçütler açısından değerlendirildiğinde tuğla ve taş kaplama üretimi birbirleriyle yakın ekolojik özelliklere sahiptir. Özellikle ham madde temini her ikisi için de yüksek enerji gerektiren ve çıkartıldığı çevreye zarar veren bir süreçtir. Kullanılan ham maddeler yenilenebilir değildir. Maden ocaklarında doğal peyzaj zarar görmekte ve zehirli gaz salınımı meydana gelmektedir. Tuğla üretimi ve taşların işlenmesi için tüketilen enerji ve su miktarı yüksektir. Ham madde çıkarma ve taşıma esnasında kullanılan iş makinelerinden kaynaklı havaya toz parçacıkları ve zararlı gazlar yayılmaktadır. Aynı şekilde ağır bir malzeme olan taşın nakliye işlemi için de büyük araçlar gerekmemekte buna bağlı olarak karbon ayak izi yükselmektedir. Tuğla ve taş kaplama üretildiği kayaç yapısına bağlı olarak radon salınımına sebep olabilmektedir. Bunların yanı sıra uzun kullanım ömrüne sahip olması, dönüştürülerek yeniden kullanılabilir olması, yerel olarak elde edilebilmesi; sıcaklık, nem ve ses yalıtımına katkı sağlayan malzemeler olması açılarından avantajlı yapı malzemeleridir.

Kontrplak ve OSB ahşap esaslı kaplama levhalarıdır. Üretim tesislerinin ham maddeyi, Orman Genel Müdürlüğü'nün belirlediği seyriltilme yapılabilecek orman alanlarından odunun temin etmesi veya o ürünü üretmek için özel olarak üretilmiş kontrollü ormanlardan elde etmesi doğaya verilen zararı azaltmaktadır. Ahşabın yenilenebilir bir ham madde kaynağı olarak kullanımına örnek olmaktadır. Tomrukların üretilip fabrikaya getirilmesinde ağır tonajlı nakliye araçları kullanılmakta; bu da çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Kontrplak için belirli özelliklere sahip ağaçların kullanılması gerekirken OSB daha düşük kalitelerdeki tomruklardan üretilmektedir. Böylece kontrplağa kıyasla OSB ham maddesine erişim daha kolay sağlanmaktadır. Kontrplak ve OSB gibi çok katlı ahşap levhalarda katmanların birbirlerine yapıştırılmasında reçineler kullanılmaktadır. Reçine yapımında kullanılan bazı kimyasallar ithal edilmektedir. Bu reçineler nedeniyle insan sağlığına zararlı uçucu organik bileşik salınımı olmaktadır. Formaldehitler insanlarda akciğer, yutak kanseri ve kanser dışı hastalıklara sebep olan uçucu organik bileşiklerdendir (Darçın ve Balanlı 2018). Zararlı gaz salınımı yapacak ürünlerin kullanılmaması gerekmektedir. Bu ürünlerin kullanımı gerekliyse ölçümlerle denetlenmesi, insan sağlığına zarar vermeyecek seviyelerde olması ve malzemelerin o oranlarda kullanılması gerekmektedir. Özellikle yurtdışına ihracat yapan firmalar E1 belgesine sahip yani zararlı gaz emisyonu belirli sınırlar dahilinde kalabilen oranlar kullanmaktadır. Ancak belirli bir miktarı geçtiğinde üretiminde çalışan kişiler ve kullanıcılar için bir tehdit oluşturmaktadır. Kontrplak ve OSB levhalar yüksek mukavemeti sebebiyle deprem bölgelerinde tercih edilmesi gereken strüktürel kaplama ürünlerindendir.

Çimentolu yonga levha ve elyaf takviyeli çimento levha çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı kompozit levhalardır. Çimentonun kendi üretimi esnasında zararlı partiküller hava kirliliğine sebep olmaktadır. Atmosfere partikül şeklinde kirleticiler yayılmaktadır. Elyaf takviyeli çimentolu levhaların üretiminde kullanılan selülozik elyaf yurtdışından ithal edilmektedir. Çimentolu yonga levhanın ise ham maddeleri yereldir. Elyaf takviyeli çimentolu levhaya nispeten üretiminde daha az su kullanılmaktadır. İçerdikleri elyaf ve yongadan ötürü yenilenebilir bir ham madde içeriğine kısmen sahiptirler. Çimentolu yonga levha üretiminde kullanılmayacak durumda olan atık levhalar dönüştürülerek yeni levha yapımında kullanılmaktadır. Böylelikle hem geri

dönüşümlü madde içerme hem de geri dönüştürülebilir olma özelliklerini sağlamaktadır. Her iki cephe kaplama levhasında da bitmiş ürün olarak hazırlanmış seçenekler mevcuttur. Böylelikle şantiyede boya ve boyadan kaynaklı zararlı gaz salınımının önüne geçilmekte; işçi, iskele vb. maliyetler azalmaktadır. Uzun ömürlü ve düşük bakım maliyetine sahip malzemelerdir. Her iki malzeme de cephede bitiş malzemesi olarak kullanılabilir. Kesim işlemlerinde tozunu solumamak gerekmektedir. Bitmiş ürün olarak insan sağlığına ve çevreye zararlı gaz salınımı olmamaktadır. Ses yalıtımına katkı sağlamaya yardımcı olmaktadır. Sıcaklık düzenlemeye yardımcı olmakla birlikte tek başlarına yalıtım malzemesi değildir.

Cam elyaf şilte kaplı levha ve alçı levhalar alçı taşı esaslı duvar kaplama levhalarıdır. Ekolojik kriterler bağlamında değerlendirildiğinde birbirleriyle benzer özelliklere sahiptir. Ham maddeleri yenilenemeyen bir kaynak olmakla birlikte ham madde çıkarımında doğal peyzaja zarar verilmektedir. Büyük oranda yerel ham maddelerden üretilmektedirler. Fabrikalar alçı ocaklarına yakın yerde konumlandığından ham madde taşıma enerjisi ve buna bağlı CO₂ salınımı düşüktür. Geri dönüştürülebilirler. Tek başlarına sıcaklık düzenleme veya ses yalıtım ürünü olmamakla birlikte ısı veya akustik konfor düzeyini sağlayan bir sistem bileşeni olarak kullanılabilirler. Uzun kullanım ömrü ve düşük bakım maliyetine sahip ürünlerdir.

Hafif çelik yapılarda galvaniz çelik sac kullanımı çoğunlukla endüstriyel amaçlı kullanılan binalarda dış cephe kaplaması olarak veya çatılarda trapez sac olarak mevcuttur. Yalıtım gerektirmeyen; küf, toz, böcek vs. oluşumuna karşı önlem alınması gereken mekanlarda, örneğin bir besi çiftliğinin kaba yem deposunda hafif çelik iskelet trapez sacla kaplanabilmektedir. Farklı ve çeşitli kullanım amaçları mevcuttur. Çelik sacın üretimi enerji verimli bir süreç değildir ve su tüketilir. Çeliğin çinko ile kaplanması esnasında bazı gaz salınımları olabilmektedir, buna karşı önlem alınmalıdır. Ancak bitmiş ürün olarak herhangi bir salınımı mevcut değildir. Böcek, haşere, mantar, küf oluşumuna izin vermeyen bir üründür. Yüksek oranda geri dönüştürülebilirlik özelliğine sahiptir. Çelik üretim esnasında bazı zehirli gaz salınımları olabilmektedir. Bu nedenle çelik üretim tesislerinde filtreleme vb. sistemlerle yayılım en aza indirgenmelidir. Tez kapsamında incelenen kaplama bileşenlerinin hava niteliğine olumlu ve olumsuz etkileri Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Mutlu Akay (2013) hafif çelik yapı yapım yöntemini sürdürülebilirlik çerçevesinden incelemiştir. Çalışmasında hafif çelik yapı kaplamasında ağırlıkla kullanılan kaplama bileşenlerinden OSB ve alçı levhayı ele almıştır. Yıldırım (2010) az katlı konutlar için geliştirdiği hafif çelik sistem önerisinde OSB ve alçı levhanın strüktürel kaplama olarak kullanıldığını belirterek OSB'nin stabilite olarak alçı levhalardan daha iyi olduğunu belirtmiştir. Ekinci (2006) hafif çelik yapı sisteminin konstrüktif kuruluşunda kaplama bileşenlerini, çeşitli yalıtım ve bitirme ürünlerini tamamlayıcı olarak tanımlamakta ve OSB, kontrplak ve alçı levhaların kaplama bileşeni olarak kullanıldığını belirtmektedir. Mermer (2008) hafif çelik yapıları yangından korumak için iç mekânda alçı levhaların dış cephede ise çimento esaslı yonga levhaların kullanımı önermektedir. İncelenen çalışmalarda hafif çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan kaplama bileşenlerini ekolojik ölçütler aracılığıyla değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmalarda hafif çelik kaplama bileşeni olarak çoğunlukla OSB ve alçı levhalar ele alınmıştır. Çimentolu kompozit levhalar ile ilgili yapılan çalışmalar ise daha sınırlıdır. Tez

kapsamında incelenen kaplama bileşenlerinin ekolojik ölçütler kapsamında karşılaştırmalı değerlendirilmesi Çizelge 4.15’te verilmiştir

Çizelge 4. 14. Tez kapsamında incelenen kaplama bileşenlerinin hava niteliğine olumlu ve olumsuz etkileri

Bileşen	Hava niteliğine olumlu etkisi	Hava niteliğine olumsuz etkisi
Ahşap esaslı levhalar (OSB, kontrplak)		Ahşap yapıştırıcıda kullanılan tutkallar uçucu organik bileşik ve formaldehit salınımına sebep olarak insan sağlığına zarar verebilmektedir (Zorlu ve Karadayı 2020).
Çimento esaslı levhalar (Elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha)		Çimentonun elde edildiği ham maddenin uranyum, radyum ve toryum barındırmasından dolayı radon salınımı ve uçucu kül salınımı meydana gelebilmektedir (Zorlu ve Karadayı 2020). Levhaların kesilmesi ve işlenmesi sırasında çıkan tozlar insan sağlığına zarar verebilmektedir.
Alçı esaslı levhalar	Sıcaklık ve nem dengesini korumaya katkı sağlamaktadır.	Alçı taşının yapısındaki doğal maddelerden kaynaklı radon salınımı ortaya çıkabilmektedir (Zorlu ve Karadayı 2020).
Tuğla	Sıcaklık ve nem dengesini korumaya katkı sağlamaktadır.	Üretildiği toprak ve kayaç yapısındaki uranyum, radyum ve toryum elementleri nedeniyle üretim ve kullanım esnasında radon salınımına neden olabilmektedir.
Doğal taş	Sıcaklık ve nem dengesini korumaya katkı sağlar.	Üretildiği kayaç türüne bağlı olarak radon salınımına sebep olabilmektedir. Kullanılan taş cinsine göre farklılık göstermektedir.
Metal esaslı levhalar	Toz, kir, parçacık oluşturmaz. Mantar ve bakteri üremesine sebep olmaz.	Kullanılan katkıları sebebiyle kurşun, arsenik gibi ağır metal içerebilmektedirler. Metalik boyama işlemine bağlı UOB salınımına sebep olabilmektedir (Zorlu ve Karadayı 2020).

Çizelge 4. 15. Ekolojik kriterler bağlamında kaplama bileşenlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi (Orijinal 2023)

EKOLOJİK KRİTERLER			OSB	ELYAF TAKVİYELİ ÇİMENTOLU LEVHA	ÇİMENTOLU YONGA LEVHA	CAM ELYAF ŞİLTE KAPLI LEVHA	ALÇI LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+	+	+	+	+
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	+	+	+	—	—
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	+	+	+	+	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	+	—	+	+	+
		Üretiminde az su gereksinimi	+	+	+	+	+
		Üretiminde enerji verimliliği	+	+	+	+	+
		Yerel üreticilerden elde edilme	+	+	+	+	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	+	+	+	+	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+	+	+	+	+
		Üretimde az atık oluşumu	+	+	+	+	+
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+	+	+	+	+
		Düşük bakım gideri	+	+	+	+	+
		Kullanımda enerji verimliliği	+	+	+	+	+
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+	+	+	+	+
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	+	+	+	+	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+	+	+	+	+
		Onarımda az atık oluşumu	+	+	+	+	+
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	+	+	+	+	+
		Geri dönüştürülebilme	+	—	+	+	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	+	+	+	+	+
		Yıkımında az atık oluşumu	+	+	+	+	+

Çizelge 4. 15'in devamı

EKOLOJİK KRİTERLER			KONTRPLAK LEVHA	TUĞLA KAPLAMA	TAŞ KAPLAMA	ÇELİK SAC LEVHA
KULLANIM ÖNCESİ DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Ham maddenin yerel kaynaklardan elde edilmesi	+	+	+	⊥
		Yenilenebilir ham madde kullanımı	+	—	—	—
		Geri dönüştürülebilir ham madde içerme	+	+	+	+
		Geri dönüştürülmüş ham madde içerme	—	+	⊥	+
		Üretiminde az su gereksinimi	+	—	—	—
		Üretiminde enerji verimliliği	—	—	—	—
		Yerel üreticilerden elde edilme	+	+	+	+
	Çevre	Zararlı ham madde içermeme	⊥	⊥	⊥	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥	⊥	—	—
		Üretimde az atık oluşumu	⊥	⊥	⊥	—
KULLANIM DÖNEMİ	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Uzun kullanım ömrü	+	+	+	+
		Düşük bakım gideri	+	+	—	⊥
		Kullanımda enerji verimliliği	⊥	+	+	⊥
	İç ve Dış Çevre	Ses yalıtımına katkı	+	+	+	—
		Hava niteliğini olumsuz etkilememe	⊥	⊥	⊥	+
		Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥	+	⊥	⊥
		Onarımda az atık oluşumu	+	⊥	+	⊥
KULLANIM SONRASI DÖNEM	Kaynak ve Enerji Etkinliği	Yeniden kullanılabilme	⊥	+	+	+
		Geri dönüştürülebilme	⊥	+	+	+
	Çevre	Düşük ya da sıfır zararlı salınım	⊥	⊥	⊥	+
		Yıkımında az atık oluşumu	⊥	⊥	⊥	⊥

5. SONUÇ

Sürdürülebilir bir gelecek için yapılan çalışmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yapı sektörü ve kullanılan yapı ürünleri doğal ve yapay çevreyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için ekolojik yapı ürünleri kullanımı önemlidir. Ekolojik yapı ürünleri doğal kaynakları korumayı hedefleyen, enerji verimliliğine katkı sağlayan ve negatif çevresel etkileri minimize eden özelliklere sahiptir. Bu ürünlerin kullanılmasıyla karbon ayak izi düşürülebilmektedir. Aynı zamanda doğal kaynakların korunumuna katkıda bulunulmakta ve sağlıklı yaşam alanları oluşturulabilmektedir.

Ekolojik yapı üretiminde yapıların tasarım aşamasında verilen kararlar ve yapılan ürün seçimleri önemlidir. Tez çalışması kapsamında yüksek oranda geri dönüştürülebilirlik özelliğiyle sürdürülebilir ekoloji açısından öne çıkan ve ülkemizde kullanım oranı gittikçe artan hafif çelik yapı yapım yöntemi ve kaplama bileşenleri ekolojik açıdan irdelenmiştir. Hafif çelik yapı yapım yöntemi dayanıklı, geri dönüştürülebilir ve hızlı kurulum imkanıyla zaman tasarrufu sağlayan, inşa sürecinin negatif çevresel etkilerini azaltan ve enerji sistemleriyle entegre çalışabilen bir teknolojidir. Ancak hafif çelikte birlikte kullanılan diğer yapı ürünlerinin de çevresel etki analizi değerlendirilmelidir. Hafif çelik yapıların iskeletine eşlik eden tamamlayıcı yapı ürünlerinden biri olan kaplama bileşenleri; strüktürün bir parçası olarak yapı mukavemetine katkı sağlarken yapı ürünleri bağlamında yapının ekolojik olma durumu üzerinde de etkiye sahiptir. Bu nedenle kaplama ürünü seçiminde ekolojik olma özelliği gösterebilen malzemeler tercih edilmelidir.

Hafif çelik yapılarda kullanılan kaplama bileşenleri strüktürel ve cephe kaplama bileşenleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Çalışmada otuz adet hafif çelik yapı strüktür üreten firma ile görüşülerek en yaygın kullanılan kaplama ürünleri belirlenmiştir. OSB levha, elyaf takviyeli çimentolu levha, çimentolu yonga levha, cam elyaf şilte kaplı levha, alçı levha, kontrplak levha, tuğla kaplama, taş kaplama ve metal esaslı cephe kaplamaları irdelenmiştir. Tez kapsamında incelenen kaplama bileşenleri içerisinde ekolojik ölçütlerin hepsini karşılayan bir yapı ürünü bulunmamaktadır. Her ürünün kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Tez çalışması sonucunda incelenen dokuz kaplama bileşeninden edinilen sonuçlar şu şekildedir:

- Alçı esaslı bileşenler (alçı levha ve cam elyaf şilte kaplı levha) birbirine yakın özellikleriyle ekolojik ölçütleri en çok karşılayan ürünlerdir. Ham maddesinin %100 geri dönüştürülebilir olması sürdürülebilir ekoloji açısından önemlidir. Ancak doğal kaynakların tüketiminde kaynakların verimli kullanımı yaklaşımı önerilmektedir.
- Ahşap esaslı bileşenlerden OSB ve kontrplak yenilenebilir kaynaklardan üretildiği için ekolojik yapı ürünleri açısından değerlidir. Hafif çelik yapılarda strüktürel kaplama olarak kullanımında yapının mukavemetine katkı sağlamaktadırlar. OSB, kontrplağa göre daha düşük kalitede tomruklardan elde edilebilmekte ve ormanların yönetimine katkı sağlamaktadır. Ancak ham maddenin, bu bileşenlerin üretiminde kullanılmak üzere özel olarak yetiştirilen ormanlardan kontrollü bir şekilde temin edilmesi önerilmektedir.

Kullanılan reçinelerin insan sağlığı için zararlı etkilerinin minimize edilmesi veya hiç kullanılmaması gerekmektedir.

- Çimento takviyeli kompozit bileşenler (elyaf takviyeli çimentolu levha ve çimentolu yonga levha) dayanıklı yapı ürünleri olmakla birlikte hem strüktürel hem dekoratif amaçlı kullanılabilirler. Çimentolu yonga levhanın ham maddesi ülkemizden temin edilirken elyaf takviyeli çimentolu levhanın içeriğindeki elyaf yurtdışından ithal edilmektedir. Ürünlerin kullanım esnasında hava niteliğini olumsuz etkileyecek bir salınım üretmezler ancak çimento üretiminden kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması, üretim tesislerinde gerekli filtreleme vb. önlemlerin alınması gerekmektedir.
- Tuğla ve taş üretiminde ham maddenin çıkarılması, işlenmesi ve üretim aşamasında yoğun enerji tüketimi ve zararlı salınım olmaktadır. Üretildiği toprak ve kayaç yapısına bağlı olarak radon salınımına sebep olabilmektedirler. Hafif çelik yapılarda strüktürel kaplama olarak kullanılmamakla birlikte proje tasarımına bağlı olarak cephe kaplama ürünü olarak tercih edilebilmektedirler.
- Hafif çelik yapılarda metal esaslı kaplamalardan titanyum çinko, alüminyum, paslanmaz çelik vb. kullanılabilir. Özellikle endüstriyel yapıların dış cephelerinde ve çatılarında galvaniz kaplı trapez çelik sac levhalar tercih edilmektedir. Galvaniz sac levhaların üretim süreci enerji etkin bir süreç olmamasına rağmen yüksek oranda fiziksel özelliklerini kaybetmeden geri dönüşebilme özelliğiyle kaynak etkinliğine katkı sağlamaktadır. Üretildiği fabrika koşullarında ve galvaniz kaplanmasında ortaya çıkan zararlı salınımlarının kontrol altına alınması önerilmektedir.
- Ürünler üretildiği ham maddeye, içeriğinde yer alan katkı malzemelerine; kullanım, bakım, onarım ve yıkım esnasında ortaya çıkan salınımlara göre hava kalitesinde farklı etkilere sebep olabilmektedirler. İncelenen kaplama bileşeni örneklerinin hepsi uçucu organik bileşik veya radon salınımına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle seçim yapılırken kullanıcılar ve çevre için zararlı düzeyde olmayacak salınım yapan ürünler tercih edilmelidir. Üretici firmalar da ürünleri için gerekli belgeleri hazırlayıp kullanıcıyı bilinçlendirmelidir.

Bazı ekolojik kriterler ise üretim tesisine göre farklılık göstermektedir. Ham maddenin elde edildiği arazi ve üretim tesisinin birbirine olan yakınlığı gibi etkenler karbon ayak izi üzerinde fark yaratabilmektedir. Bir diğer örnek olarak ise kontrplak üretiminde doğal kurutma yöntemi kullanan bir tesis, makineli kurutma yöntemi kullanan tesislere göre daha az enerji tüketmektedir. Bu nedenle tercih edilecek olan yapı ürününün üretim yeri de ekolojik etki değerlendirmesinde önem taşımaktadır. Ürünün üretiminde ortaya çıkan zehirli gazlar filtrelenmeli, doğrudan atmosfere verilmemelidir. Üretimde çıkan atık su mümkünse tekrar kullanılmalı, değilse ekolojik bertaraf yöntemleri uygulanmalıdır. Ham madde, fabrika ve ürün kullanım yeri arası mesafeler kısa olmalıdır. Ürün seçiminde enerji etkin üretim metodu benimseyen tesisler tercih edilmelidir. Seçilecek ürünler hakkında detaylı bilgi edinmek için üretici

firmayla görüşme sağlanmalı veya internet sitelerinde yayınlanmış olan ürün performans beyanı, çevresel ürün beyanı, ürün güvenlik formu, uygulama detayları vb. dokümanlar incelenerek ürün seçimi yapılmalıdır.



7. KAYNAKLAR

- Anonim 1: <https://celik.org.tr/harita/> [Son erişim tarihi 24.04.2023]
- Anonim 2: <https://www.sunprefabrik.com.tr/galeridetay/51/sun-steel-villa-185-m2> [Son erişim tarihi 25.04.2023]
- Anonim 3: [Modüler Çelik Yapılar, Deprem Bölgelerinde En İdeal Çözüm - Dorçe \(dorce.com.tr\)](https://dorce.com.tr) [Son erişim tarihi: 25.01.2023]
- Anonim 4: <https://www.tmlinson.site/ProductDetail.aspx?iid=440990659&pr=39.88> [Son erişim tarihi: 26.04.2023]
- Anonim 5: <https://www.metalframeconstruction.ie/cladding-2/> [Son erişim tarihi: 07.03.2023]
- Anonim 6: <https://www.egger.com/tr/hakkimizda/?country=TR> [Son erişim tarihi: 05.2023]
- Anonim 7: <https://www.betopan.com.tr/tr/kurumsal/hakkimizda-1> [Son erişim tarihi: 15.03.2023]
- Anonim 8: <https://www.ozgeyapi.com/uretim-sistemleri/hafif-celik-yapi-sistem> [Son erişim tarihi: 30.04.2022]
- Anonim 9: <https://www.hekimyapi.com/fibercement/> [Son erişim tarihi: 24.03.2023]
- Anonim 10: <http://www.alcider.org.tr/alciyitaniyalim.html> [Son erişim tarihi: 01.05.2023]
- Anonim 12: <https://rooftech.com.tr> [Son erişim tarihi: 04.05.2023]
- Akbulut, T., Yener, G., Ayrılmış, N. 2002. OSB Levhalarının Kontrplak Yerine Kullanılması, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 52(1): 65-79
- Aksoy, A. Ö., Özcan, U. 2020. Sürdürülebilir Bir Bakış Açısı ile Doğal Taşın Kullanımı. <http://www.naturadergi.com/anasayfa/surdurulebilir-bir-bakis-acisi-ile-dogal-tasin-kullanimi/> . [Son erişim tarihi: 28.04.2023]
- Alıca, H.Ç.2013.Lateral Load Behavior of Cold-Formed Steel Wall Panels. Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, İstanbul,80 s.
- Alptekin, O. 2014. Yapı Malzemesi Seçiminde Yöntem Araştırması ve Bir Model Önerisi. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 121s.
- Alptekin, G. 2021. Sürdürülebilirlik Bağlamında Marmara Mermeri ve Güncel Tasarım Örnekleri. *Online Journal of Art and Design*, 9(4): 303-318
- Alvur, F. 2001. Yönlendirilmiş Yongalevhaların Üretimi, Özellikleri ve Kullanım Yerleri Üzerine Araştırmalar. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 134 s.
- Aravindhana, B., Arnija, J., Ganeshkumar, S., Gayathri, C., Mohanasundari, S. 2019. Experimental Study on Eco-BLAC Bricks. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 6(3): 2765-2767
- APA 2017. Oriented Strand Board Product Guide. <https://www.apawood.org/osb> [Son erişim tarihi: 19.02.2023]

- APA. 2010. A Guide To Engineered Wood Products <https://www.apawood.org/publication-search?q=> [Son erişim tarihi: 20.08.2023]
- Aydın İpekçi, C., Coşkun, N., Tıkansak Karadayı, T. 2017. İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 10(2): 43-50
- Badr, A.R., Elanwar,H.H., Mourad, S.A. 2019. Numerical and experimental investigation on cold-formed walls sheated by fiber cement board. *Journal of Constructional Steel Research*, 158 (2019): 366-380
- Balanlı, A. 1997. Yapıda Ürün Seçimi. YÜMFED Yayını, No: 4, İstanbul.
- Ball, H. 2011. 27 35 year review of the GRC Technology, Equipment and Markets, GRC Congress 2011, İstanbul
- Balo, F., Sua,L.S. 2018. Ecologic Impact Analysis of Construction Materials. *Journal of Engineering and Technology*, 2(2):19-24
- Bayraktar, O.Y. 2018. Sürdürülebilir Bir Materyal Olarak Tuğla Tozunun Potansiyel Kullanımı. 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies , 3(2018): 1314-1322
- Berber, F.2012. Ekolojik Malzemenin Tasarımdaki Yeri ve Ekolojik Malzemeye Mimari Konut Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul,223 s.
- Bingül, Z. 2020. Taş Ocağı Kaynaklı Hava Kirliliği ve Emisyon Konulu Çevre İzin Süreci. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1):84-90
- Bribián, I. Z., Capilla, A. V., & Usón, A. A. 2011. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133-1140
- Bozkurt, A.Y. 1982. Çimentolu Yonga Levhalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 32(2): 30-34
- Calay, E. 2015. Risk Yönetim Prosesinin Bir Orman Ürünleri Sanayi İşletmesinde Uygulanması (Kontrplak Fabrikası Örneği). Yüksek lisans tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın
- Çakıroğlu, E.O., Aydın, İ., Demir, A. 2018. Karadeniz’e Kıyısı Olan Ülkelerden İthal Edilen Huş ve Yerli Kayın Tomruklarından Üretilen Kontrplakların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Karadeniz Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, 4(6):353-359
- Çakmak, F. 2018. Yönlendirilmiş Yonga Levhaların (OSB) Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Çelik, O.C., Öncü,S. 2010.Hafif Çelik Yapıların Tasarımı Deprem Riski Düşük Bölgelerde Orta Yükseklikteki Binalarda Uygulanabilirliği. *Diyarçık Bülten 2* :6-11
- Darçın, P., Balanlı,A. 2018. Yapı Ürünlerinden Kaynaklanan Uçucu Organik Bileşiklerin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi. *Megaron*, 13(4): 597-607

- Darçın, P. 2022. Mimari Tasarımda Ürün Kararları, In: Dal, M. (Ed.), Mimarlıkta Malzeme. Livre de Lyon, Lyon, ss: 1-26.
- Darçın, P. 2014. Yapı İçi Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 281 s.
- DBYBHY. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara
- Demir, A. 2019. Kontrplak Kaplı Ahşap Yapı Perde Duvarlarının Yapısal Davranışları ve Sismik Dayanım Performanslarının Belirlenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Demirkır, C. 2012. Çam Türlerinden Elde Edilen Kaplamaların Yapı Maksatlı Kontrplak Üretiminde Değerlendirilmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Doğan, N.2021. Vinil ve Çimento Esaslı Cephe Kaplamaların Çevresel Performanslarının İncelenmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 6(2):494-508
- Dönmez Çavdar, A., Yel, H., Kalaycıoğlu, H., Aras, U. 2012. Kâğıt Fabrikası Arıtma Suyu Çamuru İle Üretilen Çimentolu Yongalevhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş
- Dudás, A. 2003. Light Steel Structures in Residential House Construction. *Periodica Polytechnica Ser. Civ.Eng.* 47(1):133-136
- Ekinci, S. 2006. Hafif Çelik Yapım Sistemleri Taşıyıcı Sistem, Yapı Fiziki Etkileri ve Mimari Tasarım İlkeleri Açısından Analizi. Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 287 s.
- Ekinci, S., Eşsiz, Ö. 2005. Deprem Bölgelerinde Hafif Çelik Yapım Sistemleriyle Üretilen Konutların Uygulanabilirliği, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005
- Eren, Ö. 2014. Hafif Çelik Yapı Tasarım Konstrüksiyon Uygulama. Arı Sanat Yayınları, İstanbul, 223 s.
- Eren, Ö. ve Başarır, B. 2013. Çelik Strüktürlerin Yaşam Döngüsü İçinde Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 8 (2): 120-135.
- Eren, T. 2004. Konut Yapımında Gelişmiş Ahşap ve Hafif Çelik İskelet Sistemlerin Temelyapı Elemanları Düzeyinde Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 104s.
- Eriç, M. 2002. Yapı Fiziki ve Malzemesi. Literatür Yayıncılık, İstanbul
- Eroğlu, M., Akyol, A.A. 2017. Antik Yapı Malzemesi Olarak Tuğla ve Kiremit: Boğsak Adası Bizans Yerleşimi Örneği. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 20: 141-162
- Esin, T. 2007. A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production process. *Building and Environment* 42 (2007) :3860-3871

- Eşsiz, Ö., Ekinci, S. 2012. *Metal cephe kaplamalarının düünden bugüne gelişimi*. Haziran. http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri_017.pdf. [Son erişim tarihi: 03.05.2023]
- Franzoni, E. 2011. Materials selection for green buildings: which tools for engineers and architects?. *Procedia Engineering*, 21, 883-890
- Gali Taşçı, G. 2020. Rezidanslarda Konfor Koşullarının Pandemi Dönemi Etkisinde Analizi. *Kent Akademisi*, 13 (4): 701-721.
- Gökaltun, E. 2010. Tuğla Yüzeyli Binalar Kent Kimliğini Belirleyici Öğelerden Birisi Olabilir mi?: Eskişehir Örneği. *İdealKent*. Sayı: 1, Mayıs 2010: 126-137
- Görçiz, G. 1996. Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Kısa Tarihçesi. *Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi*, 1(1):40-42
- Güller, B. 2001. Odun Kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. A (2): 135-160
- Güner, C. 2017. Enerji Etkin Tasarımda, Ekolojik ve Sürdürülebilir Malzeme Seçimi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana
- Güneri, S. 2009. Doğal Taşların Teknik Özelliklerine Göre Kullanım Alanlarının ve Uygulama Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 186 s.
- Gürdal, E. 2010. Bir Yapı Malzemesi Olarak Alçı. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 4: 37-43
- Gürdal, E., Acun, S. 2003. Alçı Malzemenin Taşıyıcılık Özellikleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427- 2003/5:63-70*
- Harini, B., Lingeshwaran, N., Perumal K., Aravinthan, K. 2020. Sustainable design of cold formed steel. *Materials Today: Proceedings*, 33(2020): 881-885
- Harshavardhan,P., Venkat Das, T., Reddy Kumar Reddy, K., Borusu, V. 2021. Modelling and design analysis of light gauge steel systems against conventional structural systems. *Materials Today: Proceedings*, 47 (2021): 5164-5171
- Hashi, M.N.2020. Türkiye’deki Leed Sertifikalı Ofis Binalarının Sürdürülebilir Malzeme Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul,125 s.
- Hekim Seçkin, H. 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yapı Malzemeleri Kullanımı İle Pasif Çelik Ev Tasarımı. Yüksek lisans tezi, Maltepe Üniversitesi, İstanbul
- Hincapie Rojas, D. F., Gomez Mejía, D. M., Jimenez García, F. N., & Alvarez Vargas, C. A. 2023. Effect of the Addition of Silica Obtained from Rice Husk on Physicochemical and Mechanical Properties of Fibercement. *Heliyon*, 9
- İriş, S. 2019. Tuğla ve Gazbeton Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirliği Üzerine Karşılaştırmalı Bir Analiz. Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 109 s.
- Jorge, F. C., Pereira, C., Ferreira, J. M. F. 2004. Wood-cement composites: a review. *Holz Roh Werkst*, 62, 370–377.

- Kalaycıoğlu, H., Yel, H., Dönmez Çavdar, A. 2011. Çimentolu Odun Yünü Kompozitleri ve Kullanım Alanları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(1): 122-133
- Karahan, G., Erşahin, S. 2016. Jips: Özellikleri, Çevresel Davranışları ve Toprak Islah Maddesi Olarak Kullanımı. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 2 (1-2): 45-53
- Karaman Öztaş, S. 2014. Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 180 s.
- Karaman Öztaş, S., Tanaçan, L. 2017. Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Geliştirilen Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Modelinin Sınanması. *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 10(2): 65-76
- Kartal, M. 2018. Yapıda Sık Kullanılan Malzemelerin Ekolojik Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Işık Üniversitesi, İstanbul, 99 s.
- Kılıç, Y. 2007. Türkiye Ağaç Kaplama ve Kontrplak Endüstrisinin Yapısı, Sorunları ve Çözüm Önerileri. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Koç, V. 2021. Hafif Çelik Binalarda Duvar Tesisat ve Çatılarının İncelenmesi. İstanbul International Modern Scientific Research Congress, ss.251-260, 4-5 Haziran
- Lawson, R.M., Way, A.G.J., Heywood, M., Lim, J.B.P., Johnston, R., Roy, K. 2019. Stability of light steel walls in compression with plasterboards on one or both sides. *Structure and Buildings*, January 2019
- Lawson, R.M. 2012. Light Steel Residential Buildings. <https://steel-sci.com/assets/downloads/LSF/ED011%20Download.pdf> [Son erişim tarihi: 28.01.2023]
- Mahdavinejad, M., Haijan, M., Doroodgar, A. 2011. Role of LSF technology in economic housing for Urban sustainability, case of Iran. *Procedia Engineering* 21:2-7
- Mermer, O. 2008. Hafif Çelik Konutlarda Yangın Güvenliği. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 121 s.
- Mowrtage, W. 2015. Cyclic Lateral Load Behavior of CFS Walls Sheathed With Different Materials. *Thin-Walled Structures*, 96(2015): 328-336
- Mutlu Akay, M. 2013. Sürdürülebilirlik Stratejilerinin Hafif Çelik Yapım Sistemlerinde Uygulanmasına Yönelik Analiz. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 175 s.
- Mutlu Danaci, ve H., Kavas, K.R. 2016. "Is your building, which is designed according to "Ecological Architecture", really ecological?", *Ecol. Environ. Conserv.*, 22(1): 47-51.
- Oğan Musağaoğlu, B. 2005. Performance of the Stone Building Envelope: Curtain Wall to Cladding. Doktora tezi, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara, 231 s.

- Of, N.ve Öztürk, S.2022.Depremlerden Sonraki Yeniden Yapılanma Süreci Üzerine Küresel Bir Araştırma: Çelik Prefabrik Malzeme Kullanımının Gerekliliği. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(1):346-360
- OKA. Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı, Ağaç Ürünleri ve Mobilya Sektör Raporu, 2013
- Onat, M.2004. Yapı Malzemelerinin Ekolojik Bir Yaklaşımla Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma. Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 129 s.
- Ömer Çamgören arşivi
- Öztürk, F. 2014.Hafif Çelik Çerçeve Sistemlerin Tepe Birleşim Bölgesinin Sonlu Eleman Analizleri ile Optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon,166 s.
- Öztürk, M.2004.Kullanılmış Çeliğin Geri Kazanılması. [COB celik \(bilgin.net\)](http://cobcelik.bilgin.net) [Son erişim tarihi: 16.01.2023]
- Pappu, A., Mohini, S., Asolekar, S. R. 2007. Solid Wastes Generation In India and Their Recycling Potential In Building Materials. *Building and Environment*, 42: 2311-2320
- Sanyuan,S., ve Juan,Y. 2009. Development of Chinese Light Steel Construction Residential Building. *Journal of Sustainable Development.*, (2):3 ;134-138
- Sev, A.2009.Sürdürülebilir Mimarlık. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları:155, İstanbul,224 s.
- Sezgin, F., Çelebi,G. 2011. Bina Tasarımında Malzeme Seçimi İçin Model Çalışması. *Politeknik Dergisi*, 14(3) :215-222
- Stitt, F.A.1999. Ecological Design Handbook Sustainable Strategies for Architecture, Landscape Architecture, Interior Design, and Planning. The McGraw-Hill Companies
- Şen, H. K. 2018. Sürdürülebilirlik Üzerine Tarihsel ve Güncel Bir Perspektif. *Ekonomik Yaklaşım*, 29(107): 1-47.
- Tanaçan, L., Ersoy,H.Y. 2005. Environmental Evaluation Of The Building Envelope Using Plastic Foam Insulation. World Congress on Housing Transforming Housing Environments through Design September 27-30, 2005, Pretoria, South Africa
- Tartar, A.2002. Light Steel Construction Technology and Design Possibilities. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 146 s.
- TBDY. 2018.Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara
- T.C. AFAD Başkanlığı. <https://deprem.afad.gov.tr/content/143> [Son erişim tarihi:10.06.2023]
- T.C.Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.2022.Demir-Çelik Sektör Raporu 2021. Sanayi Genel Müdürlüğü. <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/sektor-raporlari/mu1406011405> .[Son erişim tarihi: 18.01.2023]

- TÇÜD. 2019. <https://celik.org.tr/harita/>. [Son erişim tarihi 04.08.2023]
- TÇÜD. 2023. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği Çelik Dergisi. <https://celik.org.tr/category/dergiler/> [Son erişim tarihi 04.08.2023]
- Tekin, K.T. 2017. Cam Elyaf Katkılı Beton Cephe Panellerinin İnşa Edilebilirlik Kriterleri Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 140 s.
- Terim, B.2006.Hafif Çelik Çerçeve Sistem, Ege Mimarlık 2006:1-56
- Tepe Betopan Performans Beyanı. <https://www.betopan.com.tr/tr/dokuman-merkezi> [Son erişim tarihi: 18.03.2023]
- Tepe Betopan Güvenlik Bilgi Formu. 2017. <https://www.betopan.com.tr/tr/dokuman-merkezi> [Son erişim tarihi: 25.03.2023]
- Thormark, C.2005.The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building Environment*, 40(2006):1019-1026
- Thormark, C. 2007. Motives for Design for Dissassembly in Building Construction. Portugal SB07: Sustainable Construction, Materials and Practices, Lisbon, Portugal
- Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L. 2011. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme. Literatür Yayınları üçüncü basım, İstanbul, 412 s.
- Tudora, A. C. (2011). Assessments criteria of building materials from ecological point of view. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 57(4), 129.
- Tufan,M.Z., Özel,C.2018.Sürdürülebilirlik Kavramı ve Yapı Malzemeleri İçin Sürdürülebilirlik Kriterleri. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 2(1):9-13
- Tuna Kayılı, M., Özmen,S.T. 2020. Hafif Çelik ve Ahşap Duvar Konstrüksiyonlarının Gömülü Karbon Değerinin Belirlenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2020, 7 (2); 603-618
- Tuna Taygun, G., Balanlı, A. 2013. Çevreci Tasarım ve C2C Yaklaşımı. 4.Çevre Tasarım Kongresi, ss.123-134, 12-13 Aralık, Uludağ Üniversitesi, Bursa
- TÜİK. 2020. İstatistiklerle Türkiye 2019
- Türkiye İMSAD. 2022. İnşaat Sektörü ve İlişkili Sektörler İçin SKA Değerlendirmesi
- Uz, A. 2020. Sürdürülebilir Kalkınma Ekseninde Konut Üretimi ve Konut Yapı Malzemeleri. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara,329 s.
- Vitruvius. 1993. Mimarlık Üzerine On Kitap. (çev. Suna Güven). Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı
- Yang, W.W., Yang, Q.L. 2017. Study on the Dynamic Characteristics of Light Steel Residential Structural System. *Engineering*, 9: 591-598
- Yapıcı,F. 2008. Sarıçam (Pinus Sylvestris L.) Odununun OSB Üretiminde Kullanılmasında Bazı Üretim Faktörlerinin Levha Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 162s.

- Yapıcı, F., Yörür, H., Yalçın, İ. 2013. Çimentolu yonga levhanın bazı özelliklerine rutubet değişimin etkisinin belirlenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15 : 61-64
- Yapı Malzemeleri Yönetmeliği. 2013. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130710-10.htm> [Son erişim tarihi 09.02.2023]
- Yıldırım, S.G. 2003. Hafif Çelik Taşıyıcılı Endüstrileşmiş Konutlarda Tasarım Verileri. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Yıldırım, S.G. 2010. Türkiye’de Az Katlı Konutlar İçin Yarı Açık Hafif Çelik Yapım Sistemi Önerisi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Yıldırım, S.G. 2013. Az Katlı Konutlar İçin Hafif Çelik Yapım Sistemi. Altınpost Yayıncılık, Ankara, 180 s.
- Yılmaz, B.2017. Tasarım Evresinin Hafif Çelik Modüler Kutu Sistemli Yapıların Yaşam Döngüsü Sürecine Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 160 s.
- Yılmaz, B., Eren, Ö.2022.Konut Üretiminde Tipleştirilmiş Hafif Çelik Modül Sistem ile Tasarım Olanaklarının Değerlendirilmesi. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi* 2022, 7(2); 617-646
- Yılmaz, F., Mojtabaei, S.M., Hajirasouliha, I., Becque, J. 2022. Behaviour and performance of OSB-sheathed cold-formed steel stud wall panels under combined vertical and seismic loading. *Thin-walled structures* 183 (2023)
- Yılmaz, M. 2012. A Study on the Utilization of Waste Cement-Bonded Wood Particle Board as a Raw Material and A Secondary Fuel In Cement Manufacturing. Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- Yu, W.W., LaBoube R.A., Chen, H.2020. Cold-Formed Steel Design Fifth Edition, John Wiley&Sons ,Inc., ABD
- Yüzer, E., Güngör, Y., Aydoğan, S. 2016. Doğal Taşın Öyküsü. Kare Tasarım, İstanbul, 264 s.
- Zerbe, J.I., Cai, Z., Harpole, G.B. 2015. An evolutionary history of oriented strandboard (OSB). General Technical Report FPL-GTR-236. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture
- Zeynalian, M., Ronagh, H.R. 2015. Seismic performance of cold formed steel walls sheated by fibre-cement board panels. *Journal of Constructional Steel Research*, 107(2015): 1-11
- ZMS Çelik fotoğraf arşivi
- Zorlu, K. 2019. Yapı Malzemelerini İç Mekân Hava Kalitesine Etkisi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
- Zorlu, K., Tıkansak Karadayı, T. 2020. İç Mekân Hava Kalitesinde Yapı Malzemelerinin Rolü. *Sinop Uni J. Nat. Sci*, 5(2): 193-211

ÖZGEÇMİŞ
İLAYDA BAHAR ÇAMGÖREN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-2023	Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Okan Üniversitesi
2012-2017	Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Mimar	Uyar Holding
2021-2022	Yozgat
Mimar	ZMS Hafif Çelik
2020-2021	İstanbul
Mimar (yarı zamanlı)	NRP Mimarlık
2016-2017	İstanbul

ESERLER

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Çamgören, İ. B., Mutlu Danacı, H. (2021). Sosyal Ekofeminizm Bağlamında Kadın Mimarların Ekolojik Mimarideki Rolünün İncelenmesi, I. Ulusal Kadın Temalı Öğrenci Kongresi, ss. 226-236, 13-14 Mart, Erzurum Teknik Üniversitesi