MİMARİ MEKANIN ÜRETİMİNDE ÇELİK VE CAMIN BİR ARADA KULLANIMININ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Esra Nur ATİLA

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARİ MEKANIN ÜRETİMİNDE ÇELİK VE CAMIN BİR ARADA KULLANIMININ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Esra Nur ATİLA
0009-0000-8219-5136

Prof. Dr. Murat TAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Esra Nur ATİLA tarafından hazırlanan "MİMARİ MEKANIN ÜRETİMİNDE ÇELİK VE CAMIN BİR ARADA KULLANIMININ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat TAŞ

Başkan	**:**	Prof. Dr. Murat TAŞ 0000-0001-6152-5650 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Nilüfer TAŞ 0000-0002-3627-2011 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Dr. Öğr. Üyesi Fatma CESUR 0000-0001-9878-0022 Bursa Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü
../../….

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24.01.2025

Esra Nur ATİLA

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ TEZ TANITIMI
ÖĞRENCİ VE DANIŞMAN FORMU

FR 3.4.6_27

ÖĞRENCİ
Adı SOYADI : Esra Nur ATİLA
ÜNVANI : Mimar
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ABD
E-POSTA : 502212031@ogr.uludag.edu.tr
PROGRAMI: YAPI BİLGİSİ Y.LİSANS
ORCID : 0009-0000-8219-5136
TÜBİTAK ID : TBTK-0175-5570
WOS RESEARCHER ID :MCK-3945-2025
SCOPUS AUTHOR ID :
Google Scholar ID : uuN0Rc4AAAAJ

DANIŞMAN
Adı SOYADI : Murat TAŞ
ÜNVANI : Prof. Dr.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ABD
E-POSTA : murattas@uludag.edu.tr
YÖKSİS ARAŞTIRMACI ID : 157304
ORCID: 0000-0001-6152-5650
TÜBİTAK ID : TBTK-0013-4420
WOS RESEARCHER ID : AAD-7812-2019
SCOPUS AUTHOR ID : 16204189200
Google Scholar ID : Jt5M-6UAAAAJ

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ YÜKSEK LİSANS/DOKTORA EĞİTİMİ BOYUNCA

BİLİMSEL ÇALIŞMALARI VE FAALİYETLERİ*

1. ATİLA, E. N. (2024, Aralık 15). *Examination of the combined use of steel and glass in the production of architectural space through examples.* 4th International Eurasia Congress of Building Materials, Architecture and Engineering Sciences, Adana, Türkiye. ISBN: 978-625-378-070-8.
2. ……
3. ……
4. ……
5. ……
6. ……
7. ……
8. ……
9. ……
10. ……
11. ……

***Makaleler, Bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler, patentler, projeler, eğitimler vb. faaliyetler sıralanmalıdır.

BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA HEDEFLERİ

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

2.78.404 Glasses 7.121.1015 Cold-Formed Steel

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

☐ 

Anahtar Kelimeler

Anahtar kelimeler aşağıdaki bağlantı üzerinden seçilecektir.
https://incites.help.clarivate.com/Content/

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİMARİ MEKANIN ÜRETİMİNDE ÇELİK VE CAMIN BİR ARADA KULLANIMININ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Esra Nur ATİLA

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat TAŞ

Bu çalışma, çelik ve camın mimarideki tarihsel gelişimini, bu süreçte mimari mekana etkisini ve mekanın biçimlenişine katkısını ele alarak, gelecekteki potansiyellerini araştırmaktadır.

Endüstri Devrimi ile mimarideki kullanımı hız kazanan çelik ve cam malzemelerinin estetik ve işlevsellik açısından sağladığı avantajlar, mimari mekanın biçimlenişinde yeni olanaklar yaratmıştır. Çelik, güçlü ve esnek yapısıyla büyük açıklıkların geçilmesini sağlar, cam ise doğal ışık geçirgenliği ve şeffaflık özellikleri ile mekanları daha ferah ve geniş hale getirir. Bu iki malzeme, özellikle modern mimaride, mekansal esneklik, hafiflik, şeffaflık gibi kavramların ön plana çıkmasını sağlamış ve mimari mekanın üretim süreçlerini köklü bir biçimde değiştirmiştir.

Çelik ve camın entegrasyonu, çağdaş mimarinin simgelerinden olan yapıları hem yapısal hem de estetik açıdan güçlendirmiştir. Kristal Saray (1851), çelik ve camın ilk büyük entegrasyon örneklerinden biri olarak mimarlıkta bir devrim yaratmış ve modern yapılar için bir temel oluşturmuştur. Bu yapı ile başlayan süreç, çelik ve camın mimari mekan üretiminde giderek daha yenilikçi biçimlerde kullanılmasına olanak tanımıştır. Zamanla, bu malzemelerin sunduğu yapısal ve estetik avantajlar, yeni tasarım yaklaşımlarının gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu gelişim süreci, günümüzde Teknosfer Binası Projesi gibi yenilikçi yapılarla devam etmekte, çelik ve camın günümüz teknolojileriyle nasıl dönüşüm geçirdiğini ve bu malzemelerin geleceğin otonom şehirleri için nasıl bir ön proje niteliğinde olabileceğini gözler önüne sermektedir.

Bu bağlamda, çalışma, çelik ve cam malzemenin mimari mekan üretimindeki tarihsel süreci, teknolojik gelişimi ve önemini tespit etmek amacıyla, bu malzemelerin mimari mekan üretimindeki rolünü tarihsel gelişim süreci ve çağdaş teknolojik yenilikler bağlamında bütüncül bir yaklaşımla ele alarak literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mimari Mekan, Çelik Malzeme, Cam Malzeme, Çelik ve Cam Mimarlığı
2025, xvi + 164 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EXAMINATION OF THE COMBINED USE OF STEEL AND GLASS IN THE PRODUCTION OF ARCHITECTURAL SPACE THROUGH EXAMPLES

Esra Nur ATİLA

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Murat TAŞ

This study explores the historical development of steel and glass in architecture, their impact on architectural space in this process and their contribution to the shaping of space, and investigates their future potentials.

The aesthetic and functional advantages of steel and glass materials, whose use in architecture accelerated with the Industrial Revolution, have created new possibilities in the shaping of architectural space. Steel, with its strong and flexible structure, allows large openings to be crossed, while glass, with its natural light transmission and transparency, makes spaces more spacious and wider. These two materials have brought concepts such as spatial flexibility, lightness and transparency to the forefront, especially in modern architecture, and have radically changed the production processes of architectural space.

The integration of steel and glass has both structurally and aesthetically strengthened buildings that are symbols of contemporary architecture. The Crystal Palace (1851), one of the first major examples of the integration of steel and glass, revolutionized architecture and laid the foundation for modern buildings. The process that began with this building allowed steel and glass to be used in increasingly innovative ways in the production of architectural space. Over time, the structural and aesthetic advantages offered by these materials have contributed to the development of new design approaches. This development process continues today with innovative buildings such as the Teknosphere Building Project, revealing how steel and glass are transformed by today's technologies and how these materials can be a pre-project for the autonomous cities of the future.

In this context, the study contributes to the literature by addressing the role of steel and glass in the production of architectural space with a holistic approach in the context of historical development process and contemporary technological innovations in order to determine the historical process, technological development and importance of these materials in the production of architectural space.

Key words: Architectural Space, Steel Material, Glass Material, Steel and Glass Architecture.

2025, xvi + 164 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca akademik gelişimime değerli katkılar sunan, araştırmalarımı titizlikle yönlendiren ve her aşamada destekleyici yaklaşımıyla bana yol gösteren, süreci daha anlamlı ve verimli hale getiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat TAŞ'a şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmamda emeği geçen başta annem olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ancak, bir kişi var ki, hayatım boyunca en büyük ilham kaynağım olmuş ve hep yanımda hissetmişimdir. Mimarlık yolunda ilk adımlarımı atarken kaybettiğim değerli babam Hasan Nalbantoğlu'na, bana bıraktığı miras ve hayatımda yarattığı derin izler için minnettarım.

Bu süreçte her daim yanımda olan, bana ilham veren ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşim Mustafa Atila'ya, varlıklarıyla hayatımı güzelleştiren canım çocuklarım Ceren ve Görkem'e teşekkür ederim. Onların sevgisi ve desteği, bu süreci benim için çok daha özel kıldı.

Esra Nur ATİLA
24.01.2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET....vi
ABSTRACT....ix
TEŞEKKÜR....x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ....xii
ŞEKİLLER DİZİNİ....xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ....xvi
1. GİRİŞ…...……..1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI....4
2.1 Mimari Mekan Tanımı....4
2.1.1 Mimari Mekan Üretimi Tarihsel Gelişimi....5
2.2 Çelik Malzemenin Mimaride Kullanımı....12
2.2.1 Yapı Malzemesi Olarak Çeliğin Tarihçesi....14
2.2.2. Çeliğin Mimaride Kullanım Alanları....21
2.3. Cam Malzemenin Mimaride Kullanımı....32
2.3.1. Yapı Malzemesi Olarak Camın Tarihçesi....34
2.3.2. Camın Mimaride Kullanım Alanları....51
3. MATERYAL ve YÖNTEM....67
3.1. Çelik Ve Cam Malzemenin Bir Arada Kullanımı....67
3.1.1. Çelik ve Camın Bir Arada Kullanımının Tarihçesi....76
3.1.2. Çelik ve Camın Bir Arada Kullanım Örnekleri....93
4. BULGULAR ve TARTIŞMA....128
5. SONUÇ....153
KAYNAKLAR....156
ÖZGEÇMİŞ....164

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
3D	Three-Dinsional
f^2	Fitkare
m^2	Metrekare

Kısaltmalar	**Açıklama**
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
EC	Avrupa Komisyonu
EXPO	Exposition
KG	Kilogram
LD	Linz-Donawitz
LEED	Leadership Energy Environmental Design
LOT	Akıllı Cihaz
LTD	Limited
M	Metre
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
PVB	Polivinil Butiral
UV	Ultraviyole
YY	Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.1.	Neolitik boyunca konut yapılarının dönüşümü restitüsyonları	6
Şekil 2.1.2.	Aziz Petrus Bazilikası	7
Şekil 2.1.3.	Sanayi Devrimlerinin Gelişim Süreci	8
Şekil 2.1.4.	Paddington İstasyonu	9
Şekil 2.1.5.	Eiffel Tower	10
Şekil 2.1.6.	Sydney Opera Binası	11
Şekil 2.1.7.	Vessel Binası	12
Şekil 2.2.1.	Coalbrookdale Köprüsü	14
Şekil 2.2.2.	Brittania Köprüsü	14
Şekil 2.2.3.	Brooklyn Köprüsü	17
Şekil 2.2.4.	Home Insurance Building	18
Şekil 2.2.5.	Disherington Flax Mill	19
Şekil 2.2.6.	Empire State Binası	20
Şekil 2.2.7.	The Flatiron Building	22
Şekil 2.2.8.	Bessemer Dönüştürücüsü	24
Şekil 2.2.9.	Siemens-Martin Açık Ocak Fırın	26
Şekil 2.2.10.	LD Konvertörü	28
Şekil 2.2.11.	Elektrik Arkı Fırını	29
Şekil 2.3.1.	Cam Panel, 3mm. kalınlık, Roma Dönemi	35
Şekil 2.3.2.	Göbekli Cam Yapım Tekniğinde Döndürme Aşaması	36
Şekil 2.3.3.	Chartres Katedrali	37
Şekil 2.3.4.	Hyde Park'da kurulan Kristal Saray	39
Şekil 2.3.5.	Hallidie Binası	41
Şekil 2.3.6.	Bauhaus Okulu Binası	42
Şekil 2.3.7.	Bauhaus Okulu Binası Giydirme Cephe Detayı	43
Şekil 2.3.8.	Vakko Genel Müdürlük Binası	46
Şekil 2.3.9.	Cybertecture Yumurtası	48
Şekil 2.3.10.	Apple Park	49
Şekil 2.3.11.	Apple Park Cephe Görünümü	50
Şekil 2.3.12.	Torre Agbar Kulesi **A)** Kule Görünüşü **B)** Kule Kesit Detayı	56
Şekil 2.3.13.	Torre Agbar Kule Detayları **A)** Cephe Detayı **B)** Cam Paneller	56
Şekil 2.3.14.	Apple Store	58
Şekil 2.3.15.	Gherkin	59
Şekil 2.3.16.	Coco Evi	61
Şekil 2.3.17.	Termokromik camın değişik durumlarda görünümleri	63
Şekil 2.3.18.	Elektrokromik camın sağdan sola renk değiştirme aşamalarının gözlemlenebileceği saha testleri	63
Şekil 3.1.1.	Çelik–cam birleşimlerinde kullanılan bulon türleri.	73
Şekil 3.1.2.	Çelik ve camın yapıştırıcıyla birleştirilmesi	74
Şekil 3.1.3.	Transparan uzay kafes modüller ve modüllerin birleştirilmesi	74
Şekil 3.1.4.	Yapı Kredi Kültür Sanat Binası	75
Şekil 3.1.5.	Kristal Saray'ın kurulum aşamalarından görüntüler	79
Şekil 3.1.6.	Kristal Saray'ın 1851'de iç mekanı	80
Şekil 3.1.7.	Kristal Saray Görünüş ve Zemin Kat Planı	81
Şekil 3.1.8.	Galerie des Machines	82

Şekil 3.1.9.	Galerie des Machines Detayları **A)** Kesit Detayı **B)** Kolon Detay	83
Şekil 3.1.10.	Galerie des Machines iç görünüş	84
Şekil 3.1.11.	Barcelona Pavyonu	85
Şekil 3.1.12.	Barcelona Pavyonu iç görüşünüş	86
Şekil 3.1.13.	Barcelona Pavyonu Plan	86
Şekil 3.1.14.	Hollanda Pavyonu **A)** Pavyon Görünüş **B)** Pavyon Kesit	87
Şekil 3.1.15.	Çin pavyonu	89
Şekil 3.1.16.	Çin pavyonu inşaatı kesiti	90
Şekil 3.1.17.	Alif - The Mobility Pavilion	91
Şekil 3.1.18.	Alif - The Mobility Pavilion Cephesi	91
Şekil 3.2.1.	AEG Binası	93
Şekil 3.2.2.	AEG Binası Kesit	94
Şekil 3.2.3.	AEG Binası Çelik Konstrüksiyon Ayaklarından Bir Örnek	95
Şekil 3.2.4.	Seagram Binası	96
Şekil 3.2.5.	Seagram Binası ön bahçe	97
Şekil 3.2.6.	Seagram Binası Detayları **A)** Cephe Detay **B)** Ön Yüz Detay Kesit	98
Şekil 3.2.7.	Masif Duvarların Cephesinde Kullanılan Yeşil Mermerler	99
Şekil 3.2.8.	Pompidou Sanat Merkezi	100
Şekil 3.2.9.	Farklı renklere boyalı tesisat borularının yapının dışından görünüşü	101
Şekil 3.2.10.	Pompidou Sanat Merkezinde kullanılan Gerbet	102
Şekil 3.2.11.	Pompidou Sanat Merkezinde Cam Tüp	103
Şekil 3.2.12.	Resichtag Kubbesi	104
Şekil 3.2.13.	Resichtag Kubbesi iç görünüş	105
Şekil 3.2.14.	Resichtag Kubbesi Kesit	105
Şekil 3.2.15.	Resichtag Kubbe Detay	106
Şekil 3.2.16.	Hearst Kulesi	107
Şekil 3.2.17.	Hearst Kulesi Çelik Diagrid Sistem Modellemesi	108
Şekil 3.2.18.	Hearst Kulesi Detayları **A)** Cephe Detayı **B)** Diagrid Sistem Detayı	109
Şekil 3.2.19.	Burç Halife	110
Şekil 3.2.20.	Burç Halife Proje Konsepti	111
Şekil 3.2.21.	Burç Halife plan, kesit ve görünüşler	112
Şekil 3.2.22.	Burç Halife Detayları	113
Şekil 3.2.23.	Aldar HQ	114
Şekil 3.2.24.	Aldar HQ Detayları **A**) İnşaat Aşaması **B)** Cam Montaj görseli	115
Şekil 3.2.25.	Aldar HQ Cephesi **A)** Cephe Perspektifi **B)** Cephe Yakın Detay	116
Şekil 3.2.26.	The Shard	117
Şekil 3.2.27.	The Shard Detayları **A)** Kesit modellemesi **B)** The Shard'ın kulesine kaldırılan son çelik parçası	118
Şekil 3.2.28.	The Shard Cam Panel Görünüş	119
Şekil 3.2.29.	Gelecek Müzesi	120
Şekil 3.2.30.	Gelecek Müzesi Detayları **A)** Bina Cephesi **B)** Cephe Montaj İmalat Aşaması	121

Şekil 3.2.31. Gelecek Müzesi Kesiti 122
Şekil 3.2.32. Gelecek Müzesi Cephesi 123
Şekil 3.2.33. Teknosfer Binası Projesi Render 124
Şekil 3.2.34. Teknosfer Binası Açık Teras Bölümü Render 125
Şekil 3.2.35. Teknosfer Binası Atrium Render 126

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Sıcak ve Soğuk Haddeleme Çeliği Arasındaki Farklar	23
Çizelge 2.2.	Çelik Üretim Yöntemleri Karşılaştırması	30
Çizelge 3.1.	Çelik ve Cam Malzemenin Tarihsel Gelişimi Zaman Çizelgesi	78
Çizelge 4.1.	Kristal Saray Analizi	134
Çizelge 4.2.	Galerie des Machines Analizi	135
Çizelge 4.3.	Barcelona Pavyonu Analizi	136
Çizelge 4.4.	Hollanda Pavyonu Analizi	137
Çizelge 4.5.	Çin Pavyonu Analizi	138
Çizelge 4.6.	Alif - The Mobility Pavilion Analizi	139
Çizelge 4.7.	AEG Binası Analizi	142
Çizelge 4.8.	Seagram Binası Analizi	143
Çizelge 4.9.	Pompidou Sanat Merkezi Analizi	144
Çizelge 4.10.	Resichtag Kubbesi Analizi	145
Çizelge 4.11.	Hearst Kulesi Analizi	146
Çizelge 4.12.	Burj Khalifa (Halife) Analizi	147
Çizelge 4.13.	Aldar Head Quarters Analizi	148
Çizelge 4.14.	The Shard Analizi	149
Çizelge 4.15.	Gelecek Müzesi Analizi	150
Çizelge 4.16.	Teknosfer Binası Projesi Analizi	151

1. GİRİŞ

Bu çalışma, çelik ve cam malzemelerinin mimari mekana etkisini, tarihsel süreçteki gelişimini ve çağdaş mimarlıkta nasıl kullanıldığını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, Endüstri Devrimi'nden günümüze kadar çelik ve camın mimari mekanda kullanım süreci ele alınmış, bu malzemelerin yapısal ve estetik açıdan sunduğu olanaklar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Tarihsel süreç içinde çelik ve camın birlikte kullanıldığı önemli yapı örnekleri incelenmiş, ayrıca günümüz teknolojileri doğrultusunda bu malzemelerin sürdürülebilir mimari bağlamındaki rolü değerlendirilmiştir.

Mimari mekanın üretiminde yeni işlevsel, teknolojik ve estetik eğilimler, geniş açıklıklı bina ihtiyacı, çok katlı yüksek bina yapma isteği karşısında taş, tuğla ve ahşap gibi geleneksel yapı malzemelerinin kullanımı sınırlı düzeyde kalmıştır. Demir ve betonun yapıda kullanılmaya başlamasıyla ilerleyen mimari mekan anlayışı, Endüstri Devrimi sonrası değişen üretim biçimleri ve gelişen teknoloji ile birlikte yapılarda çelik ve camın da kullanımının üst düzeye çıkmasıyla devam etmiştir. Özellikle çelik ve cam en çok gelişim ve değişim gösteren yapı malzemesi olmuştur.

Yapılarda çelik malzeme sayesinde büyük açıklıklar geçilmiş ve asansörün kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte yapılan çok katlı yapılar, çelik malzeme sayesinde betonarmeye göre daha küçük kesitli taşıyıcılarla elde edilmiştir. Hafif bir malzeme olan çelik, yapılardaki kullanım esnekliğiyle mimari mekanların daha özgür ve özgün olmasına olanak sağlamıştır. Aynı zamanda gelişen teknolojiye uyum sağlayan cam, özellikle cam fırın teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte yapılabilen seri üretimler sayesinde yüksek kalitede, büyük ebatlarda ve ekonomik bir yapı malzemesi olarak yapılarda kullanılabilirliğini arttırmıştır. Bu gelişim özellikle çelik taşıyıcı sistemin sağladığı geniş açıklıkların cam malzeme ile kapatılmasında etkin rol oynamıştır.

Gelişen çelik ve cam malzeme teknolojileri ve binalarda bütüncül performans için mimariyi etkileyen yapısal tasarım bileşenlerinin, mimari tasarım ile entegre olmasını sağlayan bilgi teknolojileri sayesinde özellikle son yıllarda mimari mekanın üretiminde nitelikli ve özgün yorumlarla "Çelik ve Cam Mimarisi" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu mimari anlayış, beklentileri karşılayacak düzeyde farklı mimari mekan tasarımı ve

üretimine olanak sağlamıştır. Çelik ve cam mimarisinde, strüktür elemanı olarak çelik malzeme kullanılarak doğadan ayrılan ve yükselen bina, cephede cam kullanımı ile birlikte şeffaflaşarak tekrar doğayla bütünleşmektedir.

Bu çalışma, çelik ve camın mimari mekan üretimindeki rolünü tarihsel gelişim süreci ve çağdaş teknolojik yenilikler bağlamında bütüncül bir yaklaşımla ele alarak literatüre katkı sağlamaktadır. Literatürde genellikle çelik ve camın birlikte kullanımı ya tarihsel örnekler üzerinden ya da günümüz teknolojileri bağlamında ele alınırken, bu çalışma her iki perspektifi bir araya getirerek, malzemelerin mekansal kurgular üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Çelik ve camın birlikte kullanıldığı kendi döneminin teknolojik gelişimini yansıtan binalar örnek olarak incelenmiştir. Çelik ve camın teknolojik özelliklerini ve üstünlüklerini ortaya çıkaran kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Endüstri Devrimi sonrası binalardan günümüze kadar süregelen dönüşüm tablolarla sistematik bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda elde edilen verilerle çelik ve camın bir arada kullanımının mimariye gelecekte nasıl yansıyacağı ile ilgili öngörüler ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, Teknosfer Binası gibi günümüz ve geleceğin mimarlık yaklaşımlarına ışık tutan projelerin değerlendirilmesiyle, çelik ve camın otonom şehirler ve sürdürülebilir mimari bağlamında taşıdığı potansiyel de vurgulanmaktadır. Bu yönleriyle çalışma, çelik ve camın entegrasyonuna dair mevcut literatüre hem tarihsel bir perspektif kazandırmakta hem de çağdaş mimari uygulamalarla ilişkilendirerek kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır.

Bu tez kapsamında, çelik ve cam malzemelerinin teknolojik gelişimi ayrı ayrı ele alınmış ve mimari mekanda kullanım süreçleri tarihsel bağlamda incelenmiştir. Öncelikle, bu malzemelerin yapıda kullanım yerleri ve amaçları araştırılmış, ardından çelik ve camın birlikte kullanıldığı bina örnekleri, Endüstri Devrimi sonrasında inşa edilen yapılar üzerinden değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, çelik ve cam malzemelerin yapım teknolojisindeki gelişime paralel olarak kullanım alanlarının nasıl değiştiği tarihsel süreç içinde ele alınmıştır

1. 1. Problemin Tanımı

Çelik malzeme ile geçilen büyük açıklıklar ve betonarme, yığma vb. yapılardaki taşıyıcılara oranla daha küçük taşıyıcı kesitli yüksek yapılar yapılabilmiş, aynı zamanda cephede cam malzemenin kullanılmasıyla birlikte yapılara saydamlık ve estetik kazandırmıştır. İki yapı malzemesinin birlikteliği Vitruvius'un "De Architectura" adlı kitabında önerdiği, bir mimari eserdeki "firmitas" (sağlamlık), "utilitas" (kullanışlılık) ve "venustas"tır (güzellik) olan 3 unsuru da sağlamaktadır.

Yapı malzemesi olarak çeliğin ve camın tarihsel gelişimi Endüstri Devriminin getirdiği teknolojik devinim ile birlikte gelişen malzemeler içerisinde birlikte kullanıldığında pek çok ihtiyacı karşılayan, "Çelik ve Cam Mimarisi" olarak adlandırabileceğimiz çelik ve cam malzemenin bir arada kullanımının tarihsel gelişiminin incelenerek, gelecekte mimari mekan üretiminde çelik ve camın bir arada kullanımının sağlayabileceği diğer olanaklarla ilgili öneriler geliştirmektir.

1. 2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması, yapı malzemeleri kapsamında çelik ve cam malzemenin mimaride kullanım alanlarını, çelik ve cam malzemenin teknolojik gelişiminin mimariye yansımasını kapsamaktadır. Özellikle Endüstri Devrimi sonrası gelişen teknoloji sayesinde mimarideki yerini arttıran cam ve yapı malzemesi olarak daha geniş kullanım olanağı bulan çelik malzeme mimari anlayışı etkilemiştir. Ortaya çıkan yapılar yeni bir "Çelik ve Cam Mimari" anlayışı oluşturmuştur. Bu çalışma, çelik ve cam malzemenin mimari mekan üretimindeki tarihsel süreci, teknolojik gelişimi ve önemini tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Çelik ve cam malzemenin teknolojik gelişim özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Tez çalışmasında bu malzemelerin mimari mekan oluşumuna katkısı değerlendirilmiş olup, malzemenin diğer özellikleri çalışma kapsamında sınırlı olarak incelenmiştir. Örnek olarak incelenmesi belirlenen yapılar, kendi döneminin teknolojik özelliklerini ve yeniliklerini en iyi yansıtan yapılar seçilmiş, buna karşın malzemelerin özelliklerini anlatan birbirine benzer yapılar kapsam dışında bırakılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tezde yer alan kavramlar ile ilişkili literatür taraması yapılmıştır. Bu bağlamda, mimari mekan üretimi kavramı ve mimari mekan üretiminde yapı malzemelerinin etkisi hakkında veriler toplanmıştır. Mimari mekan üretiminde çelik ve cam malzemenin kullanımı incelenmiş ve tarihsel gelişimi örnekler üzerinden anlatılmıştır.

2.1 Mimari Mekan Tanımı

Mekan hissi korunmuşluk ve çevrelenmişlik duygularıyla ortaya çıkmaktadır ve mimari, mekanla doğrudan ilişkilidir. Mimari, içinde yaşanan ve insanı doğal çevreden ayıran özel boşluğun çıkması ile başlar, 'mekan' diye adlandırılan bu özel boşluk ise mimariyi diğer eylemlerden ayırır (Kuban,1990). Mimari, belirli bir fonksiyon için, belirli bir maksat için hazırlanmış ve örtülmüş bir mekandır. (Bozkurt,1962)

Mekan, belirleyici faktörlerinin farklılığına göre mimari mekan ve doğal mekan olarak ikiye ayrılır. Mimari mekanın belirleyicileri duvarlar, tavanlar, döşemeler, sütunlar, kolonlar, kirişler vb.dir. Doğal mekanlar ise yeryüzü, gökyüzü, ağaçlar, bulutlar vb. oluşur. Doğal ve yapay elemanların birleşiminden ise Karma Mekanlar elde edilir.

Her yapı iki çeşit mekan yaratmaktadır. Birisi yapının kendi etrafından sınırlanan iç mekan veya mekanlar, diğeri ise söz konusu yapının dış yüzeylerinin etrafındaki başka yapılarla beraber oluşturdukları dış mekanlardır.

Mekan, fiziksel varlığı ve onu oluşturan unsurlarla birlikte belirlenir ve sınırlanır. Mekanın sınırlarını çizen faktörler, fiziksel bileşenlerden (şekil, büyüklük, renk) başlayarak, işlevsel ve deneyimsel unsurlara kadar uzanır. Bir mekanın algılanması ve tanımlanması, mekanı oluşturan bu bileşenlerin niteliği ve düzeni ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla mekan, yalnızca fiziksel bir boşluk değil, aynı zamanda bu boşluğu şekillendiren ve anlamlandıran elemanların bir bütünüdür.

Bir mekanın sınırları, duvarlar, zemin ve tavan gibi fiziksel elemanlarla belirlenir; bu sınırlar, mekanın boyutunu ve kullanım şeklini de etkiler. Mekanın şekli ve boyutu, nasıl algılandığını doğrudan belirlerken; renkler ve dokular gibi görsel detaylar, mekanın

atmosferini ve estetik yapısını tanımlar. Renk ve doku seçimleri, mekana derinlik kazandırırken aynı zamanda insanlarda farklı duygular uyandırır. Örneğin, geniş ve açık renklerde bir oda ferahlık hissi verirken; koyu renkli ve dar bir alan, daha samimi ya da kapalı bir ortam hissi yaratabilir.

Mekan üretimi, temel olarak bu bileşenlerin bir araya getirilmesiyle sağlanır ve her bir bileşen mekanın karakterini ve işlevini belirler. Bu üretim sürecinde kullanılan elemanlar, malzeme seçiminden strüktürel düzenlemelere, hatta ışık ve havalandırma gibi unsurlara kadar geniş bir yelpazeye yayılır. Yapısal elemanlar mekanın fiziksel sınırlarını oluştururken, malzeme ve ışık gibi bileşenler mekanın atmosferini ve kullanıcılarla olan ilişkisini belirler. Örneğin, şeffaf veya geçirgen malzemeler, bir mekanın sınırlı olmasına rağmen görsel olarak genişlemiş bir hissiyat yaratabilir. Buna karşılık, opak ve yoğun malzemeler, mekanı daha belirgin bir şekilde tanımlar ve daha kesin sınırlar çizer.

Mekan üretimi sürecinde kullanılan elemanlar, mekanın fiziksel yapısını oluşturmanın ötesinde, onun nasıl algılanacağını, nasıl deneyimleneceğini ve hangi işlevleri yerine getireceğini belirleyen temel unsurlardır. Mekan, bu bileşenlerin etkileşimi ve düzeni ile şekillenir, dolayısıyla her bir bileşenin mekan üzerindeki rolü, mekanın genel algısını ve kullanımını doğrudan etkiler.

2.1.1. Mimari Mekan Üretimi Tarihsel Gelişimi

İnsanlar, mimari mekanlar oluşturma ve inşa etme sürecinde çok uzun bir tarihi sürece sahiptir. İlk insanların barınma ihtiyaçlarını karşılamak için doğal malzemelerden yaptıkları basit barınaklarla başlayan bu süreç, zamanla gelişerek bugünkü karmaşık yapıların oluşmasını sağlamıştır.

Mimari mekanların oluşumu tarih öncesi dönemlere kadar uzanmaktadır. Örneğin, neolitik dönemde yapılan çeşitli yapılar, taş ve kerpiç gibi malzemelerin kullanıldığını göstermektedir (Şekil 2.1.1.). Bu dönemlerde tarıma dayalı yerleşik hayata geçilmesiyle birlikte insan yapımı kalıcı barınaklar inşa edilmeye başlanmıştır.



Şekil 2.1.1. Neolitik boyunca konut yapılarının dönüşümü restitüsyonları (Mann, 2011)

Mimari mekan üretiminde toplumların inançları doğrultusunda yeni mimari yapılar ortaya çıkmış ve bu yenilikler mevcutta kullanılan doğal yapı malzemelerinin çeşitli yöntemlerle işlenip yeni formlar oluşturmasıyla mimari mekan üretiminde gelişimin habercisi olmuştur. Özellikle Mısır ve Roma mimarisinde dini ögelerin etkisi büyüktür.

Antik Mısır, Mezopotamya, Antik Yunan, Roma İmparatorluğu gibi uygarlıklar, mimari mekanların gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Doğada saf olarak bulunan yapı malzemelerinin işlenerek yeni yapı malzemeleri üretimi bu dönemlerde başlamıştır. Yapılan bu üretimler, yapı teknoloji gelişiminin ilk basamaklarıdır. Bulunan yeni malzemeler ile birlikte daha kalıcı yapılar yapılmıştır. Bu dönemde tapınaklar, saraylar, tiyatrolar, anıtsal yapılar ve su kemerleri gibi etkileyici yapılar inşa edilmiştir.

Mimarlık tarihi, toplumların sosyal, kültürel ve ekonomik yapılarının yansıması olarak farklı dönemlerde çeşitli yapı tipleri ve üsluplarla evrilmiştir. Antik dönemde, insanlığın doğa ile ilişkisini düzenleme çabaları ve dinsel inançlar, mimari üretimi şekillendirmiştir. Bu bağlamda, Mısır'daki Giza Piramitleri, dönemin matematiksel bilgisi ve taş işçiliği ustalığının bir ifadesi olarak öne çıkar. Anıtsal boyutlarıyla dikkat çeken bu yapılar, firavunların ölümsüzlüğe olan inançlarını somutlaştıran mezar kompleksleri olarak inşa edilmiştir. Aynı şekilde, Yunan mimarisinde Partenon Tapınağı, Antik Yunan kültürünün estetik anlayışı ve rasyonel düşünce sisteminin bir ürünü olarak önemli bir yere sahiptir. Dorik düzenin en başarılı örneklerinden biri olarak kabul edilen Partenon, sadece bir tapınak değil, aynı zamanda toplumsal kimliğin ve kolektif belleğin bir simgesi olmuştur. Bu yapılar, antik dönemde mimarinin sadece teknik bir faaliyet değil, aynı zamanda ideolojik bir araç olduğunu da gösterir.

Roma uygarlığında mekan, önem kazanan konfor anlayışıyla birlikte değişime uğramıştır. Özellikle M.Ö. 509'dan sonra uygarlık kendine özgü mimarlık disiplinini oluşturmaya başlamıştır. Roma döneminde oluşturulan bu disiplin çağdaş mimarinin de temellerini meydana getirmiştir (Mutlu, 2001). Roma mimarisi özellikle tiyatro, hamam gibi genel yapılarıyla tanınmaktadır. Yunan mimarisinden farkı ise bu yeni yapı çeşitleri ve strüktürel zenginliğe olanak veren yeni yapım tekniklerinin kullanılmasıdır (Hasol, 1998)

Rönesans dönemi, mimaride antik Yunan ve Roma formlarının yeniden canlandırılması ve insan merkezli mekan anlayışının gelişmesi ile karakterize edilir. Aziz Petrus Bazilikası (Şekil 2.1.2), bu dönemin en büyük başyapıtlarından biri olarak, mekanın hem mimari hem de sembolik boyutunu yeniden tanımlar. Michelangelo'nun kubbe tasarımı, yalnızca teknik bir başarı değil, aynı zamanda Rönesans'ın rasyonel düşüncesini ve estetik anlayışını temsil eder. Dönemin diğer sanatçıları ve mimarları, insanın merkezde olduğu bir mekan anlayışı geliştirerek, yapıların ölçü ve oranlarını insan bedeniyle ilişkilendirmiştir. Rönesans, bireyin ve aklın öne çıktığı bir çağ olarak mimaride özgün formlar yaratılmasını mümkün kılmıştır.

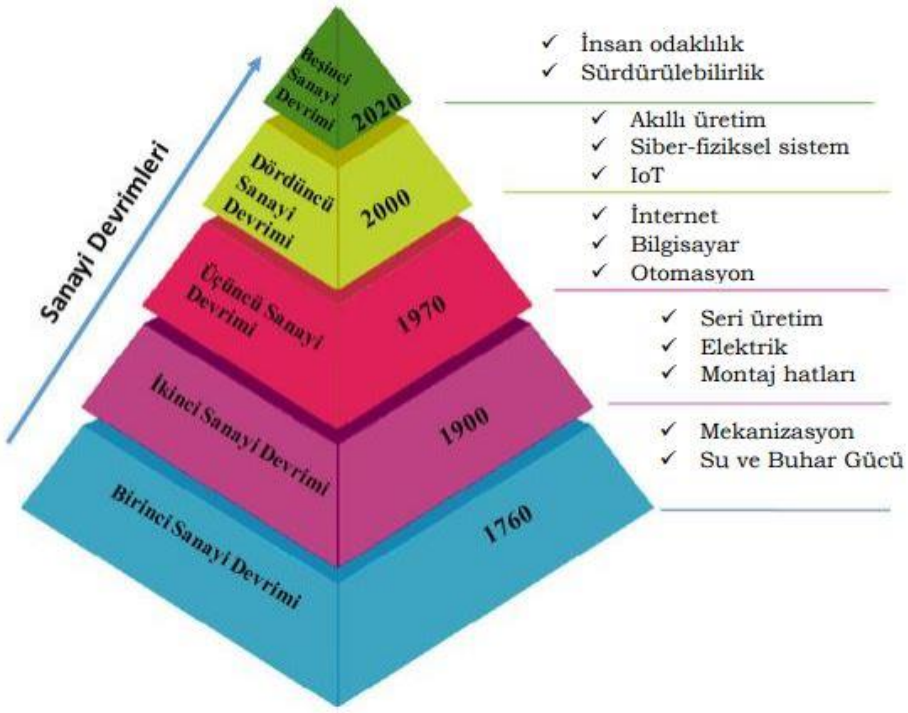


Şekil 2.1.2. Aziz Petrus Bazilikası (Wikipedia, Tarih yok)

Sanayi devrimleri, insanlık tarihindeki belirgin kilometre taşlarıdır. Bu devrimler bilimsel ve çoğunlukla teknolojik paradigmalardaki değişikliklere dayanır ve insanların katılımını gerektirir (Pinheiro, 2019). Sanayi devrimleri, insanlığın teknolojik yolculuğunu beş temel çağa bölmüştür: birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci sanayi devrimi (Şekil 2.1.3.). Endüstri1.0 dönemi, buhar gücüyle çalışan makinelerin yükselişi ve makineleşme süreciyle özdeşleşmiştir. Endüstri 2.0 dönemi, elektriğin yaygınlaşmasıyla öne çıkmış, ardından bilgisayar ve bilgi teknolojisinin varlığı, toplumu Endüstri 3.0 çağına taşımıştır.

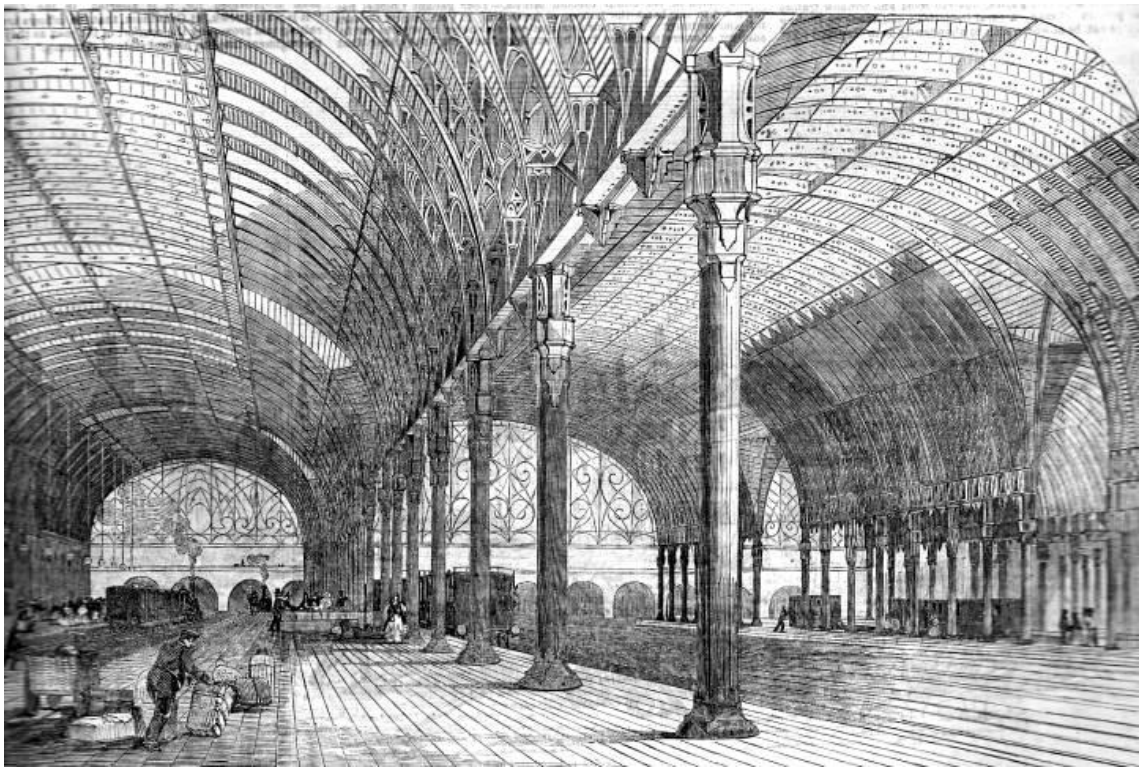
Endüstri 4.0 dönemi ise, siber-fiziksel sistemlerin ortaya çıkışı ve gerçek zamanlı teknolojilerin uygulanmasıyla anılmıştır. Bugün, Endüstri 5.0 döneminin eşiğindeyiz. Bu yeni dönem, yapay zekâ, loT (akıllı cihaz), biyoteknoloji ve uzay endüstrisi gibi hızlı ilerlemelerle şekillenmektedir.

Endüstri 5.0 dönemi, teknolojik, ekonomik ve toplumsal düzeyde derin etkiler yaratarak insanlığın geleceğini şekillendirecek büyük bir potansiyele sahiptir. Bu devrim, sadece teknolojik bir evrim değil, aynı zamanda insanlığın yaşam biçimini, iş yapma tarzını ve iletişim şeklini temelden değiştirecek bir güç taşımaktadır.



Şekil 2.1.3. Sanayi Devrimlerinin Gelişim Süreci (Kılıç, 2023)

Sanayi Devrimi sonrası dönem, mimari mekan üretiminde köklü değişimlerin yaşandığı bir süreç olmuştur. Endüstri 1.0 dönemi ile başlayan makineleşme, inşaat teknolojilerinde yeniliklere yol açmış ve mimaride işlevselliğin ön plana çıktığı bir dönem başlamıştır. Buhar gücünün kullanımıyla üretim hızlanmış, prefabrikasyon yöntemleri ve demir gibi yeni yapı malzemelerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu süreçte demiryolları, köprüler ve fabrikalar gibi büyük ölçekli yapılar, dönemin simgesi haline gelmiştir. Mimari, artık yalnızca estetik kaygılardan ziyade mühendislik ve teknolojinin de etkisi altında şekillenmeye başlamıştır. Bu dönemin çarpıcı örneklerinden biri olan ve 1854 yılında Londra'da inşa edilen **Paddington İstasyonu** (Şekil 2.1.4.), demir ve cam malzemelerin yenilikçi bir şekilde bir araya getirildiği, işlevselliği ve teknolojik gelişmeleri vurgulayan bir yapı olarak öne çıkmıştır.



Şekil 2.1.4. Paddington İstasyonu – 1854 (Heath, 2020)

Endüstri 2.0 dönemi ile elektriğin yaygınlaşması, mimarlıkta aydınlatma ve enerji kullanımı açısından bir devrim yaratmıştır. Çelik ve betonarme gibi modern yapı malzemelerinin geliştirilmesi, gökdelenlerin inşasını mümkün kılmış ve kentlerin dikey büyümesini sağlamıştır.

Çelik iskelet sistemleri sayesinde yapıların taşıyıcı elemanları inceltilmiş, geniş cam yüzeyler mimari tasarımlarda bir norm haline gelmiştir. Çelik ve cam, modernizmin "şeffaflık" ve "hafiflik" ideallerini somutlaştırarak, mimarlıkta işlevselliği ve estetiği bir araya getirmiştir.

Endüstri 2.0 döneminin en dikkat çekici örneklerinden biri, çelik konstrüksiyonun sınırlarını zorlayan ve mimarlık tarihinde bir dönüm noktası olan, 1889 yılında Paris'te inşa edilen **Eiffel Kulesi** (Şekil 2.1.5.) olmuştur. Bu yapı hem mühendislikte hem de mimarlıkta çelik kullanımının estetik ve işlevsel potansiyelini gözler önüne sermiştir.



Şekil 2.1.5. Eiffel Tower – 1889 (Fiederer, 2016)

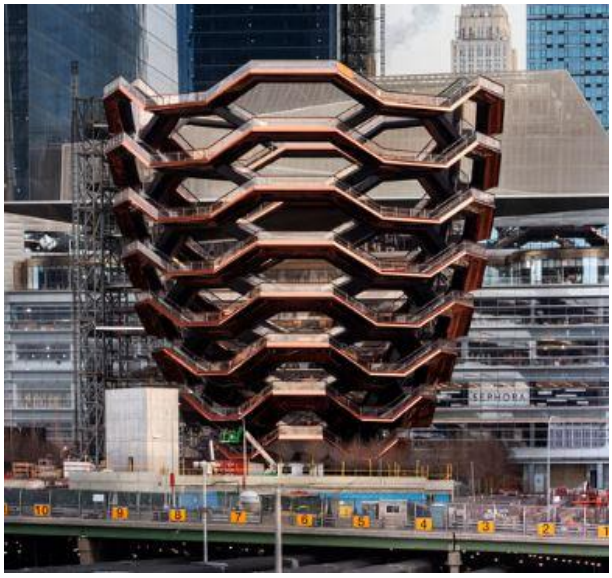
Endüstri 3.0 dönemi, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üretim (CAM) teknolojilerinin mimari mekan üretimine dahil olduğu bir evre olarak dikkat çeker. Bu dönemde çelik ve cam malzemelerin bir arada kullanımı, esnek ve karmaşık formların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Cam yüzeylerin enerji performansını artırmak için çift cam ve kaplamalı cam gibi yenilikler devreye girmiştir. Parametrik tasarım araçları sayesinde çelik strüktürler optimize edilerek karmaşık geometrilere sahip yapılar oluşturulmuş, böylece estetik ile işlevsellik bir araya getirilmiştir. Bu anlayışın ikonik örneklerinden biri, 1973 yılında tamamlanan **Sydney Opera Binası**dır (Şekil 2.1.6).



Şekil 2.1.6. Sydney Opera Binası (Perez,2010B)

Danimarkalı mimar Jorn Utzon tarafından tasarlanan bu yapı, dönemin mühendislik ve mimarlık alanındaki teknolojik gelişmelerini somut bir şekilde ortaya koyar. Yapının ikonik kabuk formu dünya çapında bir sembol haline gelmiştir. Yapının tasarımı, bilgisayar destekli hesaplamalarla şekillendirilmiş ve üretim sürecinde önceden hazırlanan prefabrik elemanlar kullanılmıştır. Sydney Opera Binası, yalnızca estetik bir başyapıt değil, aynı zamanda teknolojik yeniliklerin mimariye etkisini vurgulayan bir dönüm noktasıdır. Bu yapı Endüstri 3.0'ın mimarideki etkisini kusursuz bir şekilde temsil etmiştir.

Endüstri 4.0 ile çelik ve cam bağlamında mimari mekanlar, akıllı binalar ve yenilikçi üretim teknikleriyle yeniden tanımlanmıştır. Robotik üretim, cam panellerin ve çelik yapı elemanlarının hassas bir şekilde birleştirilmesini sağlarken, bu yapıların performansını gerçek zamanlı olarak izlemeye ve optimize etmeye olanak tanımıştır. Çelik iskeletlerle desteklenen geniş cam yüzeyler, hem iç mekanın doğal ışıkla dolmasını hem de mekanın çevreyle etkileşim içinde olmasını sağlamıştır. Bu dönüşümün dikkat çekici bir örneği, New York'ta yer alan ve Thomas Heatherwick tarafından tasarlanan **Vessel Binası**dır (Şekil 2.1.7.).



Şekil 2.1.7. Vessel Binası (Mimarlık Akademisi, Tarih yok)

Endüstri 5.0, Avrupa Komisyonu (EC) tarafından ortaya atılan bir terimdir. EC'ye göre, 'Endüstri 5.0, sürdürülebilir, insan odaklı ve dayanıklı bir Avrupa endüstrisine geçişin itici güçleri olarak araştırma ve yeniliği öne çıkararak mevcut Endüstri 4.0 paradigmasını tamamlamaktadır (Ivanov, 2023). Endüstri 5.0 döneminin eşiğinde, çelik ve cam kullanımı insan merkezli, yenilikçi ve çevresel sürdürülebilirlik odaklı bir anlayışla şekillenmektedir. Çelik strüktürlerin biyomimetik tasarımlar ve 3D baskı gibi yöntemlerle özelleştirilebilmesi, camın ise akıllı yüzey teknolojileriyle enerji üretimi, kontrol ve estetikte yeni boyutlar kazanması, bu iki malzemenin mimari mekanda ayrılmaz bir ikili haline gelmesini sağlamaktadır. Çelik ve cam, hem geçmişin ikonik yapılarından aldığı mirası hem de geleceğin teknolojik ve sürdürülebilir tasarım gerekliliklerini harmanlayarak, mimarlığın sınırlarını yeniden tanımlamaktadır.

2.2 Çelik Malzemenin Mimaride Kullanımı

Çelik, tarih boyunca yapılarda kullanılmış olmasına rağmen, yapısal özelliklerinin tam anlamıyla keşfedilmesi ve modern anlamda kullanımının yaygınlaşması Endüstri Devrimi sonrasında gerçekleşmiştir. Sanayileşme süreciyle birlikte, çelik üretimindeki artış, bu malzemenin mimarlıkta vazgeçilmez bir yapı elemanı haline gelmesine olanak tanımıştır. Özellikle 18. ve 19. yüzyıllarda çeliğin yapılarda kullanımı yaygınlaşmaya başlamış, ancak 20. yüzyıla gelindiğinde modern mimaride daha belirgin bir yer edinmiştir.

Bu süreçte, çeliğin sağladığı dayanıklılık ve esneklik, mimarlıkta daha yüksek ve geniş açıklıklı yapılar inşa edilebilmesine olanak tanımıştır. Böylelikle çelik, yapı sektörü için vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir.

Özellikle 20. yüzyılın başlarında, çelik iskelet sistemlerinin kullanımıyla yapılan gökdelenler ve yüksek yapılar, mimaride büyük bir devrim niteliği taşımıştır. Bu yapılar, zamanla gelişerek 20. yüzyılın sonlarına doğru daha estetik ve işlevsel bir şekilde inşa edilmeye başlanmış, çelik malzeme sadece yapısal bir eleman olarak değil, aynı zamanda mimari bir ifade aracı olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Çelik hem estetik hem de teknik gereksinimleri karşılayarak mimari yapılarda önemli bir malzeme haline gelmiştir. İlk olarak taşıyıcı eleman olarak kullanılsa da zamanla çelik malzeme yapıların dış cephelerinde, çatılarında ve geçici yapılar gibi farklı alanlarda da yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaygınlık, çeliğin sunduğu esneklik, hafiflik, dayanıklılık ve uzun ömürlülük gibi avantajlarla doğrudan ilişkilidir. Çelik malzeme, mimari tasarımda estetik açıdan özgünlüğü mümkün kılarken, aynı zamanda geniş açıklıklar geçebilme, ince kesitli taşıyıcı elemanlarla daha büyük ve yüksek yapılar inşa edebilme fırsatı sunmaktadır.

Bu çok yönlülük sayesinde çelik, sadece yapısal değil, aynı zamanda mimari bir ifade unsuru olarak da kabul görmüştür. Özellikle modern mimaride, çelik malzeme hem teknik performansı hem de görsel etkisi nedeniyle dış cephe kaplamaları ve çatılarda tercih edilen bir unsur haline gelmiştir. Bu malzemenin geçici yapılarda da kullanımı, esnek yapısı ve yeniden kullanılabilirliği sayesinde, maliyet etkinliği ve hız gerektiren projelerde büyük avantaj sağlamaktadır.

Mimari alanda kullanılan çelik, ilk olarak yapısal taşıyıcı eleman olarak kendine yer bulmuş, ancak zamanla malzeme ve yapı teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte farklı mimari unsurlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Çelik, dayanıklılık, esneklik, estetik ve hafiflik gibi birçok mimari gerekliliği karşılayabilen çok yönlü bir malzeme olarak, 19. yüzyıldan bu yana gelişimini sürdürmüş ve yapı sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmiştir. Çeliğin mimari alandaki başarısını simgeleyen önemli yapı örneklerinden biri olan 1889 yapımı Eiffel Kulesi (Şekil 2.2.6.), çeliğin gücünü ve estetik potansiyelini ortaya koyan bir dönüm noktası olmuştur.

Eiffel Kulesi, modern mimaride çeliğin önemini ispatlamış ve 20. yüzyılda çelik malzemenin cam malzeme ile birleşerek "Çelik ve Cam Mimarlığı" olarak bilinen yeni bir akımın ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır.

Çeliğin büyük açıklıklar geçebilme ve ince kesitli kolonlarla çok katlı yapılar inşa edebilme özellikleri, 20. yüzyıl mimarisinin simge yapıları haline gelmiştir. Bu özellikler, modern mimarinin form, işlev ve estetiği bir araya getiren tasarım anlayışını mümkün kılmış ve çeliği mimaride vazgeçilmez bir yapı malzemesi haline getirmiştir.

2.2.1 Yapı Malzemesi Olarak Çeliğin Tarihçesi

Demir madeninin bünyesinde bulundurduğu Karbon elementinin yüzdesinin değiştirilmesi ya da farklı metal elementleri ile birleştirilmesi ile elde edilen alaşımlar çelik olarak adlandırılır (Uluengin, 2006). Endüstri Devrimi ile birlikte gerçekleşen teknolojik gelişmeler sonucu yapı sektöründe geri dönülmez bir biçimde yer almaya başlayan çelik malzemenin ham maddesi olan demir, aslında antik zamanlardan beri yapılarda kullanılmaktadır.

M.Ö. 6.-7.yy. da Antik Yunan döneminde taş duvar ve sütunlarda, taşıyıcıyı yatay yüklere karşı koruyarak taşları birbirine bağlayan demir pim, kenet ve zıvanalar kullanılıyordu. Bu kenet ve pimlerin taşa tespiti ergimiş kurşun ile yapılmıştır. Bunun yanı sıra pencere, kapı gibi yapı bileşenlerinde demirden yapılmış korkulukların strüktürel olmayan kullanımları mevcuttur (Kurtay ve Badem, 2004; Eren, 2014; Küçük, 2015). 4700 yıl kadar önce bakır ergitmede ergitici olarak demir kütüğünü kullanma fikri Mezopotamya'da demir teknolojisini başlatmıştır. Elde edilen demir kütüğü süngerimsi ve gayrı saflık içerdiğinden tekrar ısıtmak ve dövmek yoluna gidilmiştir. Bu ısıtma işini odun kömürü ateşinde yapılmasıyla demir-karbon oluşumu olan çelik icat edilmiştir (Akman, 2003). Çelik malzemenin gelişiminden önce yapı malzemesi olarak kullanılan demir, dökme demir ve dövme demir olarak çeşitlenerek gelişim göstermiştir. Yapılarda kullanımı ise 18.yy. itibariyle İngiltere'de üretilen yüksek ısılı fırınlarda üretilen ham demir ve fon demir üretimi ile birlikte mümkün olmuştur. 1778 yılında yapılan ve 31 m açıklığa sahip olan **Coalbrookdale Köprüsü** (Şekil 2.2.1.) fon demir kullanılarak yapılan ilk yapıdır.



Şekil 2.2.1. Coalbrookdale Köprüsü – 1778 (Güzel, 2017)

1784 yılında Henry Cort tarafından pudlalama metodu geliştirilerek kaliteli dövme çelik üretimine başlanmıştır. Dövme çelik malzemeyle kafes ana kirişli ve dolu gövdeli ana kirişli köprüler inşa edilmiştir (Özhendekçi, 2009) 1846'da İngiltere'deki 140 m açıklığa sahip **Britannia Köprüsü** (Şekil 2.2.2.) pudlalama tekniği ile üretilen dövme çelikle yapılmıştır.



Şekil 2.2.2. Brittania Köprüsü – 1846 (Petruzzello, Tarih yok)

1856 yılında İngiliz mühendis Henry Bessemer, çelik üretiminde devrim niteliği taşıyan bir yöntem geliştirmiştir. **Bessemer yöntemi** olarak bilinen bu teknik, yüksek karbon içeriğine sahip dökme demiri hızlı ve verimli bir şekilde düşük maliyetli çeliğe dönüştürmeyi mümkün kılmıştır. Sürecin temelinde, erimiş demir kütlesine oksijen üflenmesi yoluyla karbonun yanması ve böylece karbon oranının düşürülmesi yer alır. Bu işlem hem demiri çeliğe dönüştürür hem de alaşımın saflığını artırır.

Henry Bessemer'in geliştirdiği bu yöntem, çelik üretiminde bir devrim niteliği taşıyarak bu malzemenin geniş ölçekte kullanılmasının önünü açmıştır. 1850'li yıllarda demir, pek çok alanda temel malzeme olarak kullanılsa da dayanıklılık ve esneklik açısından yetersiz kaldığı için özellikle makinelerde ve raylı sistemlerde ciddi dezavantajlar yaratıyordu. Çelik üretiminin geliştirilmesiyle birlikte, bu sorunlar aşılmış ve çelik, teknolojik ilerlemelerin bir sembolü haline gelerek İkinci Sanayi Devrimi'nin ana unsurlarından biri olmuştur.

Çeliğin tarihsel süreçteki yeri, üretim teknolojilerinin yetersizliği ve yüksek maliyetler nedeniyle uzun yıllar sınırlı kalmıştır. Antik dönemlerden itibaren demir ve türevleri araç-gereç üretiminde kullanılsa da dayanıklılığı artıracak alaşımların bulunması ve geliştirilmesi uzun zaman almıştır. 18. yüzyılda başlayan Endüstri Devrimi ile birlikte bu durum değişmiş, buhar gücünün ve mekanik makinelerin üretime entegre edilmesi, çeliğin daha hızlı ve düşük maliyetle üretilmesini mümkün kılmıştır. Bu gelişme, sadece sanayi alanında değil, yapı sektörü gibi birçok farklı alanda çeliğin temel malzeme olarak benimsenmesine olanak sağlamıştır. Bessemer yöntemi, o döneme kadar kullanılan dövme demir ve demir-çelik alaşımlarına kıyasla çok daha homojen, dayanıklı ve uygun maliyetli çelik üretimi sağlamıştır. Bu gelişme, sanayi ve yapı sektörlerinde çelik kullanımını yaygınlaştırarak mühendislik uygulamalarında yeni ufuklar açmıştır. Demiryolları, köprüler ve gemi yapımında çeliğin kullanımı hızla artmış; bina inşaatlarında da yüksek taşıma kapasitesine sahip çelik elemanlar daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Bessemer çelik üretim yönteminin mimari alanda yaygın kullanımı, öncelikle büyük mühendislik projelerinde başlamıştır. Bessemer çeliği ilk olarak köprü yapımında önemli bir yer edinmiştir. Özellikle **Brooklyn Köprüsü (1883)** (Şekil 2.2.3.), çeliğin mimari yapılarda kullanımının öncüsü sayılmaktadır.

Brooklyn Köprüsü, çeliğin yüksek mukavemeti ve esnekliği sayesinde daha geniş açıklıkları taşıyabilen sağlam bir yapı olarak tasarlanmıştır ve modern çelik yapılar için örnek teşkil etmiştir.



Şekil 2.2.3. Brooklyn Köprüsü – 1883 (A Great Big City, 2016)

Çeliğin mimarlıkta dönüşüm yaratma gücü, yalnızca köprü yapılarıyla sınırlı kalmamış, aynı zamanda gökdelenlerin gelişiminde de kendini göstermiştir. 1885'te inşa edilen **Home Insurance Building**, (Şekil 2.2.4.) Bessemer yöntemiyle üretilen çeliğin mimari kullanımının öncülerinden biri olarak kabul edilir. Bu yapı, çelik iskelet sistemi sayesinde daha yüksek ve dayanıklı binaların inşa edilmesine olanak tanımış ve modern gökdelen tasarımının temelini atmıştır. Yapı tarihinde, cephelerde yığma duvar yerine çelik iskelet taşıyıcı sistemin kullanıldığı ilk bina olarak önemli bir yer edinmiştir.

1885’de Amerikalı mühendis William Le Baron Jenny, modern ofis binalarında değişik malzemeler kullanılması fikrini ortaya atmıştır. Jenny’nin seçtiği malzeme çeliktir. Jenny’nin bu zekice fikri, çelik profillerin ızgaralar şeklinde döşemede kullanılması ve yığma taş duvara bindirmektir. Bu sistem Chicago’daki 10 katlı (1890 yılında 2 kat daha eklenerek 12 kata yükselmiştir.)

Home İnsurance Binası’nda uygulanmıştır. Bu bina, yüksek binalar ile ilgili uluslararası bir araştırma ve yayın kuruluşu olan The Council On the Tall Building and Urban Habitat” tarafından dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul ve ilan edilmiştir (Öke, 1989).



Şekil 2.2.4. Home Insurance Building – 1885 (Marshall, 2015)

Zaman içinde çeşitli yöntemler geliştirilip (Bessemer, Siemens-Martin, Thomas vb. gibi) demir sıvı haldeyken arıtılarak dökme çelik üretimine başlanmıştır. 1875 yılından sonra font kullanımı yerine daha büyük çekme dayanımına sahip olan dövme çelik ve ardından da dökme çelik üretimine başlanmıştır. 20. yüzyıl başından itibaren de elektrikli fırınların kullanımı yaygınlaşmıştır (Özhendekçi, 2009). Üretimdeki bu yeniliklerle birlikte 1876 yılında ilk çelik karkas bina olan **Diserington Flax Mill** (Şekil 2.2.5.) yapılmıştır.

Tamamen demir çerçeve sistem ile inşa edilen ilk bina olan Ditherington İplik Fabrikası, mühendis Charles Bage tarafından tasarlanmıştır. Çevresindeki diğer endüstriyel binalarla birlikte bir yapı grubu oluşturan ana üretim binası, demir ve çelik çerçeve strüktürlü yapıların atası olarak kabul edilir (Dick, Tarih yok).



Şekil 2.2.5. Disherington Flax Mill – 1876 (Wikipedia, Tarih yok)

Gelişen teknoloji ile birlikte seri üretime geçilerek ekonomik bir malzeme haline gelen çeliğin yapılarda kullanımı giderek artmıştır. 1889 yılında Fransız İhtilalinin 100. Yılında Fransa'nın Paris şehrinde Gustavo Eiffel tarafından yapılan **Eiffel Kulesi** (Şekil 2.1.5.) ile adeta demir çağının simgesi olmuş ve geleceğin malzemesi olarak mimaride varlığını ispatlamıştır.

Değişen toplumların yaşam biçimleri ve buna bağlı olarak mekansal ihtiyaçları da değişir. Endüstri Devrimi ile birlikte büyük açıklıklı, kolonsuz geniş iç mekanlara veya kentlerde yoğunlaşan nüfusu barındıracak çok katlı yüksek binalara olan ihtiyaç, yapı strüktürlerinde yüksek mukavemetli bir malzeme kullanılmasını zorunlu kılmıştır (Öğüt, 2006). Endüstri Devriminden sonra fonksiyonel ihtiyaçlar sonucu ortaya çıkan demiryolu istasyonları, fabrika ve atölye binaları, sergi ve fuar yapıları, uçak hangarları, çok katlı konut ve ofis yapıları gibi yapı tiplerinin inşası, çelik malzemenin strüktürel olarak kullanımıyla mümkün olmuştur (Eren, 2014).

Endüstri Devrimi sonrası, yapılarda kullanılan çelik malzemenin en çarpıcı örneklerinden biri **Empire State Binası**'dır (Şekil 2.2.6.). New York'ta 1931 yılında tamamlanan bu gökdelen, 381 metre yüksekliği ile o dönemde dünyanın en yüksek binası unvanını kazanmıştır. Çelik iskelet sistemi sayesinde, yapının yüksekliği ve dayanıklılığı artırılmış, geniş ofis alanları yaratılmıştır. Bina, iç mekanların esnek bir şekilde düzenlenmesine olanak tanırken, çelik kolonlar ve kirişlerin kullanımı sayesinde, depreme dayanıklılığı artırarak güvenliği de ön planda tutar. Empire State Binası, çelik yapılarla ilgili yenilikçi mühendislik çözümlerinin ve ikonik mimari tasarımların bir araya geldiği bir başyapıt olarak, dünya genelinde birçok yapıya ilham vermeye devam etmektedir.



Şekil 2.2.6. Empire State Binası – 1931 (Yousuf, 2024)

Çelik malzemenin gelişimi mimarların tasarımlarında daha özgür olmalarını ve fikirlerini daha cesur bir şekilde ifade etmelerini sağlamıştır. Yapı teknolojilerindeki bu yenilik, mimarların çeliğin sunduğu hafiflik, dayanıklılık ve geniş açıklık geçebilme özelliklerini keşfetmeleriyle, geleneksel yapı malzemelerine kıyasla daha özgün ve yenilikçi projeler üretmelerine olanak tanımıştır. Çelik, sadece bir yapı elemanı olarak değil, aynı zamanda estetik ve fonksiyonel bir bileşen olarak da mimariyi dönüştürmüştür.

Bu dönemde mimarlar, çeliğin sağladığı esneklik sayesinde daha geniş iç mekanlara sahip, hafif ve yüksek yapılar tasarlayabilmişlerdir. Böylelikle, çelik malzemenin kullanımıyla inşa edilen yapılar, sadece büyüklük ve yükseklik açısından değil, aynı zamanda mimari ifade bakımından da önemli bir gelişim göstermiştir. Çelik, mimaride form ve işlevin daha önce ulaşılmayan bir uyum içerisinde birleşmesine olanak tanıyarak, modern yapıların temel malzemelerinden biri haline gelmiştir.

2.2.2. Çeliğin Mimaride Kullanım Alanları

Çelik, demir ve karbonun belirli oranlarda bir araya gelmesiyle oluşan bir alaşım olup, inşaat, otomotiv, enerji sektörü gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Genellikle, karbon içeriğine göre düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılan bu malzeme, çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri sayesinde birçok sektörde önemli bir rol oynamaktadır. Düşük karbonlu çelikler, yüksek şekil verilebilirlik ve kaynaklanabilirlik özellikleri taşırken, yüksek karbonlu çelikler sertlik ve dayanıklılık açısından avantajlar sunar. Çeliğin ana bileşeni olan demir, çekirdek yapıyı oluştururken, karbon ise çeliğin sertliğini ve dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca, çeliğin alaşım elementleri ile zenginleştirilmesi, onun korozyona dayanıklılığını, sıcaklık dayanımını ve diğer mekanik özelliklerini iyileştirir.

Çelik, otomotiv endüstrisinde, çeşitli makinelerin, ekipmanların imalatında yaygın olarak kullanılmakta ve özellikle yüksek dayanıklılık gerektiren uygulamalarda öne çıkmaktadır. Enerji sektöründe ise çelik, enerji santrallerinin yapımında, boru hatlarında ve rüzgar türbinleri gibi uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Son olarak, çelik, mutfak eşyaları, beyaz eşyalar ve diğer tüketim ürünlerinde de sıklıkla kullanılmakta ve paslanmaz çelik, bu ürünlerin hijyenik olmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

Tüm bu özellikleriyle modern sanayinin vazgeçilmez bir malzemesi haline gelen çelik, mimaride ise yapısal bütünlük ve estetik açısından kritik bir malzemedir. Yüksek mukavemeti sayesinde büyük açıklıklar ve yüksek yapılar inşa etmek için idealdir. Aynı zamanda çeliğin hafifliği, yapıların toplam ağırlığını azaltarak temel sistemlerde ekonomik ve yapısal avantajlar sağlar. Çeliğin esnek yapısı, depreme dayanıklı binaların tasarımında önemli bir rol oynarken, korozyona dayanıklı türleri özellikle dış cephe kaplamalarında tercih edilir..

Mimaride kullanılan çelikler, **üretim süreçlerine** göre **Sıcak Haddelenmiş Çelikler** ve **Soğuk Haddelenmiş Çelikler** olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Sıcak haddelenmiş çelik, yüksek sıcaklıklarda (genellikle 900 °C ve üzeri) şekillendirilen ve işlenen bir çelik türüdür. Bu işlem, malzemenin daha kolay işlenmesini ve iç gerilmelerin azaltılmasını sağlar. Sıcak haddeleme çelikleri**, inşaat yapılarında, köprülerde, sütunlarda, kirişlerd**e ve **çerçeve yapılarında** yaygın olarak kullanılır. Bu tür çeliğin mimarideki en etkileyici kullanım örneklerinden biri, 1889 yılında Gustave Eiffel tarafından tasarlanan Eiffel Kulesidir. Kule, sıcak haddeleme çeliğinin sağladığı dayanıklılık ve esneklik sayesinde dönemin mühendislik harikalarından biri olmuştur.

Öte yandan, Soğuk haddelenmiş çelik oda sıcaklığında işlenir ve bu sayede daha ince, hassas ve yüzey kalitesi yüksek ürünler elde edilir. Bu çelik türü, **ince duvarlı yapılar, iç mekan bölmeleri** ve **otomotiv parçaları** gibi alanlarda kullanılır. Mimari kullanımlarına örnek olarak, 1902 yılında tamamlanan New York'taki **Flatiron Binası** (Şekil 2.2.7.) gösterilebilir. İkonik üçgen formuyla dikkat çeken bu yapının iç çerçeve elemanlarında soğuk haddelenmiş çelik kullanılmıştır. Böylece hem yapının estetik görünümü desteklenmiş hem de ince ve hafif çelik elemanlarla taşıyıcı sistem güçlendirilmiştir.



Şekil 2.2.7. The Flatiron Building – 1902 (Davies, 2024)

Çizelge 2.1. Sıcak ve Soğuk Haddeleme Çeliği Arasındaki Farklar

Özellik	**Sıcak Haddeleme**	**Soğuk Haddeleme**
İşlem Sıcaklığı	Yüksek (900-1200°C)	Oda Sıcaklığında
Yüzey Kalitesi	Orta-Düşük	Yüksek
İç Gerilimler	Düşük	Yüksek
Kullanım Alanları	İnşaat-Sanayi	Otomotiv-Beyaz Eşya
Mukavemet	Orta	Yüksek

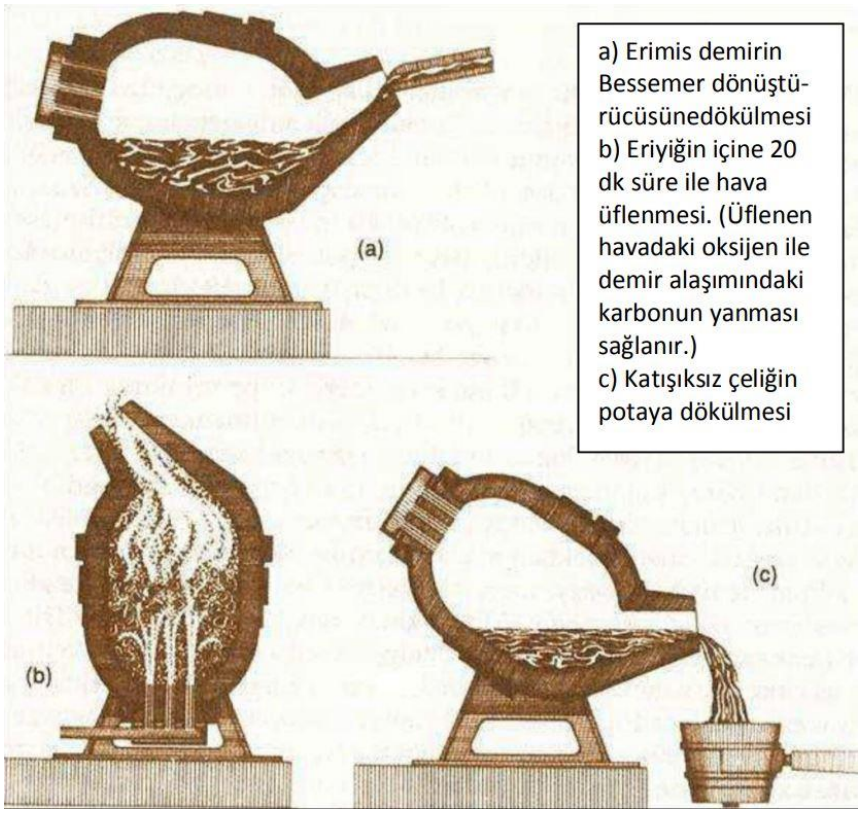
Sıcak ve soğuk haddeleme arasındaki farklılıklar (Çizelge 2.1.), çelik malzemelerin üretiminden nihai kullanıma kadar olan süreçlerde önemli rol oynar. Sıcak haddeleme, çeliğin yüksek sıcaklıklarda işlenmesiyle karakterize edilirken, bu işlem sırasında malzeme, elastik limitini aşmadan daha kolay şekillenir. Bunun sonucunda, iç gerilimlerin azalması ve büyük hacimlerde yüksek dayanıklılık sağlanması gibi avantajlar ortaya çıkar. Ancak, bu süreçte oluşan yüzey kalitesi, soğuk haddelemeye kıyasla genellikle daha düşük seviyelerde kalır. Dolayısıyla, sıcak haddelenmiş çelik ürünler, büyük yapısal elemanlar için uygun olsa da estetik gereksinimlerin yüksek olduğu projelerde yetersiz kalabilir.

Soğuk haddeleme ise, malzemenin oda sıcaklığında şekillendirilmesi ile karakterizedir ve bu, daha pürüzsüz yüzeyler ve artırılmış mukavemet sağlar. Soğuk işleme, malzeme yapısında deformasyon meydana getirdiğinden, çeliğin sertliği ve dayanıklılığı artar. Ancak bu süreç, iç gerilimlerin birikmesine yol açabilir, bu da bazı durumlarda ek ısıl işlem gerektirebilir. Soğuk haddeleme, özellikle otomotiv endüstrisi ve hassas mimari uygulamalarda ön plana çıkarken, estetik ve fonksiyonel gereksinimleri aynı anda karşılaması açısından büyük önem taşır.

Sonuç olarak, sıcak ve soğuk haddeleme, çeliğin yapısal özelliklerini ve kullanım alanlarını belirlemede kritik bir etkiye sahiptir. Mimaride ve mühendislikte, hangi yöntemin tercih edileceği, projenin ihtiyaçlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak dikkatlice değerlendirilmelidir. Her iki yöntemin de avantajları ve dezavantajları bulunmakla birlikte, doğru seçimin yapılması, yapının performansı ve sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşır.

Mimaride kullanılan çelik malzemeleri **Üretim Yöntemlerine Göre** sınıflandırdığımızda ise; Bessemer Yöntemi, Thomas Yöntemi, Siemens-Martin (Açık Ocak Fırın) Yöntemi, Linz-Donawitz (Bazik Oksijen) Yöntemi ve Herreout (Elektrik Arkı Fırını) Yöntemidir.

1- **Bessemer Yöntemi:** İngiliz mühendis Henry Bessemer'in 1855 yılında patentini aldığı yöntem, büyük ölçekli çelik üretiminin başlangıcını simgelemektedir. Bessemer'in tasarladığı fırın, iç yüzeyi ısıya dayanıklı silis katkılı ateş tuğlalarıyla kaplanmış olan armut şeklindeki bir kaptan oluşmaktadır. Bu konvertör, yan eksenlerinde dönebilme yeteneği sayesinde, eriyen demirin ve ayrışan cürufun kaptan çıkarılarak yerine yeni demir eklenmesine olanak tanır.



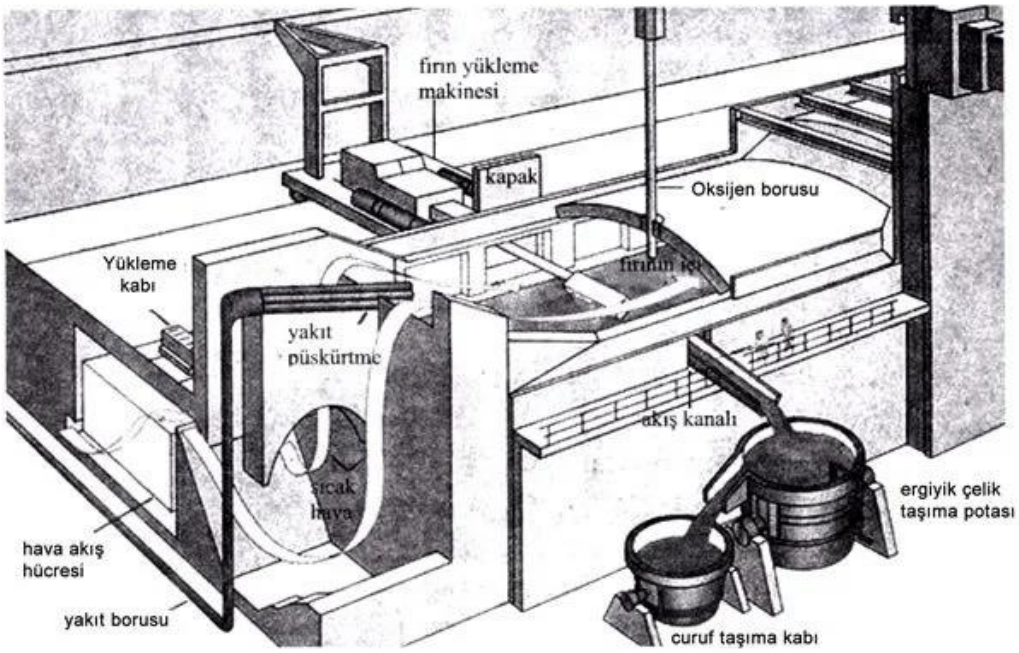
Şekil 2.2.8. Bessemer Dönüştürücüsü (Öztürk, 2008)

Ayrıca sistemin alt bölümünde yer alan hava kanallarından 15 dk. süresince hava üflenerek karışımın içerisindeki Karbon, Oksijen ile yakılarak karışımın Karbon oranı istenilen düzeyde ayarlanabilmektedir (Wente vd., 2024). Bu sistemin en büyük olumsuzluğu cevher içerisindeki Sülfür ve Fosfor miktarının ayrıştırılamaması sebebiyle üretilen pik demirinin yapısındaki elementlerin malzemenin kırılganlığını arttırması ve biçim verme imkanlarını kısıtlaması

olmuştur (Barış, 1998). Bu konvertör ile istenilen kalitede malzeme elde etmek için içerisinde düşük miktarda Fosfor ve Sülfür içeren demir kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden üretilen pik demirin maliyeti, daha kolay bulunabilen yüksek miktarda Fosfor içeren cevherleri kullanarak yapılan üretime oranla daha maliyetli olmaktadır. Daha sonraki yıllarda Sidney Gilchrist Thomas ve Percy Gilchrist'in geliştirdiği yöntem ile bu sorun çözülmüş ve istenilen kalitede, çok miktarda çelik üretilmeye başlanmış, 1900'de dünya çelik üretimi 50 milyon tona ulaşmıştır (Wente vd., 2024).

2- **Thomas Yöntemi:** 1878'de Sidney Gilchrist Thomas ve Percy Gilchrist'in geliştirdiği bu yöntem ile Bessemer çeliğinin yapısında bulunan fazla fosfor ve sülfür elementlerinin ayrıştırılması hedeflenmiştir. Thomas konvertörünün iç yüzeyi Bessemer konvertöründen farklı olarak silis katkılı ateş tuğlaları yerine dolomit katkılı tuğlalar ile kaplıdır (Tüter, 2018). Ayrıca konvertörün içerisine fazla fosfor ve sülfürü tutması için demir cevheri ile birlikte kireç taşı da eklenmektedir. Burada üretilen çelik ise üretim aşamasında konvertör içerisinde temas eden yüksek miktarda Azotlu gaz sebebiyle hala istenilen sertlik ve biçimlendirme özelliğine sahip değildir (Wente vd., 2024). Thomas Yönteminde yüksek miktarda Fosfor ve Sülfür içeren demir cevherinin kullanılması, Bessemer yöntemine uygun olmayan düşük kaliteli cevherlerden de çelik üretimi yapılmasına imkan sağlayarak maliyeti düşürmüştür. Fakat üretilen çeliğin kalitesi Siemens-Martin yönteminde üretilen çeliğe göre düşüktür.

3- **Siemens-Martin (Açık Ocak Fırın) Yöntemi:** Açık ocak yöntemi; 1860'lı yıllarda Fransız Pierre Martin ve Emelie Martin tarafından bulunan yöntemin daha sonraki yıllarda Alman asıllı İngiliz metalürjist Karl Wilhelm Siemens ve kardeşleri tarafından geliştirilmesi ile ortaya çıkan bir çelik üretim yöntemidir. (Wente vd., 2024).



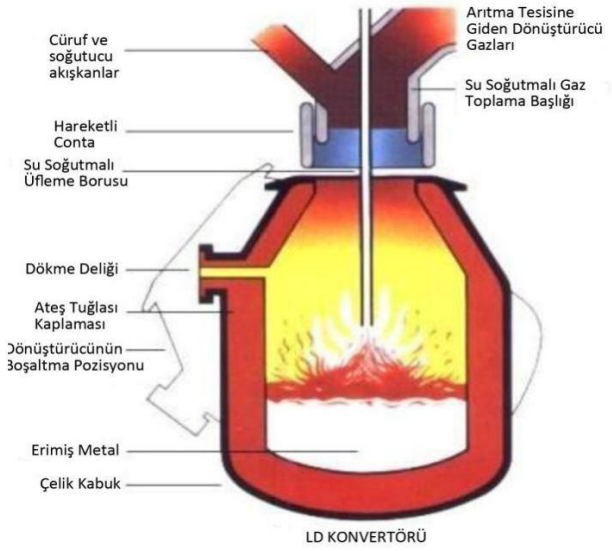
Şekil 2.2.9. Siemens-Martin Açık Ocak Fırın (Makina Eğitimi, Tarih yok)

Bu yöntem, Bessemer yönteminin geliştirilmesi kadar yenilikçi ve ilginç olmamasına karşın üretim maliyetinin azaltılması konusunda getirdiği özellikler bakımından oldukça avantajlıdır. İç yüzeyi ısıya dayanıklı tuğlalarla örülmüş yassı biçimli ve sığ bir tank olan fırın, yansımalı fırın olarak da bilinmektedir. Fırının her iki tarafında yine tuğla ile örülmüş gaz odaları bulunmaktadır ve çalışma prensibine göre bu gaz odalarından ana gövdeye ön ısıtma uygulanmış gaz üflenerek ana gövdenin iç sıcaklığı artırılmaktadır. Bu şekilde fırına yüklenen demir ve kireçtaşı eritilir ve demir içerisindeki Karbon oranı istenilen düzeye getirilerek çelik üretilmiş olur (Elliott, 1992). Siemens-Martin yöntemi ile çelik üretimi 8 ila 16 saatte yapılabilmektedir. Bu sürecin uzun sürmesi enerji ve iş gücü maliyetlerini artırarak ekonomik verimliliği düşürür. Ayrıca, fırının sürekli çalışması daha fazla yakıt tüketimine yol açar. Üretim kapasitesi, modern yöntemlere kıyasla düşük kalırken, zaman yönetimi ve verimlilik açısından da yetersizdir. Sürecin bu kadar uzun olması, sıcaklık ve kimyasal bileşimlerin dengede tutulmasını zorlaştırarak kalite kontrolünü güçleştirir ve hataya açık bir ortam yaratır. Tüm bu sebeplerden dolayı Siemens-Martin yöntemi, modern çelik

üretim teknikleri (örneğin; bazik oksijen, elektrik ark ocakları) karşısında rekabet gücünü yitirerek giderek terk edilmektedir.

4- **Linz-Donawitz (Bazik Oksijen) Yöntemi:** Çelik üretiminde oksijenle çalışan dört temel yöntem bulunmaktadır: LD, LD Pompey, Kaldo ve Rotor. LD yöntemi, 1952-1953 yıllarında ilk kez Avusturya'nın Linz ve Donawitz kentlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, yönteme Linz-Donawitz adı verilmiş ve kısaca LD yöntemi olarak anılmaya başlanmıştır.

   Açık fırın yönteminde karşılaşılan en büyük problem, üretim esnasında metal ve cüruf arasında tepkimelerin tamamlanmasının çok zaman alması ve buna bağlı olarak enerji kaybı yaşanması olmuştur. Bu problemin çözümü ise konventör içerisinde bulunan demir ve cüruf karışımı üzerine basınçlı saf Oksijen gazı püskürtme ile çözülmüştür. 1949 yılında Avusturya'da geliştirilen ve Linz-Donawitz (LD) olarak bilinen yeni yöntemde, Bessemer konvertöründeki gibi armut biçimli konvertör içine yüksek miktarda Oksijen gazı püskürtülmektedir. Açık ocak fırın yönteminde (Siemens-Martin) cüruf üzerine bünyesinde Azot gazı bulunan hava üflenmesine karşın, geliştirilen yeni yöntemde saf Oksijen gazı üflenmekte dolayısı ile konvertöre hurda yüklenmesine gerek kalmamakta ve bu fazladan ısı üretilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Daha kısa sürede daha fazla çelik üretiminin önünü açan bu gelişme 1960 yılından sonra bütün dünyada Siemens-Martin ve Bessemer yöntemlerinin yerini almıştır (Wente vd., 2024). Linz-Donawitz (Bazik Oksijen) yöntemi, çelik üretiminde verimliliği artıran modern bir teknolojidir. En büyük avantajı, üretim süresinin oldukça kısa olmasıdır; yüksek basınçlı oksijenin erimiş ham demire üflenmesiyle 30-50 dakika gibi bir sürede yüksek kaliteli çelik elde edilir. Bu hız, enerji ve iş gücü maliyetlerini düşürerek ekonomik verimlilik sağlar. Bu yöntemle çelik üretimi, entegre bir tesise ihtiyaç duymasına rağmen, yüksek kapasitesi, ek enerji gerektirmemesi ve hızlı üretim sağlaması gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir.

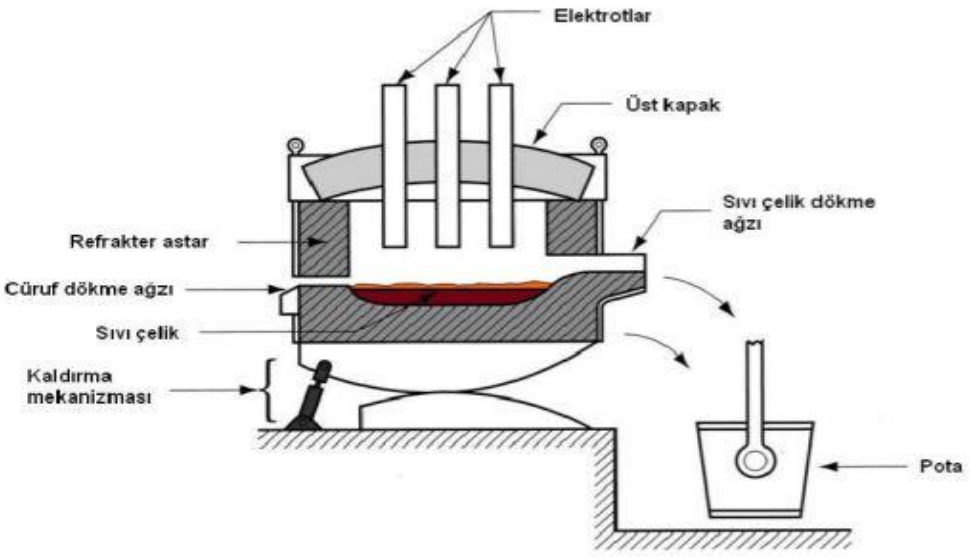


Şekil 2.2.10. LD Konvertörü (Shah, Tarih yok)

5- **Herreout (Elektrik Arkı Fırını) Yöntemi:** Çelik yapımında uygulanan elektrik ark ocağı, 1889 yılında Paul Héroult tarafından icat edilmiştir (Madias, 2014). Fırına yüklenen malzemeyi, ısıtmak yerine yüksek voltajda elektrik vererek 1800°C'ye kadar ısıtmak mümkündür. Ayrıca elektrik arkı fırınları ile pik demir kullanılmadan hurda ya da soğuk demir kullanılarak üretim yapılabilmesi ve üretimin istenildiğinde durdurulabilmesi gibi avantajları ve demir-çeliğin bu yöntemle üretiminin çok daha ekonomik olması yeni tekniğin çok hızlı yayılmasını sağlamıştır. Günümüzde çelik üretiminin %33'ü elektrik arkı fırınlarında üretilmektedir (Wente vd., 2024).

Elektrik arkı fırını diğer yöntemler içerisinde en iyi sonucu veren çelik üretim yöntemidir. Yükleme kapasitesi ortalama 150 ton olan bu fırınların gövdesi yuvarlak, içi ateşe dayanıklı tuğla ile astarlıdır ve derinliği azdır. Fırının kubbe biçimindeki tavanı açılabildiği için soğuk hurda demir buradan yüklenir. Bu yöntem metalin çok yüksek derecede arıtımını sağlar. Fırını ısıtmak için gerekli ısı da tavandan aşağı doğru uzanan üç karbon elektrotun ürettiği elektrik arkı ile sağlanır. Bu fırında da pik demir kullanılabilir ama daha çok hurda demir-çelik kullanılmaktadır (Öğüt, 2006). Üstün nitelikli, özel alaşım çelikleri genellikle elektrik arkı fırınlarında üretilir. Elektrik arkı fırınlarının ısı kaynağı, kazanda gelişen kimyasal tepkimelerden bağımsız olup, kolayca denetlenebilir. Bu

nedenle alaşımda bulunması istenen elementler, potaya sonradan eklenmek yerine doğrudan fırındaki eriyiğe katılabilir. Elektrik arkı fırınları bu üstünlüğü ile paslanmaz çelikler gibi hemen hemen bütün üstün nitelikli özel alaşım çeliklerinin üretiminde diğer yöntemlerin önüne geçmiştir (Öğüt, 2006; Öztürk, 2008).



Şekil 2.2.11. Elektrik Arkı Fırını (Elektrikmen, Tarih yok)

Her çelik üretim yöntemi, kullanıldığı dönemin ihtiyaçlarına yanıt vererek mimaride köklü dönüşümlere zemin hazırlamıştır. Bu yöntemlerin her biri, teknolojik ilerlemelerle birlikte gelişerek mimari tasarımda hem işlevsel hem de estetik açıdan yeni standartlar belirlemiş; dayanıklılığı artırırken malzeme kullanımında esneklik sunmuştur. Böylece çelik, sanayi çağından bugüne kadar mimarinin vazgeçilmez bir yapı taşı haline gelmiştir. Bessemer Yöntemi, düşük maliyetle büyük miktarlarda çelik üretimini mümkün kılarak demiryolu ağları ve yüksek yapılar için temel oluşturmuş. Thomas Yöntemi, fosfor içeren demir cevherlerinin işlenebilmesini sağlamıştır. Siemens-Martin Yöntemi ise yüksek kaliteli çelik üretimiyle geniş açıklıklı köprüler ve anıtsal yapılar inşa edilmesinde etkili olmuştur. Linz-Donawitz Yöntemi, özellikle savaş sonrası dönemde çelik üretimini hızlandırarak uluslararası tarzda yapılar ve endüstriyel projelerin çoğalmasını sağlamıştır. Heroult Yöntemi ise geri dönüşümden elde edilen çeliğin kullanımını teşvik ederek sürdürülebilir yapılaşma süreçlerine öncülük etmiştir. Tüm bu çelik üretim yöntemlerinin karşılaştırılması, **Çizelge 2.2**'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Çelik Üretim Yöntemleri Karşılaştırması

Çelik Üretim Yöntemi	Geliştirici	Önemli Özellikler	Avantajlar	Dezavantajlar
Bessemer Yöntemi	Henry Bessemer	Armut şeklindeki konventör, silis katkılı tuğlalar, yan eksende dönebilme özelliği	Hızlı üretim (15dk.) büyük ölçekli üretimin başlangıcı	Fosfor (P) ve Sülfür (S) ayrıştırılamaz; kırılgan çelik üretimi, düşük kaliteli cevher kullanılamaz
Thomas Yöntemi	Sidney Gilchrist Thomas & Percy Gilchrist	Dolomit katkılı tuğla, kireç taşı ile fosfor ve sülfür giderilmesi	Düşük kaliteli cevherden çelik üretimi, daha düşük maliyetli üretimi	Yüksek azotlu gazlar çeliğin kalitesini düşürür
Siemens-Martin Yöntemi	Pierre & Emelie Martin, Karl Wilhelm Siemens	Açık ocak fırın, ön ısıtmalı gaz odaları	Esnek üretim, fosfor ve sülfürlü cevherlerin işlenebilirliği	Üretim süreci uzun (8-16 saat) yüksek enerji ve iş gücü maliyeti
Linz-Donawitz (LD) Yöntemi	Avusturalyalı metalürjistler	Armut biçimli konventör, basınçlı oksijen püskürtme	Hızlı üretim (30-50 dk), yüksek kapasite, ek enerji gerektirmez	Yüksek yatırım maliyeti, entegre tesise ihtiyaç duyar
Herreout (Elektrik Arkı Fırını) Yöntemi	Paul Heroult	Yüksek voltajlı elektrik ile 1800°C'ye kadar ısıtma	Hurda veya soğuk demir kullanımı, üretim gerektiğinde durdurulabilir, çevre dostu üretim	Yüksek enerji maliyeti, hammaddenin sağlığı kaliteyi etkiler

Çelik, modern mimaride ve inşaat sektöründe hem dayanıklılığı hem de esnekliğiyle öne çıkan bir malzeme olmanın yanı sıra, sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunar. Tamamen geri dönüştürülebilir olması, çeliği çevresel etkileri azaltan bir seçenek haline getirmektedir. Geri dönüşüm sürecinde çelik, fiziksel özelliklerini kaybetmeden defalarca yeniden kullanılabilir, bu da doğal kaynakların korunmasına ve atık miktarının azaltılmasına katkıda bulunur. Ayrıca, çelik üretiminde kullanılan hurdaların yeniden işlenmesi, enerji tüketimini ve karbondioksit emisyonlarını büyük ölçüde düşürür.

Karbon ayak izi, bir ürünün veya faaliyetin çevreye olan etkisini, özellikle atmosfere salınan karbondioksit miktarını ifade eden bir ölçüttür. Çelik malzeme, geri dönüşüm sürecinde primer üretime kıyasla %70-90 oranında daha az karbon emisyonu oluşturabilir. Bu özellik, çeliği, inşaat sektörü gibi yüksek karbon salımı yapan alanlarda önemli bir sürdürülebilirlik aracı haline getirir. Üstelik çelik, binaların enerji verimliliğini artıracak şekilde tasarlanarak ısı yalıtımı ve güneş enerjisi sistemleri gibi uygulamalara entegre edilebilir.

Çelik malzeme hem çevresel etkilerin azaltılmasına hem de döngüsel ekonomi prensiplerinin desteklenmesine olanak tanır. Çeliğin bu özellikleri, sürdürülebilir mimari tasarımlarda sadece estetik ve yapısal bir unsur değil, aynı zamanda çevresel sorumluluğun bir ifadesi olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, çelik malzeme, düşük karbon ayak izine sahip bir geleceğin inşasında önemli bir role sahiptir.

Çeliğin mimaride kullanımı, yalnızca yapısal bir gereklilik değil, aynı zamanda tasarım estetiği ve sürdürülebilirlik açısından da çağdaş mimaride önemli bir role sahiptir. Geri dönüştürülebilir yapısı sayesinde çevresel etkileri minimize ederken, yüksek mukavemeti ve esnekliği, mimarların cesur ve yenilikçi tasarımlar geliştirmesine olanak tanır. Aynı zamanda, çeliğin hafifliği ve dayanıklılığı, büyük açıklıkların ve karmaşık geometrilerin uygulanmasını mümkün kılar. Bu özellikler hem ekonomik hem de çevresel faydaları bir araya getirerek çeliği modern mimarinin vazgeçilmez bir yapı malzemesi haline getirir.

2.3. Cam Malzemenin Mimaride Kullanımı

Bronz çağından bu yana (M.Ö. 3000), birçok farklı alanda ve formda kullanılan cam, ilk olarak silisyum (topraktan), kireç ve birtakım alkalilerin karışımından oluşturulmuş, 17. yüzyılda kurşunlu camın keşfine kadar da temel içeriğinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır (Klein ve Llyod, 2000).

Cam en yaygın anlamıyla toprak bileşenlerinden oluşan, ısıyla şekillendirilen, sert, kırılgan ve saydam bir malzemedir. Üretim aşamasında katı bileşenler tamamen eriyinceye kadar ısıtılır, sonrasında hızlı bir biçimde soğutularak kristalize olmadan katı hale gelmesi sağlanır. (Bell, 2006)

Cam, modern mimaride estetik, işlevsellik ve teknik gereksinimleri bir araya getiren önemli bir yapı malzemesidir. Cam, teknik özellikleri bakımından da mimaride önemli avantajlar sunar. Isı yalıtımlı çift cam sistemleri, enerji verimliliğini artırarak yapıların sürdürülebilirliğini desteklerken, temperli ve lamine cam gibi türler, güvenlik açısından kritik yapılarda tercih edilir. Ayrıca, camın çeşitli kaplamalarla modifiye edilmesi, güneş kontrolü ve yalıtım performansını iyileştirir. Bu özellikleri sayesinde cam hem konut hem de ticari yapılar başta olmak üzere farklı alanlarda yaygın olarak kullanılır.

Özellikle yüksek katlı binalar, müzeler ve kamu yapıları gibi büyük ölçekli projelerde cam malzemesi, modern mimariyi tanımlayan bir unsur haline gelmiştir. Geniş cam cepheler, yapının çevresiyle olan etkileşimini artırırken, kullanıcı deneyimini de iyileştirir. Örneğin, ticari binalarda kullanılan şeffaf cephe sistemleri, iç mekanların dış dünyayla görsel bağlantısını güçlendirir ve binanın kimliğini vurgular. Camın bu çok yönlü kullanımı, yalnızca estetik kaygıları karşılamakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir ve işlevsel tasarım çözümleri sunar.

Cam üretimi, doğal malzemelerin yüksek sıcaklıklarda eritilerek katı bir amorf malzeme haline dönüştürülmesiyle gerçekleşen bir süreçtir. Temel hammaddesi silis kumu olan cam, genellikle kireç taşı ve soda külü gibi katkı maddeleriyle zenginleştirilir. Üretim süreci, hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılması ve yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 1700°C) eritilmesiyle başlar. Eriyen karışım, homojen bir yapıya ulaşana kadar karıştırılır ve ardından şekillendirme aşamasına geçilir. Şekillendirme, düz cam üretiminde döküm

ve çekme yöntemleriyle, şişe veya bardak gibi ürünlerde ise üfleme ya da presleme yöntemleriyle yapılır. Şekillendirilen cam, yavaş soğuma işlemi olan tavlama ile iç gerilimlerden arındırılarak dayanıklılığı artırılır. Son olarak yüzey işlemleri ve kalite kontrol aşamalarıyla nihai ürün elde edilir.

Cam üretim sürecinde teknoloji ve inovasyon hem üretim verimliliğini artırmak hem de çevresel etkileri minimize etmek için kritik bir rol oynamaktadır. Örneğin, eritme fırınlarında enerji tüketimini azaltmak amacıyla daha verimli ısıtma sistemleri geliştirilmiş, bunun yanı sıra karbon salınımını düşürmek için alternatif yakıt kaynakları ve elektrikli fırınlar kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, camın geri dönüştürülebilir bir malzeme olması, üretim süreçlerinde atık miktarını azaltma ve doğal kaynakların korunması açısından avantaj sağlamaktadır.

Modern cam üretiminde dijitalleşme ve otomasyon, süreçlerin hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle, üretim hattında kullanılan sensörler ve veri analitiği, kalite kontrol süreçlerini optimize ederken, insan hatasını minimize ederek üretim verimliliğini artırmaktadır. Cam türlerinin çeşitliliği de artmış, düz camların yanı sıra temperli, lamine ve kaplamalı cam gibi özel üretim yöntemleri, farklı endüstriler için özelleştirilmiş çözümler sunmaya başlamıştır. Cam üretimi, tarihsel olarak geleneksel bir el sanatından modern bir endüstriye evrilmiş ve mimariden otomotive, teknolojiden sağlık sektörüne kadar birçok alanda vazgeçilmez bir malzeme olarak konumlanmıştır. Sürekli gelişen bu sektör hem yenilikçi malzeme tasarımı hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Gelişen üretim teknikleri sayesinde cam yalnızca tasarım öğesi değil, aynı zamanda yapısal bir eleman olarak da kullanılmaktadır. Cepheler, çatı ışıklıkları, bölme duvarlar, korkuluklar ve merdiven basamaklarının yanı sıra cam, artık kolonlar ve duvarlar gibi taşıyıcı elemanlarda da tercih edilmektedir. Yüksek mukavemetli camlardan yapılan cam kolonlar, yapıya şeffaflık ve zarafet kazandırırken geniş açıklıkların desteklenmesine olanak tanır. Cam duvarlar ise mekanları bölmeden ayırmak için ideal bir çözüm sunarak geleneksel duvarlara göre daha hafif ve geçirgen bir yapı sağlar.

Bu elemanlar, iç ve dış mekanlar arasında güçlü bir görsel bağlantı kurarak doğal ışığın iç mekana etkili bir şekilde yayılmasına imkan verir. Şeffaf yüzeylerin kullanımı, yapı kabuğunun sınırlarını belirsizleştirir, iç ve dış mekan geçişlerini akıcı hale getirir ve mekanda genişlik hissi yaratır. Böylece camın mimarideki kullanımı, yapılara hem teknik bir esneklik hem de ferah bir atmosfer kazandırır.

Cam malzemesi, modern mimarinin temel bileşenlerinden biri haline gelerek mimarlara hem estetik hem de işlevsel açıdan büyük bir tasarım özgürlüğü sunmaktadır. Yüksek ışık geçirgenliği sayesinde mekanların doğal ışıkla dolmasını sağlayan cam, aynı zamanda çeşitli kaplama ve lamine teknolojileri ile enerji verimliliği, yalıtım ve güvenlik gibi performans beklentilerini de karşılayacak şekilde geliştirilmektedir. Bu çok yönlü yapısıyla cam, cephe kaplamalarından iç mekan bölme elemanlarına, taşıyıcı kolonlardan çatı ışıklıklarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Böylelikle cam, yapıların teknik gereksinimlerini karşılamanın ötesinde, mimari tasarımda şeffaflık, açıklık ve zarafet duygusunu da güçlendirir. Mimaride camın bu şekilde kullanımı, hem yapıların dış çevreyle uyum içinde olmasına hem de estetik beklentilere yanıt veren modern ve yenilikçi mekanların yaratılmasına imkan tanır.

2.3.1. Yapı Malzemesi Olarak Camın Tarihçesi

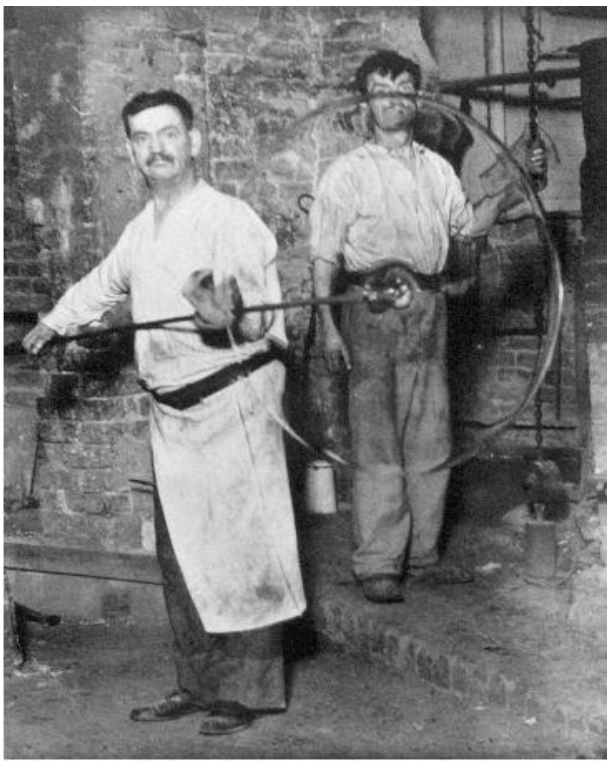
5000 yıllık bir geçmişe sahip olan cam, en eski yapı malzemelerinden biridir. Bu süreçte cam üretimi için en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilen cam üflemede kullanılan piponun keşfi olmuştur. Üfleme yöntemi, camın ince ve saydam bir tabaka şeklinde üretilmesine olanak sağlamıştır. Sonraki dönemde düz cam, Romalılar tarafından döküm yöntemiyle üretilmeye başlanmıştır (Bell, 2006). Yapılan araştırmalar camın mimari de kullanımının ilk kez M.S. 1. yüzyılda olduğunu göstermektedir. Romalılar tarafından üretilen bu camlar Pompeii ve Herculaneum'da bulunan villaların pencere boşluklarında kullanılmıştır (Schittich, 2007).



Şekil 2.3.1. Cam Panel, 3mm. kalınlık, Roma Dönemi, M.S. 1-70, Herculaneum yakınları, İtalya, The British Museum (British Museum, Tarih yok)

Roma döneminde **ilk düz cam üretimi** gerçekleştirilmiş olup, Roma İmparatorluğu'nun çöküşü ile birlikte cam ustaları arasındaki iletişim kopmuş ve bu durum Avrupa'da farklı üretim tekniklerinin ve teknolojilerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Orta çağ boyunca camcılık, Avrupa'da önemli bir zanaat haline gelmiş, özellikle Venedik ve Almanya gibi bölgelerde ustalar tarafından yeni cam üretim yöntemleri geliştirilmiş ve bu teknikler zamanla bölgesel farklılıklar göstermeye başlamıştır. Bu süreçte cam, yalnızca mimari unsurlarda değil, aynı zamanda sanat eserlerinde ve gündelik eşyalarda da yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, böylece cam işçiliği estetik ve fonksiyonelliği birleştiren bir sanat dalına dönüşmüştür.

Roma döneminin üfleme tekniği ile yapılmış ilk örnekleri **göbekli cam** (crown glass) diye adlandırılan pencere camlarıdır. Göbekli cam, yapım tekniği nedeniyle ortası daha kalın olan ve mimaride kullanılan dairesel formda bir camdır. Çeşitli aşamalardan oluşan bu yapım tekniğinde sırasıyla şu adımlar atılmaktadır: ergimiş cam üfleme çubuğuna alınır, pürüzsüz bir yüzeyde döndürülerek oval şekil verilir, şekil verilen kütle üflenerek şişirilir ve bu kütle kısa boyunlu ve düztabanlı büyük bir sürahiyi andıran bir şekle dönüştürülür. Ardından şekillenen bu kütle sıcak buhar önünde sürekli döndürülerek merkezkaç kuvveti ile yuvarlak bir cam diske dönüştürülür (McGrath ve Frost, 1961)



Şekil 2.3.2. Göbekli Cam Yapım Tekniğinde Döndürme Aşaması (McGrath ve Frost, 1961)

Gotik mimaride cam, sadece bir yapı elemanı olmanın dışında hem sanatsal hem de sembolik bir unsur haline gelmiştir. Bu dönemde uçan payanda ve ince taşıyıcı sistemler gibi yapısal yenilikler, cephelerde büyük boşluklar yaratılmasını sağlamış, böylece cam kullanımı mimariyi dönüştürmüştür. Duvarların yük taşıma işlevi azalınca, bu boşluklara yerleştirilen vitray pencereler sayesinde iç mekanlara daha fazla gün ışığı girmesi mümkün olmuştur. Gotik mimaride ışık, Tanrı'nın varlığının bir sembolü olarak görüldüğünden, vitray camlar yalnızca estetik bir unsur değil, aynı zamanda dini mesajlar ve hikayeler anlatan görsel öğelere dönüşmüştür. Renkli camlardan süzülen ışık, iç mekanda manevi bir atmosfer yaratırken, camın mimariyle kurduğu ilişki de güçlenmiştir. Bu dönem, camın işlevselliğinin sanatla buluştuğu ve mimaride hem ışık hem de renk unsurlarının bilinçli bir tasarım aracı olarak kullanılmaya başlandığı bir dönüm noktası olmuştur (Roth, 1993).

Gotik mimaride kullanılan camın en ikonik örneklerinden biri, **Chartres Katedrali**dir (Şekil 2.3.3.). Fransa'da yer alan bu katedral, özellikle 12. ve 13. yüzyıllarda gelişen Gotik mimarinin önemli bir temsilcisi olarak kabul edilir.



Şekil 2.3.3. Chartres Katedrali -1220 (DiCrescenzo, 2021)

Chartres Katedrali, mavi tonlarıyla ünlü **vitray** pencereleri ve ışık kullanımıyla mimariyi sanatsal bir boyuta taşır. Vitrayların her biri, İncil'den sahneleri betimleyerek hem dini mesajlar iletir hem de iç mekanda ruhani bir atmosfer yaratır. Bu yapıdaki camlar, dönemin teknolojik sınırlarını zorlayan rozet pencereler ile de dikkat çeker. Rozet pencereler, dairesel formlarda düzenlenmiş ve taş oymalara yerleştirilmiş cam panellerden oluşur. Chartres Katedrali'nin batı cephesindeki büyük rozet pencere hem tasarımı hem de boyutları açısından Gotik dönemin en görkemli örneklerinden biridir. Işığın camlardan süzülerek mekana yayılması, katedrale adeta mistik bir hava kazandırır ve camın Gotik mimarideki rolünü en iyi şekilde yansıtır.

Mimari cam endüstrisi 13. yüzyıla kadar manastırlar içinde gelişimini sürdürmüştür. Pencereler için cam yapım tekniği olan **silindir tekniği** Burgundia, Lorraine, Ren Bölgesi gibi ana merkezlerde kullanılmaya başlanmıştır (Elkadi, 2006).

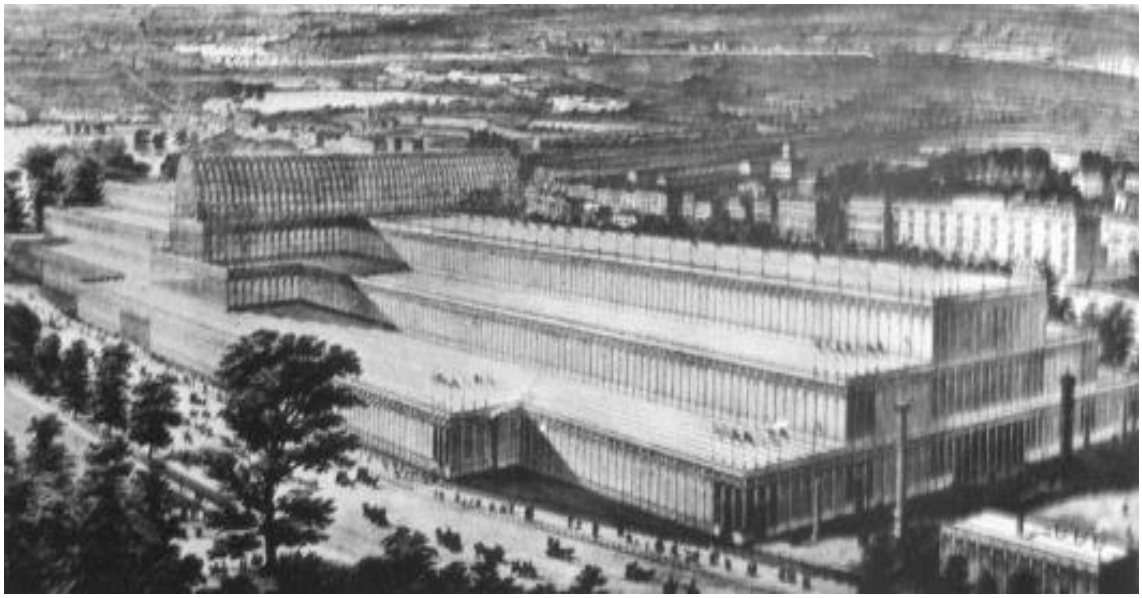
Silindir tekniği ile üretilen düz cam, göbekli cam gibi, üfleme tekniğine dayanmaktadır. Yalnız, şişirme sonrasında kesilip açılarak düz bir yüzey elde edilen bu camların başka bir yüzeyle doğrudan temas etmesinden dolayı, göbekli camın şeffaflığına erişilememiştir. Öte yandan, dikdörtgen formu ve daha büyük boyutlu tabakaların çıkarılmasına uygun olmasından dolayı tercih edilmiştir (McGrath ve Frost, 1961).

1687 yılında Fransız Bernard Perrot tarafından keşfedilen ***Plate Glass*** (Plaka Cam) yöntemi, sıcak camın büyük bir metal masaya dökülüp ağır metal silindirlerle yüzeye yayılmasıyla cam levha üretimine olanak tanımış ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem ile 1.2 x 2m ölçülerinde cam levhalar oluşturulduğu bilinmektedir. Bu dönemde cam sadece kilise ve manastırlarda değil saray ve evlerin duvarlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni üretim teknikleriyle büyük ölçekte cam üretilmek olanaklı hale gelmiş fakat 18.yüzyılın sonlarına kadar cam pahalı bir malzeme olmaya devam etmiştir (Schittich, 2007). Bu yöntem, camın her iki yüzeyinin pürüzsüz ve aynı kalınlıkta olmasını sağlarken, daha büyük boyutlarda üretime de imkan tanımıştır. Böylece, yüksek kalite ve homojenlik sunan bu teknik, modern düz cam üretiminin temel taşlarından biri haline gelmiştir.

1688 yılında Fransız camcı Louis Lucas, silindir tekniği ile üretilen camlardaki yüzey düzgünlüğü ve şeffaflık problemlerini ortadan kaldıran, **"ayna cam tekniğini"** (Mirror Glass Process) geliştirmiştir. Bu teknik, sıvı camın düz metal yüzeye dökülmesi ve metal rulo ile cam levha haline getirilmesi işlemlerini içermektedir. 1700 yıllarında cam levhalar 119 x 124 cm. büyüklüğünde üretilebilirken, tekniğin geliştirilmesi ile 1730'lu yıllarda 152 x 249 cm. levha büyüklüklerine erişilebilmiştir (Kohlmaier ve Sartory, 1991).

On sekizinci yüzyılın ortalarında buhar makinesinin icadıyla başlayan sanayi devrimi, tarım ve feodal toplumdan sanayi ve kapitalist topluma, ardından sanayi ve hizmet toplumuna geçişe olanak tanıyan çeşitli aşamaları içermektedir (Prisecaru, 2016). Sanayi Devrimi ile birlikte cam üretim teknolojisinde önemli gelişmeler yaşanmış, bu dönemde camın daha yaygın ve hızlı bir şekilde üretilmesine olanak tanıyan teknikler benimsenmiştir ve böylelikle cam malzemenin mimari ve günlük yaşamda daha yaygın hale gelmesine katkı sağlamıştır.

1851 yılında Londra'da gerçekleştirilen Büyük Sergi için inşa edilen **Kristal Saray** (Şekil 2.3.4.), mimarlık ve malzeme kullanımında bir devrim niteliği taşır. Joseph Paxton tarafından tasarlanan bu ikonik yapı, endüstri çağının teknolojik yeniliklerini ve estetik anlayışını bir araya getirerek, cam ve demirin potansiyelini gözler önüne sermiştir. Kristal Saray, yaklaşık 300 bin adet cam paneliyle dönemin en büyük ve en yenilikçi cam yapılarından biri olmuştur.



Şekil 2.3.4. Hyde Park'da kurulan Kristal Saray (Kohlmaier ve Sartory, 1986)

Kristal Saray'da kullanılan cam levhalar, silindir tekniğine göre üretilmiş camlardı. Cam levhalar 1,25 metre uzunluğu ile yapıldığı dönemin standartlarındaki en büyük ölçülere sahipti ve Chance Brothers'ın Birmingham'daki tesisinde üretilmişti (Giedion, 1954). Bu dönemde plaka cam teknolojisi de mevcuttu, ancak pahalı olduğu için daha az tercih ediliyordu. Silindir yöntemiyle üretilen camlar daha ekonomik ve yaygındı; bu nedenle Kristal Saray'ın inşasında bu cam türü tercih edilmiştir. Yapının şeffaflığı, hem gün ışığından maksimum fayda sağlamış hem de mimari bir hafiflik hissi yaratmıştır. Kristal Saray, yalnızca bir sergi binası değil, aynı zamanda cam teknolojisinin mimarideki yerini kökten değiştiren bir dönüm noktasıdır.

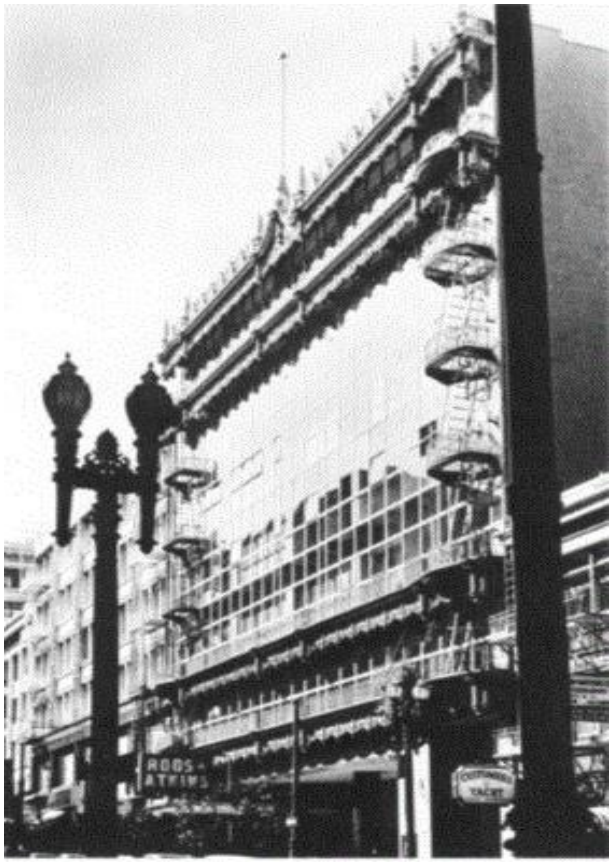
Camlar üzerinde yoğunlaşma problemi, bütün tavanların eğik düzlemler halinde ve suyu bir yoğunlaşma arkıyla her tahta çerçevenin iç traversine akıtmak suretiyle çözülmüştü (Benevolo, 1960).

Yapı elemanlarının çok ince olması nedeniyle, mesafelerinin ve ölçülerinin göz ile ayırt edilemediği, binanın yüksekliğini veya çatının düz mü tonozlu mu olduğunu söylemenin mümkün olmadığı, iç mekanın atmosfer ile bütünleştiği bir mekan yaratılmıştı. Böylece Paxton, daha önce benzeri görülmemiş görsel bir etki yaratmış oldu (Bergdoll, 2000). Ayrıca, kirişlerin beyaz renk ile dönüşümlü olarak üç temel renk ile boyanması, doğal görüntü yerine optik etki yaratmayı hedeflediğini göstermektedir. O dönemin betimlemeleri yapının bir "gerçekdışılık" ve "sınırsız mekan izlenimi" verdiği hususunda birleşmektedirler (Benevolo, 1960)

Henry Bessemer, çelik üretimindeki devrim niteliğindeki Bessemer süreciyle tanınmakla birlikte, cam üretimine de önemli katkılarda bulunmuştur (Cuff, 2009). 19. yüzyılda geliştirdiği mekanik cam presleme yöntemi, eritilmiş camın bir kalıp ve piston yardımıyla şekillendirilmesini mümkün kılarak, cam ürünlerinin daha hızlı ve ekonomik bir şekilde üretilmesini sağlamıştır (Searle, 1995). Bu buluş, 1850'lerin sonlarına doğru gerçekleşen ilk cam üretim tekniklerinden biri olarak kabul edilir. Ancak, Bessemer'in cam presleme tekniği, daha çok çelik üretimindeki geliştirdiği Bessemer süreciyle tanınan bir isim olmasına rağmen, cam üretimi alanındaki katkıları da oldukça önemlidir. 1856'da geliştirdiği çelik üretim teknolojisi, ardından cam üretiminde verimliliği artıran tekniklerin önünü açmıştır.

1870'lere gelindiğinde ise Philipe Arbogast tarafından tasarlanan, gazların sıcak havayla temas ettikten sonra potalı kısma geçtiği fırın yaygın olarak kullanılır olmuştu. 1878'de Friedrich Siemens rejeneratif fırını yarattı ve bu patent 1880 yılından itibaren ABD'ye yayılarak bugünkü doğalgazlı fırınların temelini oluşturdu (Kuban, 1998).

Hallidie Binası (Şekil 2.3.5.), 1910 yılında San Francisco'da inşa edilen ve mimarlık tarihinin önemli kilometre taşlarından biri olarak kabul edilen bir yapıdır. Bu bina, dünyanın ilk cam cephe giydirme binası olma özelliğini taşımaktadır. Mimar James Francis Dunn tarafından tasarlanan yapı hem estetik hem de işlevsel açıdan modern mimaride çığır açan bir örnek teşkil etmiştir. Alüminyum çerçevelerle desteklenen geniş cam panellerden oluşan bu yapı, camın cephe malzemesi olarak kullanıldığı ilk büyük ölçekli projelerden biridir ve cephedeki camlar **float cam** teknolojisi ile üretilmiştir.



Şekil 2.3.5. Hallidie Binası – 1910 (Dills, 1971)

Hallidie Binası'nda kullanılan bu yenilikçi tasarım, hem estetik açıdan binanın değerini artırmış hem de iç mekanlarda doğal ışığın daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Bina yapısal olarak hafif ve dayanıklı olan, enerji verimliliği açısından da avantaj sunarak, gün ışığından en iyi şekilde faydalanmakta ve dış sıcaklık değişimlerini kontrol edebilmektedir. Modern mimari ve cam teknolojisi açısından bir dönüm noktası olan bu bina, birçok sonraki yapıya ilham vermeye devam etmektedir.

Bu teknolojik gelişmeler, mimari tasarımda da devrim yaratmıştır. Camın modern mimaride önemli bir yapı malzemesi olarak benimsenmesi, binaların estetik ve fonksiyonel özelliklerini dönüştürmüştür. Geniş ve şeffaf yüzeyler, yapıları doğayla etkileşimli hale getirirken, doğal ışığın mimaride nasıl kullanıldığına dair yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu süreç, camı sadece dekoratif bir unsur olmaktan çıkarıp, fonksiyonel ve yapısal bir malzeme haline dönüştüren bir dönüm noktası olmuştur. Bu bağlamda, cam üretimindeki bu yenilikler, mimarinin evriminde önemli bir rol oynamıştır.

Tabaka halinde cam üretiminde atılan ilk ciddi adım 1905 yılında Belçika'da Fourcault'un bir tank içinde camı sürekli olarak çektiği sistemi icat etmesidir. Birinci dünya savaşından sonra diğer bir Belçikalı mühendis Emil Bicheroux, erimiş camı iki merdane arasında geçirerek tabaka halinde cam elde etmeyi başarmıştır. 1910 yılında Fransız bilim adamı Edouard Benedictus iki cam tabakası arasına selülozik bir madde koyarak camı güçlendirmeyi başarmış ve bu buluşuna **"triplex"** adı ile patent almıştır (Öbelik, 2011).

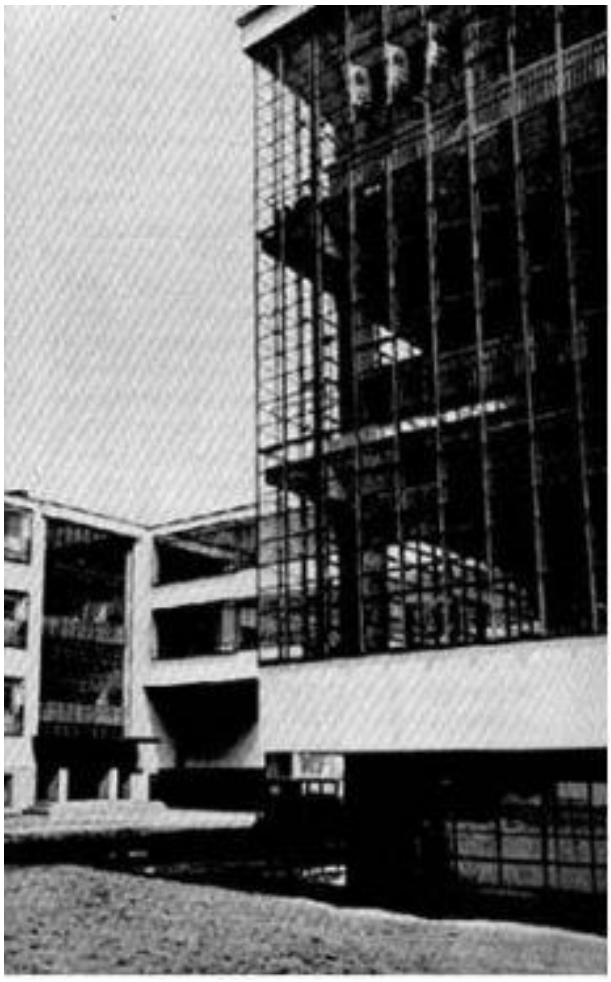
1926 yılında Walter Gropius öncülüğünde tasarlanan **Bauhaus Okulu Binası** (Şekil 2.3.6.) modern mimarinin temellerini atan yapılardan biri olmuştur. Yapı**,** işlev ve estetiği bir araya getiren yenilikçi yaklaşımı ile mimari tarihine damga vurmuştur. Bloklar halinde düzenlenen bina, her bir bölümün (atölyeler, ofisler, yatakhaneler) işlevine uygun şekilde tasarlanmıştır. En dikkat çekici unsur, cam cepheli atölye bloğudur, ki bu bölüm yapının şeffaflık ve ışık ile olan ilişkisini simgeler. Gropius, geniş cam yüzeylerle doğal ışığı içeri alarak gün ışığının estetik ve verimliliğe olan etkisini vurgulamıştır.



Şekil 2.3.6. Bauhaus Okulu Binası – 1926 (Gürlek, 2022)

Cephedeki açık renkli boya tonu koyu renkli siyah pencere çerçeveleri ile kontrast oluşturur. Renkleri kullanarak yapı elemanlarını öne çıkaran veya maskeleyen iki farklı algılama yöntemi kullanmıştır. Böylelikle kütleleri öne çıkaran dolu/boş algısı ve şeffaflık algısı net bir şekilde cephelere yansıtılmış olur (Uzun, 2019). Gropius'un en önemli katkısı "Giydirme Cephe" olarak adlandırılan camın binanın iç tasarımını da gösteren dış cephesiydi (Wong ve Winxie, 2007).

Bu yaklaşım hem kullanıcıların çalışma ortamını iyileştirmiş hem de iç ve dış mekan arasında görsel bir bağ kurmuştur. Bauhaus'un bu şeffaf ve sade tasarım dili, geleneksel duvarların kapalı yapısına karşı bir alternatif sunarak, iç mekanın özgürleştirilmesini hedeflemiştir.



Şekil 2.3.7. Bauhaus Okulu Binası Giydirme Cephe Detayı (Wong ve Winxie, 2007)

Cam cephelerin kullanımında ince çelik çerçeveler tercih edilmiştir ve bu da yapıya hafif, modern bir görünüm kazandırmıştır. Bu dönemde yaygın olan masif beton ve tuğla kullanımı yerine, çelik ve camın birleşimiyle hafiflik ve geçirgenlik ön plana çıkmıştır. Atölye bloklarındaki cam cepheler, bina içerisindeki iş akışını dışarıdan görünür kılarak mimarinin şeffaf ve işlevsel olma anlayışını pekiştirir. Böylelikle, cam sadece estetik bir unsur değil, aynı zamanda bir eğitim felsefesini yansıtan yapısal bir araç haline gelmiştir. Gropius'un bu tasarımı, modern mimarlıkta camın yoğun kullanıldığı ofis ve eğitim yapılarının öncülü olmuştur. Bugün yaygınlaşan açık plan ofis ve cam cepheli mimari anlayış, Bauhaus Okulu'nun bu yenilikçi tasarım yaklaşımından ilham almıştır.

Cam Endüstrisinde, 1952 yılında Alistair Pilkington'un camı sıvı kalay üzerinde yüzdürmeye başlaması ile seri cam üretimine geçilmiştir. 19. Yy'de cam üretimi, Frederik ve Wilhelm Siemens kardeşlerin rejeneratör fırını ve cam havuzunu ve Beriwez'in cam soğutma fırınını icat etmeleriyle birlikte, cam üretimi endüstrinin büyük bir dalı haline gelmiştir (Seinkiewicz, 2006).

Siemens kardeşlerin rejeneratör fırını ve cam havuzunun yanı sıra Beriwez'in cam soğutma fırını, cam üretiminde devrim niteliğinde yenilikler sunarak sanayileşmenin önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu teknolojik ilerlemeler, cam üretimini kitle haline getirmiş ve maliyetlerin düşmesine olanak sağlamıştır. Enerji verimliliği sayesinde üretim süreci hızlanmış ve daha büyük miktarlarda cam daha düşük maliyetlerle üretilmeye başlanmıştır. Bu durum, camın daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlamış ve camın maliyetinin düşmesi, birçok sektörde yaygın olarak kullanılmasına zemin hazırlamıştır. Aynı zamanda, bu yeni üretim yöntemleri sayesinde üretilen camın kalitesi de önemli ölçüde artmıştır. Cam havuzu ve cam soğutma fırını, camın daha homojen, dayanıklı ve şeffaf olmasını mümkün kılmıştır. Kalite kontrolünün artması, camın estetik ve fonksiyonel özelliklerinin gelişmesine katkı sağlamış ve özellikle inşaat sektöründe ve mimaride camın daha yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak tanımıştır. Camın maliyetinin düşmesi ve kalitesinin artması, onu farklı alanlarda kullanılabilir hale getirmiştir; mimaride büyük cam cephelerin, vitrinlerin ve pencerelerin yanı sıra ev dekorasyonu ve mobilya sektöründe de camın kullanımını artırmıştır (Türkseven Doğrusoğ, 1999).

1959 yılında float teknolojisinin Pilkington Brothers Ltd. tarafından icat edilmesi ile başlayan kaliteli cam üretimi, bugünkü işleme türleri için milat oldu. Sırasıyla 1963'de soğutma enerjisinden tasarruf amacıyla reflektif kaplamalı güneş kontrol camları, 1978'de ise camın ısı geçirgenlik değerini düşüren ilk düşük emisyonlu (low-E) kaplamalı cam üretimi gerçekleştirildi (Mimarlık Akademisi, 2018).

Endüstri 3.0 döneminde (1970), yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgâr gibi kaynaklar, yenilenemez kaynaklardaki sorunlar ve çevresel endişelerle paralel olarak önem kazanmıştır (Davutoğlu, 2020). 20. yüzyılın başlarında güneş ışığı ışınımına olan ihtiyacın artmasıyla, ışıma kontrollü camlar ortaya çıkmıştır. Bu gelişme temel camın kaplanmasıyla elde edilen bir sonuçtur. Benzer olarak 21. yüzyılın başında, değişken geçirgen özelliği taşıyan pencere camının ortaya çıkışı, yeni elektro kromatik cam teknolojilerindeki gelişmelerin bir sonucudur. Bu iki örnek arasındaki gelişmeler insanoğlunun gereksinimlerini karşılamak için karmaşık bir biçimde evrim geçiren cam üretimi ve üretim teknolojileridir (Button, D., & Pye, B. 1993).

Cam üretimi ve çeşitliliği eski çağlardan günümüze önemli gelişmeler göstermiş olsa da yüzey kaplama teknolojileri konusunda aynı şeyi söylemek mümkün değildir. 1817 yılında Almanya'da Fraunhofer tarafından, cam yüzeyinde sülfürik asit ya da nitrik asit kullanılarak yansıtmaz bir tabaka elde edilebileceği bulunmuş ancak teknik olarak o yıllarda uygulaması yapılmamıştır. 1935'de Amerika'da Strong, Almanya'da Smakula bu yansıtmaz yüzeyli camların kaplanmasında buharlaştırma ve vakum yöntemlerini denemişlerdir. 1938 yılında çok katmanlı yüzey kaplamaları büyük oranda Amerika'da, küçük ölçekli olarak da Avrupa'da kendini göstermeye başlamış fakat başarılı ilk çift katmanlı sistemlerin eldesi 1949 yılında sağlanmıştır (Pulker,1999)

Yıllar içinde cam yüzeylerini kaplamak üzere pek çok süreç kullanılmıştır. İlk mimari ürün pirolitik ya da sıcak kimyasal süreçle elde edilmiş olup Pittsburgh Düz Cam Şirketi (şimdiki adıyla PPG Endüstrileri Şirketi) tarafından 1960'da piyasaya sürülmüştür (Galser,1949).

Camın cephe kaplaması olarak kullanılması, sonsuzluk ve boşluk hissinin daha ileriye götürülebilmesi düşüncesinin gelişmesini sağlamıştır. Giydirme cam cepheli binalar için yapılan ilk örnekler yapı strüktüründe önce beton karkasların giydirme cam kaplanması, daha sonra çelik-cam kaplama örnekleriyle başlamış, ayrıca eşzamanlı olarak cam teknolojisinde de mimarın ihtiyacına paralel ısı kontrollü, "mor ötesi" ışınlara karşı korumalı, kir tutmayan ve "ısı kontrollü güneş geçirgen çözümler" üretilmesini sağlamıştır (Olcay, 2009).

İstanbul'daki **2010** yılında tamamlanan **Vakko Genel Müdürlük Binası** (Şekil 2.3.8.), New York merkezli ünlü mimarlık ofisi REX tarafından tasarlanmıştır. Vakko'nun yaratıcı ve modern marka kimliğini yansıtan bu yapı, şeffaflık ve akışkanlık prensipleriyle tasarlanmış olup, geniş cam cepheleri sayesinde iç ve dış mekan arasında doğal ışık geçişine imkan tanır.



Şekil 2.3.8. Vakko Genel Müdürlük Binası – 2010 (Rex NYC, Tarih yok)

Yapının modüler tasarımı, ofis, showroom ve atölye alanlarının çok amaçlı ve esnek bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar. Modern malzeme kullanımı, zarif formu ve yenilikçi tasarımıyla bu yapı, İstanbul'un simge yapılarından biri olarak öne çıkmaktadır. Cephede büyük ölçüde kullanılan cam malzemeler, yapıya hem çağdaş bir estetik kazandırmakta hem de çevresel sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayarak enerji verimliliğini artırmaktadır.

Vakko Genel Müdürlük Binası'nın dikkat çekici özelliklerinden biri olan cam yüzeylerdeki "X" desenleri, yapıya hem estetik bir kimlik kazandırmakta hem de mimari bir karakter katmaktadır. Bu desenler, bina cephesine görsel bir dinamizm sağlarken, Vakko'nun yenilikçi ve yaratıcı marka kimliğini de yansıtır. "X" desenleri, cephede kesintisiz olarak uygulanan cam yüzeylerin monotonluğunu kırar, böylece yapı daha çarpıcı ve özgün bir görünüm kazanır.

Ayrıca bu desenlerin teknik bir işlevi de bulunmaktadır. "X" deseni, cam yüzeylere entegre edilen bir yapı elemanı olarak ek bir dayanıklılık kazandırır ve cephe üzerinde dengeli bir yük dağılımı sağlar. Özellikle rüzgar yükü ve çevresel faktörlere karşı dayanıklılığı artıran bu desen, aynı zamanda iç mekanda gölge oyunları yaratarak estetik bir etki oluşturur. Bu sayede Vakko Genel Müdürlük Binası, sıra dışı mimari detayları ve ikonik cam deseniyle İstanbul'un simge yapılarından biri haline gelmiştir.

Cybertecture Yumurtası (Şekil 2.3.9.), Hindistan'ın Mumbai kentinde yer alması düşünülen yenilikçi bir mimari yapıdır. James Law Cybertecture tarafından tasarlanan bina, çevreye duyarlı bir yaklaşımla modern estetik ve işlevselliği birleştirir. Yumurtayı andıran ikonik formu, aerodinamik bir yapı sunarak hem estetik hem de enerji verimliliği hedeflerini yerine getirmeyi amaçlar. Bu organik tasarım, iç mekanlarda daha fazla hacim kazandırırken yüzey alanını azaltarak enerji tüketimini optimize etmeyi hedefler. Bina, sürdürülebilir tasarım ilkeleri doğrultusunda güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve yağmur suyu toplama sistemleri gibi yenilikçi çözümleri içermeyi öngörür. Yapının cam cephesi, bu çevreci yaklaşımı destekleyen ileri düzey teknolojilerle donatılmayı planlamaktadır.



Şekil 2.3.9. Cybertecture Yumurtası – 2010 (World Architecture, Tarih yok)

Cybertecture Yumustası binasında kullanılan gelişmiş akıllı cam teknolojileri, bina performansını ve kullanıcı deneyimini iyileştiren bir dizi özelliğe sahiptir. Camın değişken frit ve ton teknolojisi, seramik bazlı kaplamaların cam yüzeyine uygulanmasıyla oluşması düşünülmüştür. Bu fritler, güneş ışığını yansıtarak veya dağıtarak iç mekanda aşırı ısınmayı önlemeyi amaçlar. Bu sistem, güneş ışığının yönüne ve geliş açısına göre kendini adapte eder, böylece binanın farklı bölümlerinde optimum ışık ve ısı kontrolü sağlanması hedeflenir.

Camların değişken gölgelendirme özelliği ise, ışık yoğunluğuna göre camın şeffaflık seviyesini otomatik olarak değiştirebilmesi anlamına gelir. Yoğun güneş ışığında koyulaşarak iç mekana giren ışık miktarını azaltırken, düşük ışık koşullarında şeffaf hale gelerek doğal ışığı daha etkin kullanmayı planlar. Bu özellik, enerji tasarrufuna katkıda bulunurken iç mekanda ideal bir görsel konfor sunar.

Renklendirme teknolojisi, camın renginin dinamik olarak değişmesine olanak tanır ve bu, bina sakinleri için görsel ve termal konfor sağlamayı amaçlar. Örneğin, parlak öğle saatlerinde camlar koyulaşarak iç mekanın aşırı ısınmasını önlerken, sabah veya akşam saatlerinde açık renkle daha fazla doğal ışık sağlamayı hedefler. Bu özelliklerin tümü bir arada hem enerji verimliliğini artırmayı hem de binanın estetik değerini güçlendirmeyi amaçlar. Cybertecture Yumurtası'nın bu akıllı cam sistemleri, yenilikçi mimari tasarım ve sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi başarılı bir şekilde kurması düşünülen örnek bir uygulamadır.

Apple Park (Şekil 2.3.10.)**,** 2017 yılında tamamlanan ve dünyaca ünlü mimar Norman Foster ile ekibi Foster + Partners tarafından tasarlanan bir yapıdır. Kaliforniya'nın Cupertino şehrinde yer alan bu kampüs, yalnızca Apple'ın merkezi olmasının ötesinde, sürdürülebilirlik ve yenilikçi mimari tasarımı ile de dikkat çekmektedir. Yapı, dev bir halka formunda inşa edilmiş ve bu tasarımı nedeniyle "Uzay Gemisi" olarak da anılmaktadır. Yaklaşık 260.000 metrekarelik bir alana yayılan kampüs, 12.000 çalışana ev sahipliği yapmaktadır. Apple Park'ın öne çıkan özelliklerinden biri, kavisli cam panellerine sahip olmasıdır. Bu paneller yapıyı çevreler, içeriye bol miktarda doğal ışık girmesini sağlar ve iç mekan ile dış mekan arasında kesintisiz bir bağlantı oluşturur.



Şekil 2.3.10. Apple Park – 2017 (Florian, 2024)

Apple Park'ta kullanılan **dünyanın en büyük kavisli cam panelleri**, yapının dış çemberini kesintisiz bir şekilde sararak hem estetik hem de işlevsel bir özellik sunmaktadır. Bu devasa cam paneller, **6 metreye kadar uzunluğa** sahip olup, iç mekâna bol miktarda doğal ışık girmesini sağlar ve iç ile dış alanlar arasında kesintisiz bir bağlantı kurar. Ayrıca, kullanılan **enerji tasarruflu camlar**, ısı kontrolünü optimize ederek güneş ışığından en verimli şekilde faydalanılmasına olanak tanır. Bina çevresindeki **cam kanopiler**, güneş ışınlarını filtreleyerek iç mekânın sıcaklık kontrolüne yardımcı olurken, **düşük yansımalı camlar** ise güneş ışığının zararlı etkilerini minimuma indirirken şeffaflığı korur, böylece enerji verimliliğini artırır. Bu sayede, Apple Park hem estetik açıdan etkileyici hem de enerji verimliliği sağlanan bir yapı haline gelmiştir (Underwood, Worley, 2017).



Şekil 2.3.11. Apple Park Cephe Görünümü (Foster and Partners, Tarih yok)

Modern mimaride, cam yalnızca işlevsel bir malzeme olarak kullanılmakla kalmayıp, estetik ve sembolik anlamlar da kazanmıştır. Bu yeni anlayışta, dış ve iç mekanlar arasındaki katı sınırlar bulanıklaşmış, camın şeffaflığı sayesinde mekanlar arasında geçişkenlik sağlanmıştır. Böylece, yapı kabuğu adeta nötr bir hale getirilmiş, bina ile

çevresi arasındaki ilişki daha akışkan ve dinamik bir boyut kazanmıştır. Camın bu çok yönlü kullanımı, binaların çevreyle daha uyumlu bir şekilde bütünleşmesine ve mimari estetiğin daha güçlü bir ifade aracı haline gelmesine olanak tanımıştır.

Jean Nouvel'in mimarlığında şeffaflık ve geçirgenlik, süreklilik gösteren ve öne çıkan kavramlardır. Projelerinde camı kullanarak bunun gerçekleşmesini sağlamıştır. Cam kullanımı ile ilgili olarak şunları söylemiştir: ''Mimarlığın Darwinizmine inanıyorum. Zamanla malzemelerin ortadan yok olacağı anlamında değil ama malzeme-teknoloji ve malzemeler üzerindeki hakimiyetimizden ötürü. Her iki durum da zamanla ilerleyecek ve öyle gelişecek ki belli bir amaçla kullanılacak malzemeye sürekli daha az ihtiyaç duyacağız. Malzemeyi kontrol etmenin en etkin yollarından birisi ışık aracılığıyla gerçekleşir. Bu anlamda en çarpıcı modern malzemelerin birisi, en evrimleşmiş olanı camdır" J. Nouvel (Morgan, 1998)

Bu anlayışla birlikte cam, mimaride sadece bir yapı elemanı olmaktan çıkarak hem iç hem de dış mekanların bütünleşmesini sağlayan bir araç haline gelmiştir. Yapıların dış cepheleri artık çevrelerinden izole değil, tam aksine doğayla ve şehirle etkileşimde olan şeffaf bir yüzey olarak konumlanmaktadır.

Camın şeffaflığı, binalara hafiflik ve açıklık hissi kazandırırken, iç mekanın dışarıdan görülebilmesini ve dışarıdaki manzaranın da iç mekana dahil edilmesini mümkün kılar. Bu sayede, yapı kabuğu sanki yokmuş gibi algılanır ve iç-dış mekan arasında kesintisiz bir geçiş yaratılır. Camın bu işlevsel ve estetik kullanımı, modern mimarinin mekanlar arası ilişkileri dönüştüren ve doğayla daha uyumlu bir yaklaşımı benimsemesine olanak tanımıştır.

2.3.2. Camın Mimaride Kullanım Alanları

İnsan, camı yapmayı öğrendiği binlerce yıl içinde iki özel durumla karşı karşıya kalmıştır; bir yanda barınma, korunma ve mahremiyet için duvar yapma ihtiyacı, diğer yanda aydınlatma ve görünümü sağlamak için ışığı iletme ihtiyacı. Mimari camın yegane ve önemli özelliği, günışığını geçirme kabiliyetidir. Tasarımcılar, yapısal buluşlar yoluyla gittikçe büyüyen pencere açıklıkları ve neticede günışığı vasıtasıyla bina içinin görsel kalitesini artırmak amacıyla bütünüyle cam duvar elde etmişlerdir. 21. yüzyılda, binaların

bütün tiplerine uygunlukta elde edilebilir büyük pencere açıklıkları yapılarak, sonuçta kolon-kirişli yapı ortaya çıkmıştır. Demir, daha sonra çelik strüktürel çerçeve ve cam duvar, sadece kolonlar tarafından kesilen serbest iç mekan arzusunu gerçekleştirmiştir. Cam ve çelik iskelet, modern mimarlık hareketi içindeki kilit rolü oynayan öğeler arasında yer almıştır" (Wigginton, 1996).

Mimari camlar, çağdaş yapı tasarımında estetik ve fonksiyonel gereksinimleri karşılamakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik, enerji verimliliği ve çevresel performans üzerinde de önemli etkiler yaratır. Farklı cam türleri, yapının bulunduğu iklim koşullarına, tasarımın görsel ihtiyaçlarına ve kullanıcı konforuna göre seçilerek projenin performansını doğrudan etkiler.

Camların gelişen teknolojiyle birlikte ısı, ışık ve ses kontrolü sağlama kabiliyeti artmış; böylece daha sürdürülebilir, dayanıklı ve enerji verimli yapılar mümkün hale gelmiştir. Mimaride kullanılan camlar, basit saydam yüzeylerden akıllı cam çözümlerine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır.

Mimaride cam kullanımı, yapıların hem estetik hem de işlevsel yönlerini geliştiren önemli bir tasarım öğesidir. Camın şeffaflık, geçirgenlik ve zarif görünüm sunması, iç ve dış mekanlar arasındaki sınırları bulanıklaştırarak mimaride özgün mekan kurgularının ortaya çıkmasına olanak tanır. Modern mimarlıkta cephelerde, iç bölmelerde, tavanlarda ve korkuluklarda cam kullanımı, yapıya hafiflik hissi verirken aynı zamanda doğal ışık kullanımını da maksimize eder. Doğal aydınlatma sayesinde iç mekanlar daha ferah ve yaşanabilir hale gelir, bu da hem psikolojik konforu artırır hem de yapının enerji performansına katkı sağlar.

Yapılarda farklı ihtiyaçlara cevap verebilmek için çeşitli cam türleri tercih edilmektedir. Her cam türü, kendine has teknik özellikleri ve kullanım alanlarıyla öne çıkar. Aşağıda, mimaride en yaygın kullanılan cam çeşitleri; Basit (Levha) Cam, Yüzey Kaplamalı Camlar, Güvenlik Camları, Cam Tuğlalar ve Tabakalı Camlardır.

1- **Basit (Levha) Cam:** Basit levha cam, mimaride kullanılan en temel cam türlerinden biridir ve üretim sürecinin ilk aşamasında elde edilir. Genellikle şeffaf ya da hafif yeşilimsi bir renge sahip olan bu cam, düz yüzeyli ve işlenmemiş yapısıyla dikkat çeker. Levha cam, yüksek sıcaklıkta eritilmiş cam hamurunun metal silindirler ya da yüzeyler üzerinde şekillendirilmesiyle üretilir. Mekanik mukavemeti düşük olduğu için doğrudan cephe sistemlerinde veya güvenlik gerektiren uygulamalarda tercih edilmez. Ancak, bu cam türü diğer işlenmiş camların üretiminde hammadde olarak kullanılır. Günümüzde ekolojik faktörler nedeniyle, tek tabakalı kaplamaların ısıtılan binalarda uzun süreli kullanımı sürdürülebilir kabul edilmemektedir. Bununla birlikte, tek tabakalı cam uygulamaları, saçaklar, sergi salonları, kış bahçeleri ve tampon bölgeler gibi ısıtma gerektirmeyen alanlarda hala tercih edilmektedir.

   Başlangıç seviyesi bir ürün olan levha cam, çoğunlukla vitrinler, çerçeveli pencereler veya düşük yalıtım gerektiren geçici yapılar gibi alanlarda kullanılır. Gelişmiş optik ya da termal özelliklere sahip olmamakla birlikte, maliyetinin düşük olması nedeniyle sınırlı bütçeye sahip projelerde yer bulabilir. Ancak modern mimaride, enerji verimliliği ve dayanıklılık gibi performans kriterlerinin öne çıkmasıyla, levha camlar yerini daha işlevsel cam türlerine bırakmıştır.

   Düz camın mimaride kullanımı, 1851'de **Kristal Saray** (Şekil 2.3.4.) inşasıyla büyük bir dönüşüm geçirdi ve cam, geleneksel pencere anlayışından çıkarak mimarinin ana bileşeni haline geldi. Joseph Paxton, camı yapının cephesi olarak kullanarak, iç ve dış mekan arasında fiziksel bir sınır yaratırken aynı zamanda görsel bir süreklilik sağladı.

   Chance Brothers'ın Birmingham'daki tesisinde üretilen bu camlar sebebiyle tesis, bu iş sürecinde cam levha üretim miktarını yaklaşık olarak 84.000 metrekareye çıkartmak durumunda kalmıştır (Hix, 1974). Bu şeffaf duvar anlayışı, mimaride hafiflik ve geçirgenlik fikrini somutlaştırdı. Bu yapı, düz camın mimari tasarımda bir malzemeden öte, bir tasarım unsuru olarak kullanılabileceğini gösteren en erken ve çarpıcı örneklerden biri olarak kabul edilir. Kristal Saray'ın cesur kullanımı, modern mimaride cam cepheli binaların önünü açtı ve mimarinin işlevsel, estetik ve çevresel boyutlarını yeniden tanımladı.

2- **Yüzey Kaplamalı Camlar**: Güneş kontrol ve emisyon koşulları içindeki camın özellikleri, ışığın iletimi düzeyine bağlıdır. Bu özellikler, değerli metallerden veya metal oksitlerden yapılmış ince bir tabakanın eklenmesi ile yüksek oranda değiştirilebilmiştir. Bu gibi kaplamalar, iletilen ışığın alanını ve aynı zamanda yoğunluğunu etkiler (Compagno,2002).

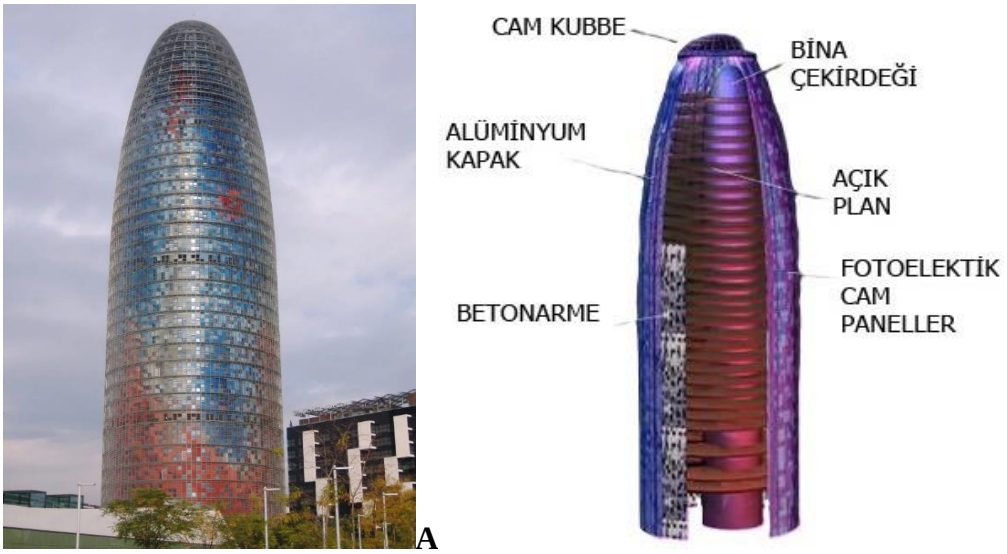
Camın ısı kontrolü, radyasyon iletim seviyesine bağlıdır. Camın radyasyon iletim seviyesi, cama kalın metal tabakalarının ve metal oksitlerin eklenmesi ile değiştirilebilir. Bu kaplamalar, radyasyon ileti oranına ve şiddetine etki eder. Camda etkili bir güneş kontrolü, camın yansıtıcı ile kaplanması ile elde edilir. Yansıtıcı kaplamalı camlar beyaz camın veya renklendirilmiş camın bir yüzünün metalle kaplanması ile elde edilir (Kahraman,2002).

Yapıların enerji verimliliği ve iç konfor düzeyini artırmak amacıyla kaplamalar önemli bir rol oynamaktadır. Kışın ısınma, yazın ise soğutma giderlerini azaltmak için çeşitli kaplama teknikleri kullanılmaktadır. Özellikle modern mimaride görülen tamamen camlı binalarda, yansıtıcı güneş kontrol kaplamaları ve "görünmez" ısı kontrol kaplamaları dikkat çekmektedir. Bu kaplamalar, cam yüzeyleriyle bütünleşen metal veya metal alaşımlarından oluşur ve yapının enerji performansını artırarak iç mekanın konforunu sağlar. Kaplamaların sunduğu enerji tasarrufu, günümüzün ekolojik ve ekonomik gereksinimleriyle doğrudan ilişkilidir. Enerji tüketimini optimize etmek, binaların çevresel etkisini azaltarak sürdürülebilirliğe katkıda bulunur. Bu nedenle, mimarlık ve mühendislik disiplinlerinde kaplama teknolojilerine yönelik sürekli yenilikler ve geliştirmeler gözlemlenmektedir. Cam yüzeylerinin entegre özellikleri, sadece estetik açıdan değil, aynı zamanda işlevsellik açısından da yapının genel performansını iyileştirmektedir.

Kaplamalı camlar, mimaride enerji verimliliğini artırmak ve konfor sağlamak amacıyla farklı işlevlere sahip alt gruplara ayrılır. **Low-E (Düşük Emisyonlu) camlar**, ısı kaybını önlemek için tasarlanmış olup, kışın iç mekandaki sıcak havayı dışarıya kaçırmazken yazın da güneş ısısını yansıtır. **Güneş kontrol kaplamalı camlar**, güneş enerjisinin iç mekana geçişini sınırlayarak soğutma maliyetlerini düşürür, bu nedenle özellikle güneşe maruz kalan cephelerde tercih edilir. **Yansıtıcı kaplamalı camlar**, metal oksit kaplamalar sayesinde güneş

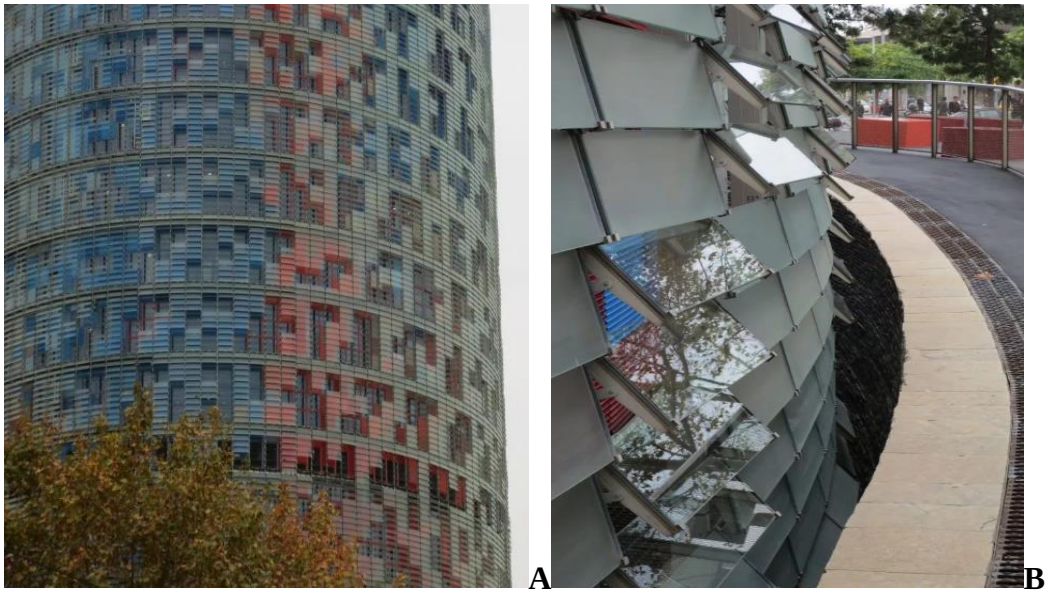
ışığını yansıtarak iç mekanın serin kalmasını sağlarken dışarıdan görünürlüğü azaltarak gizlilik sunar. **Fotoelektrik camlar**, güneş ışığını elektriğe dönüştürebilen özel kaplamalarla donatılmıştır ve bu sayede yenilenebilir enerji çözümleri sunar. **Isı kontrollü camlar**, sıcak iklimlerde tercih edilerek güneşten gelen ısıyı minimize eder, böylece soğutma maliyetlerini düşürür. **Anti-reflektif kaplamalı camlar**, ışığın yansımalarını azaltarak daha net görüntüler elde edilmesine yardımcı olur ve genellikle vitrin camları veya müze sergileri gibi uygulamalarda kullanılır. Son olarak, **kendini temizleyen kaplamalı camlar**, özel kaplamaları sayesinde güneş ışığı ve yağmur suyu ile kirin daha kolay temizlenmesini sağlar. Bu çeşitli kaplamalı cam türleri hem estetik hem de işlevsellik açısından mimaride önemli avantajlar sunar. **Çift cam,** genellikle iki veya üç cam tabakasından oluşan bir sistemdir ve yaygın olarak "ısıcam" olarak da adlandırılır. Tabakalar arasındaki boşluk, hava, argon, ksenon veya kripton gibi gazlarla doldurularak camın ısıl iletkenliği azaltılır. Bu yapı, ısı kaybını, yoğuşmayı, gürültüyü ve UV ışınlarının geçişini engellerken enerji tasarrufu sağlar. Özellikle konutlarda standart olarak tercih edilen çift camlar, yüzeylerine eklenen özel kaplamalarla yalıtım performansını daha da artırabilir. Bu kaplamalar, camın yalıtkan özelliklerini güçlendirir ve enerji verimliliğini maksimize eder. Bu bağlamda, kaplamaların gelişimi, mimari tasarımın önemli bir parçası haline gelmiştir ve modern yapılar için vazgeçilmez bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, kaplama teknolojilerinin incelenmesi, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından oldukça kritik bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır (Açıksarı, C., Karasu, B., 2018).

Barselona'nın ikonik yapılarından biri olan ve 2005 yılında tamamlanan **Torre Agbar** (Şekil 2.3.12.), mimari yüzey kaplama camlarının başarılı bir örneğini temsil eder. Jean Nouvel tarafından doğal ışık, sürdürülebilirlik ilkesi kapsamında tasarlanan bu yapı hem görsel estetik hem de fonksiyonellik açısından dikkat çekmektedir. İç mekana doğal ışığın girmesini sağlayan pencereler, havalandırma işlevinin yanı sıra enerji depolama işlevini de yürütmektedir. Bunun yanı sıra, iç mekanın en etkili şekilde aydınlatılması için fotoelektrik cam paneller tercih edilmiştir.



Şekil 2.3.12. Torre Agbar Kulesi -2005 (WikiArquitectura, Tarih yok)
A) Kule Görünüşü **B)** Kule Kesit Detayı

Kulede kullanılan fotoelektrik paneller, gece saatlerinde iç mekan aydınlatmasıyla birlikte renkli bir ışık yansıması oluşturarak binaya dinamik bir görsellik kazandırır; bu etki, binanın LED aydınlatma sistemi ile entegre bir şekilde çalışarak dış cephede göz alıcı bir ışık oyunu yaratır.



Şekil 2.3.13. Torre Agbar Kule Detayları (WikiArquitectura, Tarih yok)
A) Cephe Detayı **B)** Cam Paneller

Torre Agbar'ın cam yüzeylerinde kullanılan yansıtıcı kaplamalar, güneş ışığının iç mekana doğrudan girişini kontrol ederek aşırı ısınmayı engeller ve enerji verimliliğini artırır. Çift katmanlı cam paneller, güneş ışığını belirli bir açıda yansıtıp dağıtarak binanın iç sıcaklığını optimum seviyede tutar, bu da klima kullanımını azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Panellerin düşük emisyonlu (Low-E) kaplama özellikleri sayesinde ısı kaybı minimize edilerek kış aylarında ısı korunumu desteklenir. Torre Agbar, bu özellikleriyle kaplamalı camların işlevsel estetik gücünü sergileyen ikonik bir örnek olarak Barselona'nın modern mimari kimliğine katkıda bulunur. Yapı, sadece bir ofis binası olarak değil, sanatsal ve teknik olanakları bir araya getirerek modern mimarlıkta özgün bir ifade biçimi haline gelmiştir.

3- **Güvenlik Camları:** Güvenlik camları, temperli (tempered glass) ve tabakalı (laminated glass) camlar olarak nitelendirilebilir. Temperli camlar kırıldığında zar büyüklüğünü geçmeyen küçük parçalara bölünerek yaralanma riskini azaltırlar. Darbelere karşı normal cama göre 4 veya 5 kat daha dayanıklı olan temperli camlar özel fırınlarda önce 690-700 ºC'ye kadar ısıtılarak; sonradan da hava ile aniden soğutularak elde edilmektedir. Tabakalı Camlar ise, iki veya daha fazla sayıda cam plakanın ısı ve basınç altında özel bağlayıcı polivinil butiral (PVB) yardımıyla birleştirilmesi sonucunda elde edilir. Bu camlar kırılma halinde cam parçaların saçılmasını ve bir taraftan diğerine istenmeyen geçişlerin önlenmesinde etkilidir (Akyürek,2001).

Güvenlik camları, mimaride insan sağlığını koruma ve yapısal dayanıklılığı artırma amacıyla özel olarak tasarlanan cam türleridir. Bu camlar, kırılma durumunda tehlikeli keskin parçaların oluşmasını önleyerek yaralanma riskini minimize eder ve yapının güvenlik standartlarını yükseltir. Modern binalarda estetik kaygıları gözetirken aynı zamanda güvenlik gereksinimlerini karşılamak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılır. Özellikle geniş cam yüzeylere sahip cephe sistemleri, korkuluklar, kapılar ve asansör kabinlerinde güvenlik camları tercih edilmektedir.

Güvenlik Camı türlerinden biri olan **Temperli Cam**, güvenlik camlarının en bilinen örneklerinden biridir. Bu cam, yüksek sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutularak

dayanıklılığı artırılır. Standart camlara kıyasla çok daha güçlü olan temperli cam, kırıldığında küçük, yuvarlak kenarlı parçalara ayrılır ve böylece ciddi yaralanmaların önüne geçer. Özellikle yoğun insan trafiğinin olduğu ticari yapılar, vitrinler ve banyo gibi ıslak hacimlerde kullanımı yaygındır.

New York Beşinci Cadde'deki **Apple Store**, Bohlin Cywinski Jackson tarafından tasarlanmış ve 2006 yılında inşa edilmiştir. Yapının en dikkat çekici unsuru, yaklaşık 9 metre yüksekliğindeki **şeffaf cam küp** tasarımıdır. İlk tasarımında 90'dan fazla cam panel içeren bu yapı, 2011 yılında gerçekleştirilen tadilat sırasında cam panellerin sayısı 15'e indirilerek sadeleştirilmiştir. 2017-2019 yılları arasında yapılan yenileme çalışmalarıyla mağaza modernize edilmiş ve yeniden halka açılmıştır.

Yapıda kullanılan cam paneller, dayanıklılık ve güvenlik özelliklerini artırmak amacıyla temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonucunda, panellerin darbelere karşı dayanıklılığı artırılmış ve kırılma durumunda keskin olmayan küçük parçacıklara ayrılması sağlanmıştır. Yüksek mekanik dayanım ve rüzgar yüklerine karşı direnç sunan temperli camlar, yapı için hem dayanıklı hem de şeffaf bir görsellik sunarak, ikonik minimalist tasarımın temelini oluşturmuştur.



Şekil 2.3.14. Apple Store -2006 (Pintos, 2019)

Bir diğer Güvenlik Camı çeşidi olan **Lamine Cam** ise, iki veya daha fazla cam tabakasının arasında plastik bir ara tabakanın (genellikle PVB) yer aldığı bir güvenlik çözümüdür. Bu yapısı sayesinde kırıldığında bile cam parçaları ara tabakaya yapışarak dağılmaz ve cam yüzeyi bütünlüğünü büyük ölçüde korur. Lamine cam, banka ve müzeler gibi yüksek güvenlik gerektiren alanlarda tercih edilirken, aynı zamanda ses yalıtımı sağlaması nedeniyle de ofis binaları ve konut projelerinde sıkça kullanılır.

Norman Foster'ın tasarımı olan **Gherkin**, Londra'nın modern mimarisinin sembollerinden biri olarak öne çıkar. Bu yapıda, güvenlik ve enerji verimliliğini bir araya getiren 24 bin metrekare temperli ve kaplamalı camlar kullanılmıştır. 180 metre yüksekliğindeki bina, çift katmanlı cam panellerden oluşan cephe sistemine sahiptir.



Şekil 2.3.15. Gherkin -2003 (Taylor, Tarih yok)

Yapıda kullanılan cam cepheler, aynı zamanda binanın iç mekanlarının doğal ışıkla aydınlatılmasına olanak tanır ve enerji tüketimini azaltır. Cephe sistemi, hava akışını optimize eden bir yapıya sahip olduğundan, enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından örnek teşkil eder. Temperli camlar dış yüzeyde kullanılarak yapıyı rüzgar ve dış etkenlere karşı korurken, lamine camlar yapısal dayanıklılık sağlar.

Güvenlik camları, sadece insan sağlığını korumakla kalmaz, aynı zamanda binaların enerji verimliliğine de katkı sağlar. Örneğin, ısı ve güneş kontrolü sağlayan kaplamalarla birlikte kullanılan güvenlik camları hem enerji tasarrufu sağlar hem de dış mekandan gelebilecek tehditlere karşı yapıyı korur. Günümüzde sürdürülebilirlik ve güvenliğin ön planda olduğu mimari projelerde, estetik unsurlarla uyumlu ve performans odaklı güvenlik camlarına olan talep giderek artmaktadır.

4- Cam Tuğlalar: Cam tuğlalar, içi boş ya da masif olarak üretilen, camın dayanıklılık ve ışık geçirgenliği özelliklerinden yararlanılan yapı elemanlarıdır. Geleneksel tuğla formuna benzese de işlevsel olarak daha çok ışığı içeri almak ve estetik dokunuşlar katmak amacıyla kullanılır. Çift cidarlı yapıları sayesinde izolasyon sağlayan cam tuğlalar, iç mekan tasarımlarından cephe uygulamalarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yapısal olarak darbelere dayanıklı olmalarının yanı sıra ses ve ısı yalıtımına katkıda bulunmaları, onları fonksiyonel bir malzeme haline getirir.

Cam tuğlalar, estetik ve işlevselliğin dengeli bir şekilde bir araya getirildiği mimari elemanlardır. Bu tuğlalar, ışığı yumuşatarak iç mekanlara taşır ve gün ışığından daha fazla faydalanılmasını sağlar. Ofis, kütüphane veya sanat galerisi gibi doğal aydınlatmanın önemli olduğu alanlarda tercih edilir. Ayrıca, mahremiyet gerektiren banyolar veya hastane bölmeleri gibi yerlerde ışık geçirgenliğini sağlarken görüşü engeller. Isı yalıtımı açısından ise cam tuğlalar, iki cam yüzeyi arasındaki boşluğun yalıtım etkisi sayesinde enerji verimliliğine katkıda bulunur.



Şekil 2.3.16. Coco Evi (Yapı Dergisi, Tarih yok)

Coco Evi, Duy Le Mimarlık tarafından tasarlanan bir yapıdır ve cam tuğlaların mimari kullanımı açısından dikkat çekici bir örnek teşkil etmektedir. Cam tuğlalar, bu yapıda yalnızca estetik bir öğe olarak değil, aynı zamanda iç mekanın mahremiyetini sağlamak ve doğal ışığı içeri almak için işlevselliği artırmak amacıyla kullanılmıştır. Coco Evi'nin cam tuğlaları, dışarıdan bakıldığında göz alıcı bir görünüm sunarken, içerideki açık alanın da özel bir atmosfer yaratmasını sağlamaktadır. Bu tasarım hem görsel çekiciliği hem de işlevselliği bir arada sunarak, modern mimarinin cam tuğlalarla nasıl yenilikçi çözümler üretebileceğini göstermektedir.

Dekoratif ve yapısal işlevi bir arada sunan cam tuğlalar, özellikle modern ve post modern mimaride popüler bir malzemedir. Işık oyunları yaratmak için kullanıldıklarında mekanlara derinlik ve dinamizm katarlar. Bazı projelerde hem iç mekanları bölmek hem de görsel olarak akıcı alanlar yaratmak için tercih edilirler. Dış cephe uygulamalarında ise cam tuğlalar, estetik bir yüzey sağlarken aynı zamanda yapı elemanlarına hafiflik kazandırır. Çeşitli renklerde ve dokularda üretilmeleri sayesinde, tasarımcılar ve mimarlar için yaratıcı çözümler sunar.

5- Tabakalı (Akıllı) Camlar: Tabakalı camlar, iki veya daha fazla cam katmanının arasına yapışkan bir ara tabaka yerleştirilerek üretilen özel cam çeşitleridir. Bu yapı, camın kırılması durumunda parçaların dağılmasını önleyerek güvenlik sağlar ve ayrıca ses yalıtımı ile UV ışınlarından korunma gibi ek avantajlar sunar. Enerji verimliliği açısından da önemli bir rol oynayan tabakalı camlar, modern mimaride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Akıllı camlar, güneşten ısı kazancının istendiği dönemde güneşin ısı ışınlarını geçirir, güneş kontrolünün istendiği dönemde bu ışınları yansıtırlar. Başlıca tipleri; fotokromik, elektrokromik ve termokromik camlardır. Mevsimlik değişikliklere uyum sağlama yetenekleri nedeniyle, içsel ısı kazançları yüksek olan ve mevsimlik güneş kontrolünün büyük önem kazandığı binalarda kullanımı önerilmektedir (Utkutuğ G., Ayçam İ., 1999)

Fotokromik camlar, yapılarında bulunan metal bileşenler sayesinde yüzeylerine ulaşan ışık miktarına bağlı olarak şeffaflıklarını dinamik şekilde değiştirir. Bu özellik, güneş ışınlarının neden olduğu parlama ve iç mekân sıcaklık artışını azaltarak enerji tasarrufuna katkı sağlar. Özellikle sıcak iklimlerde, soğutma yükünü hafifletme açısından önemli bir rol oynar ve iç mekân konforunu artırır.

Isıya göre değişen **termokromik tabakalar**, sıcaklıktaki bir değişim ile harekete geçirilen ve ışık iletimini otomatik olarak kontrol edilebilen bir özelliğe sahiptir (Şişecam,1999). Bu cam türleri, sıcaklık değişimlerine duyarlı katmanları sayesinde ışık iletimini otomatik olarak düzenler ve ısı kazançlarının kontrolünde etkili bir çözüm sunar.

Termokromik cam türleri, güneş ışınlarının doğrudan etkisini azaltarak iç mekân sıcaklıklarını dengelemeye yardımcı olur. Ancak, ticari kullanımları henüz yaygınlaşmamış olup genellikle araştırma aşamasındadır. Önemli bir dezavantajları ise, gölgelerin cam yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık farkları nedeniyle homojen olmayan renk dağılımıdır. Isıya duyarlı jel veya sıvı katmanlar, camın saydamlığını azaltarak enerji verimliliğine katkıda bulunur.



Şekil 2.3.17. Termokromik camın değişik durumlarda görünümleri (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018)

Gelişmiş cam teknolojilerinden biri de **elektrokromik camlardır**. Eletrokromik kaplamalar 5 tabakadan oluşur ve genellikle nikel veya tungsten metalinden meydana gelir. Bu malzemeler, iki saydam iletken arasına yerleştirilir. İletkenlere voltaj uyguladığımızda cam içinde bir elektrik alanı oluşur. Bu alan yaklaşık 4 mikron büyüklüğündeki renklendirici iyonların (genellikle lityum ve hidrojen) elektrolitten elektrokromik tabakaya doğru hareket etmesini sağlar. Elektrokromik tabakada meydana gelen tepkimeden dolayı elektrokromik yüzey koyulaşır (prusya mavisi) ve saydam olmayan fotokromik camların koyu yüzeylerine benzer bir yüzey elde edilir. Buna ek olarak, eğer voltajın verildiği kenar bölgelerde iyi bir ayarlama yapılmazsa kenar yüzeyler orta bölgelere göre daha çabuk koyulaşabilmektedir (Lee, 2006).



Şekil 2.3.18. Elektrokromik camın sağdan sola renk değiştirme aşamalarının gözlemlenebileceği saha testleri (Erdemli, 2018)

Camların belirli özelliklerini önceden tahmin etmek ve ölçmek, tasarımcılar için önemli bir sorumluluk haline gelmiştir. Bu sayede, mimari projelerde daha akıllı ve işlevsel çözümler üretebilme imkanı doğmaktadır. Günümüzde, termokromik ve elektrokromik cam sistemleri, yüksek maliyetleri nedeniyle sadece prototip aşamasında yer bulabilmektedir. Ancak, bu sistemlerin ileride mimari uygulamalarda daha uygun fiyatlarla kullanılabilir hale gelmesi öngörülmektedir.

Camın mimaride kullanımı yalnızca estetikle sınırlı değildir. Enerji verimliliği sağlamak amacıyla çift cam sistemleri, yalıtımlı camlar ve güneş kontrol camları yaygın şekilde tercih edilmektedir. Bu tür camlar, ısı kaybını ve güneşten gelen ısınmayı dengeleyerek soğutma ve ısıtma yüklerini azaltır. Böylece sürdürülebilir mimaride önemli bir yapı taşı olan enerji tasarrufu sağlanır. Ayrıca akustik yalıtım sağlayan lamine camlar, yoğun şehirleşmenin olduğu bölgelerde iç mekan konforunu artırarak gürültü kirliliğini en aza indirir.

Cam, güvenlik açısından da geliştirilmiş bir yapı malzemesidir. Temperli ve lamine camlar, kırıldığında güvenli yapıları sayesinde yaralanma riskini en aza indirir ve darbelere karşı dayanıklıdır. Bu özellikler, özellikle kamu yapıları, okullar ve konut projelerinde güvenlik açısından büyük önem taşır. Ayrıca akıllı cam teknolojileri, ışık geçirgenliğini ve saydamlık düzeyini ayarlayarak mahremiyet ve enerji tasarrufu sağlar. Böylece cam, mimari yapılarda işlevsellik ve estetiği bir araya getirir.

Mimaride kullanılan cam çeşitleri, estetik, işlevsellik ve sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Cam, yapıların dış cephelerinde estetik bir görünüm sunarken, iç mekanlarda doğal ışık girişini artırarak daha ferah bir atmosfer oluşturur. Isı yalıtımı ve enerji verimliliği açısından, tabakalı camlar ve yüzey kaplamalı camlar, ısı kaybını azaltarak enerji maliyetlerini düşürür. Bu tür camlar, özellikle iklim kontrolü sağlayarak binaların sürdürülebilirliğine yardımcı olur. Ayrıca, güvenlik camları, yapıların kullanıcıları için kritik bir koruma sağlar. Kırılma durumunda parçaların dağılmasını engelleyerek hem güvenliği artırır hem de estetik kaygıları gözetir. Cam tuğlalar hem doğal ışık geçişini sağlarken hem de mahremiyet sunarak mimaride farklı bir dokusal zenginlik yaratır.

Cam, doğası gereği sürdürülebilir bir malzeme olarak öne çıkar. Kum, soda külü ve kireç taşı gibi doğal kaynaklardan üretilen cam, yüzde yüz geri dönüştürülebilir olmasıyla çevresel etkileri azaltmada büyük bir potansiyele sahiptir. Üretimde geri dönüştürülmüş cam kullanılması, yeni cam üretimine kıyasla enerji tüketimini yüzde 30'a kadar düşürebilir. Bu durum, hem üretim süreçlerinin karbon ayak izini azaltır hem de enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak tanır.

Camın en dikkat çekici özelliklerinden biri, geri dönüşüm sürecindeki dayanıklılığıdır. Geri dönüşüm esnasında kalitesini kaybetmemesi, camı sonsuz kez yeniden işlenebilir hale getirir. Bu da hem atık miktarını azaltır hem de doğal kaynak tüketimini minimize eder. Ancak, camın üretimi tamamen emisyonsuz bir süreç değildir. Fırınların enerji ihtiyacı ve taşımacılık sırasında oluşan karbon salınımı, bu malzemenin karbon ayak izini artırabilir. Bu etkileri azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması ve enerji verimliliği sağlayan teknolojilerin kullanılması büyük önem taşır. Örneğin, cam üretiminde güneş enerjisiyle çalışan fırınların kullanılması, enerji tüketimini ve karbon salınımını büyük ölçüde azaltabilir. Ayrıca, modern izolasyon teknolojileri sayesinde fırınlarda ısı kaybının önlenmesi, üretim sürecindeki verimliliği artırabilir.

Cam malzemenin yapısal sistemlerde kullanımı, teknolojik gelişmeler ve malzeme bilimi alanındaki ilerlemelerle birlikte çeşitlenmiş ve yaygınlaşmıştır. Artık cam, yalnızca bir cephe elemanı değil, aynı zamanda yapının farklı işlevsel ve estetik gereksinimlerini karşılayan çok yönlü bir malzeme haline gelmiştir.

Camın üç temel kullanım alanı şunlardır:

1. **İç Mekân Uygulamaları:** Cam, bölücü paneller, zeminler, merdivenler ve korkuluklar gibi elemanlarda şeffaflık, estetik ve ışık geçirgenliği gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Bu tür kullanımlar, mekânda ferahlık ve genişlik algısını artırır.
2. **Dış Cephe Uygulamaları:** Cephe kaplamalarında, camın güneş kontrolü, ısı yalıtımı ve enerji üretme gibi fonksiyonları öne çıkar. Giydirme cephe sistemleri, enerji tasarruflu çift veya üçlü cam üniteleri ile hem estetik hem de sürdürülebilirlik odaklı çözümler sunar.

3. **Ana Taşıyıcı Strüktür Elemanı:** İleri mühendislik teknikleri sayesinde, cam artık yapısal eleman olarak kullanılabilmektedir. Tamamen camdan yapılan kolonlar, kirişler veya köprüler gibi örnekler, çeliğin de yardımıyla mümkün kılınmıştır. Çelik taşıyıcı sistemlerle entegre edilen cam yapılar hem dayanıklılık hem de görsellik açısından öne çıkar.

Cam malzemenin yapılardaki üç temel kullanım alanı, modern mimarinin farklı ihtiyaçlarına yanıt vermesi açısından büyük önem taşımaktadır. İç mekan kurgularında cam, bölücü eleman olarak kullanıldığında hem şeffaflık hem de estetik bir mekan hissi sağlayarak alanların daha ferah ve aydınlık görünmesini mümkün kılar. Dış cephe uygulamalarında ise cam, enerji verimliliği, doğal ışık kullanımı ve çağdaş bir estetik sağlamak için çeşitli teknolojik çözümlerle birlikte kullanılmaktadır.

Ana taşıyıcı strüktür elemanı olarak camın kullanımı ise yenilikçi bir yaklaşım sunmakla birlikte genellikle çelikle birlikte kullanıldığında en verimli sonuçları sağlamaktadır. Camın kırılgan yapısına rağmen, gelişen mühendislik yöntemleri sayesinde büyük yükler taşıyabilen sistemler oluşturulabilir. Ancak bu sistemlerde, camın dayanıklılığını ve güvenliğini artırmak için çelik destekleyici bir rol üstlenir. Çelik, yüksek mukavemet ve esneklik özellikleriyle camın doğal şeffaflık ve estetik avantajlarını tamamlar. Özellikle geniş açıklıklar ve karmaşık geometrilere sahip yapılar için cam ve çelik kombinasyonu hem teknik hem de görsel açıdan üstünlük sağlar.

Çelik ve cam malzemenin birlikte kullanımı, yapıların hem fonksiyonel hem de sanatsal olarak yüksek performans göstermesine olanak tanır. Çelikle birleştirilen cam, bu özellikleriyle çağdaş mimaride en etkili yapı malzemelerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Kaynak araştırmasında öncelikle yapı malzemesi bağlamında çelik ve cam malzeme araştırılmıştır. Çelik ve camın, mimari mekanda kullanımlarının tarihsel gelişimi ve ardından bu malzemelerin yapıda kullanım yerleri ve amaçları incelenmiştir. Çelik ve cam malzemenin tarihsel gelişimi Expo yapıları üzerinden değerlendirilmiş ve bu malzemelerin yapıya etkisi analiz edilmiştir. Çelik ve camın birlikte kullanıldığı bina örnekleri, Endüstri Devrimi sonrası inşa edilen, çelik ve camın teknolojik özelliklerini ve üstünlüklerini ortaya çıkaran kriterlere göre belirlenen yapılar üzerinden incelenmiş ve tüm incelenen yapılar tablolaştırılmıştır. Bu süreçte, çelik ve cam malzemenin yapım teknolojisinin gelişimiyle birlikte kullanım alanlarının nasıl değiştiği tarihsel bağlamda ele alınmıştır.

3.1. Çelik ve Cam Malzemenin Bir Arada Kullanımı

Cam ve çelik malzeme, etkileyici, işlevsel ve ileri düzeyde teknik gerektiren mimari formlar yaratmada kullanılabilir. Bu formlar aynı zamanda, kullanılan yapı malzemeleri aracılığıyla yapının kendisini ifade etmesini sağlayabilir (Farrelly, 2012)

Çelik ve cam, modern mimarideki en önemli yapı malzemeleri arasında yer alarak, estetik ve işlevselliği bir araya getirir. Çelik, yüksek dayanıklılığı, mukavemeti ve uzun ömürlülüğü ile mimari projelerde vazgeçilmez bir element haline gelmiştir. İleri teknoloji ile üretilen çelik hem hafifliği hem de yüksek yük taşıma kapasitesi sayesinde, büyük açıklıkların oluşturulmasına olanak tanır. Bu durum, mimarların daha geniş ve açık mekanlar tasarlamalarına, dolayısıyla mekanın işlevselliğini artırmalarına olanak sağlar.

Öte yandan, camın mimarideki rolü hem estetik hem de fonksiyonel boyutlarıyla dikkat çeker. Doğal ışığı mekana yönlendirerek iç mekanların aydınlatılmasını sağlarken, dışarıyla olan bağlantıyı artırarak mekanın algısını zenginleştirir. Camın şeffaf yapısı, dış çevreyle etkileşimi güçlendirir; böylece, yapılar çevresiyle bütünleşir. Ayrıca, camın çeşitli renk ve dokularda tasarımı, mimarların estetik algısını genişletir, yapının kimliğini belirler.

Çelik ve camın bir arada kullanılması, sadece görsel çekiciliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlar. Camın yüksek ışık geçirgenliği, iç mekanlarda doğal aydınlatma sağlarken enerji tüketimini azaltır; bu da yapının enerji verimliliğini artırır.

Çelik yapı elemanları, daha az malzeme kullanılarak güçlü ve dayanıklı yapılar oluşturulmasına olanak tanır, bu da çevre dostu bir yaklaşımın benimsenmesine katkıda bulunur. Ayrıca, çelik ve camın entegrasyonu, mimarların yenilikçi tasarım yaklaşımlarını daha kolay gerçekleştirmelerini sağlar. Bu malzemelerin bir arada kullanımı, çağdaş mimarinin gelişiminde önemli bir rol oynamakta ve mimarların daha cesur ve yenilikçi yapılar oluşturmasına olanak tanımaktadır.

Mimari mekan üretiminde çelik ve cam kullanımı, birçok alanda gelişim ve değişimin öncüsü olmuştur. Bu iki malzeme, kendi başlarına sağladıkları avantajların yanı sıra bir arada kullanıldıklarında yapıya sağladıkları katkılarla da dikkat çekmektedir. Bunlardan bazıları şöyledir;

- ***Yapısal Yenilikler***

Çelik ve camın entegrasyonu, mimari tasarımlarda önemli yapısal yeniliklerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Çelik iskelet yapılar, geniş açıklıkların sağlanmasına olanak tanırken, bu da ferah ve açık iç mekanların tasarımını mümkün kılar. Bu tür yapılar, estetik ve işlevsellik açısından mekanların daha verimli bir şekilde kullanılmasına katkıda bulunur. Aynı zamanda mimarların yaratıcı potansiyellerini zorlayarak, inovatif çözümler geliştirmelerine olanak verir. Örneğin, çelik kullanılarak inşa edilen asma katlar veya camla kaplanmış geniş cepheler, mekanları görsel olarak daha açık ve davetkar hale getirir. Bu tasarımlar, sosyal etkileşimi teşvik eder ve iç mekanların kullanıcılar arasında daha erişilebilir olmasını sağlar.

Çelik ve cam malzemelerin birleşimi, sadece estetik değil, aynı zamanda fonksiyonel açıdan da modern yaşamın ihtiyaçlarına hitap eden, esnek ve yenilikçi yapısal sistemlerin ortaya çıkmasına olanak tanır.

- ***Dayanıklılık ve Güvenlik***

Çelik, yüksek dayanıklılığı sayesinde binaların deprem, rüzgar ve diğer doğal afetlere karşı direnç göstermesini sağlar. Bununla birlikte, camın güvenliği de günümüzde büyük bir önem taşımaktadır. Temperlenmiş veya lamineli cam türleri, çatlama ve kırılma durumlarına karşı ekstra koruma sunarak yapının güvenliğini artırır. Bu durum hem bina sakinlerinin hem de çevredeki insanların güvenliğini sağlarken, kullanıcı konforunu da destekler. Bu yönüyle, çelik ve camın bir arada kullanımı, modern yapılar için hem estetik hem de işlevsel bir avantaj sunar.

- ***Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etki***

Çelik ve cam, geri dönüştürülebilir özellikleriyle sürdürülebilir mimarlık hedeflerine büyük katkı sağlar. Çelik, %100 geri dönüştürülebilir bir malzeme olup, geri dönüşüm sürecinde kalite kaybı yaşanmaz. Bu özellik, çeliği çevre dostu bir seçenek haline getirirken, geri dönüşüm sayesinde doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur ve üretim maliyetlerini düşürür. Çelik geri dönüştürüldüğünde, yeni çelik üretiminde kullanılan enerji miktarı önemli ölçüde azalır, bu da karbon ayak izini azaltarak çevresel etkiyi en aza indirir.

Benzer şekilde, cam da geri dönüştürülebilir bir malzemedir, ancak geri dönüşüm süreci enerji yoğun olabilir. Camın üretimi sırasında karbon ayak izi, özellikle üretim aşamasında yüksek olabilse de geri dönüşüm süreçlerinin yaygınlaşması çevresel etkiyi önemli ölçüde azaltabilir. Camın yüksek ışık geçirgenliği sayesinde iç mekanlarda doğal aydınlatma sağlanarak enerji tüketimi azalır ve yapının genel enerji verimliliği artırılır. Çelik ve camın bu geri dönüşüm özellikleri, sürdürülebilir yaşam alanları yaratılmasına katkı sağlarken, çevresel etkilerin minimize edilmesine olanak tanır.

- ***Akustik Performans***

Camın ses yalıtım özellikleri, özellikle şehir merkezlerinde ve gürültülü ortamlarda bulunan binalar için kritik öneme sahiptir. Akustik cam, iç mekan konforunu artırarak sakin bir yaşam alanı sağlar. Modern ofisler ve konut projeleri, bu özellik sayesinde sesin dışarıdan içeri girmesini minimuma indirgeyerek daha huzurlu bir yaşam ortamı sunar.

Bu durum, kullanıcıların rahatlıkla çalışmasını veya dinlenmesini destekler. Ayrıca, farklı kalınlık ve lamine cam katmanları kullanılarak ses yalıtımı daha da iyileştirilebilir. Özellikle açık plan ofislerde ve yoğun insan trafiğine sahip kamusal alanlarda, akustik camlar iş verimliliğini ve kullanıcı konforunu önemli ölçüde artırmaktadır. Bunun yanı sıra, gürültü kaynaklarının yoğun olduğu havaalanı, tren istasyonu gibi alanlarda da akustik performansın optimize edilmesi, bina içindeki akustik konfor seviyesinin korunmasına katkı sağlar.

- ***Estetik Çeşitlilik***

Çelik ve cam, mimarlara estetik açıdan geniş bir yelpaze sunar. Farklı cam türleri, mimarların yaratıcı tasarım yaklaşımlarını zenginleştirir ve yapının kimliğini belirginleştirir. Camın transparan yapısı, dış mekan ile iç mekan arasındaki görsel bağlantıyı artırırken, çelik yapılar ise keskin ve modern formlarla yapıların görünümünü güçlendirir. Bu kombinasyon, mimarların özgün ve çağdaş tasarımlar ortaya koymasına olanak tanır.

Çelik ve cam, modern mimaride estetik ve işlevselliğin dengeli bir bileşimini sunarak yapılara özgün bir **prestij** kazandırır. Çeliğin sağlamlığı ve esnekliği, cesur ve yenilikçi formların tasarlanmasına olanak tanırken, camın şeffaflığı ve geçirgenliği mekanlar arasında görsel bir bağ kurar. Bu iki malzemenin birleşimi, yapıların hem teknolojik hem de estetik açıdan ileri bir noktada konumlanmasını sağlar. Çelik, ince ve dayanıklı strüktürel elemanlar sayesinde geniş açıklıkların ve minimal formların yaratılmasına imkan tanır; cam ise doğal ışığı optimize ederek iç mekanlarda ferahlık ve şeffaflık hissi uyandırır. Özellikle parametrik tasarım ve ileri üretim teknolojilerinin kullanımı, çelik ve camın entegre edildiği yapılarda sofistike geometrilerin hayata geçirilmesini kolaylaştırır. Bu durum, yalnızca bir yapı malzemesi seçiminin ötesine geçerek, mimari tasarımın bir ifade aracı olarak kullanılmasını ve binalara çağdaş bir kimlik kazandırılmasını sağlar. Bu bağlamda, çelik ve camın estetikle birleşimi, modern yapıların zamansız bir çekiciliğe sahip olmasına olanak tanır.

- ***Teknolojik Gelişmeler***

Üçüncü Sanayi Devrimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının, çevresel kaygılar ve tükenen fosil yakıtlar nedeniyle öncelikli hale geldiği bir dönemdir. Bu süreç, yeşil sanayi devrimi olarak anılan ve teknolojik, enerji temelli, ekolojik ve sosyal dönüşümleri içeren kapsamlı bir değişimi ifade eder. Bu devrimin başarılı olması için yenilenebilir enerjiye geçişin sağlanması, binaların enerji üreten mikro santrallere dönüştürülmesi, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi, kıtalar arası enerji paylaşımına olanak tanıyan ağların oluşturulması ve ulaşımda akıllı, elektrikle çalışan araçların yaygınlaştırılması gibi bir dizi adımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Mimari alanda ise, bu dönemde çelik ve cam gibi sürdürülebilir malzemeler hem enerji verimliliği sağlamak hem de estetik ve fonksiyonel tasarımları desteklemek için öne çıkmıştır. Bu malzemeler, doğal ışık kullanımını artırarak enerji tüketimini azaltırken, modern mimaride dönüştürücü bir rol üstlenmiştir. Akıllı cam sistemleri, bina yönetim sistemleri ile entegre edilerek enerji verimliliğini artırma kapasitesine sahiptir.

1980'lerde teknolojinin mimarlık alanındaki ilerlemeleriyle, enerji verimliliği sağlamak ve doğal kaynakları daha az kullanmak amacıyla **"akıllı bina"** konsepti ortaya çıkmıştır. Bu binalar, otomasyon sistemleriyle enerji tüketimini optimize ederken kullanıcı konforunu korur ve değişen ihtiyaçlara uyum sağlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendiren ve işletme maliyetlerini azaltan bu yapılar, sürdürülebilirlik ve ekonomik geri dönüş sunan modern çözümler olarak öne çıkar. Çelik ve cam malzemelerinin bir arada kullanımı, akıllı bina konseptinde estetik, işlevsellik ve enerji verimliliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Çelik, yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı sayesinde büyük açıklıklar ve karmaşık formların tasarlanmasına olanak tanırken, cam şeffaflık ve doğal ışık geçirgenliği ile modern mimaride vazgeçilmez bir unsurdur.

- ***Mekansal Etkileşim***

Camın şeffaf yapısı, iç ve dış mekan arasındaki etkileşimi artırarak çevresel estetik ile yapı arasında bir köprü kurar. Bu, kullanıcıların doğayla ve dış çevreyle daha iyi bir bağlantı kurmasına olanak tanır. Özellikle ofis binalarında, doğal ışığın içeri alınması ile

çalışanların motivasyonu ve verimliliği artar. Mekanlar arasındaki bu akış, kullanıcı deneyimini zenginleştirir ve yaşam alanlarını daha dinamik hale getirir.

Çelik ve camın bir arada kullanımı modern mimaride birçok avantaj sunarken, bazı **dezavantajları** da beraberinde getirmektedir. Öncelikle, camın ısı yalıtımı konusunda zayıf bir malzeme olması, iç mekanların sıcaklık kontrolünü zorlaştırabilir; bu da enerji verimliliğini olumsuz etkileyerek ek ısıtma veya soğutma ihtiyaçlarına yol açabilir. Ayrıca, cam yüzeylerin kırılma riski, özellikle doğal afetler veya güçlü rüzgarlardan kaynaklanan güvenlik endişeleri doğurur. Bu durum, güvenliğin artırılması için ek tedbirler almayı gerektirirken, maliyetleri de artırabilir.

Bakım ve temizlik gereksinimleri de dikkate alınması gereken bir diğer dezavantajdır. Cam yüzeyler, dış etkenlere maruz kaldıklarında düzenli olarak temizlenmeli, bu da hem iş gücü hem de maliyet açısından ek yük getirebilir. Bununla birlikte, büyük cam yüzeyler, aşırı güneş ışığını kontrol etmeyi zorlaştırabilir ve iç mekanlarda rahatsız edici ısı artışlarına yol açabilir.

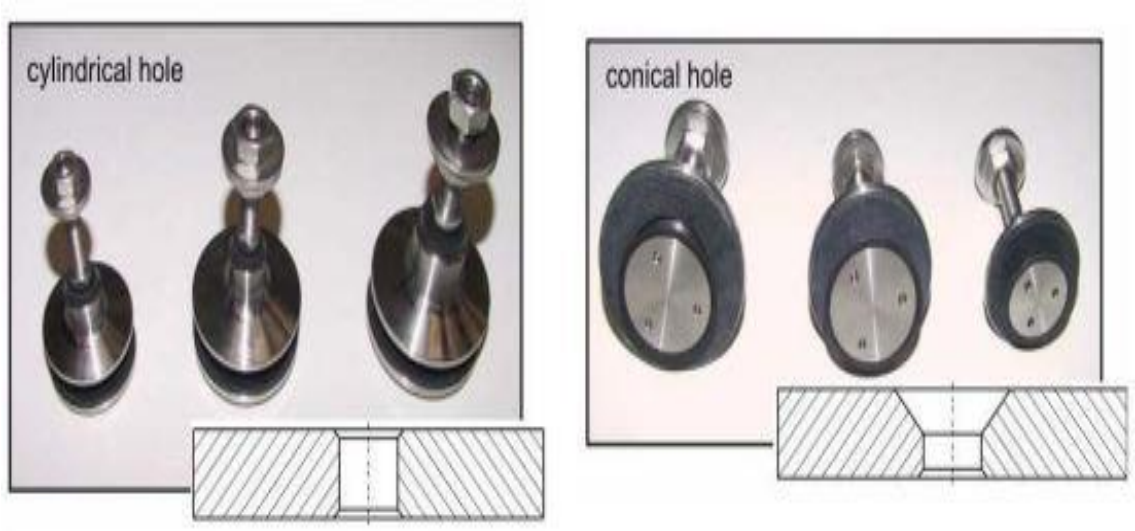
Ayrıca, çelik ve camın kullanımı genellikle yüksek maliyetler gerektirir; kaliteli malzemelerin yanı sıra özel inşaat teknikleri de maliyetleri artırır. Ses yalıtımı açısından camın zayıf olması, gürültülü ortamlarda konforu olumsuz etkileyebilir. Son olarak, cam yüzeylerin dış etkenlere maruz kalması, görünümün bozulmasına neden olabilir. Tüm bu dezavantajlar, çelik ve cam kombinasyonunun planlanması aşamasında dikkate alınmalı ve uygun tasarım çözümleriyle minimize edilmelidir.

Çelik ve Cam Malzemenin Birleşimi

Çelik ve camın birleşim noktalarındaki mühendislik zorlukları, modern mimaride sıklıkla karşılaşılan bir konu olup, bu malzemelerin birbirleriyle entegrasyonu yüksek hassasiyet gerektirir. Cam, hafif ve şeffaf bir malzeme olarak genellikle çelik çerçevelerle desteklenir. Ancak bu birleşim noktalarında karşılaşılan ana zorluk, her iki malzemenin farklı fiziksel özelliklere sahip olmasıdır: çelik, yüksek dayanıklılığa ve esnekliğe sahipken, cam kırılgan ve hassastır. Bu nedenle, cam panellerin çelik çerçevelere güvenli bir şekilde bağlanabilmesi için özel bağlantı sistemleri ve donanımlar gereklidir.

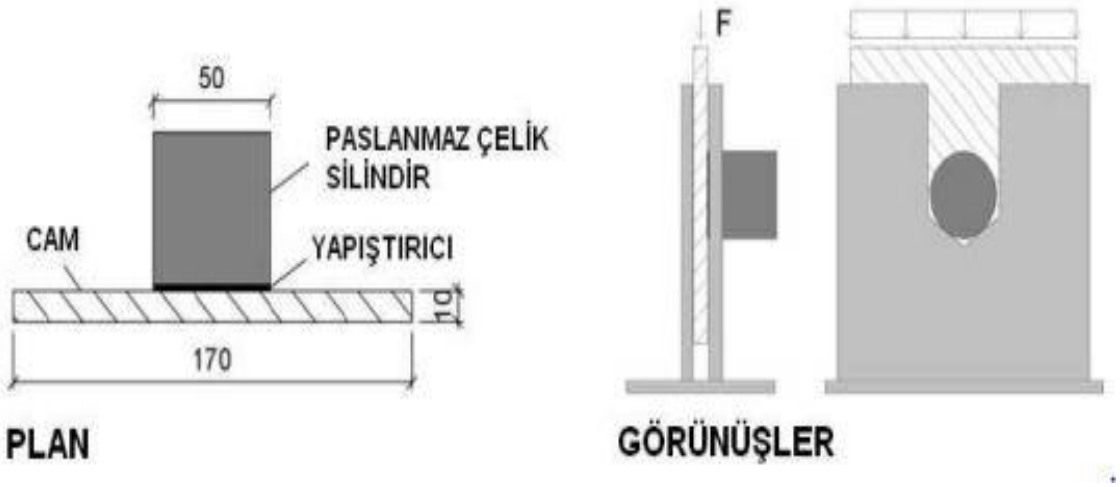
Çelik ve cam arasındaki birleşim, **metal montaj elemanları**, **cam klipsleri**, **bağlantı köşeleri** ve **özel vidalar** gibi bileşenlerle yapılır.

Bulonlu birleşimler, çelik ve cam arasındaki bağlantıların sağlanmasında yaygın olarak kullanılır. Bu noktada, genellikle silindirik veya konik bulonlar tercih edilir. Bu tür birleşimler, noktasal birleşim olarak adlandırılır ve çelik ile camın güvenli bir şekilde bir araya gelmesini sağlar.



Şekil 3.1.1. Çelik–cam birleşimlerinde kullanılan bulon türleri. (Öztürk, 2008)

Bir diğer önemli yöntem ise yapıştırıcılı ve silikonlu birleşimlerdir. Bu yöntemlerde, cam ile çelik arasındaki bağlantı, genellikle epoksi ve akrilik esaslı yapıştırıcılar veya yapısal silikon kullanılarak sağlanır. Yapıştırıcılar, çevresel etmenler ve yük değişimleriyle birlikte, yapısal değişimlere neden olabilir. Bu nedenle, yapıştırıcı malzemenin yük taşıma kapasitesi ve çevresel etkilere dayanıklılığı, birleşimin sürekliliği açısından kritik rol oynar. Yapıştırıcı teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, hibrit sistemlerde giderek daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Özellikle cam ve çelik birleşimlerinde, bu sistemler çeliğin çekme, camın ise basınçla çalışan elemanlar olarak görev yapmasını sağlar.



Şekil 3.1.2. Çelik ve camın yapıştırıcıyla birleştirilmesi (Öztürk, 2008)

İkincil elemanlarla birleşimlerde, genellikle köşebentler veya gelişmiş bulon sistemleri kullanılır. Bu tür birleşimler, cam elemanların çelik taşıyıcılarla güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlar. Ayrıca, çelik ile camın birlikte kullanıldığı bir diğer uygulama da transparan uzay kafes sistemleridir. Bu sistemlerde, cam paneller çevresel yükleri taşıyan birincil eleman olarak kullanılır. Cam, kar, yağmur ve rüzgar gibi etmenlerin etkisiyle yükleri alır ve çelik çubuklarla oluşturulmuş uzay kafesine iletir. Bu uygulamalarda, cam paneller, özel yapım köşe elemanlarıyla çelik çubukların birleşim noktalarına bağlanır.



Şekil 3.1.3. Transparan uzay kafes ve modüllerin birleştirilmesi (Öztürk, 2008)

Çelik ve cam malzemenin birleşiminde kullanılan bir diğer yenilikçi yöntem, **çelik halatlı cam cephe sistemleridir**. Bu sistemler, çeliğin yüksek çekme dayanımı ile camın şeffaflığını bir araya getirerek estetik ve fonksiyonel çözümler sunar. Çelik halatlar, cam panellerin taşıyıcı sistemle bağlantısını sağlarken, aynı zamanda minimum görsel etkiyle maksimum açıklık geçmeye olanak tanır. Çelik halatlı sistemlerde, halatlar genellikle cam panellerin arkasına yerleştirilir ve gerginlik altında çalıştırılır. Bu halatlar, yalnızca cam panellerin sabitlenmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda rüzgar, deprem gibi yatay yüklerin taşınmasında da görev alır. Bu yapıların temel avantajlarından biri, hafiflik ve dayanıklılığın yanı sıra cam yüzeylerin homojen ve kesintisiz bir görünüme sahip olmasıdır.

Çelik halatlı sistemlerin estetik ve işlevselliği bir araya getirdiği bu tür uygulamalara İstanbul Beyoğlu'ndaki **Yapı Kredi Kültür Sanat Binası** örnek verilebilir. Binanın cephesinde kullanılan çelik halatlı cam sistemleri, şeffaflık ve modernlik kavramlarını öne çıkararak hem iç mekanların doğal ışıkla aydınlanmasını hem de çevreyle görsel bir bağ kurulmasını sağlamaktadır. Bu uygulama, tarihi bir dokunun içinde çağdaş bir mimari çözüm sunmasıyla dikkat çekmekte ve çelik halatlı cam cephelerin farklı bağlamlardaki esnekliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.1.4. Yapı Kredi Kültür Sanat Binası (Eyüce, 2020)

Bu tekniklerin kullanımı, çelik ve camın birleşim noktalarındaki estetik, dayanıklılık ve fonksiyonel gereksinimleri karşılamak için sürekli olarak gelişmektedir. Çelik ile cam arasında hibrit sistemlerin kullanımı, yapıların hem görsel hem de yapısal açıdan güçlü ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır. Bu birleşim yöntemleri, mimarinin yanı sıra mühendislik açısından da önemli bir rol oynar ve modern yapılar için yenilikçi çözümler sunar. Çelik ve cam malzemelerin bir arada kullanımı, modern mimarinin dinamik ve sürdürülebilir bir yönünü temsil etmektedir. Bu malzemelerin teknolojik gelişmelerle entegre edilmesi, mimarların daha cesur ve yenilikçi tasarımlar ortaya koymalarına olanak tanımaktadır. Çelik, yapısal dayanıklılığı ve esnekliği ile mekanların güvenliğini sağlarken; cam, doğal ışık ve dış çevre ile bütünleşme hissi yaratmasıyla iç mekanları zenginleştirmektedir.

Çelik ve cam mimarisi hem estetik hem de işlevsellik açısından çağdaş yaşamın gereksinimlerine cevap veren, yenilikçi ve çevre dostu çözümler sunarak, mimari tasarımın geleceğine yön vermektedir. Bu anlayış, mimarların sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda tasarım yapmalarını sağlarken, yapılarının çevre ile olan ilişkisini de güçlendirmektedir. Böylece, çelik ve camın bir arada kullanılması, modern mimarinin evriminde önemli bir yere sahip olmaya devam etmektedir.

3.1.1. Çelik ve Camın Bir Arada Kullanımının Tarihçesi

Çelik ve cam malzemelerin mimari mekan üretimindeki kullanımı, sanayi devrimleriyle paralel olarak önemli bir evrim geçirmiştir. Endüstri 1.0 döneminde, buhar gücü ve mekanizasyonla birlikte üretim süreçleri hız kazanmış, demir ve çelik gibi malzemelerin üretimi yaygınlaşmıştır. Demirin işlenebilirliği sayesinde çelik, dayanıklılığı ve hafifliğiyle mimaride yerini sağlamlaştırmıştır. Çelik, büyük açıklıkların tasarımına olanak tanıyarak endüstriyel yapılar, köprüler ve geniş hacimli mekanlarda tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir.

Endüstri 2.0 ile elektriğin yaygınlaşması ve seri üretim tekniklerinin gelişmesi, çelik ve camın daha verimli bir şekilde üretilmesini sağlamıştır. Bu dönemde, montaj hatları sayesinde mimarlar, çelik çerçevelerle desteklenen daha büyük cam paneller kullanma fırsatı elde etmiştir. Bu durum hem yapısal sağlamlığı hem de estetik özgürlüğü

artırmıştır. Endüstri 3.0'ın getirdiği dijitalleşme ve otomasyon, çelik ve camın üretim ve tasarım süreçlerinde devrim yaratmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojileri, bu malzemelerin hassas bir şekilde işlenmesine olanak tanımış ve mimarların yenilikçi projeler geliştirmesini kolaylaştırmıştır. Özellikle geniş cam cepheler ve karmaşık çelik strüktürler bu dönemde yaygın hale gelmiştir.

Endüstri 4.0 ile siber-fiziksel sistemlerin, büyük veri ve loT teknolojilerinin inşaat sektörüne entegrasyonu, çelik ve cam malzemelerin daha akıllı ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Akıllı cam teknolojileri, enerji tasarrufu sağlarken, çelik strüktürler, parametrik tasarımla desteklenerek yüksek performanslı ve çevre dostu yapılar oluşturulmasına imkan tanımıştır. Çelik ve camın bir arada kullanımı, her bir sanayi devriminin yenilikçi katkılarıyla birlikte evrilmiş ve modern mimaride önemli bir yer edinmiştir. Geniş açıklıkların yanı sıra, doğal ışığın iç mekanlara yönlendirilmesi ve çevreyle güçlü bir görsel bağ kurulması, bu iki malzemenin uyumlu birlikteliğinin mimarlık alanındaki değerini kanıtlamaktadır.

Cam ve çeliğin teknolojik gelişimi, tarih boyunca mimari ve endüstriyel ilerlemelerin temel taşlarından biri olmuştur. Cam, ilk olarak M.Ö. 3000'lerde Mezopotamya veya Mısır'da dekoratif amaçlarla keşfedilmiş, ardından M.S. 1. yüzyılda Romalılar tarafından mimari yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Orta Çağ'da silindir tekniği gibi üretim yöntemleri geliştirilmiş ve 1688 yılında Louis Lucas tarafından ayna cam tekniği icat edilerek daha büyük cam levhaların üretimi sağlanmıştır. 1851 yılında Kristal Saray gibi yapılar, cam ve çeliğin birlikte kullanımına dair öncü örnekler sunarken, 1910'da Hallidie Binası ilk cam cephe giydirme binası olarak mimari tarihine geçmiştir. 1952'de Alistair Pilkington'un seri cam üretim yöntemi ile modern inşaat projelerinde cam kullanımı daha ekonomik ve yaygın hale gelmiştir. 20. yüzyıl boyunca cam üretiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiş, 1949 yılında ilk çok katmanlı cam sistemleri geliştirilmiş ve 1960 yılında kaplamalı camlar mimari bir ürün olarak piyasaya sürülmüştür. Çelik üretimi açısından, özellikle Henry Bessemer'in 1856'da çelik üretim yöntemini bulmasıyla inşaat sektöründe çeliğin kullanımı artmış, Siemens Martin ve Thomas gibi farklı üretim yöntemleri geliştirilerek daha dayanıklı yapısal elemanlar üretilmiştir. Linz-Donawitz ve Elektrik ark fırını yöntemi ile birlikte çelik, sanayi çağından bugüne kadar mimarinin vazgeçilmez bir yapı taşı haline gelmiştir. Günümüzde Apple Park gibi projelerde

dünyanın en büyük kavisli cam panelleri kullanılarak çelik ve camın entegrasyonu en üst seviyeye taşınmış, Endüstri 4.0'ın getirdiği akıllı üretim sistemleri ile cam ve çelik yapıların sürdürülebilirliği ve insan odaklı tasarımı ön plana çıkmıştır.

Bu gelişimlerin ayrıntıları ve tarihsel ilerlemeleri, **Çizelge 3.1.'de** özetlenmiştir.

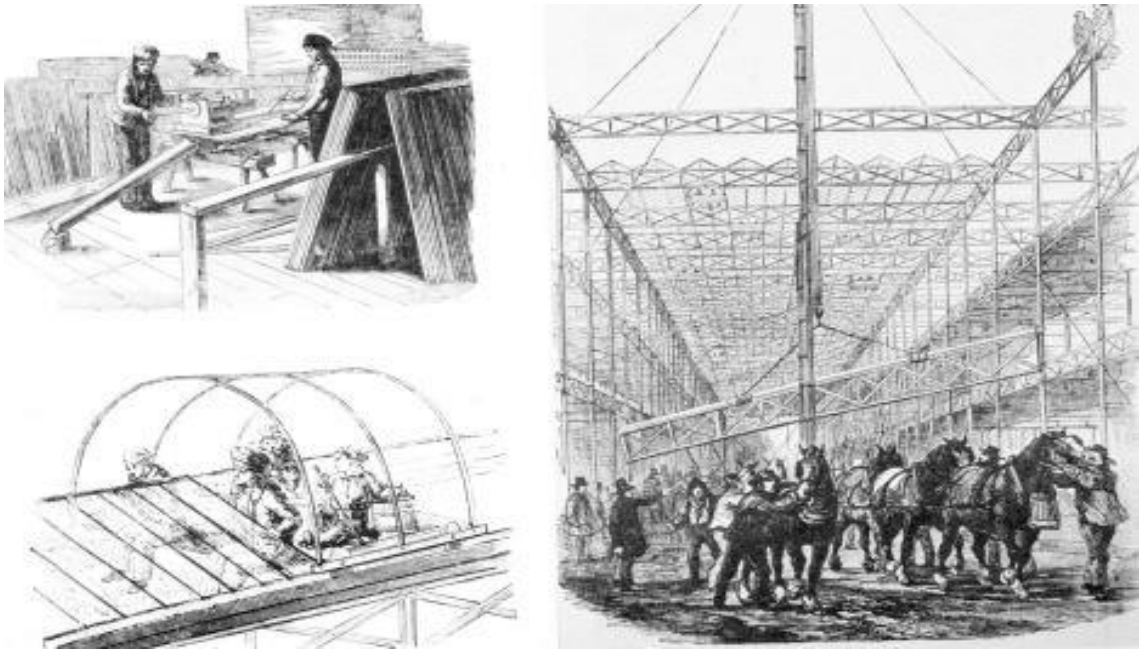
Çizelge 3.1. Çelik ve Cam Malzemenin Tarihsel Gelişimi Zaman Çizelgesi

Çelik ve Camın Tarihsel Gelişimi		Önemli Yapılar	
Camın bulunması	M.Ö. 3000		
Demirin bulunması	M.Ö.7.yy	M.Ö.6.yy	Yapı taşlarını bağlamak demirden pim ve kenet kullanımı
		M.S. 1.yy	Romalılar tarafından mimaride ilk cam kullanımı
Silindir Tekniği ile cam üretimi başlamıştır.	M.S.13.yy		
İngilterede ham demir ve fon demir üretilmiştir.	18. yy		
Bernard Perrot Plaka Cam Yöntemini icad etti	1687		
Louis Lucas Ayna Cam Tekniği 152x249 cm cam levha üretimi	1688		
1760- Endüstri 1.0 Mekanizasyon,Su ve buhar gücü			
		1778	Coalbrookdale Köprüsü, Fon kullanılarak yapılan ilk yapı
Henry Cort - Pudlalama Tekniği ile dövme çelik üretimi	1784	1846	Brittannia Köprüsü, İlk dövme çelikle üretilen yapı
		1851	Crystal Palace, Silindir tekniği ile üretilen camlar kullanılmıştır.
Henry Bessemer Çelik Üretim Yöntemi	1856		
Siemens Martin Çelik Üretim Yöntemi	1860		
		1876	Disherington Flax Mill, İlk çelik karkas bina
Thomas Çelik Üretim Yöntemi Friedrich Siemens rejeneratif fırını icat etti	1878	1883	Brooklyn Köprüsü, Bessemer çeliğiyle yapılmıştır
		1885	Home Insurance Building, Dünyanın ilk gökdeleni
Herreout (Elektrik Ark Fırını) Çelik Üretim Yöntemi	1889	1889	Eiffel Kulesi, Demir çağının simgesi
1900 - Endüstri 2.0 Seri üretim, Elektrik, Montaj Hattı			
Edouard Benedictus 'Triplex' cam icat etti	1910	1910	Hallidie Binası İlk cam cephe giydirme binası
		1931	Empire State Döneminin en yüksek binası
İlk çok katmanlı cam sistemlerinin elde edilmesi	1949		
Linz-Donawitz (Bazik Oksijen) Çelik Üretim Yöntemi Alistair Pilkigton yöntemi ile seri cam üretimi	1952	1958	Seagram Building Döşemeden tavana kadar cam kaplama
Kaplama cam ilk kez mimari ürün olarak piyasaya sürüldü	1960		
1970 - Endüstri 3.0 İnternet, Bilgisayar, Otomasyon			
2000 - Endüstri 4.0 Akıllı üretim, Siber-fiziksel sistem, IoT.			
		2017	Apple Park, Dünyanın en büyük kavisli cam panelleri
2020 - Endüstri 5.0 İnsan odaklılık, sürdürülebilirlik			

Bu çalışmada çelik ve camın mimaride bir arada kullanımı öncelikle, dünya çapındaki Expo (Exposition) Dünya Fuarı organizasyonları aracılığıyla dikkat çekici örneklerle sergilenmiştir. Bu fuarlar, yenilikçi tasarım anlayışları ve malzeme kullanımlarıyla mimari gelişimi destekleyen önemli platformlar olarak öne çıkmıştır. Özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısında endüstrinin hızla gelişmesiyle birlikte düzenlenen endüstri sergileri, yaratıcı mimari için değerli fırsatlar sunmuştur. Modern endüstriyle paralel bir şekilde, bu sergiler hem yeni malzeme ve teknolojileri tanıtırken hem de mimari yeniliklerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Ticaret ve teknolojiyi bir araya getirme amacı taşıyan bu etkinlikler, aynı zamanda mimari fikir alışverişine de zemin hazırlamıştır.

Kristal Saray

1851'de Londra'da düzenlenen ilk Dünya Fuarı kabul edilen Büyük Sergi için inşa edilen ve mimarlık tarihinin en önemli yapılarından biri olarak kabul edilen **Kristal Saray** (Şekil 3.1.5.), cam ve çelik tanışıklığının ilk ve en etkileyici örneğidir. Joseph Paxton tarafından tasarlanan bu yapı, tamamen cam ve çelikten yapılmıştır. Yüksek yapısı ve geniş açıklıkları sayesinde, sanayi devriminin sunduğu yeniliklerin sergilendiği bir alan oluşturmuştur. 70.000 m² inşaat 9 ay gibi kısa bir zamanda bitirilmiştir. Bu yapıda her şey baştan aşağı endüstriyel olarak üretilmiş ve standartlaşmaya gidilmiştir.



Şekil 3.1.5. Kristal Saray'ın kurulum aşamalarından görüntüler (Hix, 1974)

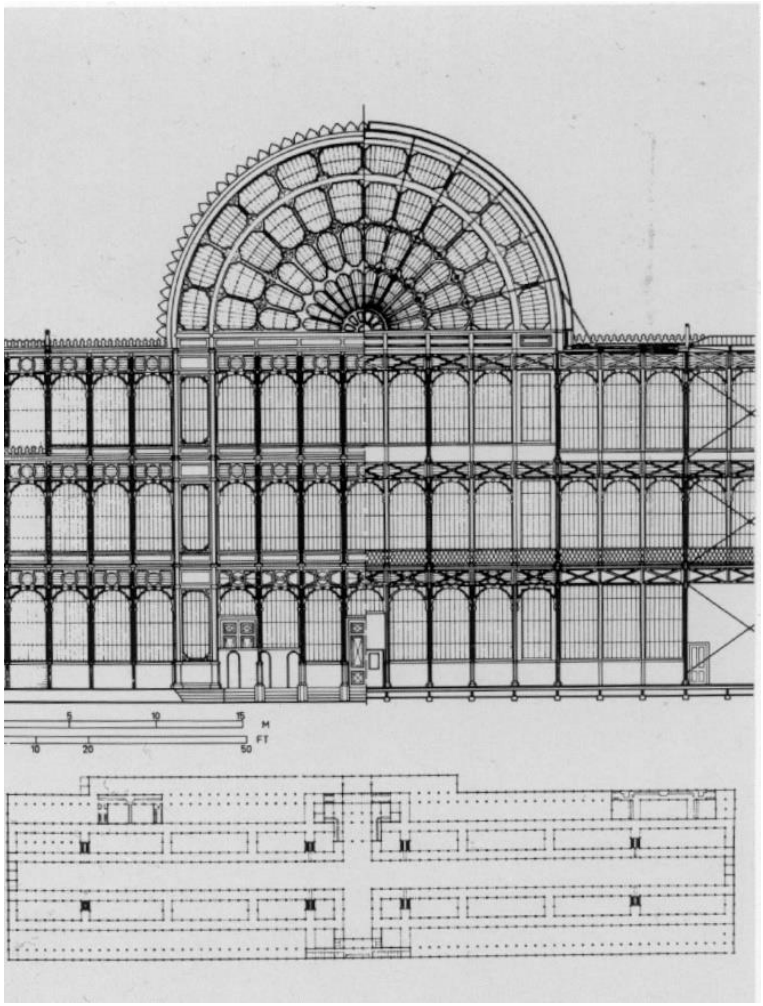
Yapıda, 84.000 m² cam, 6024 adet dökme demir kolon ve 1245 adet dövme demir kiriş kullanılmıştır. (Bergdoll, 2000). Kristal Saray, 14,6 metrelik aralıklarla yerleştirilmiş dökme demir kolonlarıyla birlikte büyük bir alanı (563,3 metre x 124,4 metre) kaplıyordu ve o zamana kadar cam ve demirden yapılmış en büyük yapıydı (Roth, 1993).



Şekil 3.1.6. Kristal Saray'ın 1851'de iç mekanı (Giedion, 1954).

Bir "hava kabarcığı" formunda olan binanın yanal rüzgar basıncına dayanabilmesi için ise strüktürün üst bölümünde dövme demirden diyagonal çubuklarla çapraz bağlamalar kullanılmıştı (Roth, 1993). Kristal Saray'ın önemi, küçümsenmeyecek statik problemlerin çözümlenmesinde, prefabrikasyon yöntemlerinin yeniliğinde, yeni teknik buluşların uygulanması ile teknik araçlar ve yapıya kazandırılan tasarım ve anlatım arasındaki ilişkilerde yatmaktadır (Benevolo, 1960).

Kristal Saray, yalnızca dönemin teknolojik ve mühendislik başarılarını yansıtan bir yapı olmakla kalmamış, aynı zamanda mimarlıkta estetik ve işlevselliğin nasıl bir araya getirilebileceğini göstermiştir. Gün ışığını iç mekâna doğal bir şekilde taşıyan geniş cam yüzeyleri ve zarif demir strüktürü, sanayi devriminin doğaya karşı değil, doğayla uyum içinde kullanılabileceğinin bir sembolü haline gelmiştir.



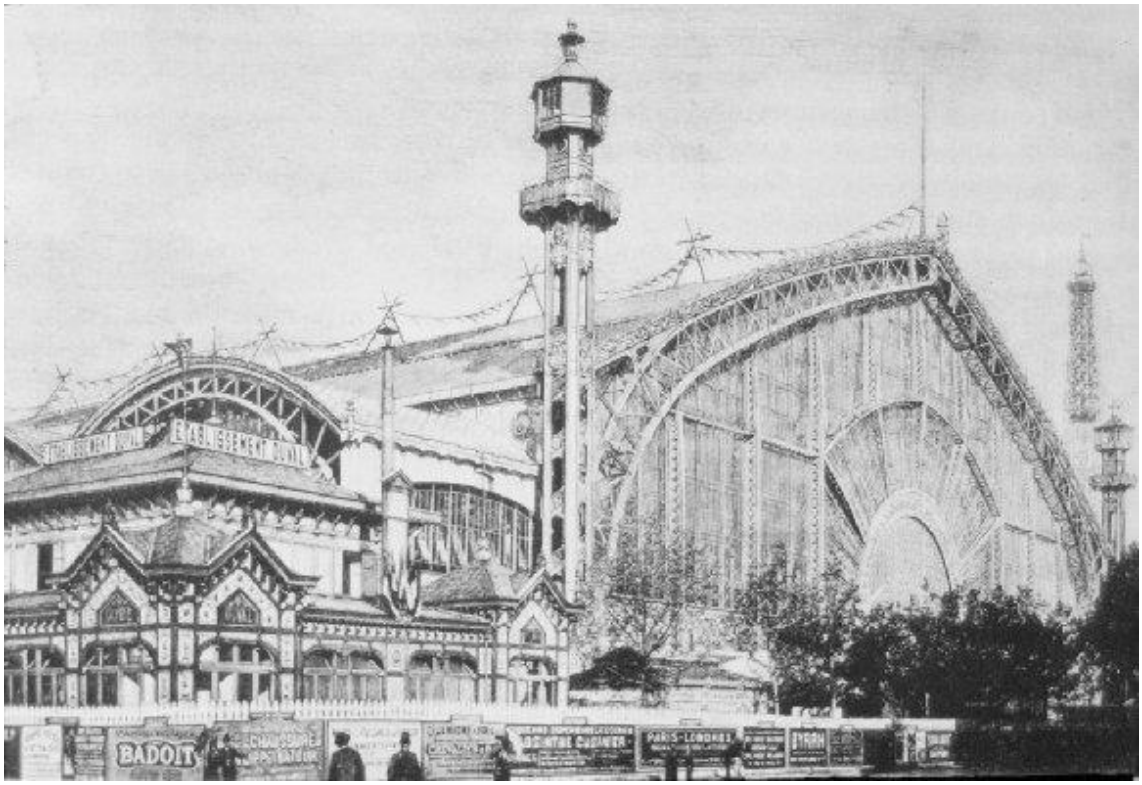
Şekil 3.1.7. Kristal Saray Görünüş ve Zemin Kat Planı (Merin, 2013)

Kristal Saray, standartlaşma ve seri üretimin inşaat sektöründeki potansiyelini gözler önüne sererken, aynı zamanda prefabrikasyonun modern mimarlık için nasıl bir yol haritası çizebileceğini göstermiştir. Kristal Saray, aynı zamanda sanayi devriminin getirdiği olanakların mimariyle nasıl harmanlanabileceğini gösteren bir dönüm noktasıdır. Standartlaşma, prefabrikasyon ve yenilikçi tekniklerin başarılı bir şekilde uygulanması, bu yapıyı modern mimarlığın temel taşlarından biri haline getirmiştir.

Galerie des Machines

Expo sergilerinin özellikle de mimarlık bakımından en önemlilerinden biri, hiç kuşkusuz, Fransız ihtilali'nin 100. yıldönümünü de kutlamak amacıyla açılan, 33 milyon kişinin gezdiği **1889 Paris** Sergisiydi. Bu serginin simgesi 310 m yükseklikteki ünlü Eiffel Kulesi'dir.

Diğer önemli yapısı ise 115 m serbest açıklıklı bir çatıyla örtülen **Galerie des Machines** (Makinalar Galerisi) adlı yapıdır. (Hasol, 1996) Bu yapı, büyük ölçekli çelik kemerleri ve cam yüzeyleriyle dikkat çeker. Geniş açıklıklı mekanlar yaratmak için çelik ve camın birleşiminin nasıl kullanıldığını gösteren önemli örneklerden biridir.

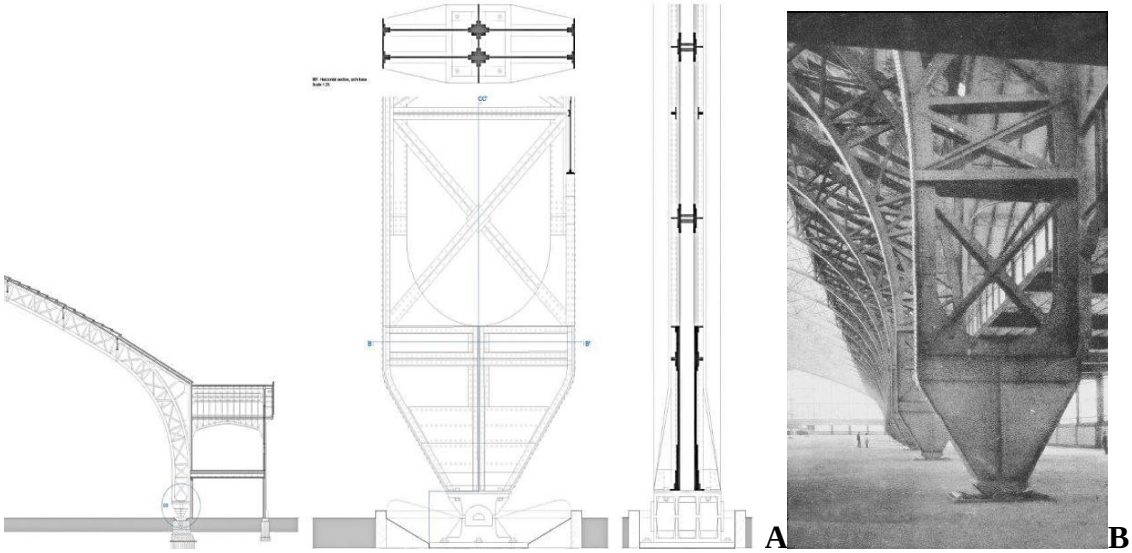


Şekil 3.1.8. Galerie des Machines – EXPO 1889 (Structurae, 2000**A**)

Galerie des Machines, 1889 Dünya Fuarı'nın öne çıkan mimari yapılarından biri olarak çelik ve camın yenilikçi kullanımıyla inşa edilmiştir. Paris'teki bu yapı, dönemin endüstriyel gücünü ve mühendislik başarılarını sergileyen bir mekan olarak tasarlanmıştır.

Yapının mimarı Charles-Louis Ferdinand Dutert, mühendis ise Victor Contamin'dir. Galerie des Machines, özellikle geniş açıklıkları destek elemanları olmadan kapatma konusundaki başarısıyla dikkat çekmiştir.

Yapının teknik özellikleri, boyutları ve kullanılan malzemeleri, sanayi devriminin inşaat teknolojileri üzerindeki etkisini göstermektedir. Galeri, 111 metre genişliği ve 420 metre uzunluğuyla devasa bir alanı kaplamış, 45 metrelik yüksekliğiyle döneminin mühendislik sınırlarını zorlamıştır. Çelik kafes sistemi, strüktürel sağlamlık sağlarken, geniş cam panellerle kaplanan tavan doğal ışığın bolca içeri girmesine olanak tanımıştır. Bu kombinasyon, yapının işlevsellik ve estetik açısından dönemine öncülük etmesini sağlamıştır.



Şekil 3.1.9. Galerie des Machines Detayları
A) Kesit Detayı (Rognoni, Bitetti, Maranelli, 2023) **B)** Kolon Detay (Structurae, 2000**B**)

Galerie des Machines, iç mekandaki kolonların olmaması sayesinde kesintisiz bir sergi alanı sunmuş ve geniş makine sergileri için ideal bir mekan olmuştur. O dönemde endüstriyel makinelerin sergilenmesi için kullanılan bu yapı, sanayi devriminin gücünü ve potansiyelini somut bir şekilde temsil etmiştir. Geniş açıklıkları kapatma tekniği, mimar ve mühendislerin yenilikçi yaklaşımını ortaya koymuştur.



Şekil 3.1.10. Galerie des Machines iç görünüş (Riba, 1889)

Yapının çelik ve camın bir arada kullanımıyla ortaya çıkardığı estetik ve mühendislik başarısı, modern mimarinin gelişimine ilham vermiştir. Dış cephenin şeffaf ve zarif görünümü, iç mekanda doğal ışık kullanımıyla birleşerek mekana çağdaş bir his kazandırmıştır. Bu yaklaşım, 20. yüzyılın mimari anlayışına temel oluşturmuştur. Ancak, yapı 1910 yılında yıkılmış ve günümüzde yalnızca tarihsel belgeler ve çizimlerle incelenebilir hale gelmiştir.

Galerie des Machines, mimarlık tarihinin önemli dönüm noktalarından biri olarak, estetik, işlevsellik ve mühendisliğin nasıl birleştirilebileceğini göstermiştir. Yapı, endüstriyel devrimin mimarideki yansımasını sergileyerek, geniş ölçekli yapıların nasıl tasarlanıp inşa edilebileceğine dair çığır açıcı bir örnek sunmuştur.

Barcelona Pavyonu

1929 yılında gerçekleştirilen Uluslararası Barcelona Sergisi için tasarlanan **Barcelona Pavyonu**, modern mimarinin önemli bir örneği olarak Ludwig Mies van der Rohe tarafından inşa edilmiştir. Pavyon, minimalist ve işlevselliği ön plana çıkaran bir yapı olmuştur. Yapı, zamanının ötesindeki tasarımı ve kullanılan malzemelerle dikkat çekmiştir.



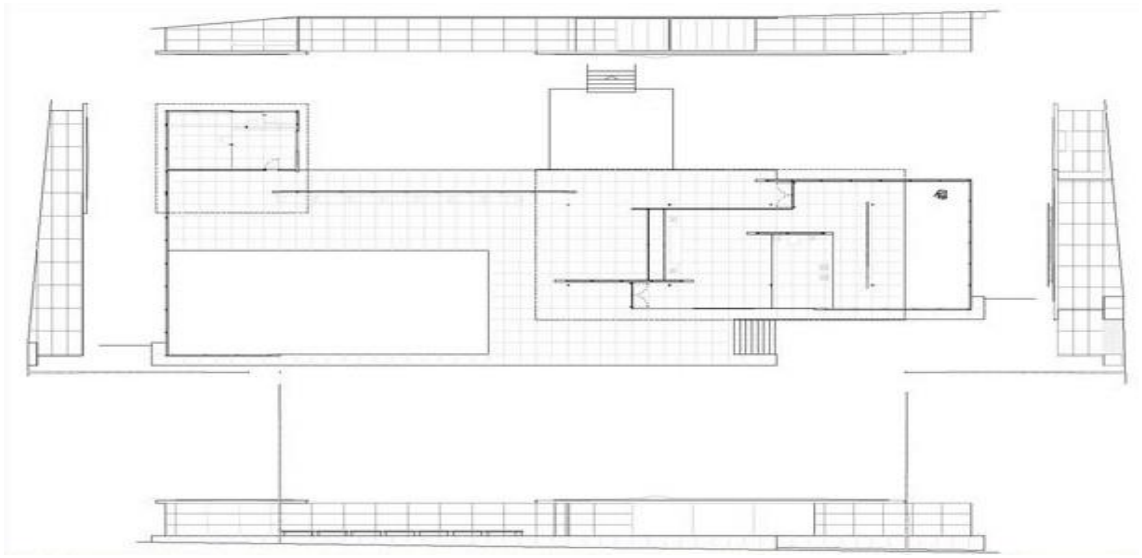
Şekil 3.1.11. Barcelona Pavyonu -EXPO 1929 (Zuleta, 2023)

1600 m² taban alanı ve 7 metre yüksekliği bulunan Barcelona Pavyonu, sahip ve ince çelik sütunlarla desteklenen düz bir çatıya sahiptir. Serbest plan ile tasarlanan bu yapı, geleneksel yapı anlayışından farklı olarak duvarları taşıyıcı eleman olmaktan çıkararak mekansal özgürlük sağlar. Duvarlar serbestçe yerleştirilmiş, böylece iç mekan ile dış mekan arasında bir akış yaratılmıştır. Cam, mermer ve çeliğin birlikte kullanımı hem lüks hem de modern bir görünüm sağlamıştır. Yapıda, farklı türde doğal taşlar kullanılmıştır. Altın oniks, traverten ve yeşil mermer gibi malzemeler, binanın estetik ve geometrik düzenini güçlendirmiştir. Cam duvarlar ise dışarıdan gelen ışığı mekana taşıyarak şeffaflık ve ferahlık hissi yaratmıştır.



Şekil 3.1.12. Barcelona Pavyonu iç görüşünüş (Zuleta, 2023)

Pavyon, bir sergi alanından ziyade bir karşılama ve dinlenme mekanı olarak tasarlanmıştır. İç mekan, özel olarak üretilmiş mobilyalar ve bir heykel ile tamamlanmıştır. Özellikle, Georg Kolbe'nin "Şafak" adlı heykeli ve Mies van der Rohe tarafından tasarlanan ikonik Barcelona Sandalyesi, yapının dikkat çeken unsurlarındandır. Su havuzları ve yansıtıcı yüzeyler, mekanı hem estetik hem de duyusal bir deneyim haline getirmiştir.

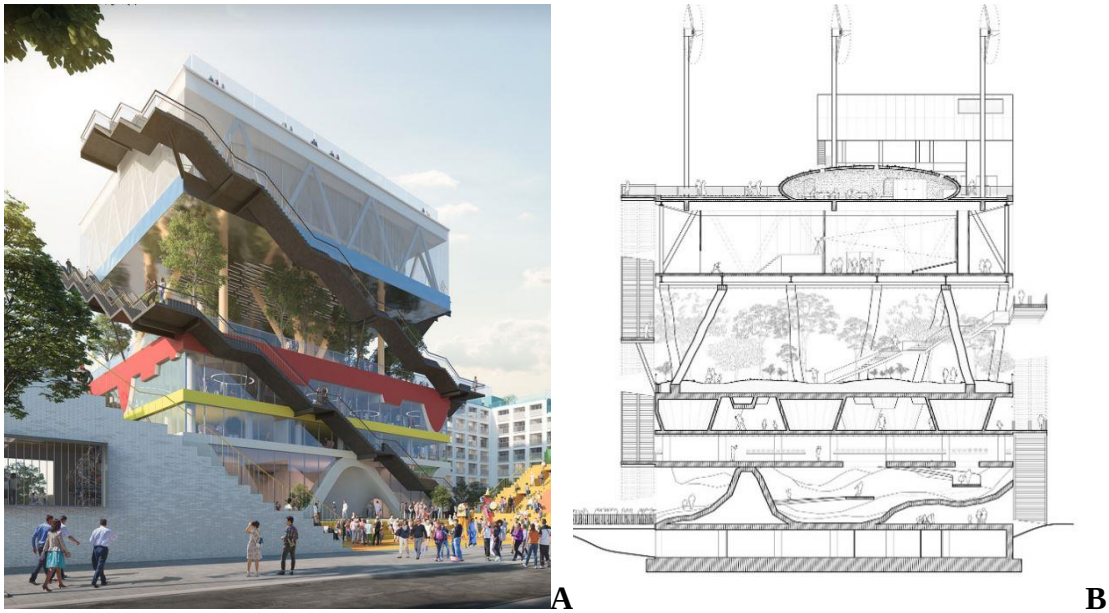


Şekil 3.1.13. Barcelona Pavyonu Plan (Zuleta, 2023)

Pavyon, 1930 yılında sergi sonrasında yıkılmış; ancak 1980'lerde yapılan araştırmalarla yeniden inşa edilmiştir. Bugün, modern mimarinin ikonik bir örneği olarak yerinde ziyaret edilebilmektedir ve mimarlık dünyasında önemli bir referans noktasıdır. Barcelona Pavyonu, minimalizm, malzeme kullanımı ve mekansal özgürlük gibi unsurlarla modern mimarinin temel prensiplerini yansıtan öncü bir yapıdır.

Hollanda Pavyonu

Hannover'deki EXPO 2000 için inşa edilen pek çok pavyon, modern çelik ve cam teknolojilerinin kullanıldığı yapılar arasında yer alır. Özellikle Hollandalı mimar Rem Koolhaas tarafından tasarlanan **Hollanda Pavyonu**, cam cepheleri ve çelik konstrüksiyonu ile dikkat çeken bir yapıdır. Doğaya duyarlı bir tasarım olan bu pavyon, camın ışık geçirgenliği ve çeliğin taşıyıcı rolünü başarılı bir şekilde birleştirmiştir. Pavyon, sürdürülebilirlik, çevresel denge ve doğayla uyumlu mimarinin önemli bir örneği olarak dikkat çekmektedir. Tasarım, Hollanda'nın yenilikçi ve çevre dostu teknolojilerini vurgulamayı amaçlamaktadır. Pavyon, Hollanda'nın tarım ve su yönetimi konusundaki uzmanlıklarını sergileyen bir "gölgeleme" yapısı sunar.



Şekil 3.1.14 Hollanda Pavyonu - EXPO 2000
A) Pavyon Görünüş (Baldwin, 2020) **B)** Pavyon Kesit (MVRDV, Tarih yok)

3000 m² yapı alanı ve 20 metre yüksekliği bulunan Hollanda Pavyonu'nun yapısında çelik, güçlü ve dayanıklı bir iskelet sistemi oluşturmak için kullanılmıştır. Çelik, pavyonun büyük açıklıklarını geçmesine ve esnek, hafif yapılar oluşturmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca, çelik malzeme binanın taşıyıcı sisteminde temel bir rol oynar, çünkü bu malzeme hem estetik açıdan modern bir görünüm sunar hem de yapısal bütünlüğü sağlar. Çelik, çevresel koşullara karşı yüksek dayanıklılık gösterdiği için dış yapının uzun ömürlü ve sürdürülebilir olmasına da katkıda bulunur.

Pavyonun tasarımında cam, doğal ışığı içeri alarak iç mekanların ferah ve açık olmasını sağlar. Cam malzeme, aynı zamanda enerji verimliliğini destekleyen önemli bir öğedir; çünkü güneş ışığı, yapının iç mekanlarını aydınlatmak için kullanılır. Bu şekilde, enerji tüketimi düşürülür ve çevre dostu bir yaklaşım benimsenmiş olur. Cam, pavyonun dış cephesinde büyük alanlarda kullanılarak şeffaf bir yapı estetiği yaratır ve doğayla iç içe bir deneyim sunar. Ayrıca, cam panellerin yerleştirilmesiyle iç mekanlarda doğal havalandırma sağlanır, bu da yapının sürdürülebilirliğine katkı sağlar.

Bu şekilde, çelik ve cam malzeme kullanımı Hollanda Pavyonu'na hem estetik hem de işlevsel açıdan büyük katkı sağlar. Çelik, yapıyı güçlü ve dayanıklı kılarken, cam ise doğal ışık kullanımı ve enerji verimliliği sağlayarak çevre dostu bir tasarımın temel unsurlarından biridir. Bu birleşim, modern mimarinin hem estetik hem de sürdürülebilirlik açısından nasıl evrildiğini gösteren etkileyici bir örnek sunar.

Çin Pavyonu

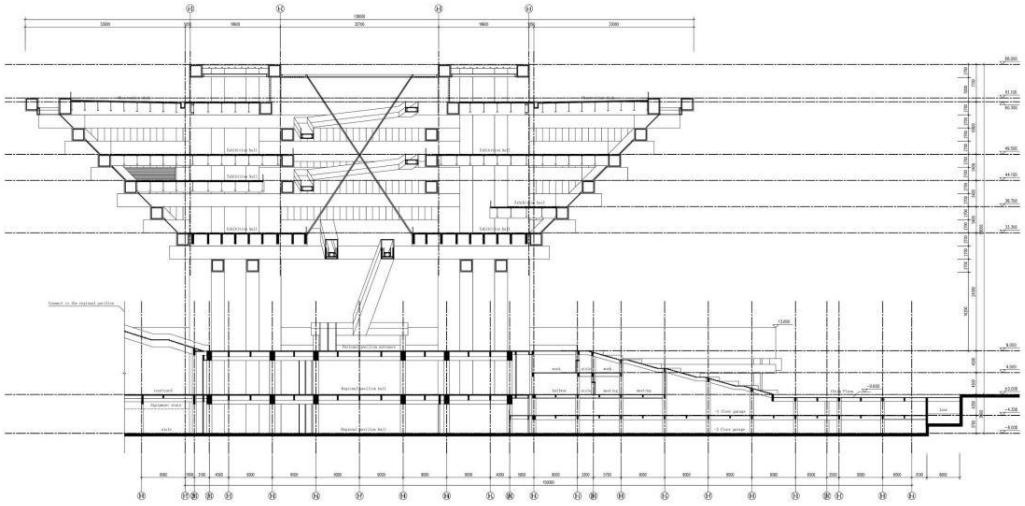
EXPO 2010 Şanghay'da Çinli mimar Jingtang He tarafından tasarlanan en dikkat çekici yapılar arasında olan yapı "Oriental Crown" (Doğu Taç) olarak da adlandırılmıştır. Bu mimari yapı, Çin'in geleneksel değerlerini ve çelik ve camın modern senteziyle çağdaş tasarım yaklaşımlarını bir araya getirerek hem kültürel hem de teknik bir başyapıt olarak sunulmuştur. Yapı, ters çevrilmiş bir piramit şeklindedir ve kırmızı çatı formu, geleneksel Çin tahtlarını ve saraylarını çağrıştırır.



Şekil 3.1.15. Çin pavyonu – EXPO 2010 (Jordana, 2009)

63 metre yüksekliği ile fuarın en büyük pavyonlarından biri olmuştur. Yaklaşık 160.000 metrekarelik bir alan kaplamaktadır. Enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik ilkeleriyle tasarlanan pavyonun dış cephesinde, yoğun şekilde çelik kullanılmış olup yapının strüktürel dayanıklılığı artırılmıştır. Modern cam teknolojileri ile inşa edilen yapının dış cephesi Çin kırmızısı ile boyanmıştır.

Çatı yapısı, güneş enerjisi panelleri içerir ve pavyonun enerji ihtiyacının bir kısmını karşılamıştır. Geniş cam yüzeyler, doğal ışığın içeriye nüfuz etmesi sağlanarak, iç mekanda sıcak ve aydınlık bir atmosfer oluşturulmuştur. Yağmur suyunu toplayarak geri dönüştüren bir sistem geliştirilmiştir. Expo'nun ardından pavyon, Çin'in ulusal mirası ve modern mimarisi için bir simge olarak kalmıştır. Daha sonra Şanghay'da bir müze olarak kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 3.1.16. Çin pavyonu inşaatı kesiti (Yun, Zhou, Xia, Tang 2018).

Çin Pavyonu'nunda toplamda **164.500 metreküp beton** kullanılmıştır. Bu, yapının toplam beton ağırlığını yaklaşık **411.250 ton** seviyesine çıkarmıştır. Çelik malzeme kullanımı ise **21.888 ton** ile yapıya strüktürel dayanıklılık sağlamıştır. Ayrıca, yapının cam elemanlarında **1232 cam blok** kullanılmış, her bir blok **1,35 metre x 4,25 metre** boyutlarında olup, ortalama **0,387 ton** ağırlığındadır. Bu camların toplam ağırlığı ise **476,8 ton** olarak hesaplanmıştır. Tüm bu malzemelerin birleşimiyle, yapının toplam ağırlığı **433.615 ton** olarak hesaplanmıştır. Bu malzemelerin dağılımı ve kullanımı, **160.126 metrekarelik** brüt kat alanı bulunan bu devasa yapının hem estetik hem de dayanıklılık açısından üst düzeyde olmasını sağlamıştır. (Yun, Zhou, Xia, Tang 2018).

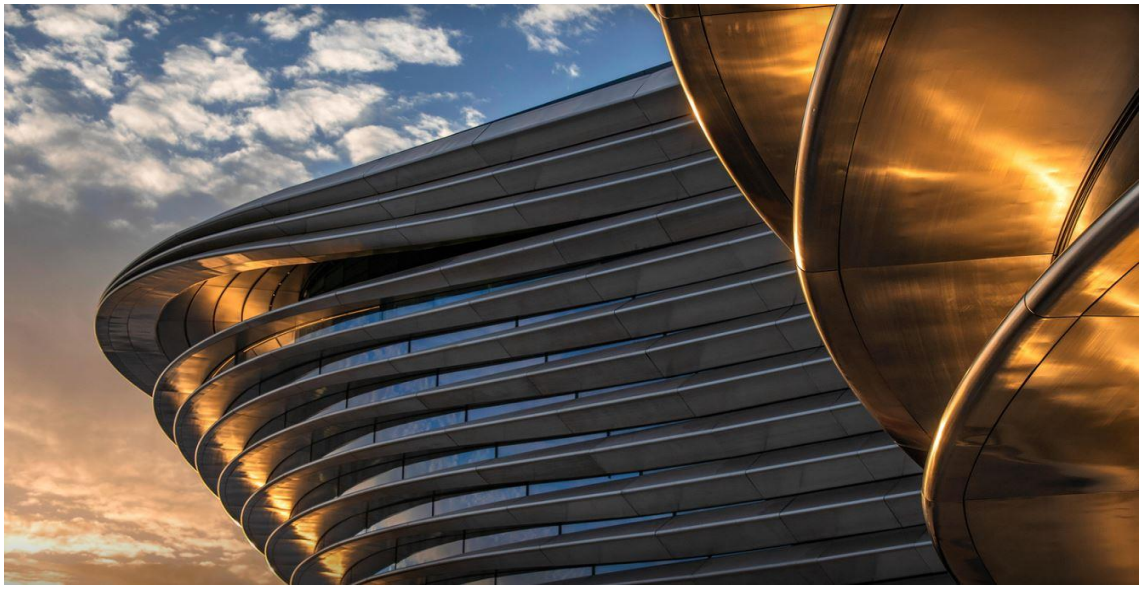
Alif - The Mobility Pavilion

Expo 2020 Dubai'nin en yenilikçi yapılarından biri olarak tasarlanmıştır ve hareket ile bağlantı temalarını hem estetik hem de işlevsel açıdan yansıtır. Foster + Partners tarafından tasarlanan yapı, modern teknolojilerle zenginleştirilmiş mimari detaylarıyla dikkat çeker. Aerodinamik ve fütüristik bir görünüme sahip olan pavyon, çelik paneller ve yansıtıcı cam yüzeylerle kaplanmıştır. Paslanmaz çelik panellerle kaplı dış cephesi, akıcı ve dinamik bir yapı sunar. Bu paneller, ışığı yansıtarak gün boyunca farklı görsel efektler yaratır.



Şekil 3.1.17. Alif - The Mobility Pavilion– EXPO 2020 (Stouhi, 2021)

Geniş cam yüzeyler, iç mekanlara doğal ışık sağlar ve enerji tasarrufuna katkıda bulunur. Cam, hem iç hem de dış mekanlar arasında görsel bir bağ oluşturarak pavyonun şeffaf ve açık bir his uyandırmasını sağlar. Bunun yanı sıra, doğal havalandırma ve güneş enerjisi kullanımı gibi sürdürülebilir mimari yaklaşımlar pavyonun çevresel etkisini minimuma indirmiştir.



Şekil 3.1.18. Alif - The Mobility Pavilion Cephesi – EXPO 2020 (Stouhi, 2021)

23.000 m² yapı alanı ve 20 metre yüksekliği bulunan Alif Mobility Pavilion, Expo 2020 Dubai'nin sürdürülebilirlik ve hareketlilik temalarına odaklanan bir yapıdır. Tasarımı, **LEED Altın Sertifikası** alacak şekilde enerji verimliliği sağlayacak şekilde yapılmış olup, fotovoltaik paneller ve metal dış cephe kullanılarak ısı yalıtımı sağlanmıştır. Yapının sergi alanları, üç ana bölgeye ayrılmış ve her biri üç yapraklı planla tasarlanmıştır. Ziyaretçiler, **dünyanın en büyük yolcu asansörü** ile üçüncü kat seviyesine çıkarak birbirine bağlı galerilerden geçebilirler. Ayrıca, **330 metrelik pist**, gelişmekte olan ülkelerdeki yaşam kalitesini artırmaya yönelik teknolojileri sergileyerek ziyaretçilere interaktif bir deneyim sunmaktadır. Expo 2020 sonrasında, Mobility Pavilion, District 2020'nin bir parçası olarak sürdürülebilirliğe katkı sağlamaya devam edecektir (Foster + Partners, Tarih yok).

Çelik ve camın bir arada kullanımı, Expo organizasyonları aracılığıyla mimari tasarımların evriminde önemli bir rol oynamıştır. Bu malzemeler, hem estetik hem de işlevsellik açısından modern mimarlığın potansiyelini ortaya koymuş, yenilikçi yaklaşımlar için bir temel oluşturmuştur. Özellikle 19. yüzyıldaki endüstri sergileri, çelik ve camın mimari dil üzerindeki etkilerini vurgulamış ve sürdürülebilir tasarım anlayışının gelişimine katkı sağlamıştır. Expo örnekleri, bu iki malzemenin mimarlık tarihinde dönüştürücü bir rol oynadığını göstermektedir. Çelik iskelet ve geniş cam yüzeylerin bir araya geldiği bu yapılar, mimaride şeffaflık ve hafiflik kavramlarını ön plana çıkarmıştır. Sergi yapıları sayesinde yaratıcı çözümler ortaya çıkmış ve bu malzemelerin birlikte kullanımı mimari estetik ile işlevselliğin yeni bir dengesini yaratmıştır

İlk Dünya Fuarı kabul edilen Büyük Sergi için inşa edilen **Kristal Saray**, çelik iskelet ve geniş cam yüzeylerin şeffaflık ve hafiflik sunan yeni tasarım yaklaşımlarını temsil etmiştir. **Galerie des Machines**, büyük ölçekli mekanların yaratılmasında çelik kafes sistemlerinin ve cam yüzeylerin entegrasyonunun nasıl başarılı sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur. Expo 1929 **Barcelona Pavyonu**, Expo 2000 **Hollanda Pavyonu**, Expo 2010 Şanghay'daki **Çin Pavyonu** ve Expo 2020 Dubai'deki **Alif Mobility Pavyonu**, çelik ve camın modern mimaride sürdürülebilirlik, işlevsellik ve estetikle nasıl birleştiğini gösteren ikonik yapılardır.

Bu pavyonlar, yalnızca çağdaş mimarlığın yeniliklerini sergilemekle kalmamış, aynı zamanda kentleşme, enerji kullanımı ve çevresel duyarlılık konularında mimarinin üstlenmesi gereken sorumlulukları vurgulamıştır. Enerji verimliliği ve çevresel uyum gibi tasarım kriterlerini mimariyle entegre eden bu yapılar, estetik ve işlevsellik arasındaki dengeyi ileriye taşımış, modern mimarinin temel unsurlarını yeniden tanımlamıştır. Bu doğrultuda çelik ve cam, hem estetik hem de işlevsel boyutlarıyla, mimarlığın geleceğine yön veren bir yapı taşı olmuştur.

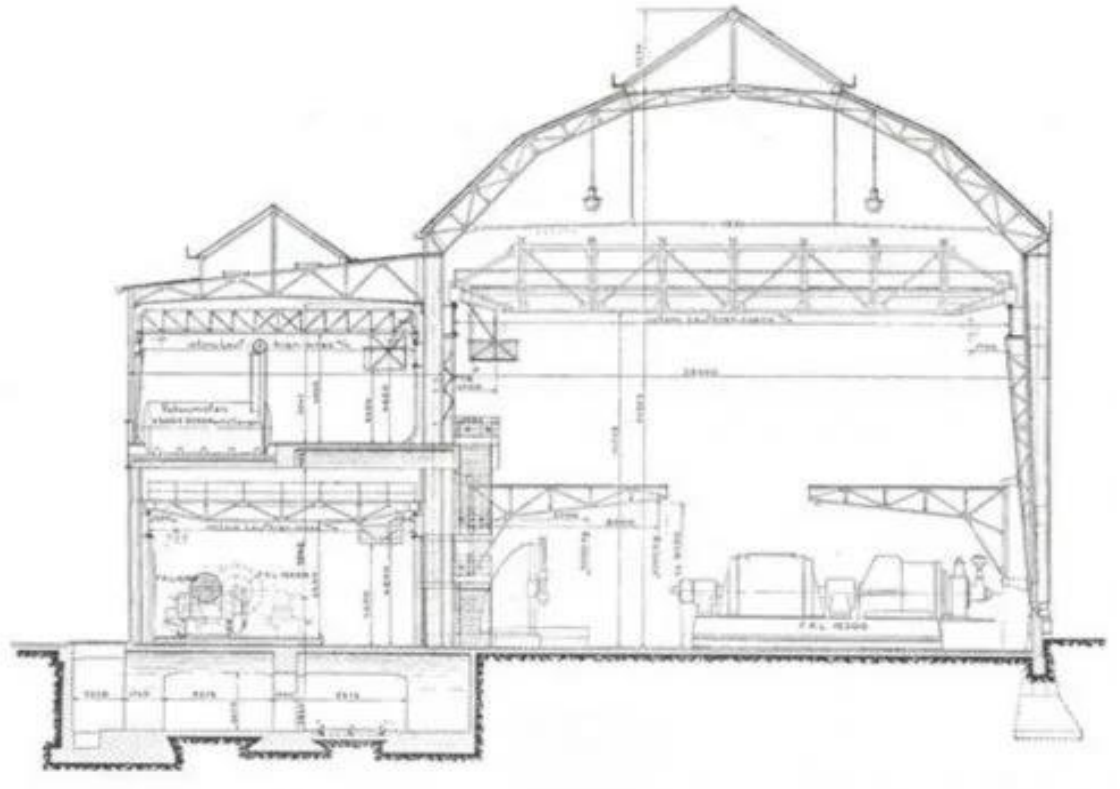
3.1.2. Çelik ve Camın Bir Arada Kullanım Örnekleri

AEG Binası – 1909



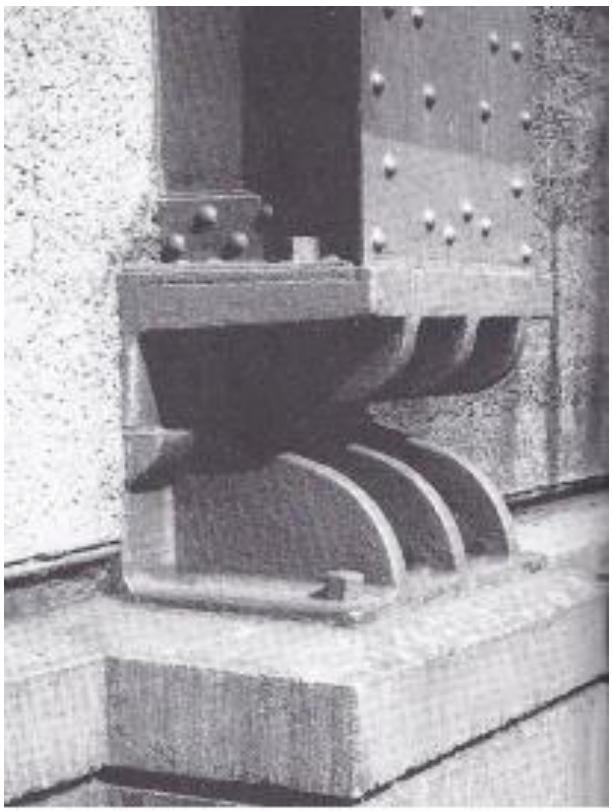
Şekil 3.2.1. AEG Binası – 1909 (Adam, J., 2004)

Endüstriyel ürün tasarımı ve kurumsal kimlik alanlarında ilk çalışmalar yapan kişi olarak kabul edilen **Peter Behrens**, **Berlin**'in Moabit bölgesindeki AEG Türbin Fabrikası'nı tasarlamıştır. Çelik çerçeveli dikdörtgen planlı yapı, yaklaşık 122 metre uzunluğunda, 40 metre genişliğinde ve 26 metre yüksekliğinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Beton cephe, yapısal bir işlev taşımasa da, kütlesi sayesinde uzun çelik kirişlerin başaramadığı bir etkileyicilik sağlar. Türbin fabrikası, Almanya'daki ilk büyük demir-cam yapı ya da ilk endüstriyel inşaat olmasa da, modern endüstriyel gücün kültürel bir simgesi olarak önemli bir yere sahiptir. (Merrill, Tarih yok)



Şekil 3.2.2. AEG Binası Kesit (WikiArquitectura, Tarih yok)

Yapının dikdörtgen bir planı vardır, yan duvarlar arasındaki açıklık 25.6 m'dir. Yapının üstü bir çelik-cam konstrüksiyonla örtülerek doğal ışıktan yararlanılmasını sağlamıştır. Behrens, aşağıya doğru incelen mafsallar üzerine oturan çelik taşıyıcı ayakları yapı yüzünde dışarı taşırarak, bunların arasındaki cam yüzeyleri de yükseldikçe içeri çekilen bir eğimle düzenleyerek ritmik bir hareket sağlamış, böylece işlevsel olan bu yapıya büyük bir anlatım gücü kazandırmıştır (Cremers,1928).



Şekil 3.2.3. AEG Binası Çelik Konstrüksiyon Ayaklarından Bir Örnek (Blanc, A., 1993).

AEG Türbin Fabrikası'nın tasarımı, 20. yüzyıl başlarında endüstriyel mimaride işlev ve estetiği birleştiren öncü bir yaklaşımdır. Beton cephenin kütlesi, yapısal destekten ziyade görsel bir güç ifadesi sunar; bu da çelik ve camın hafifliğine karşı bir denge oluşturur. Behrens'in tasarımı, Almanya'nın endüstriyel büyümesini ve ulusal kimliğini modern bir dille anlatırken, mimaride estetik ve işlevsellik arasındaki dengeye dair yeni bir yaklaşım sunarak dönemin mimarlık anlayışını derinden etkilemiştir.

Seagram Binası 1958



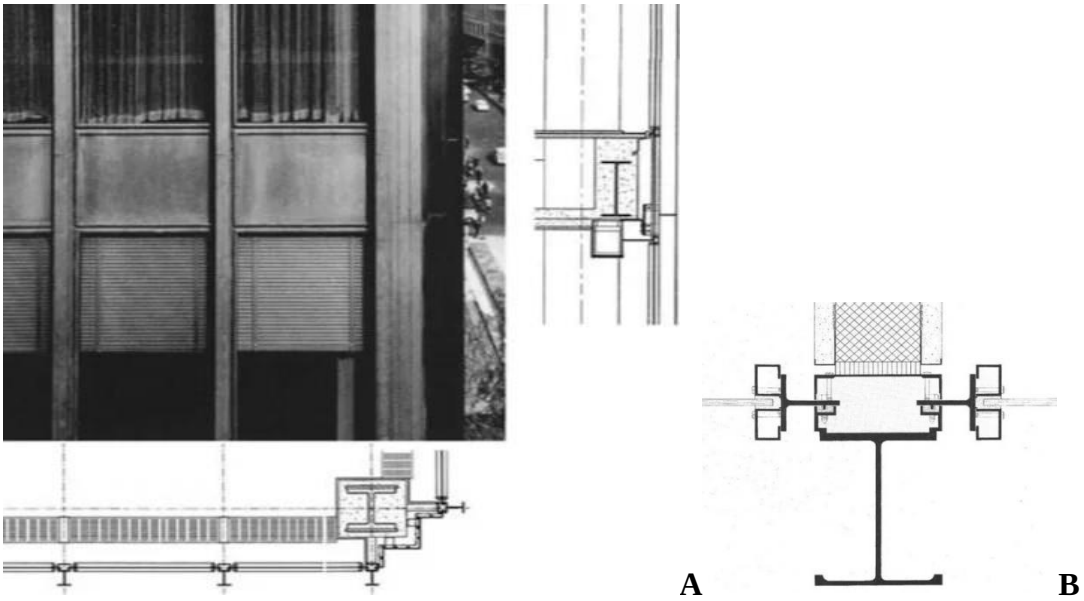
Şekil 3.2.4. Seagram Binası – 1958 (Oh, 2020)

Seagram Binası, modern mimarinin önemli bir örneği olarak kabul edilen bir yapıdır ve 1958 yılında Mies van der Rohe tarafından tasarlanmıştır. New York'un Midtown bölgesinde yer alan bu bina, minimalist tasarımı ve yüksek kaliteli malzemeleri ile dikkat çeker. 14.000 m² inşaat alanı bulunan, 39 katlı ve 157 metre bina yüksekliğiyle Seagram Binası, Mies van der Rohe'nin "less is more" (az çoktur) felsefesini yansıtarak basit, net hatlar ve işlevsel düzenlemelerle modernizmin sınırlarını zorlamıştır. Bina, Park Avenue üzerinde geniş bir kamusal plaza ile çevrelenmiş ve geleneksel sokak hizasından geriye çekilmiştir. Bu alan, binanın mimari duruşunu vurgularken, ziyaretçilerin açık alanda vakit geçirebilmesine olanak sağlar.



Şekil 3.2.5. Seagram Binası ön bahçe (Perez, Tarih yok)

Bina, tabandan tavana kadar uzanan pencerelere sahiptir ve New York'taki tam boy düz cam pencerelere sahip ilk yüksek bina olma özelliğini taşır. Mimar Mies van der Rohe, viski üreticisi Seagram'a gönderme yapmak amacıyla camları viski renginde seçmiştir. Seagram Binası'nda toplamda 122.000 metrekare cam panel kullanılmıştır. Mies can der Rohe Seagram Binası'nda, seri üretim elemanlar kullanmak yerine, bronz gibi daha pahalı bir malzemeye yönelmiştir. Mies pencereleri döşemeden tavana kadar uzatmış, hiçbir yatay ayırıcı eleman kullanmamış ve cephelerde katı bir düşeylik oluşturmayı amaçlamıştır (Schittich, 2001). Bu malzemeler sadece modern görünümü sağlamakla kalmamış, aynı zamanda bina dış yüzeyinin dayanıklılığını artırmıştır. Ancak yangın güvenliği düzenlemelerine uygun olarak binanın çelik iskeleti betonla kaplanmıştır.



Şekil 3.2.6. Seagram Binası Detayları (WikiArquitectura, Tarih yok)
A) Cephe Detay **B)** Ön Yüz Detay Kesit

157m yüksekliğindeki yapı, 31 adet I kesitli çelik kolon ve parapet kirişlerinin oluşturduğu bir dış çerçeve ve çaprazlı bir çekirdek tarafından taşınmaktadır. I kesitler bina yükseldikçe küçülse de dışında yangından koruma amacıyla uygulanan beton kılıf kalınlığının artması nedeniyle, boyutları aynı kalmaktadır. Rijit çerçeveyi oluşturan ana kirişler 8.5m aralıklarla yerleştirilmiş olup, 68.6cm yüksekliğinde ve 8.5m açıklığındadır. Bu kirişler arasında, 2.125m aralıklarla yerleştirilen, 40.6cm yüksekliğindeki tali kirişlerde, 8.5m açıklığı geçmektedir. Cephe kirşlerinin yüksekliği ise 61cm'dir. Binanın yatay yüklere karşı koyabilmesi için, çekirdeğin birbirine paralel ve cepheye dik 2 dış ve 2 iç duvarına çapraz elemanlar yerleştirilmiştir. Mies van der Rohe bu strüktürel elemanları, tasarımın bir faktörü olarak cephede vurgulamak yerine, beton içine gömerek gizlemeyi tercih etmiştir. Bu masif duvarların cephesi cam yerine, yeşil mermer ile giydirilerek, cam cephelerle eşdeğer bir görünüm elde edilmiştir (Dupre, 1996; Guise, 1991; Sev, 2001-a).



Şekil 3.2.7. Masif Duvarların Cephesinde Kullanılan Yeşil Mermerler (WTTW, Tarih yok)

Seagram Binası'nın dış cephesi, işlevsellik ve estetiğin mükemmel bir uyum içinde birleştiği bir tasarıma sahiptir. Cephede, geniş cam paneller, bronz sütunlar ve çelik kirişlerle çerçevelenmiştir. Başlangıçta cephede çelik sütunların kullanılması planlanmış olsa da, Seagram şirketinin bütçe kısıtlamaları nedeniyle bronz tercih edilmiştir. Bu malzeme seçimi, binaya hem dayanıklılık hem de estetik bir zarafet kazandırmıştır.

Bina cephesindeki geniş cam paneller, ısı kontrolünü optimize eden renkli camlarla tamamlanmıştır. Pencereler için tasarlanan panjurlar ise görsel tutarlılığı koruyacak şekilde yalnızca üç farklı pozisyona ayarlanabilmektedir. Bu detay, kullanıcıların bireysel tercihlerine izin verirken cephe bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Binanın sade ve zarif görünümü, işlevselliği ön planda tutan bu tasarım yaklaşımlarıyla modern mimarinin bir simgesi haline gelmiştir.

Çelik taşıyıcı sistemi ile birlikte kullanılan bronz malzeme yapının şıklığını ve modernist estetiğini artırırken, aynı zamanda çerçeve yapısının mimari ifadesini de vurgulamaktadır. Bina sade ve zarif görünümü, işlevselliği ön planda tutan bu tasarım yaklaşımlarıyla modern mimarinin bir simgesi haline gelmiştir.

Pompidou Sanat Merkezi -1977



Şekil 3.2.8. Pompidou Sanat Merkezi -1977 (Perez, 2010A)

Pompidou Sanat Merkezi, modern mimarinin önde gelen örneklerinden biri olarak Paris'te 1977 yılında tamamlanmıştır. Toplamda 10 katlı olan yapı, 42 metre yüksekliği ile dikkat çeker; bu katlardan 7'si yer üstünde, 3'ü ise yer altındadır. Pompidou, 98,000 m²'lik bir inşaat alanına sahiptir ve dış cephesinde çelik ile camın yanı sıra, renkli borular kullanılarak oluşturulmuş bir yapı tasarımı sergilemektedir. Bu dışa dönük tasarım, mimarlar Renzo Piano ve Richard Rogers tarafından geliştirilmiş olup, iç mekanda geniş ve esnek alanlar yaratılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, yapı, 48 metre genişliğinde büyük açıklıklarla tasarlanmış olup, bu da iç mekanın işlevselliğini artırmaktadır.



Şekil 3.2.9. Farklı renklere boyalı tesisat borularının yapının dışından görünüşü (Eren, 2014)

Paris'in genelinde yapılar betonarme karkas ve kagir yığmadır. Cepheleri ise sıva ve üzerinde genellikle grinin hakim olduğu pastel renkli boya ile kaplıdır. Pompidou Kültür Merkezi'nin malzemesi ise buna kontrast olarak çelik ve camdır. Yapı her biri pastel değil, doymuş olan sarı, kırmızı, mavi gibi çevrede bulunmayan renklere sahiptir. Yapının diğer konularda gösterdiği çevrenin formülünü devam ettirme tavrı, malzeme ve renk konusunda yoktur. Bu konuda çevrenin tamamen zıttı olan bir yol seçilmiştir (Duralı, 2007). Pompidou Kültür Merkezi, kendine ait teknolojik estetiğini, yapısal sistemlerin açığa vurulması yoluyla beyan eden, uzay çağının habercisi yeni bir bakış açısının, High Tech Mimarlığı olarak adlandırılan bir akımın öncülerindendir (Düzgün, 2010).

Yapı, zeminde 160x100 m alanı kaplayan betonarme konstrüksiyon ve üstte ise her biri 155x44.8 m olan 6 bölümden oluşan çelik konstrüksiyondan yapılmıştır. Çapraz kirişlerle desteklenen yapı, 13 m aralıklarla yerleştirilen 14 çelik çerçeveden oluşmaktadır. Çapraz kirişler, taşıyıcı olmadan 48 metre açıklığı geçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Çerçeveler, doğu ve batı cephelerinde diyagonal çaprazlarla döşeme seviyesinde birbirine

bağlanmaktadır. Ana kafes kirişin orta derinliği 2.82 m, kuzey-güney yönündeki kirişler ise 500 mm derinliğindedir. Üzerine 110 mm kalınlığında beton döşeme tablası yerleştirilerek kompozit döşeme elde edilmiştir. Düşey yükler altında her çerçeve bağımsız hareket etmektedir. Kolonlar, şantiyeye iki parça olarak getirilip kaynaklanmış ve kule vinçlerle kaldırılmıştır. Kafes kirişlerin üzerindeki beton paneller prekast, kat döşemeleri ise yerinde dökmedir. Binanın kolon ve kirişlerini birbirine bağlayan kat yüksekliğini istenildiğinde değiştirilebilmesinde imkan tanıyan gerber kirişi adı verilen kirişler tasarlanmıştır. (Eren, 2014)



Şekil 3.2.10. Pompidou Sanat Merkezinde kullanılan Gerbet (Eren, 2014)

Tasarım, özellikle yayaların hareketliliğine odaklanarak mekan kullanımını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Batı cephesinde, her saat 3000 kişiyi taşıma kapasitesine sahip, 150 metre uzunluğunda cam tüp içinde yer alan yürüyen merdivenler, asansörler ve yangın merdivenleri, yapıdaki kullanıcı akışını kolaylaştıran önemli unsurlardır. Binanın iç mekanında ise koridorlar, borular, asansörler, yangın merdivenleri, kolonlar ve çaprazlamalar gibi elemanlar dışarıya yerleştirilmiş, böylece iç mekanlar daha esnek ve geniş alanlara dönüştürülmüştür. Ayrıca, tüm bölücü duvarlar hareketli ve kuru birleşimlerle tasarlanmış, bu sayede ofis alanlarındaki duvarlar hızla değiştirilip yeniden düzenlenebilmiştir.



Şekil 3.2.11. Pompidou Sanat Merkezinde Cam Tüp (Britannica, 2025)

Yapının doğu-batı cephesi dışında, diğer cepheler giydirme cephe sistemiyle tasarlanmıştır. Cephe panelleri, dış çelik kafes dikmeler arasına yerleştirilmiş ve dış cephe, yapısal elemanlara doğrudan bağlanmamıştır, bu da iç ve dış mekanlar arasında daha fazla esneklik sağlamaktadır. Bu cephe sistemi, çelik kafes dikmelerin arasına yerleştirilen panellerle oluşturulmuş, iç mekanda ise çeşitli cam türleri ve metal yüzeyli paneller kullanılarak hem estetik hem de fonksiyonel bir yapı elde edilmiştir. Cam paneller, yalıtımlı, yangına dayanıklı ve çeşitli ihtiyaçlara göre tasarlanmış, yapıdaki enerji verimliliğini artırmak için optimize edilmiştir.

Resichtag Kubbesi – 1999



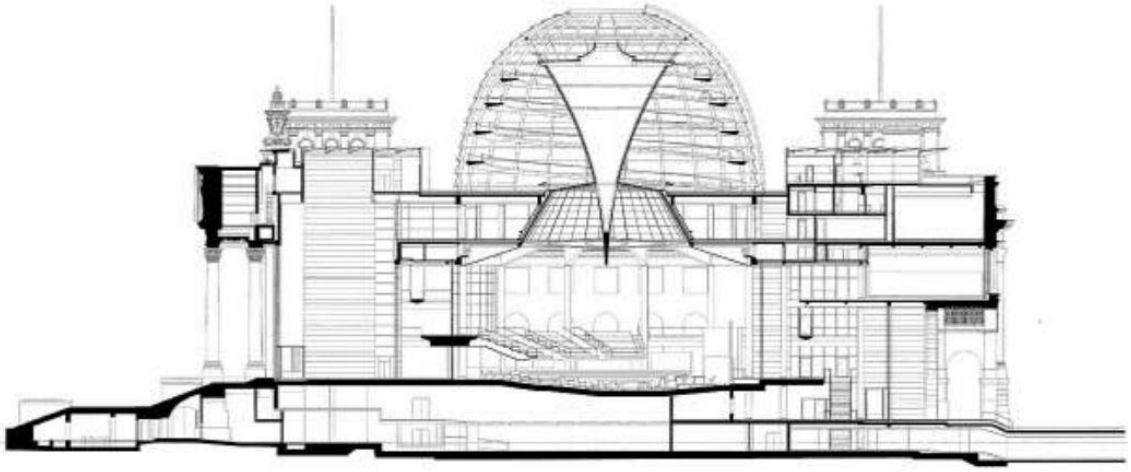
Şekil 3.2.12. Resichtag Kubbesi – 1999 (Douglass-Jaimes, 2018)

Berlin'de bulunan Reichstag'ın kubbesi, 1999 yılında Norman Foster tarafından tasarlanıp tamamlanmıştır. Kubbe, 40 metre çapında ve 23,5 metre yüksekliğindedir. En geniş açıklığı ise 40 metredir. Cam ve çelikten yapılan bu yapının tasarımı, modern mimarinin simgesi olarak, şeffaflık ve açıklığı simgeler. Ayrıca, kubbe, iç mekanı gözlemlemek için ziyaretçilere döner bir rampa sunar ve Almanya Parlamento'sunun demokratik işleyişinin şeffaflığını simgeler. Bu tasarım, binanın tarihiyle bütünleşen modern bir yaklaşımı temsil eder.



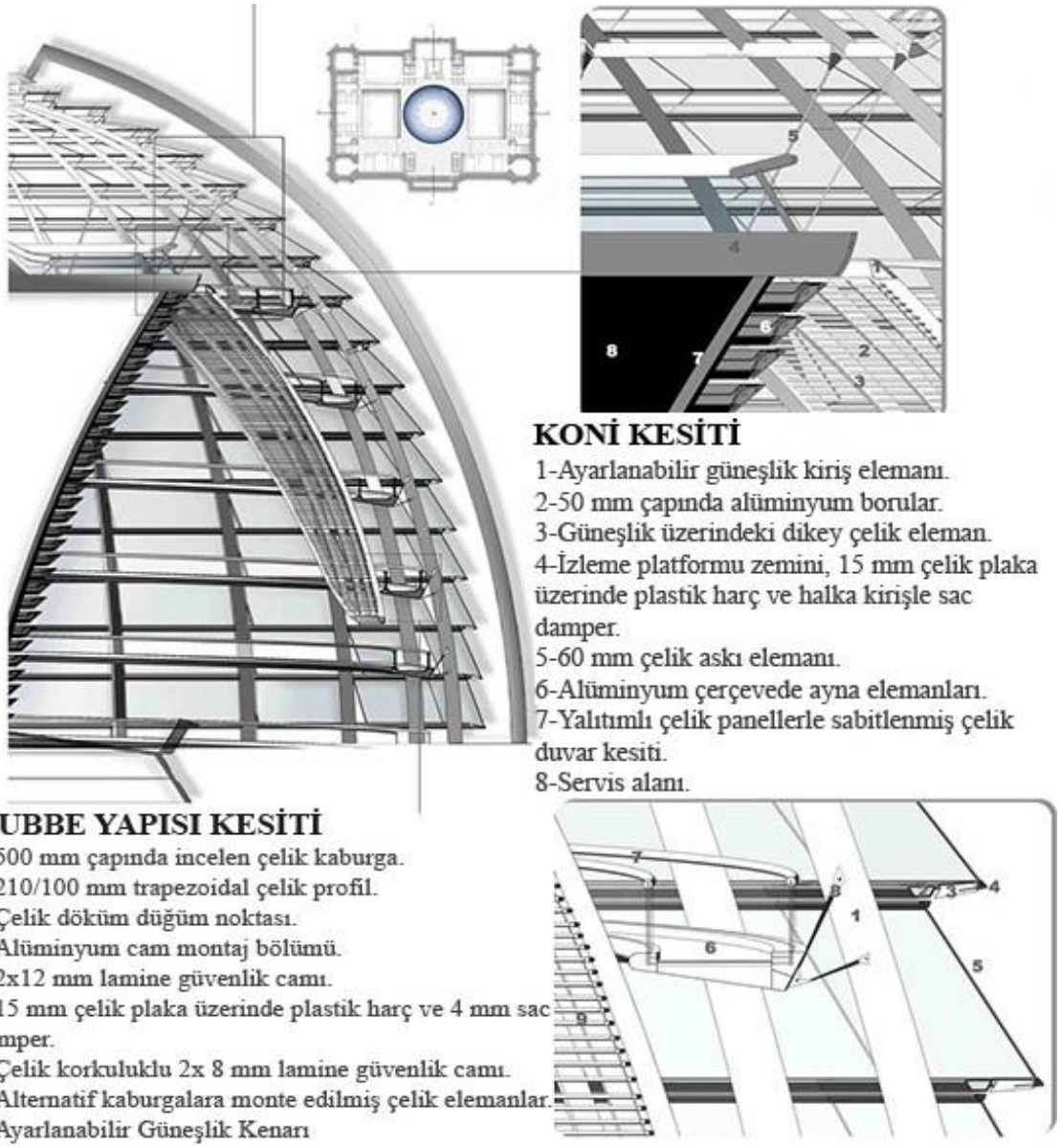
Şekil 3.2.13. Resichtag Kubbesi iç görünüş (Florian, 2024)

Binanın fonksiyonu ve tarihi geçmişi nedeniyle, alınan her tasarım kararı siyasi bir anlam ifade ediyordu. Bu tasarım kararları arasında en etkili anlamı taşıyan eleman, çelik ve cam malzeme ile oluşturulan bu şeffaf kubbeydi. Kubbe yapının kamusal olarak en ulaşılabilir kısmında, altındaki parlamento salonunda yürütülen çalışmaların gözlemlenebildiği, aynı zamanda orijinal kubbeden tamamen farklı ve yeni bir forma sahip olsa dahi yapının tarihine atıfta bulunan bir eklemeydi (Douglass-Jaimes, 2018).



Şekil 3.2.14. Resichtag Kubbesi Kesit (Zaki, Danraka, Adamu, Abubakar, & Yusuf 2020).

Tasarımın son düğümünü, iç kubbenin tam ortasında yer alan ve cam kubbenin tavanını delen, değişebilir aynalardan oluşmuş konik objenin devinimi belirlemektedir. Bu ters konik objenin tasarımındaki ana amaç, saydam dış kubbenin dışından elde edilen doğal ışığın, değişebilir ayna öğeleri aracılığıyla yansıtılıp iç kubbenin tavanına odaklanması, bu şekilde ana salonun süzülmüş bir gün ışığıyla aydınlanabilmesi ve üyelerin dış dünya ile gün boyu ilişkilerindeki görsel sürekliliğin sağlanmasıdır. Ters konik objenin ikinci amacı ise baca görevini, yani ana salondaki kirli havanın dış kubbeden dışarıya atılması işlevini görmesiydi (Tokyay, 2005)



Şekil 3.2.15. Resichtag Kubbe Detay (Arcretrofitting, 2014)

Reichstag'ın kubbesinde kullanılan cam, özel ısıya dayanıklı ve ışık geçirgenliğine sahip camlardan oluşur. Bu camlar, binaya doğal ışık girmesini sağlarken aynı zamanda enerji verimliliği için güneş ışınımını minimumda tutar. Çelik yapı, kubbenin ağırlığını taşıyan güçlü bir iskelet sistemine sahip olup, binanın stabilitesini sağlar. Çelik ve camın birleşimi, hem görsel açıdan etkileyici hem de yapısal olarak işlevsel bir denge oluşturur.

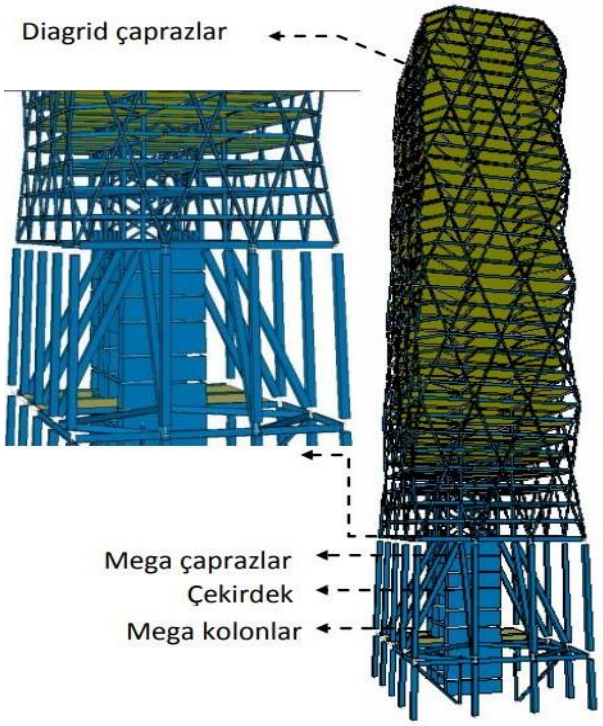
Hearst Kulesi -2006



Şekil 3.2.16. Hearst Kulesi -2006 (Florian, 2024)

Hearst Tower, mimar Norman Foster tarafından 2006 yılında tamamlanmış ve üç yıl süren bir inşaat sürecinin ardından ortaya çıkmıştır. 70.000 m² yapı alanına sahip 46 katlı

bu etkileyici gökdelen, 1928 yılında inşa edilen tarihi bir binanın üzerine inşa edilmiştir. Norman Foster, tarihi yapının lobisinden 20 metre yükseklikte bir tavanın üzerine bu yerleştirilen kulenin toplam yüksekliği 182 metredir.

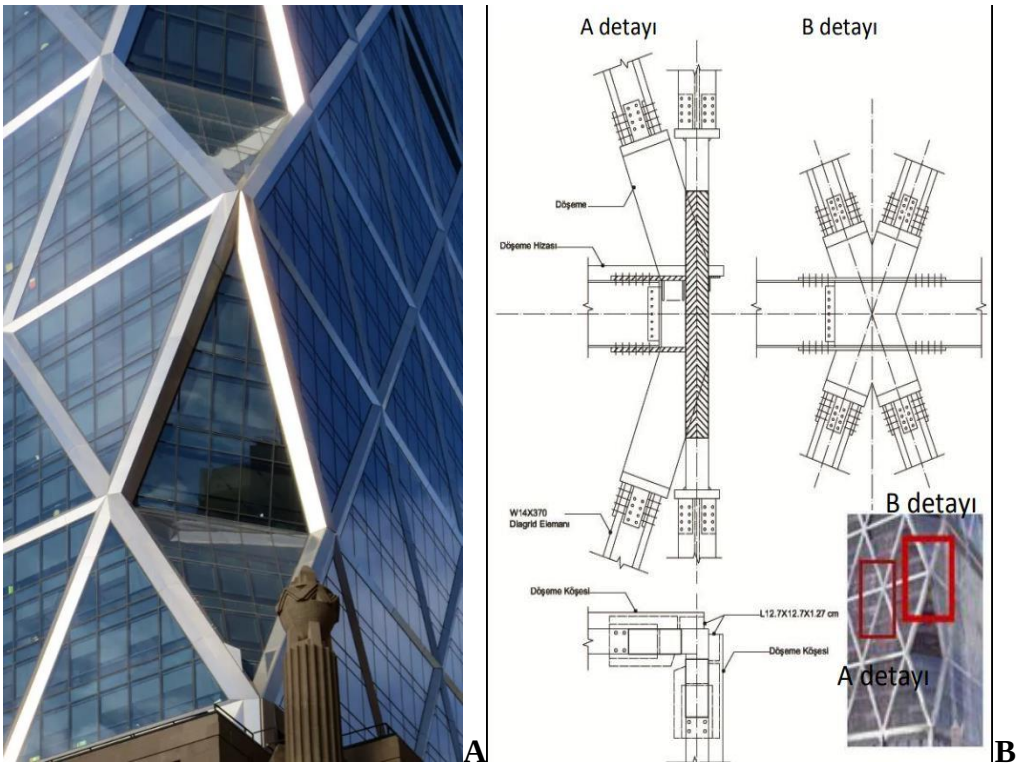


Şekil 3.2.17. Hearst Kulesi Çelik Diagrid Sistem Modellemesi (WikiArquitectura, Tarih yok)

New York'un ilk Altın LEED sertifikalı binası olan Hearst Kulesi, elmas biçimindeki eğimli dış cephesiyle dikkat çekmektedir. Diagrid adı verilen taşıyıcı sistemin kullanıldığı yapı, düz ya da eğrisel üçgen kirişlerin yatay halkalarla birleşiminden oluşur. Bu yenilikçi strüktür, binanın cephesini sararken yapıya hem hafiflik hem de dayanıklılık kazandırır. Hearst Kulesi'nde uygulanan bu sistem, 10. kattan itibaren içe doğru 75° eğimle dört kat, yani yaklaşık 16 metre yükselmekte, ardından dışa doğru 105° eğimle devam ederek çatıya kadar aynı geometrik düzeni taşımaktadır.

Diagrid yapısal sistemlerin, serbest formlu kulelere en uygun yapısal çözümlerden biri olarak geliştirilmek için, mükemmel bir potansiyeli vardır. Karmaşık geometrisinden dolayı herhangi bir serbest formlu kuleyi doğru bir şekilde tanımlamak ve inşa etmek gerçekten zor bir görevdir. Eğer serbest formlu kulenin geometrisi üçgenlerle değil de

başka çokgenlerle tanımlanırsa, kolayca biçim bozukluğu meydana gelebilir. Doğal olarak diagrid yapısal sistemler tarafından tanımlanan üçgensel yapıdaki geometrik birimler, herhangi bir serbest formlu kuleyi biçim bozukluğu olmadan daha doğru bir şekilde ifade edebilir (Moon, 2009).



Şekil 3.2.18 Hearst Kulesi Detayları
A) Cephe Detayı (WikiArquitectura, Tarih yok) **B)** Diagrid Sistem Detayı (Atasoy, 2014)

Her üçgen modül ve düğüm noktaları dört katta bir konumlanmıştır, elemanları geniş başlıklı I tipi hadde profilidir, iki tip köşe düğüm noktası detayı mevcuttur. Yapı, klasik çerçeve sisteme göre % 20 daha az çelik kullanımı ve çeliğin geri dönüştürülebilir olması nedeni ile "Altın LEED" sertifikası almıştır. Dış cephedeki köşelerde, "kuş ağzı" denilen girintiler yapılarak köşedeki konsol alanları azaltılmıştır (Atasoy, 2014).

Cephe elemanlarında, askılarda ve iç kısımdaki kolonlarda kullanılan çeliklerin %90'ı geri dönüştürülebilen malzemelerden yapılmıştır. Giydirme cephe, bina içine doğal ışık alırken, ısınmaya neden olan güneş ışınımını azaltacak özellikte Low-E cam kullanılarak yapılmıştır (Zinzade, 2010).

Burç Khalifa (Halife) – 2010



Şekil 3.2.19. Burç Halife – 2010 (Oh, 2020)

2010 yılında dünyanın en yüksek bina unvanını alan 162 katlı, 828 m yüksekliğindeki Burj Halife (Dubai), Skidmore, Owings & Merril tarafından tasarlanmıştır. (Günel ve Ilgın, 2010). Bina 280.000 m²'si zemin üstünde olmak üzere toplam 460.000 m² alana sahiptir. Tahmini inşaat maliyeti 4.1 milyar $ olarak ifade edilmektedir. Binanın 150. katından sonrası çelik konstrüksiyon olarak yapılmıştır (Baker vd, 2008; Abdelrazaq vd, 2008; Saeed, 2013)

Skidmore, Owings & Merrill ekibi, dünya genelindeki ve özellikle Ortadoğu'daki deneyimlerinden yararlanarak, projelerinde birçok yenilikçi fikri bir araya getirmiştir. Burç Halife'nin tasarımında, "çöl çiçeği" (hymenocallis) formu ilham kaynağı olarak seçilmiş ve bu organik, üç eksenli ve sarmal yükselen yapısal form, binanın genel tasarımına entegre edilmiştir. Ayrıca, geleneksel İslam geometrisi ve formlarının da tasarıma dahil edilmesi, yapıyı estetik açıdan zenginleştirmiştir.

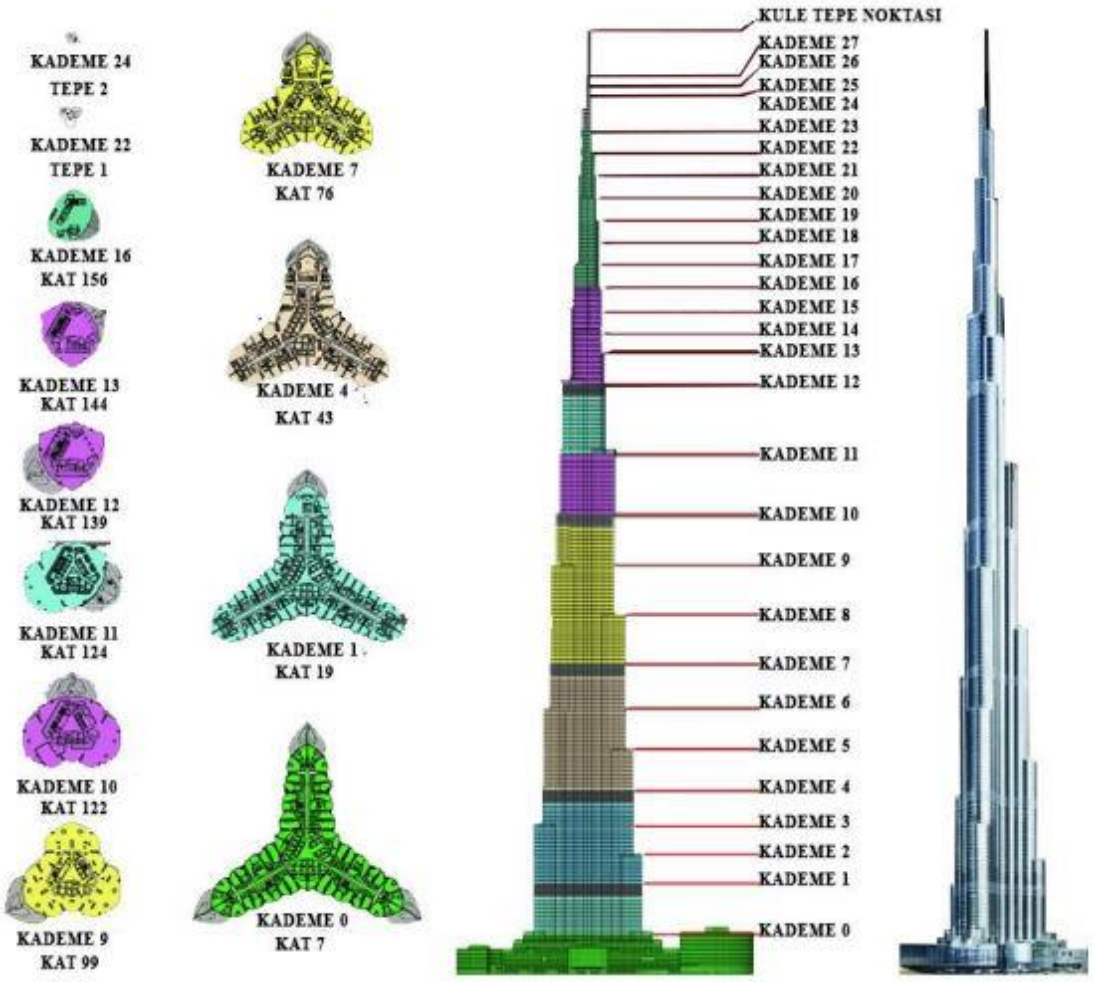


Şekil 3.2.20. Burç Halife Proje Konsepti (Kazımov, 2018)

Burj Halife, çok fonksiyonlu bir yapıdır ve Dubai'nin ikonik yapılarından biri olarak çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Bina, ofis alanları, lüks konutlar, otel odaları, alışveriş merkezi, restoranlar ve gözlem katları gibi farklı işlevleri bir arada barındırmaktadır. Ayrıca, yüksekliği ve mimari tasarımı sayesinde hem bir simge yapı olarak hem de turistik bir cazibe merkezi olarak önemli bir rol üstlenmektedir. En üst katında yer alan gözlem platformu, ziyaretçilere Dubai'nin panoramik manzarasını sunarak yapının turistik fonksiyonunu pekiştirmektedir.

Burç Halife'nin inşasında kullanılan malzemeler, yapının mühendislik başarısını mümkün kılmıştır. Yapının temelinde son derece güçlü beton kullanılmıştır, betonun özel karışımı, aşırı sıcak iklim koşullarına dayanacak şekilde hazırlanmış ve soğuk gece saatlerinde dökülmüştür, bu sayede betonun daha sağlam şekilde kürlenmesi sağlanmıştır. Yüksekliği arttıkça, çelik malzeme kullanımı devreye girmiş ve çelik, üst katların taşıyıcı sisteminde esneklik ve dayanıklılık sağlayarak yapının rüzgar baskıları gibi dış etkenlere karşı direncini artırmıştır.

Yapının dış cephesinde kullanılan büyük cam paneller ise, hem estetik bir görünüm kazanılmasına olanak sağlamış hem de enerji verimliliğini artırmıştır. Cam, iç mekanları doğal ışıkla aydınlatırken dış ortamın etkilerini en aza indirerek enerjinin verimli kullanılmasını sağlar.

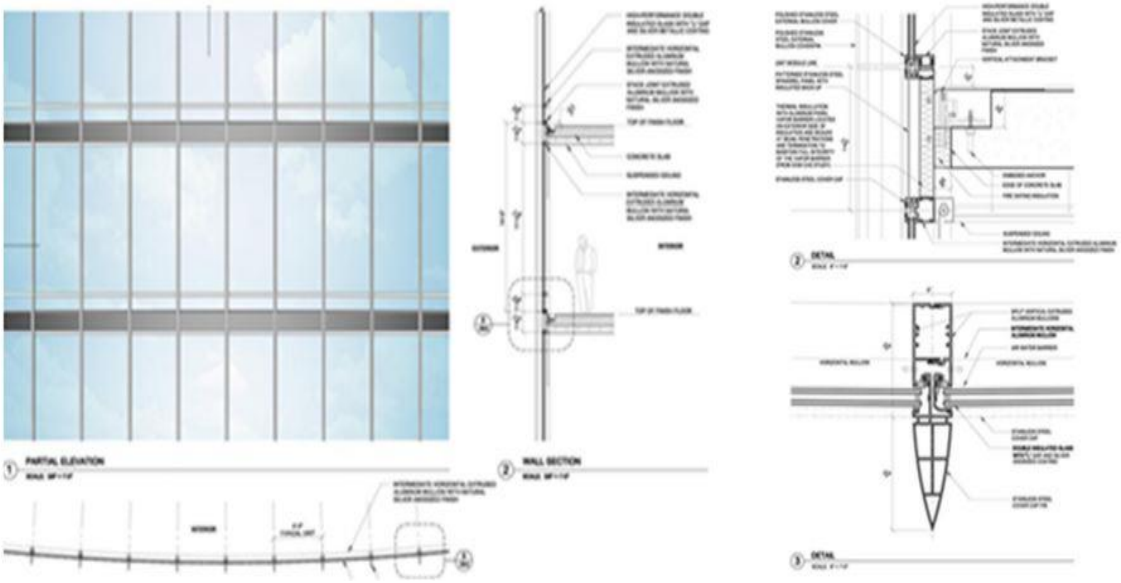


Şekil 3.2.21. Burç Halife plan, kesit ve görünüşler (Gülakan, 2014)

Yapının temeli ve ilk 150 katı betonarme olarak tasarlanmış, 150. kattan sonraki bölümler ise çelik malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yapı, betonarme bir kütle üzerine çelik konstrüksiyonun uygulandığı dünyadaki ilk örnektir. Yapının hiçbir cephesi düz bir forma sahip değildir; bu tasarım, rüzgar yüklerini en aza indirmek amacıyla tercih edilmiştir. Ayrıca, köşelerde keskin hatlardan uzak durularak, dairesel formlara ağırlık verilmiştir.

Cephe malzemesi olarak alüminyum ve cam kombinasyonu kullanılmıştır. Yapının bulunduğu sıcak iklim koşulları, cephe tasarımında malzeme seçimini zorlu bir süreç haline getirmiştir. Gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı bu yapıda, tercih edilen camların dış yüzeyi gri renkli ve ultraviyole ışınlarını yansıtan bir yapıya sahiptir. İç yüzey ise

titanyum kaplama ile güçlendirilmiştir. Bu özellikleri sayesinde camlar, güneş ışınlarından gelen ısıyı büyük ölçüde tutarak iç mekana aktarımını engellemektedir.



Şekil 3.2.22. Burç Halife Detayları (Oh, 2020)

Burj Khalifa, işlevsellik parametrelerine göre incelendiğinde, cephesinin bakımı için yapıya özel bir sistem geliştirildiği görülmüştür. Dış cephe üzerinde hareket edebilen bakım üniteleri, yapı içerisindeki park pozisyonlarından özel olarak tasarlanmış açılır kapanır cephe sistemi yardımıyla, cephe üzerinde bulunan paslanmaz çelik raylar üzerine geçip, hareket etmektedir. Dış cephe üzerinde çalışan bu mobil üniteler, 9 metre erişim mesafesine, 250 kg taşıma kapasitesine ve 600 kg kapasiteli malzeme vincine sahiptir (Gülakan, 2014).

Burj Halife'nın inşasında 103 bin metreküp beton, 15 bin 500 ton çelik ve 103 bin metrekare cam kullanıldı. Kullanılan bu malzemelerin birleşimi sayesinde yalnızca görsel açıdan değil, aynı zamanda işlevsel açıdan da başarılı bir yapı haline gelmiştir. Çelik ve cam, estetik ve işlevselliği bir arada sunarak, modern mühendislik çözümlerinin en ileri örneklerinden biri olan bu yapıyı oluşturmuştur. Aynı zamanda, çevresel sürdürülebilirlik gibi önemli mühendislik kriterlerini de karşılamaktadır. Bu yapının tasarımı, mimarideki sınırları zorlayarak, günümüzün en ileri mühendislik çözümlerini birleştiren eşsiz bir örnek sunmaktadır.

Aldar Head Quarters – 2010



Şekil 3.2.23. Aldar HQ – 2010 (WikiArquitectura, Tarih yok)

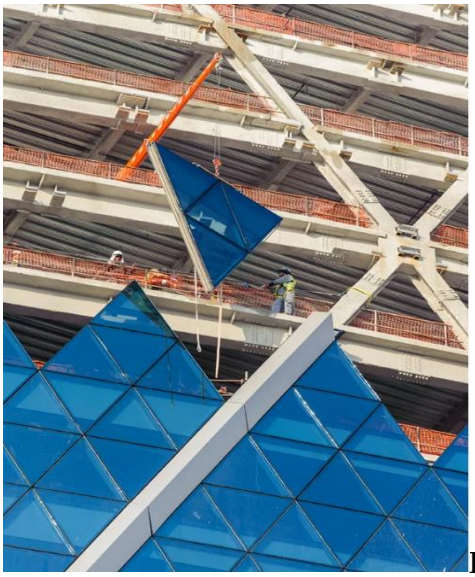
Aldar Genel Merkez Binası, Abu Dabi'de 2010 yılında tamamlanan ve dünyanın ilk dairesel gökdeleni olarak öne çıkan yenilikçi bir yapıdır. MZ Architects tarafından tasarlanan bina, 123.000 m² inşaat alanı, 110 metre yüksekliğe ve 23 kata sahiptir; ortalama kat yüksekliği ise 4.7 metredir. Çift kavisli yüzeyini kaplayan cam cepheler, deniz ve çöl arasındaki kültürel bağlantılara atıfta bulunur. Bina, sürdürülebilir malzemeler ve ileri mühendislik çözümleriyle hem estetik hem de çevresel açıdan etkileyici bir yapı olarak dikkat çeker.

Mimar Marwan Zgheib Aldar Merkez Binası'nın tasarımcısı, bu yörenin geçmişteki geçim kaynağını oluşturan incilerin çıkarıldığı istiridye kabuğundan ilham alarak, bu simgesel değeri taşıyan Aldar gökdelenini tasarlamıştır. Aldar gökdelenin tam merkezinde, betonarme perdelerden oluşan iki adet çekirdek bulunurken, dış cephesinin çift yönde eğriliğe sahip olması ve dış cephesinin daire şeklinde olması hedeflenmiştir (Okbaz, Savaşır, 2013).

Aldar Gökdeleni'nin milimetrik hassasiyette beton dökümü yapılamaması ve gökdelenin karmaşık geometrisi gibi nedenlerden dolayı binanın cephesinde çelik malzeme kullanılmak zorunda kalınmıştır. Mimar Marwan Zgheib, Aldar Genel Merkez Binası'nın tasarımında, yapının İran Körfezi'ne bakan panoramik manzarasını engellemeyecek şekilde ofis alanlarının genişliğini ve pencerelerin yüksekliğini dikkate alarak, çelik "diagrid" dış iskelet kullanmaya karar vermiştir (Sağlıyan, 2020)

Genelde dikdörtgen şeklindeki giydirme cephe üniteleri kullanılan geleneksel yüksek yapılardan farklı olarak diagrid yapılarda, sadece dikdörtgen değil aynı zamanda üçgen, baklava ya da paralelkenar formunda giydirme cephe elemanları kullanılabilmektedir. Aldar Head Quarters'ta üçgen giydirme cephe elemanları kullanılmıştır. (Moon, 2009). Aldar HQ ,tek dairesel diagrid kuledir. Diagridler standart yapısal çelikten (geniş flanş ve evrensel kolon profilleri) inşa edilmiştir ve yangına karşı önlem olarak koruyucu boya ile boyanmıştır (Boake, 2014).

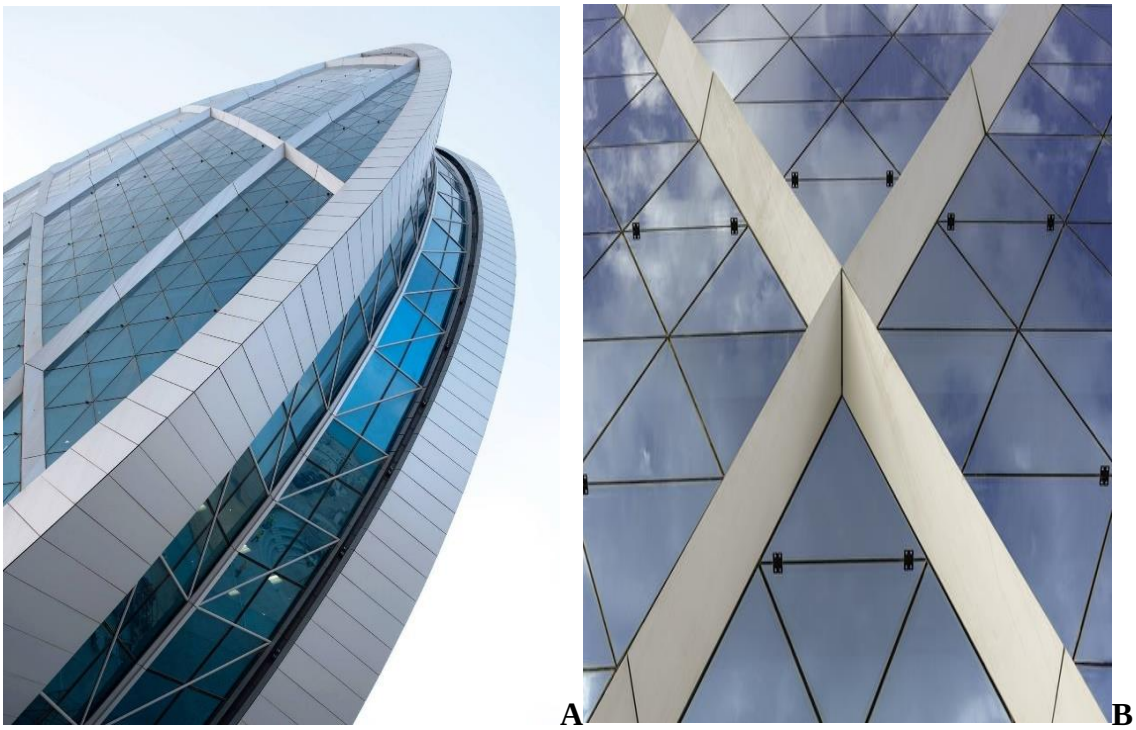

A


B

Şekil 3.2.24 Aldar HQ Detayları **A**) İnşaat Aşaması (WikiArquitectura, Tarih yok) **B)** Cam Montaj görseli (MZ Architects, Tarih yok)

Kavisli cam yüzey, uygulanması en karmaşık elemanlardan biri olmuştur. Cephe eğriliğinin zorluğunu çözmek için, elmas şeklindeki camların birleştirilmesiyle oluşan üçgensel parçalar, diagrid sistem ve yüzeyin oldukça karmaşık geometrisiyle örtüşmüştür. Cam yüzeyler sadece binanın çevresini ve doğduğu canlı yeni şehri yansıtmakla kalmayıp, aynı zamanda güneşin hareketlerine göre gün boyu değişen

dinamik bir cephe oluşturmaktadır (ArchDaily, 2012). Ana cepheler, görünüşte mükemmel bir daire oluşturmak için, silindir tarafından kesilmiş halka şeklinde bir geometri kullanılarak tanımlanmıştır. Bu şekil kullanılarak, cephedeki her yatay kesit, merkezlerindeki aynı düşey eksen boyunca farklı yüksekliklerde farklı yarıçapları olan bir daireyle ifade edilmektedir. Bir kattaki tüm 275 paneller, planın sahip olduğu dairesel hat boyunca eşit kiriş uzunlukları nedeniyle, her birleşme yerinde aynı açı değişikliğiyle tam olarak aynı boyuttadır. Yapının alt ve üstü birbirinin aynalanmış hali olan binada, panel boyutu değişim oranı, ekvatorundan uzaklaşıldıkça artmaktadır. Panellerin tekrarlanabilirli-ğini daha da arttırmak için bağlantı genişlikleri, aynı panelin farklı katlarda birçok kez kullanılmasına izin verecek şekilde, genişliğindeki değişimi belli edilmeden boyutlandırılmış-tır. Bu çalışma sayesinde, teorik olarak gereken 10000 farklı panel boyutu yerine 10 farklı panel boyutu kullanılması sağlanmıştır (ArchDaily, 2012).



A **B**

Şekil 3.2.25. Aldar HQ Cephesi
A) Cephe Perspektifi (Arch2O, Tarih yok) **B)** Cephe Yakın Detay (Archello, Tarih yok)

Aldar Genel Merkez Binası'ndaki camlar, iç mekanlara maksimum doğal ışık sağlarken aşırı ısınmayı ve güneş ışınımını azaltmak için yüksek verimli camlarla tasarlanmıştır. Bu özellik, binanın enerji verimliliğini artırırken, dış cephenin estetik görünümünü de güçlendirir. Ayrıca, çelik "diagrid" dış iskeletin kullanımı sayesinde, binanın panoramik manzarasını kesmeden iç mekanlara ışık girmesini sağlamıştır, böylece hem işlevsel hem de görsel olarak etkileyici bir tasarım elde edilmiştir.

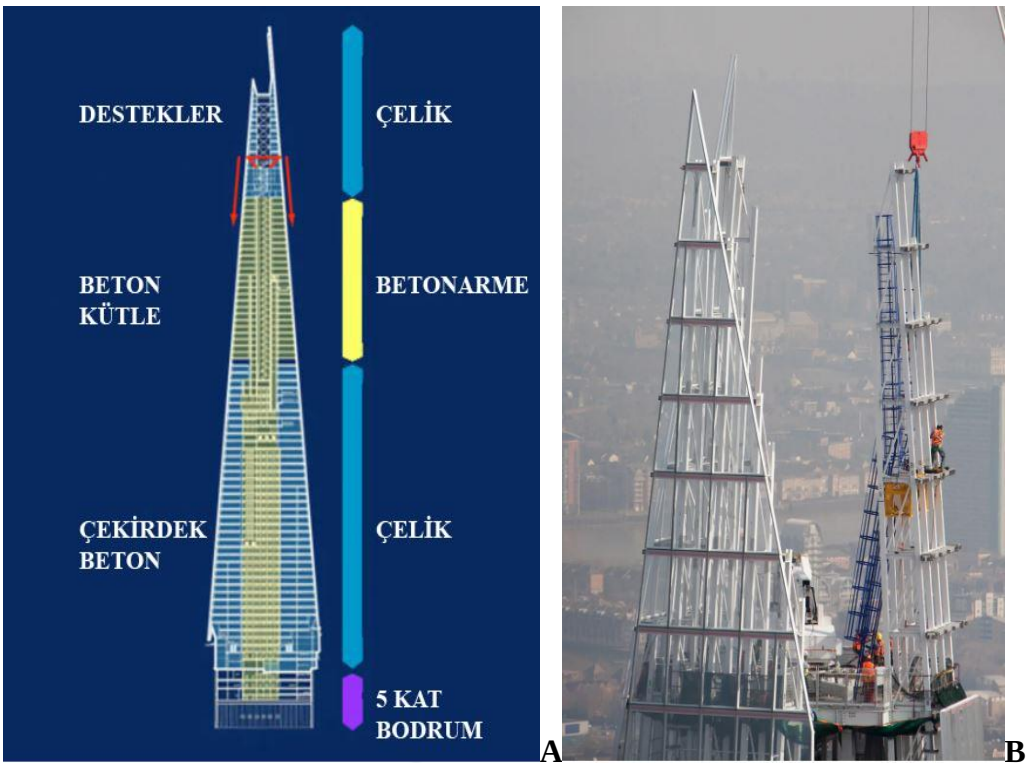
The Shard – 2012



Şekil 3.2.26. The Shard – 2012 (González, 2018)

The Shard, Londra'da bulunan ve mimar Renzo Piano tarafından tasarlanan çarpıcı bir gökdelendir. 2012 yılında tamamlanan bina, 310 metre yüksekliği ve 95 katıyla İngiltere'nin en yüksek binasıdır. Kat yükseklikleri ortalama 4,2 metre civarında olup, binanın daralan formuna katkı sağlar. Geniş cam cephesi, gökyüzü ve şehir manzarasını yansıtarak parıldayan bir etki yaratır. Shard, aynı zamanda açık alanları ve geniş

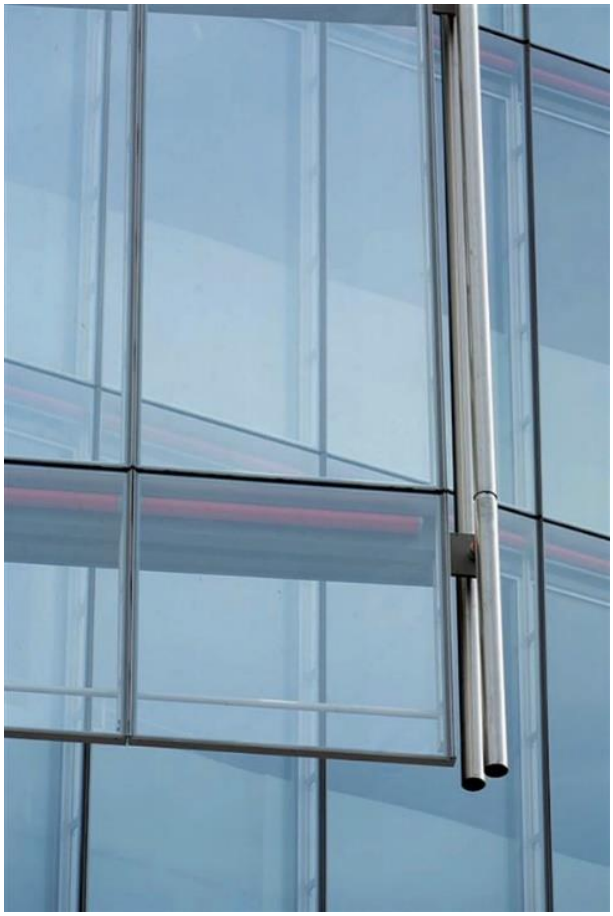
atriumuyla doğal ışığı en iyi şekilde kullanarak Londra'nın panoramik manzaralarını sunar. Beton, çelik ve camdan oluşan The Shard, yapıldığı tarihte İngiltere ve Avrupa Birliği'nin en yüksek binası, Avrupa'nın en yüksek beşinci binası ve dünyanın en yüksek 96. binası oldu. Karma bir yapıya sahip olan The Shard, ofisler, restoranlar, otel, rezidanslar, perakende alanları ve bir gözlem terası gibi çeşitli fonksiyonlara ev sahipliği yaparak Londra'nın sosyal ve ticari yaşamına önemli bir katkı sağlamaktadır.



Şekil 3.2.27. The Shard Detayları (Parker, 2009).
A) Kesit modellemesi **B)** The Shard'ın kulesine kaldırılan son çelik parçası

Yapının "top down" olarak literatürde yer bulan yapım tekniği, özel olarak ilk kez bu projede bir yüksek yapı inşa tekniği olarak çalışılmıştır. Yapının beton çekirdeğinin ilk 23 katının ve çekirdeğin çevresinde konumlandırılan, çekirdek bağlantılı olarak inşa edilen kulenin çoğunun, yapı alt grubundaki temellerin inşası tamamlanmadan önce başlaması ve eş zamanlı olarak hem yapı alt grubunun temellerinin ilerleyişi devam ederken (5 kat yüksekliğinde temel inşası sağlanmıştır), hem yapı üst grubunun ana temel betonarme çekirdeğe bağlı olarak konumlandırılan bir çelik iskelet sistem örtüsü ve ona eklemlendirilen cam giydirme eğimli cephe kaplaması olarak inşa edildiği sistem, ilk kez The Shard yapısı üzerinde uygulanmıştır ve bu sistem ile yapim maliyeti 450 milyon

sterlinin altina düşürülmesi hedeflenmistir. Shard karma bir yapıdır: bodrumda beton, 40. seviyeye kadar çelik, 69. seviyeye kadar tekrar beton ve son olarak tepede çelik bir kule inşa edilmiştir (Parker, 2009).



Şekil 3.2.28. The Shard Cam Panel Görünüş (González, 2018)

The Shard'ın cephesindeki camlar sekiz farklı açıda ve kış bahçelerini havalandırmak amacıyla boşluklar bırakılarak yerleştirilmiştir. Bu sayede ışığı farklı açılarda kıran ve farklı görüntüler yansıtan camlarla kuleye hafiflik ve şeffaflık kazandırılmak istenmiştir. Cam kullanımı ve geometrik formu sayesinde hantal değil zarif bir kule inşa edilebilmiştir. Yansıtıcılığı artırmak amacıyla cephelerde özel bir sırlama tekniği ile elde edilen ekstra beyaz cam kullanılmıştır. Kullanılan 11 bin panel cam toplamda 56 bin metrekarelik bir alan kaplamaktadır (Parker, 2012).

Gelecek Müzesi – 2022



Şekil 3.2.29. Gelecek Müzesi – 2022 (Killa Design, Tarih yok)

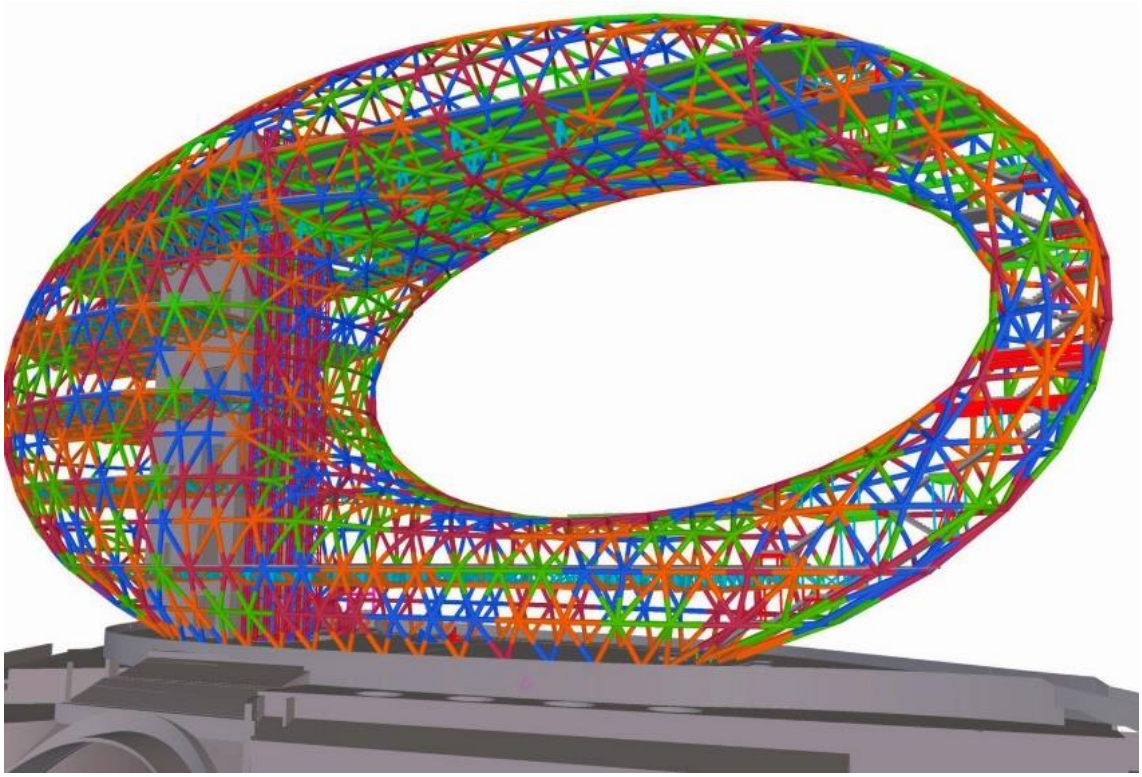
Dubai'de yer alan Gelecek Müzesi, mimari ve mühendislik açısından yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir. Müze, Killa Design tarafından tasarlanmış ve Buro Happold mühendislik firması tarafından inşa edilmiştir. Bina, 77 metre yüksekliğe sahiptir ve toplamda 30.548 m² bir alanı kaplamaktadır. Paslanmaz çelikten oluşan cephesi, robot destekli özel bir üretim süreciyle imal edilen 1.024 parçadan oluşmaktadır. Cephe, 17.600 metrekarelik bir yüzey alanına sahiptir ve Dubai Emiri'nin geleceğe dair vizyonunu yansıtan Arapça kaligrafiyle işlenmiş alıntılarla süslenmiştir. Yapının formu sembolik anlamlar taşımaktadır: dairesel şekil insanlığı, binanın oturduğu yeşil tepe yeryüzünü ve binanın ortasındaki boşluk ise bilinmeyen geleceği temsil etmektedir. Müze, geçmiş ile geleceği bağlayan bir köprü oluşturmayı amaçlayarak, geleneksel sanat formlarını ileri teknolojiyle harmanlamaktadır (Museum of the Future, Tarih yok).



Şekil 3.2.30. Gelecek Müzesi Detayları **A)** Bina Cephesi (Museum of the Future, Tarih yok) **B** Cephe Montaj İmalat Aşaması (Museum of the Future, Tarih yok)

Dubai Gelecek Vakfı tarafından kurulan ve 22 Şubat 2022'de açılan müze, bilim ve teknolojiyi ile toplumun önümüzdeki on yıllarda nasıl evrilebileceğini araştırıyor. Aynı zamanda cam pencere işlevi de gören Arap kaligrafisi, müzenin göz alıcı dış cephesine sanatsal bir hava katıyor. Bu eser, BAE Başkan Yardımcısı ve Başbakanı ve Dubai Emiri tarafından yazılan şiir dizelerinden esinlenerek Emirlik sanatçısı Mattar bin Lahej tarafından yaratıldı. Binanın dış cephesinde yazılı üç sözden biri şu anlama geliyor: "Gelececek; onu hayal edebilen, tasarlayabilen ve uygulayabilenlerindir. Gelecek; gelmesini beklediğimiz değil, yarattığınız şeydir." (Visit Dubai, Tarih yok).

Gelecek Müzesi, modern mimaride tasarım ve mühendislik sınırlarını zorlayan çarpıcı bir yapı olarak öne çıkmaktadır. Paslanmaz çelikten oluşan dış cephesi, Arap kültürünün estetik değerlerini ve teknolojik inovasyonu bir araya getirirken, parametrik tasarım ve robotik üretim teknikleriyle inşa edilmiştir. Bu yenilikçi yaklaşım, hem mühendislik hem de estetik açıdan etkileyici bir başarıyı temsil etmektedir.



Şekil 3.2.31. Gelecek Müzesi Çelik Montaj Detayı (Montjoy, 2022)

Binanın tasarımı, Dubai'nin vizyoner şehircilik anlayışını yansıtarak geleceğe dair umut ve yenilik arayışını simgeler. Cephenin kaligrafik desenleri, yalnızca estetik bir unsur değil, aynı zamanda Arap dünyasının bilim ve yaratıcılık mirasına gönderme yapan anlamlı bir mesaj taşır. İç mekan düzenlemeleri ise sürdürülebilirlik, teknoloji ve insanlık temalarına odaklanan sergi ve deneyim alanlarıyla zenginleştirilmiştir.

Çelik ve camın yenilikçi bir şekilde kullanımı, bu yapının temel özelliklerinden biridir. Çelik, esnekliği ve dayanıklılığı sayesinde kompleks geometrilerin hayata geçirilmesine olanak tanımıştır. Paslanmaz çelik paneller, sadece yapının dış kabuğunu oluşturmakla kalmayıp, Arapça kaligrafiyi sanatsal bir ifadeye dönüştürerek binaya kültürel bir derinlik kazandırmıştır. Cam ise hem işlevsel hem de estetik bir unsur olarak öne çıkar; doğal ışığın iç mekana nüfuz etmesini sağlayarak enerji tasarrufuna katkıda bulunur ve mekana modern bir şeffaflık hissi katar.



Şekil 3.2.32. Gelecek Müzesi Cephesi (Museum of the Future, Tarih yok)

Yapım teknolojileri açısından, Gelecek Müzesi, Endüstri 5.0'ın sunduğu ileri üretim tekniklerini bir araya getirerek modern mühendisliğin ulaştığı noktayı sergileyen bir başyapıttır. Dijital üretim süreçleriyle oluşturulan 1.024 paslanmaz çelik panel, cephedeki kaligrafik desenlere ve eğrisel formlara tam uyum sağlayacak şekilde özel olarak üretilmiştir. Robotik üretim ve 3D baskı teknolojileri, bu sürecin temel taşlarını oluşturmuş, üretim süreçlerinde hız ve hassasiyet sağlamıştır. Çelik strüktür, düzensiz geometrileri desteklemek için bilgisayar destekli analizlerle optimize edilmiş ve geleneksel sistemlerden farklı olarak daha karmaşık bir mühendislik çözümü sunmuştur.

Enerji verimliliği açısından da ileri teknolojiler kullanan yapı, cam panellerinde düşük emisyonlu (low-E) kaplamalarla güneş ısısını kontrol altına alırken doğal ışığı içeri alır. Bu özellik, sürdürülebilir tasarım yaklaşımını destekler ve yapının çevresel etkilerini en aza indirir.

Teknosfer Binası Projesi

Teknosfer Binası (Technosphere), James Law tarafından tasarlanmış ve henüz tasarım aşamasında olan bir projedir. Dubai'deki Jebel Ali Serbest Bölgesi için önerilen bu yapı, mimarinin sürdürülebilirlik ve teknolojiyle buluştuğu vizyoner bir konsept olarak dikkat çeker. Ancak bu bina, şu an için sadece bir fikir olarak varlığını sürdürmekte ve inşa edilmemiştir.

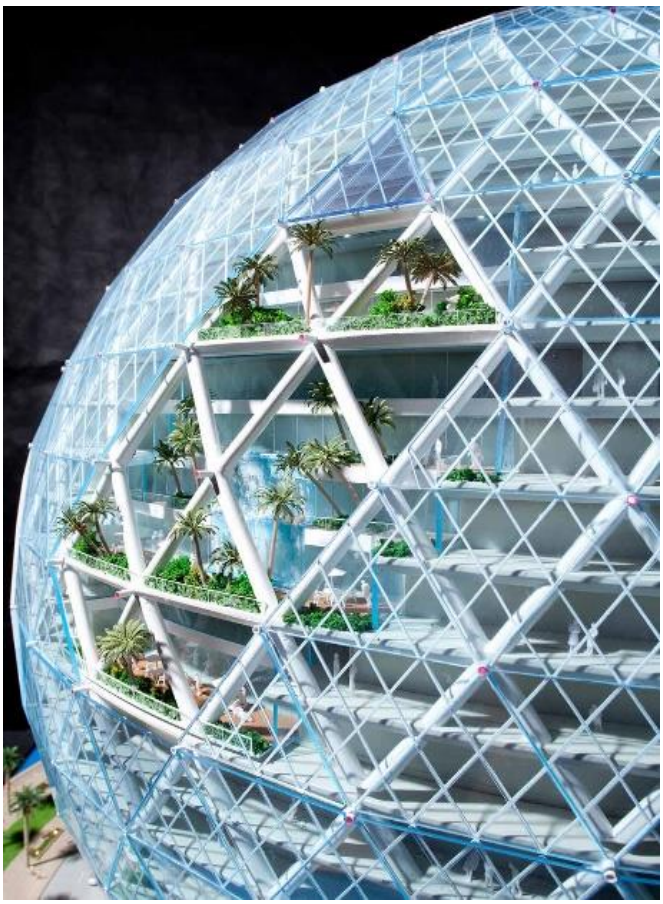
Dubai'nin 10 milyon ft karelik fütüristik mini şehir projesi, yolları olan mega yapı içerisinde konut, ticari, perakende, eğlence ve otel kompleksleri içeren bir mikro gezegen olarak tasarlanmıştır (Cybertecture, Tarih yok). Teknosfer Binası, doğadan ve özellikle Dünya'nın küresel formundan esinlenerek tasarladığı çarpıcı bir yapı konseptidir. Dubai'de, Jebel Ali Serbest Bölgesi için önerilen bu proje, çevre dostu ve teknolojik bir mimari yaklaşımı yansıtır. Küre şeklindeki bina, dıştan tamamen cam kaplı bir yüzeyle çevrilmiş olup, içinde geniş bir atriyum ve çok seviyeli alanlar barındırır.



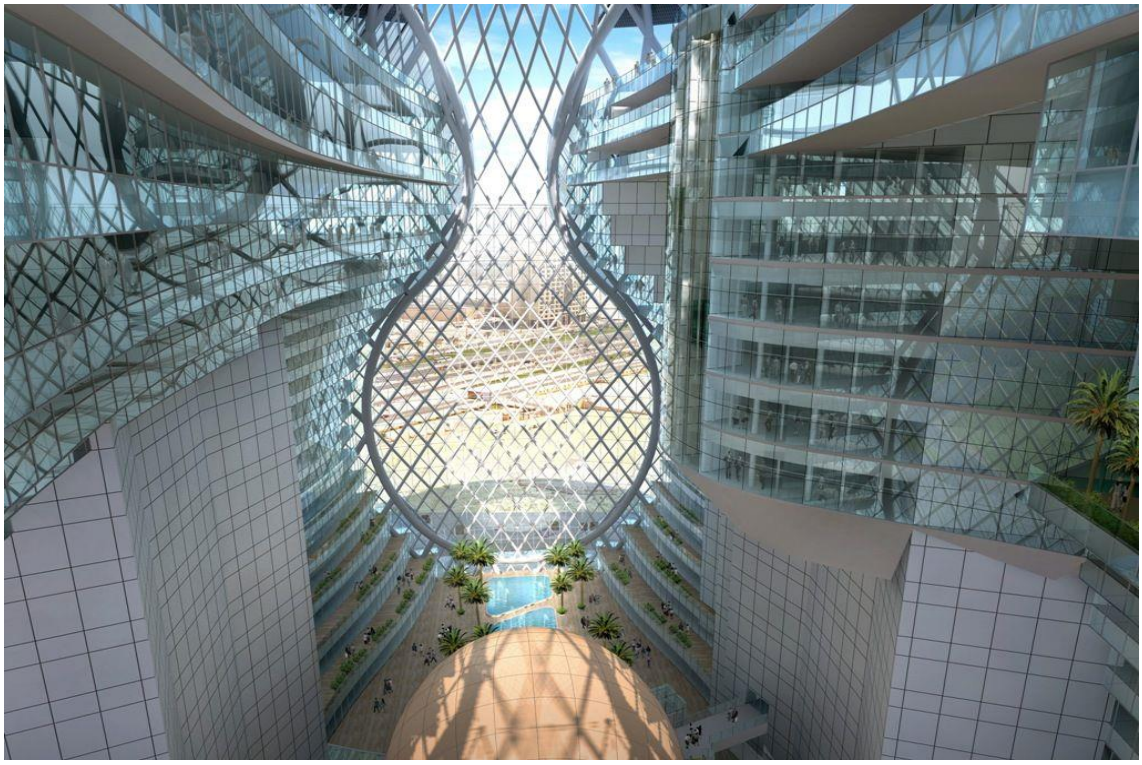
Şekil 3.2.33. Teknosfer Binası Projesi Render (Cybertecture, Tarih yok)

Technosphere binası, ofis, otel, ticaret ve dinlenme alanlarını bir araya getiren çok işlevli bir yapıdır. Binanın tasarımı, kendi kendine yetebilen bir ekosistem oluşturmayı hedefler. Güneş enerjisi üretimi, su geri dönüşüm sistemleri ve iç mekandaki bitki örtüsüyle enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik sağlanması planlanmıştır. Dış cephedeki cam paneller, güneş ışığını optimize edecek şekilde tasarlanmış, enerji tasarruflu malzemelerle güçlendirilmiştir. Ayrıca, açık teraslar ve gökyüzü bahçeleri gibi alanlarla doğal ışık ve havalandırma imkanı sunar.

Technosphere projesi, iki ana cam sistemini içermektedir: biri, güney ve kuzey kanatlarındaki otel/ofis kulelerinde uygulanması planlanan yarı birleştirilmiş sistem, diğeri ise atriumda kullanılacak nokta bağlantılı örümcek sistemidir. Yarı birleştirilmiş sistemde, yüksek performanslı lamine çift cam üniteleri kullanılarak enerji verimliliği ve akustik performans hedefleniyor. Ayrıca, bazı camların eğimli yüzeylerde güvenlik amaçlı lamine edilmesi öngörülmektedir.



Şekil 3.2.34. Teknosfer Binası Açık Teras Bölümü Render (Cybertecture, Tarih yok)



Şekil 3.2.35. Teknosfer Binası Atrium Render (Arch2O, Tarih yok)

Atrium alanındaki camlar ise şeffaf cam ve seramik baskılı desenli camlardan oluşacak, bu camlar paslanmaz çelik örümcek sistemiyle desteklenerek alüminyum çerçeve kullanılmadan şeffaf bir görünüm sağlanması planlanmaktadır. Projeye entegre edilen termal koparma teknolojisi, cam sistemlerinde ısı transferini engellemeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu teknoloji, iç mekanlardaki enerji verimliliğini artırarak, dış ortamla ısı geçişini minimize edecektir. Böylece, iç mekan sıcaklıklarının daha dengeli hale gelmesi sağlanırken, enerji tasarrufu ve konforlu bir yaşam alanı oluşturulması hedeflenmektedir.

Technosphere projesinde çelik malzeme, hem yapısal taşıma kapasitesini artırmak hem de estetik açıdan görsel etkiler yaratmak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Çelik, özellikle ana diagrid yapısının ve atriumdaki nokta bağlantılı örümcek sisteminin alt yapısını oluşturan temel malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu malzeme, binanın yüksekliği ve mimari formu göz önünde bulundurulduğunda, hem dayanıklılık hem de esneklik sağlamak açısından ideal bir tercihtir. Çelik, aynı zamanda yapının daha hafif ve ince görünümlü olmasına olanak tanır, bu da binanın şeffaflık hissini güçlendiren bir unsurdur.

Çelik ve camın birleşimi, Technosphere'nin tasarımında özellikle dikkat çekicidir. Cam, doğal ışığın iç mekanlara maksimum düzeyde girmesini sağlar ve dış mekanla güçlü bir görsel bağ kurar. Camın şeffaf yapısı, binanın çevresindeki manzaraların iç mekanlara yansımasını mümkün kılar. Diğer yandan, çelik malzeme, cam yüzeylerin stabilitesini sağlayarak yapıyı destekler. Çelik iskelet, camın tüm yüzeylerde güvenli bir şekilde kullanılmasına olanak tanırken, binanın yüksekliğine ve yapısal ihtiyaçlarına göre esneklik ve sağlamlık kazandırır. Bu malzeme birleşimi, mimari açıdan modern ve şık bir görünüm sunarken, aynı zamanda enerji verimliliği ve dayanıklılığı da artırır. Çelik ve camın uyumu, yapıdaki ışık, şeffaflık ve güçlü yapısal bütünlüğün bir arada olmasını sağlayarak, estetik ve fonksiyonel açıdan güçlü bir tasarım yaratmaktadır.

Teknosfer gibi tasarımlar, bu teknolojilerin şehir ölçeğinde nasıl uygulanabileceğini araştırmak için birer laboratuvar olarak görülebilir. Henüz inşa edilmemiş olsa da bu proje, gelecekte dikey şehirlerden izole kolonilere kadar çeşitli uygulamaların önünü açabilir. Dünya dışı yaşam alanları veya çevresel krize çözüm sağlayacak otonom şehirler için bu tür yapılar ilham kaynağı olabilir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Mimari Mekan

İnsanlar, tarih boyunca barınma ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli mimari yapılar geliştirmiştir. Başlangıçta doğal malzemelerle yapılan basit barınaklar, neolitik dönemde taş ve kerpiç gibi malzemelerle kalıcı yapılara dönüşmüştür. Tarıma geçişle birlikte yerleşik hayatın başlaması, mimari mekânların daha karmaşık hale gelmesine ve yapı tekniklerinin gelişmesine zemin hazırlamıştır. Bu süreç, basit barınaklardan günümüzün modern mimarisine kadar uzanan uzun bir evrimi kapsamaktadır. Bu evrim, günümüzün modern mimarisine kadar uzanırken, özellikle sanayi devrimi sonrası malzeme ve yapı tekniklerinde devrimsel bir dönüşüm yaşanmıştır.

Sanayi devrimleri, mimari mekan üretiminde köklü değişimlere zemin hazırlayan teknolojik ve bilimsel dönüşümleri ifade etmektedir. Endüstri 1.0'dan itibaren makineleşme, elektrifikasyon ve bilgi teknolojilerinin gelişimi, mimari mekanların tasarım ve inşa süreçlerini yeniden şekillendirmiştir.

Günümüzde, Endüstri 4.0 ve 5.0'ın sunduğu yapay zeka, nesnelerin interneti ve biyoteknoloji gibi yenilikler, daha akıllı ve sürdürülebilir mekanlar yaratmayı mümkün kılmaktadır.

Bugün, mimari mekânların üretiminde kullanılan malzemeler yalnızca estetik ve işlevsellik açısından değil, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi çevresel faktörleri de dikkate alır. Çelik ve cam gibi modern malzemeler, mimari tasarımın sınırlarını genişletmiş ve yeni mekân anlayışlarını mümkün kılmaktadır. Bu malzemelerin uyumlu bir şekilde kullanılması, binaların enerji verimliliğini artırırken, estetik açıdan da mekanları zenginleştirmiştir. Çelik ve camın bir arada kullanılması, çağdaş mimaride yeni bir dil oluşturarak, işlevsel ve estetik açıdan verimli yapılar yaratılmasına olanak sağlamaktadır.

Enerji verimliliği ve çevresel etkiler de günümüzde malzeme seçiminde belirleyici faktörlerden biridir. Çelik ve cam gibi malzemeler, yapının enerji verimliliğini artıran, sürdürülebilir çözümler sunan özelliklere sahiptir. Gelişen teknoloji ile bu malzemelerin üretim süreçleri daha çevre dostu hale gelirken, yapılar da enerji üretme kapasitesine

sahip dinamik sistemlere dönüşmektedir. Dolayısıyla, mimari tasarımlar, çevresel sorumlulukları göz önünde bulundurarak hem enerji tasarrufu sağlayan hem de estetik açıdan tatmin edici yapılar oluşturacak şekilde şekillenecektir.

Çelik

Demir ve karbonun belirli oranlarda bir araya gelmesiyle oluşan bir alaşım olan çelik malzeme, tarih boyunca yapılarda kullanılmış olmasına rağmen, yapısal özelliklerinin tam anlamıyla keşfedilmesi ve modern anlamda kullanımının yaygınlaşması Endüstri Devrimi sonrasında gerçekleşmiştir. Öncesinde "Demir Yapı" olarak nitelendirilen yapılar çelik malzeme üretiminin ve üretim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte oluşturulan çelik konstrüksiyon neticesinde "Çelik Yapı" şeklinde nitelendirilmeye başlanmıştır. Mimarlıkta dökme demirden çeliğe geçiş, yapı malzemeleri ve strüktür anlayışında devrim yaratarak mekan kavramını kökten değiştirmiştir. Geleneksel olarak sınırları belirli, kapalı mekanlar inşa etme yaklaşımı, yerini giderek daha açık, akışkan ve kesintisiz mekan deneyimlerine bırakmaktadır.

Çelik, üretim teknolojilerinin yetersizliği ve yüksek maliyetler nedeniyle uzun süre sınırlı kullanılmış, ancak 18. yüzyıldaki Endüstri Devrimi ile bu durum değişmiştir. Buhar gücünün ve mekanik makinelerin üretime entegrasyonu, çeliğin daha hızlı ve ekonomik üretilmesini sağlamış, bu da yapı sektörü başta olmak üzere birçok alanda çeliğin temel malzeme olarak benimsenmesine yol açmıştır. İlk başta demir malzemesi ile başlayan süreç, Bessemer yöntemi gibi yeniliklerle düşük maliyetli çelik üretimini mümkün kılmıştır. Bu gelişme, köprüler, demiryolları ve gökdelenler gibi büyük ölçekli projelerde çeliğin yaygın kullanımını sağlamıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte, dökme demirden çelik üretimine geçiş aşamasında her bir çelik üretim yöntemi, kendi döneminin ihtiyaçlarına yanıt vererek mimaride önemli dönüşümler sağlamıştır. Bessemer Yöntemi, seri ve ucuz çelik üretimi ile gökdelenlerin inşasını mümkün kılmıştır. Thomas Yöntemi, fosforlu demir cevherini işleyerek Avrupa'da sanayi yapılarında kullanılmıştır. Siemens-Martin Yöntemi, kaliteli çelikle geniş köprüler inşa edilmesine olanak tanımıştır. Linz-Donawitz Yöntemi, savaş sonrası

hızlı çelik üretimiyle modern yapıları desteklemiştir. Heroult Yöntemi ise geri dönüştürülen çelikle sürdürülebilir yapılar için öncü olmuştur.

Çelik malzemesi, modern mimaride yüksek dayanıklılık, esneklik ve geniş açıklıklar sunarak mimarların daha cesur ve yaratıcı tasarımlar yapmasına olanak tanımıştır. Çeliğin gelişimi, mimarların tasarımlarında daha özgür ve cesur olmalarını sağlamış, hafiflik, dayanıklılık ve geniş açıklık geçebilme özellikleriyle yenilikçi ve estetik projelere olanak tanımıştır. Böylece, mimaride estetik ve fonksiyonel bir devrim gerçekleşmiştir.

Cam

Cam malzeme ise, temel olarak toprak kökenli bileşenlerden elde edilen, yüksek ısıda şekillendirilebilen, sert, kırılgan ve şeffaf bir malzemedir. Isıya karşı dayanıklı olan bu malzeme, formunu koruyarak farklı kalıplara dökülebilir ve istenilen şekli alabilir. Camın saydamlığı, onu ışığı geçiren, ancak aynı zamanda iç mekanları dış etkenlerden koruyan ideal bir yapı elemanı yapar. Mimaride hem estetik hem de işlevsel çözümler sunan cam, farklı projelerde yenilikçi tasarımlara olanak tanır.

5000 yıllık geçmişiyle en eski yapı malzemelerinden olan cam M.Ö. 200'lerde Suriye'de pencerelerde kullanılmaya başlamış, ardından Roma İmparatorluğu aracılığıyla Avrupa'ya yayılmıştır. Romalılar M.S. 1. yüzyılda döküm yöntemiyle düz cam üretmiş ve camı villalarda kullanmışlardır. Sanayi Devrimi ile cam üretim teknolojileri hız kazanmış, 1687'de "Plate Glass" yöntemi ile büyük cam levhalar üretilmeye başlanmıştır. Bu teknik, modern mimaride cam kullanımını yaygınlaştırmıştır.

1856'da çelik üretiminde devrim yaratan Bessemer süreci ile elde ettiği başarı, cam üretiminde de verimlilik artışını sağlayan tekniklerin temellerini atmıştır. Eritilmiş camın presleme yöntemiyle şekillendirilmesini sağlayan bu buluş, cam üretiminde de verimlilik artışını sağlayan tekniklerin temellerini atmıştır. Bu gelişme, cam endüstrisinin modernleşmesine büyük katkı sağlamış ve üretim süreçlerinin hızlanmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu bağlamda, Bessemer'in cam endüstrisine yaptığı katkılar, aslında çelik üretimindeki yeniliklerin başka sektörlere nasıl etki edebileceğinin güzel bir örneğidir.

1952 yılında Alistair Pilkington'un camı sıvı kalay üzerinde yüzdürmeye başlaması ile seri cam üretimine geçilmiştir. 19. Yy'da cam üretimi Siemens kardeşlerin rejeneratör fırını, cam havuzu ve Beriwez'in cam soğutma fırını, cam üretiminde devrim niteliğindeki yenilikler sunarak sanayileşmenin önemli bir parçası olmuştur. Bu teknolojiler, cam üretimini hızlandırmış ve maliyetleri düşürmüştür. Böylece, cam daha geniş kitlelere ulaşabilir hale gelmiş, kalitesi artmış ve estetik ile fonksiyonel kullanım alanları genişlemiştir. Cam teknolojisindeki bu evrim, hem estetik hem de işlevsellik açısından mimari projelerde yeni ufuklar açmıştır.

Camın mimarideki rolü, estetik ve fonksiyonellik açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Cam, yüksek ışık geçirgenliği ile doğal ışığı iç mekanlara yönlendirirken, dış dünya ile olan etkileşimi güçlendirir. Şeffaf yapısı sayesinde, yapılar çevreleriyle bütünleşerek iç mekan algısını zenginleştirir. Farklı renk ve dokulardaki cam tasarımları, mimarların estetik algısını genişletmekte ve yapının kimliğini belirginleştirmektedir. Ayrıca, günümüzde geliştirilen yüzey kaplamalı, temperli, tabakalı ve enerji verimli cam türleri, iç mekan konforunu artırarak enerji performansını iyileştirmektedir. Bu özellikleriyle cam, modern mimarinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

21. yüzyıl yapılarında cam kaplama teknolojileri, enerji verimliliği ve iklim kontrolüne yönelik önemli roller üstlenmektedir. Gelişen teknolojiler, binaların dış cephe tasarımlarını değiştirerek daha etkili enerji yönetimi ve doğal ışık kullanımı olanakları sunmaktadır. Bu doğrultuda cam kaplamalarda öncelikli hedefler; ısı kayıplarını azaltmak, güneş ışığını en verimli şekilde yönlendirmek, güneş ısısını kontrol altında tutmak ve doğal ışığı maksimum düzeyde kullanmaktır. Isı kaybının önlenmesi ve doğal ışık elde etme sorunları büyük ölçüde çözülmüşken, ışığın yönlendirilmesi ve güneş ısısı kontrolü alanlarında hâlâ geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu gelişmeler, gelecekte cam kaplama teknolojilerinin binaların sürdürülebilirlik ve işlevsellik standartlarını daha da yükseltmesine olanak sağlayacaktır.

Cam kaplamaları, gelecekte enerji verimliliğinin ötesine geçerek enerji üretimi sağlayacak önemli bileşenler haline gelecektir. Teknolojik ilerlemeler, camların yalnızca dış ortam koşulları ile iç mekan ihtiyaçları arasındaki dengeyi sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ısı, ışık ve elektrik enerjisi üretebilen dinamik sistemlere dönüşmesini mümkün

kılacaktır. Bu gelişmeler, camın sürdürülebilir mimarideki rolünü pekiştirirken, çevre dostu yaklaşımlar ve yenilikçi tasarımlar, cam cephelerin enerji üretimi ve doğal ışık yönlendirmesi gibi fonksiyonlarla entegre olmasına olanak tanıyacaktır.

Çelik ve Cam

Çelik ve cam, modern mimarinin yapı taşları arasında önemli bir yer edinmiştir. Her iki malzemenin de birbirini tamamlayan özellikleri, çağdaş mimarlıkta estetik ve işlevselliği bir araya getiren yapılar oluşturulmasına olanak tanımıştır.

Çelik, 19. yüzyılda sanayi devrimiyle birlikte mimaride kullanılmaya başlanmıştır. Güçlü, dayanıklı ve esnek yapısı sayesinde büyük açıklıkların geçilmesine ve yüksek binaların inşa edilmesine imkan tanır. Özellikle gökdelenlerin ve geniş açıklıklı köprülerin yapımında çeliğin kullanımı, mimarların yeni formlar yaratmasına olanak sağlamıştır. Cam malzeme ise tarih boyunca dekoratif amaçlarla kullanılmış olsa da 20. yüzyılın başlarında geniş yüzeyler halinde kullanılabilir hale gelmesiyle mimaride devrim yaratmıştır. Camın şeffaf yapısı, mekanların doğal ışıkla aydınlatılmasını sağlar, bu da iç mekanları daha geniş ve ferah gösterir.

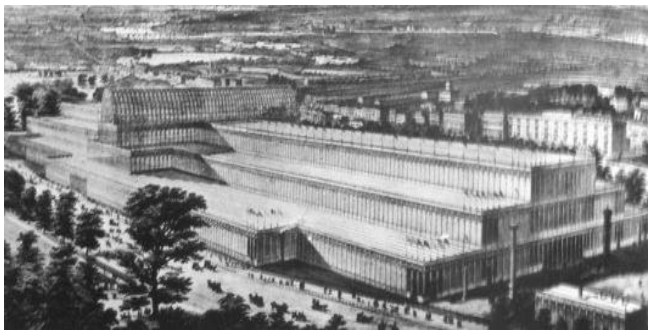
Çelik ve camın birlikte kullanımının yarattığı **Yapısal Yenilikler**, mimariye sadece görsel zenginlik kazandırmakla kalmaz, aynı zamanda **Sürdürülebilirlik** açısından da önemli katkılar sağlar. Çelik ve cam, **Yapısal Dayanıklılık** ile **Şeffaflık** arasında denge kurarak mekan tasarımında özgün bir prestij kazandırmanın yanı sıra **Esneklik** ve **Estetik Çeşitlilik** sağlar. Özellikle geniş açıklıklar, doğal ışık kullanımı ve enerji verimliliği gibi avantajlarla, modern yapıların **Mekansal Etkileşim** sağlamasında öncü unsurları haline gelmiştir.

Çelik ve camın bir arada kullanımı, modern mimaride estetik ve fonksiyonellik sunarken, bazı dezavantajlar da doğurur. Camın ısı yalıtımı zayıf olduğu için enerji verimliliğini olumsuz etkiler ve ek ısıtma veya soğutma gereksinimleri doğurur. Ayrıca, camın kırılma riski ve dış etkenlere karşı hassasiyeti güvenlik ve bakım açısından zorluklar yaratabilir. Yüksek maliyetler ve ses yalıtımı eksiklikleri de önemli dezavantajlar arasında yer alır. Bu zorluklar, tasarım aşamasında dikkate alınıp, uygun çözümlerle minimize edilmelidir.

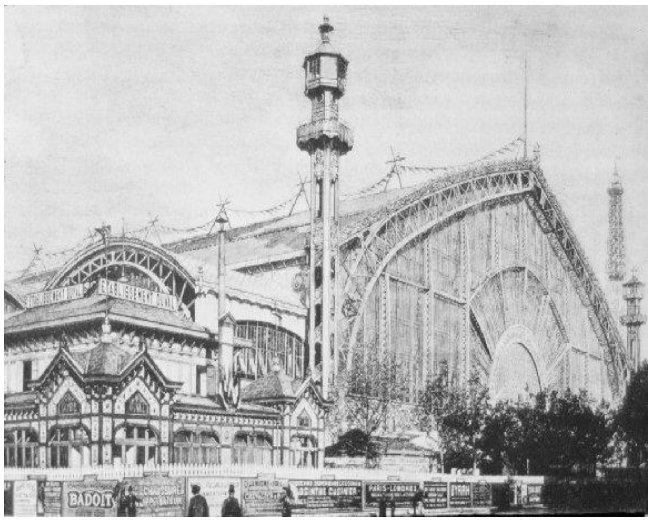
Çelik ve camın bir arada kullanımı, ilk olarak dünya çapındaki Expo (Dünya Fuarı) organizasyonları aracılığıyla sergilenmiştir. Özellikle Joseph Paxton'ın tasarladığı Kristal Saray bu kombinasyonun öncülerindendir. Kristal Saray, Londra'daki ilk Dünya Fuarı için tamamen çelik ve cam kullanılarak, yarattığı büyük açıklıklar ve şeffaf mekanlarla modern mimariye öncülük etmiştir. Bu yapı, mimari tasarımda çelik iskelet sistemlerinin ve geniş cam yüzeylerin nasıl yenilikçi çözümler sunduğunu göstermiştir. Galerie des Machines, Paris'teki sergiye ait büyük çelik kemerler ve cam yüzeylerle geniş açıklıklar sunan bir yapıdır. Bu yapı geniş mekanlar yaratmada çeliğin dayanıklılığı ve camın şeffaflığını birleştirerek sanayi devriminin inşaat teknolojileri üzerindeki etkisiyle birlikte mimarlık alanında yeni bir estetik anlayışın oluşmasına olanak tanımıştır. Barselona Pavyonu, çelik ve camın minimal tasarımla birleştiği estetik bir örnek olarak öne çıkar. Hollanda Pavyonu doğa dostu tasarımıyla çelik konstrüksiyon ve cam cephelerin çevreye duyarlı bir şekilde birleştirirken, Çin Pavyonu geleneksel ve modern unsurları harmanlar. Alif Mobility Pavyonu ise yenilikçi teknolojileri kullanarak hem hareketlilik hem de enerji tasarrufuna odaklanan fütüristik bir yapı sunmuştur.

Aşağıda, söz konusu mimari eserlerin her birinin detaylı analizine ve özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kristal Saray Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Kristal Saray</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Joseph Paxton</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı</td><td>1851</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Expo Fuar Yapısı</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Demir ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>70.000 m² (14,6 m aralıklı dökme demir kolonlarla 563,3m x 124,4m alanı kaplamaktadır.)</td></tr>
<tr><td>Yapının Önemli Özellikleri</td><td colspan="2">84.000 m² cam, 6024 adet dökme demir kolon ve 1245 adet dövme demir kiriş kullanılarak yapılan ve o zamana kadar cam ve demirden yapılmış en büyük yapı.</td></tr>
</table>

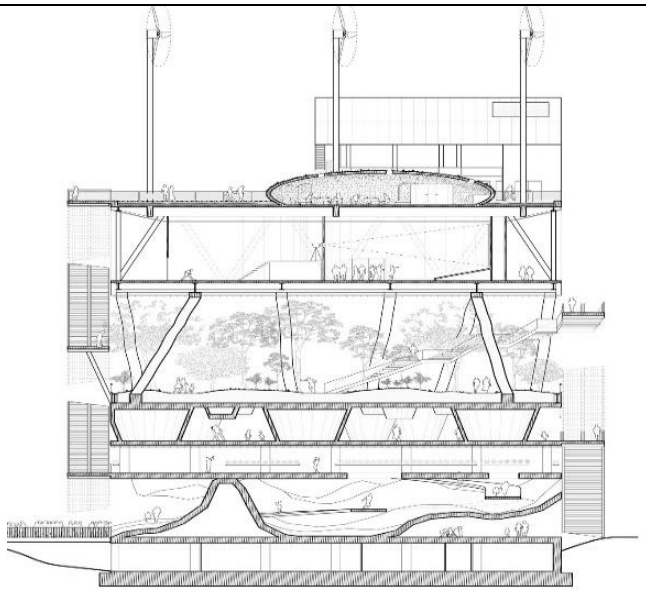
Çizelge 4.2. Galerie des Machines Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Galerie des Machines</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Mimarı Charles-Louis Ferdinand Dutert, Mühendis Victor Contamin</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı</td><td>1989</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Expo Fuar Yapısı</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>46.600 m² (45m yapı yüksekliği ile 111m x 420m alanı kaplamaktadır.)</td></tr>
<tr><td>Yapının Önemli Özellikleri</td><td colspan="2">Yapı, iç mekanda kolonların bulunmamasıyla kesintisiz bir sergi alanı sunarak geniş makine sergileri için ideal bir mekan oluşturmuştur. Teknik özellikleri, boyutları ve kullanılan malzemeleriyle sanayi devriminin inşaat teknolojileri üzerindeki etkisini somut bir şekilde yansıtmaktadır.</td></tr>
</table>

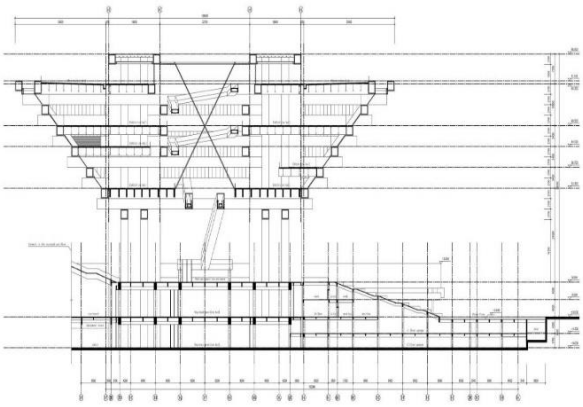
Çizelge 4.3. Barcelona Pavyonu Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Barcelona Pavyonu</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Ludwig Mies van der Rohe</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı</td><td>1929</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Expo Fuar Yapısı</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik, Cam ve Mermer</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>1.600 m²
(Bina yüksekliği 7 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Önemli Özellikleri</td><td colspan="2">Cam, mermer ve çeliğin bir arada kullanımı, yapıya hem lüks hem de modern bir estetik kazandırmıştır. Serbest plan düzeni ile tasarlanan Barcelona Pavyonu, minimalizm, malzeme kullanımı ve mekansal özgürlük gibi özellikleriyle modern mimarinin temel prensiplerini yansıtan öncü bir yapı olarak öne çıkar.</td></tr>
</table>

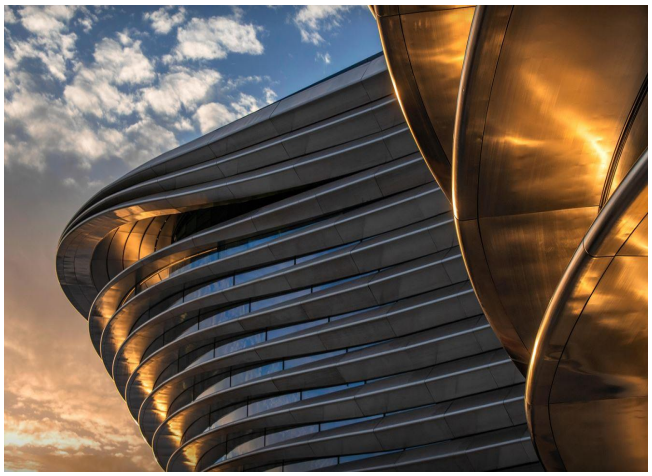
Çizelge 4.4. Hollanda Pavyonu Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Hollanda Pavyonu</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Rem Koolhaas</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Expo Fuar Yapısı</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>3.000 m²
(Bina yüksekliği 20 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Önemli Özellikleri</td><td colspan="2">Pavyon, sürdürülebilirlik, çevresel denge ve doğayla uyumlu mimarinin öne çıkan bir örneği olarak dikkat çeker. Çelik, yapının sağlamlığını ve dayanıklılığını sağlarken, cam, doğal ışık kullanımını artırarak enerji verimliliği sunar ve çevre dostu bir tasarımın temel bileşeni olur. Bu uyumlu birleşim, modern mimarinin estetik ve sürdürülebilirlik açısından nasıl geliştiğini ortaya koyan etkileyici bir örnek teşkil eder.</td></tr>
</table>

Çizelge 4.5. Çin Pavyonu Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Çin Pavyonu</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Jingtang He</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı</td><td>2010</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Expo Fuar Yapısı</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>160.000 m²
(Bina yüksekliği 63 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Önemli Özellikleri</td><td colspan="2">Çin’in geleneksel değerlerini modern tasarım yaklaşımlarıyla birleştiren pavyon, çelik ve camın çağdaş bir sentezini sunarak hem kültürel hem de teknik açıdan bir başyapıt niteliği taşır. Yapıda toplamda 164.500 metreküp beton, 21.888 ton çelik ve boyutları 1,35 metre x 4,25 metre olan 1232 adet cam blok kullanılmıştır.</td></tr>
</table>

Çizelge 4.6. Alif - The Mobility Pavilion Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Alif - The Mobility Pavilion</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Foster + Partners</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı</td><td>2020</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Expo Fuar Yapısı</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>23.000 m²
(Bina yüksekliği 20 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Önemli Özellikleri</td><td colspan="2">Aerodinamik ve fütüristik bir tasarıma sahip olan pavyon, çelik paneller ve yansıtıcı cam yüzeylerle kaplanarak dinamik bir görünüm sergiler. Paslanmaz çelik panellerden oluşan dış cephesi, akıcı bir yapı sunarken, yapının çevre dostu tasarımını vurgulayan LEED Altın Sertifikası bulunmaktadır.</td></tr>
</table>

20. yüzyıldan itibaren çelik ve cam, cesurca kullanılan malzemeler haline gelmiş ve mimaride yeni bir ifade biçimi oluşturmuştur. Yüksek yapılar, bu iki malzemenin uyumlu birleşimiyle tasarlanmış ve dönemin simgesi olmuştur. EXPO Yapıları dışında, çelik ve camın bir arada kullanımının mimaride yarattığı ifade biçimini yansıtan diğer önemli yapılar şunlardır:

Peter Behrens'in tasarladığı **AEG Türbin Fabrikası**, çelik ve camın birleşimiyle modern endüstriyel mimarinin simgesi haline gelmiştir. Beton cephesi, yapının görsel etkisini artırırken, çelik ve cam strüktürle birlikte işlevsellik sunar. Behrens, estetik ve işlevselliği birleştirerek, modern endüstriyel mimarinin temelini atmıştır. Mies van der Rohe'nin tasarladığı **Seagram Binası**, minimalist ve şık bir modern mimari örneğidir. Çelik ve camdan yapılan dış cephesiyle dikkat çekerken, bronz malzemelerle zenginleştirilmiştir. Bina, "az çoktur" felsefesinin izlerini taşır ve döşemeden tavana kadar uzanan cam pencerelerle çağdaş mimarinin sade estetiğini vurgular.

Renzo Piano ve Richard Rogers tarafından tasarlanan **Pompidou Sanat Merkezi**, dışa dönük çelik ve cam malzemeleriyle dikkat çeker. Modern High Tech mimarlığının öncüsü olan bu yapı, işlevsel geniş iç mekanları ve renkli borularla dikkat çeker. Yapı, geleneksel Paris mimarisinden farklı olarak cesur bir estetikle, teknolojiyi ve yapısal sistemleri açıkça sergileyerek mimarlık dünyasında önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Norman Foster tarafından tasarlanan **Reichstag Kubbesi**, cam ve çeliğin şeffaflık ve açıklık simgesi olarak birleşimini sunar. Döner rampa sayesinde ziyaretçiler parlamento salonunu gözlemleyebilir, bu tasarımın demokrasiye olan vurgusunu pekiştirir. Çelik yapısının sağlamlığı ve camın doğal ışığı içeri alması, yapının görsel ve yapısal dengeyi kurmasına olanak tanır.

Norman Foster'ın tasarımıyla yükselen **Hearst Kulesi**, çelik diagrid yapısı ve düşük enerji tüketimli camlarıyla dikkat çeker. Dış cephesi, binaya estetik bir zarafet katarken, aynı zamanda iç mekanda doğal ışık kullanımı sağlar. Çelik malzeme kullanımı, binanın hem ekonomik hem de estetik yönden verimli olmasını sağlar. Dubai'deki **Burç Halife**, çelik ve betonarmeden oluşan bir yapı ile 828 metre yüksekliği ile dünyanın en yüksek yapısıdır. Çelik yapı, binanın stabilitesini sağlar, cam ise yapıyı görsel olarak hafif gösterir. Camın kullanımı, yapının modern tasarımını ve çevresine entegre olmasını

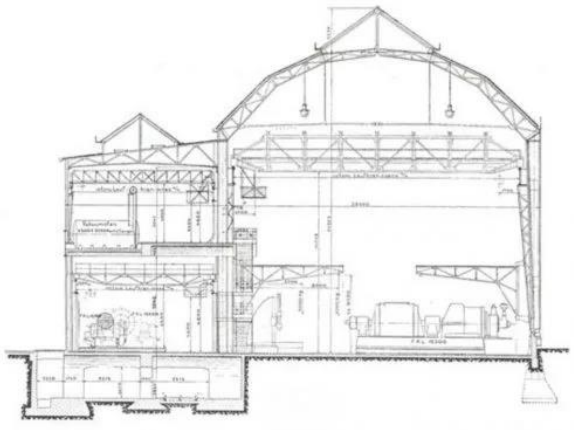
güçlendirir. **Aldar HQ**, Abu Dabi'deki dünyadaki ilk dairesel gökdelen olup, cam ve çelik diagrid kullanımıyla dikkat çeker. Cam cepheler, iç mekanlara maksimum doğal ışık sağlarken güneş ışığını azaltarak enerji verimliliği sunar. Çelik iskelet, binanın karmaşık geometrisine olanak tanır. Renzo Piano'nun tasarladığı **The Shard**, cam cephelerle Londra'nın siluetine şeffaflık kazandırırken, çelik yapılar ise binanın sağlamlığını artırır. Geometrik form ve cam kullanımı sayesinde zarif bir yapı ortaya çıkmıştır. Bu tasarım, şehre yeni bir görsel kimlik kazandıran önemli bir mimari eser olarak öne çıkar.

Gelecek Müzesi, Endüstri 5.0'ın mimarlık alanındaki etkilerini yansıtarak çelik ve camın modern mimarideki potansiyelini hem estetik hem de teknik açıdan mükemmel bir şekilde yansıtan bir yapıdır. Hem tasarımı hem de kullanılan yenilikçi yapım teknolojileriyle, geleceğin mimarlık anlayışı hakkında güçlü bir vizyon sunmaktadır**. Teknosfer Binası,** mimar James Law tarafından tasarlanmış ve sürdürülebilir mimariyi teknolojiyle birleştirmeyi amaçlayan bir konsept projedir. Henüz inşa edilmemiş olan bu tasarım, küre biçimli formuyla, Dünya'nın doğal geometrisinden ilham alarak çevre dostu bir yaşam alanı yaratmayı hedefler. Dubai'deki Jebel Ali Serbest Bölgesi için önerilen proje, enerji üretimi, su geri dönüşümü ve doğal ışık kullanımı gibi çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarıyla dikkat çeker.

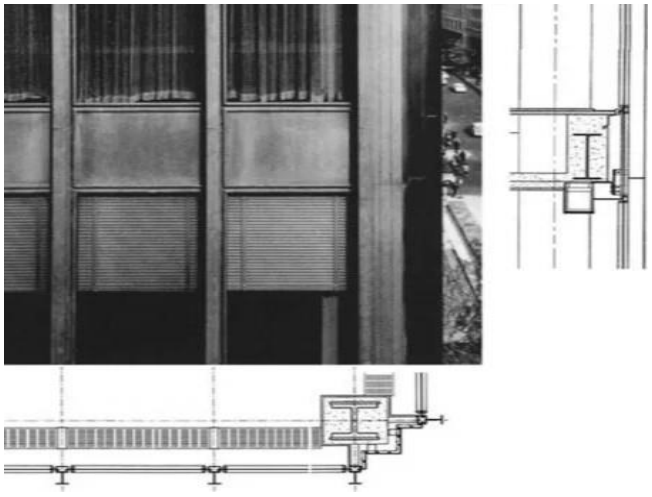
Teknosfer, yalnızca bir bina değil, aynı zamanda kendi **kendine yetebilen bir yaşam alanı vizyonunu** temsil eder. Bu tür projeler, gelecekte otonom şehirler, dikey yaşam alanları ve hatta gezegen dışı koloniler için bir temel oluşturabilir. Cam ve çeliğin yenilikçi kullanımıyla, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik gibi hedeflere ulaşmayı amaçlayan Teknosfer, modern mimaride teknolojik ilerlemelerin nasıl uygulanabileceğine dair bir laboratuvar işlevi görmektedir. Bu proje, mimaride yeni ufuklar açan ve gelecekteki yapılaşmaya ilham veren bir konsept olarak değerlendirilmektedir.

Çelik ve camın bir arada kullanımının mimaride yarattığı ifade biçimini yansıtan söz konusu mimari eserlerin her biri, aşağıda detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Çizelge 4.7. AEG Binası Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>AEG Binası</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Peter Behrens</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>1909 - Almanya</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Türbin Fabrikası</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>4.880 m²
(122m x 40m taban alanı. Bina yüksekliği 20 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">AEG Türbin Fabrikası, Peter Behrens tarafından tasarlanmış ve Berlin'in Moabit bölgesinde yer almaktadır. Yaklaşık 122 metre uzunluğunda, 40 metre genişliğinde ve 26 metre yüksekliğinde olan yapı, dikdörtgen planlı ve çelik çerçeve sistemlidir. Modern endüstriyel mimaride işlevsellik ve estetiği birleştiren tasarımıyla, Almanya’nın endüstriyel gücünü simgeleyen bir yapı olarak kabul edilmektedir.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Yapıda 25,6 metre genişliğindeki açıklıklar, uzun çelik kirişlerle desteklenmiştir. Üst örtüsünde çelik-cam konstrüksiyon kullanılarak doğal ışık iç mekâna etkin şekilde alınmıştır. Beton cephe yapısal işlev taşımamakla birlikte, çelik ve camın hafifliğine karşı bir denge unsuru oluşturarak görsel bir güç katmıştır.</td></tr>
</table>

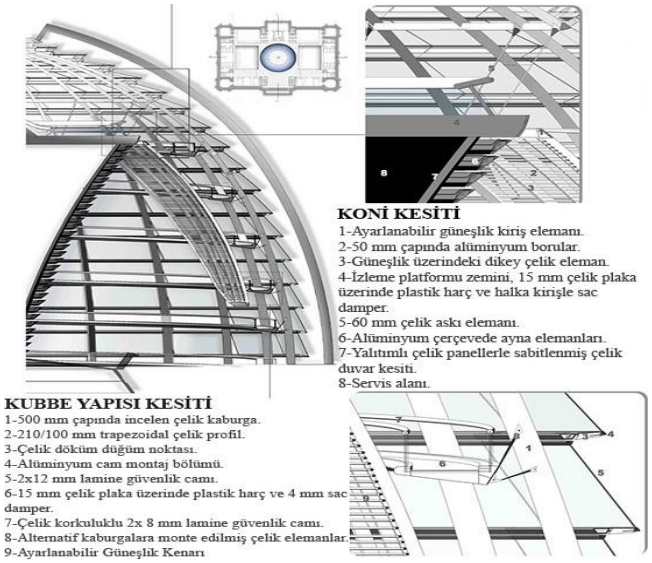
Çizelge 4.8. Seagram Binası Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Seagram Binası</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Mies van der Rohe</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>1958 – New York</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>İş Merkezi</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>14.000 m²
(39 katlı binanın yüksekliği 157 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Seagram Binası, Mies van der Rohe tarafından 1958 yılında New York’un Midtown bölgesinde tasarlanmıştır. 39 katlı ve 157 metre yüksekliğindeki yapı, 14.000 m² inşaat alanına sahiptir. "Less is more" anlayışını yansıtan minimalist tasarımıyla modern mimarinin önemli örneklerinden biridir. Bina, geniş bir kamusal plaza ile çevrelenmiş ve cadde hizasından geriye çekilmiştir.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Yapıda çelik iskelet betonla kaplanmış, cephede bronz ve cam malzeme kullanılmıştır. 157 metre yüksekliğindeki yapı, 31 adet I kesitli çelik kolonla taşınmaktadır. Cephede kullanılan bronz malzeme dayanıklılık sağlarken, geniş cam paneller doğal ışık ve ısı kontrolüne olanak tanır. Binada toplam 122.000 m² cam panel kullanılmıştır.</td></tr>
</table>

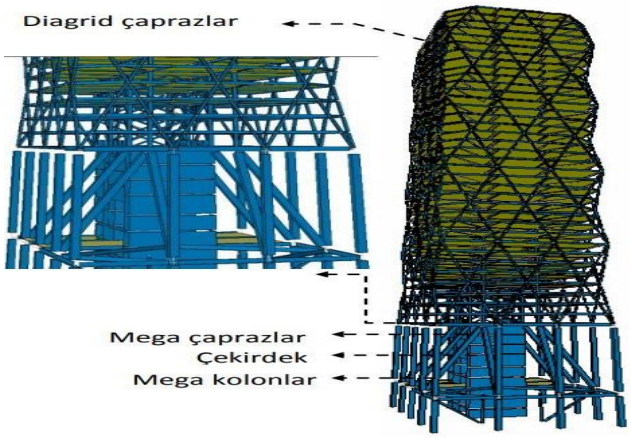
Çizelge 4.9. Pompidou Sanat Merkezi Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Pompidou Sanat Merkezi</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Renzo Piano ve Richard Rogers</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>1977 – Paris</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Sanat Merkezi</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>98.000 m²
(160m x 100m taban alanı bulunan 10 katlı binanın yüksekliği 42 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Pompidou Sanat Merkezi, 1977 yılında Renzo Piano ve Richard Rogers tarafından Paris’te tasarlanmıştır. Toplam 10 katlı olan yapı, 42 metre yüksekliğe ve 98.000 m² inşaat alanına sahiptir. Çelik, cam ve renkli boruların dış cephede sergilenmesiyle High-Tech mimarlık akımının öncülerindendir. İç mekanda geniş ve esnek alanlar sağlamak için yapının tüm servis elemanları dışarıya taşınmıştır.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Yapı, 13 metre aralıklarla yerleştirilmiş 14 çelik çerçeve ile taşınmaktadır. Çapraz kirişler, 48 metre geniş açıklıkları geçecek şekilde tasarlanmıştır. Çelik kafes sistemine yerleştirilen paneller ve yalıtımlı camlarla enerji verimliliği artırılmıştır. 150 metre uzunluğundaki cam tüp içindeki yürüyen merdivenler, yapının kullanıcı akışını optimize ederken dış cephe tasarımına entegre edilmiştir.</td></tr>
</table>

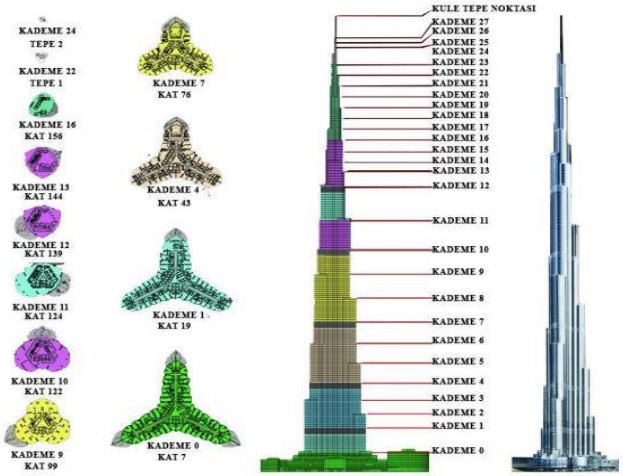
Çizelge 4.10. Resichtag Kubbesi Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Resichtag Kubbesi</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Norman Foster</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>1999 – Berlin</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Parlamento Binası</td><td rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>Kubbe 40 metre çapında ve 23,5 metre yüksekliğindedir.</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Berlin'deki Reichstag'ın kubbesi, 1999 yılında Norman Foster tarafından tasarlanmış modern bir eklentidir. 40 metre çapında ve 23.5 metre yüksekliğindeki cam ve çelik kubbe, şeffaflığı ve açıklığı simgelemektedir. Ziyaretçilere döner bir rampa sunarak hem iç mekanın gözlemlenmesine hem de Almanya Parlamentosu’nun demokratik işleyişinin vurgulanmasına olanak sağlar.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Kubbe, özel ısıya dayanıklı ve ışık geçirgen camlardan oluşur, böylece doğal ışık sağlarken enerji verimliliğini artırır. Ters konik ayna sistemiyle ışık yansıtılarak ana salonun gün ışığıyla aydınlanması sağlanır. Çelik iskelet sistemi, kubbenin ağırlığını taşıyarak stabiliteyi sağlar ve camla birleşimi, yapısal işlevsellik ile estetiği birleştirir.</td></tr>
</table>

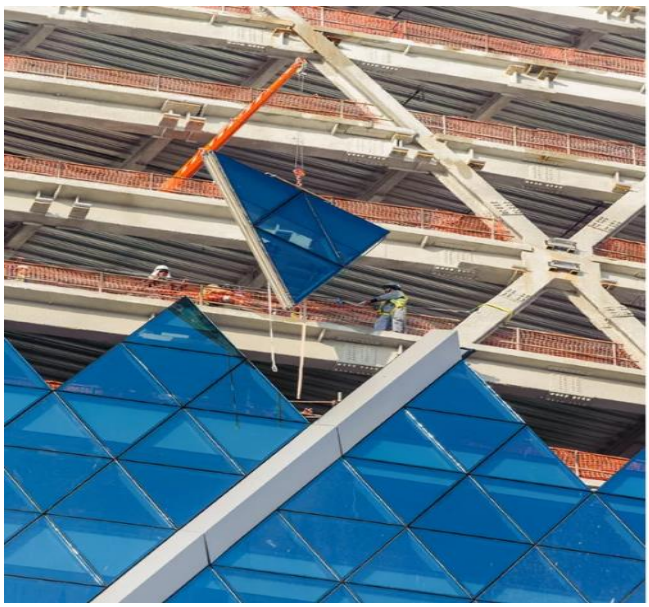
Çizelge 4.11. Hearst Kulesi Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Hearst Kulesi</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Norman Foster</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>2006 – New York</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>İş Merkezi</td><td rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>70.000 m²
(46 katlı binanın toplam yüksekliği 182 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Hearst Tower, Norman Foster tarafından tasarlanmış ve 2006 yılında tamamlanmıştır. 46 katlı yapı, toplamda 70.000 m² inşaat alanına sahiptir. Kule, 1928 yılında inşa edilmiş tarihi bir yapının üzerine inşa edilmiştir. Yapı, New York'un ilk Altın LEED sertifikalı binasıdır ve sürdürülebilir mimarinin önemli bir örneği olarak öne çıkar.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Bina, diagrid taşıyıcı sistemle tasarlanmış olup, bu sistem sayesinde klasik çerçeve sistemlere kıyasla %20 daha az çelik kullanılmıştır. Diagrid sistemi, üçgen geometrilerden oluşarak binaya hafiflik ve dayanıklılık kazandırmıştır. Kullanılan çeliğin %90’ı geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilmiştir. Cephe, Low-E camlarla kaplanmıştır. Binanın köşelerinde “kuş ağzı” girintiler uygulanarak konsol alanlar minimize edilmiştir.</td></tr>
</table>

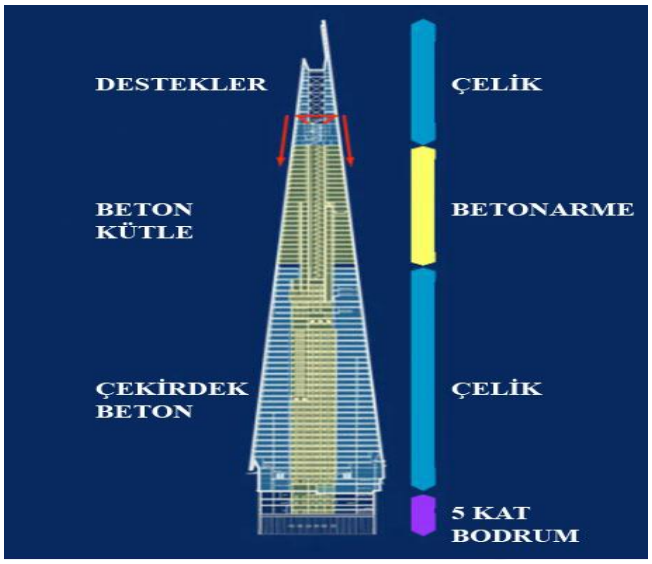
Çizelge 4.12. Burj Khalifa (Halife) Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Burj Khalifa (Halife)</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Skidmore, Owings & Merril (SOM)</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>2010 - Dubai</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Ofis, Konut, Otel, Alışveriş Merkezi, Restoran</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Betonarme, Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>460.000 m² (162 katlı binanın toplam yüksekliği 828 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Dünyanın en yüksek binası olan Burj Halife, temeli ve ilk 150 katı betonarme olarak inşa edilip, 150. kattan sonrasındaki bölümleri çelik malzeme ile tamamlanarak, betonarme kütle üzerine çelik konstrüksiyonun uygulandığı dünyadaki ilk örnek olmuştur. Yapının tasarımında düz cephelerden kaçınılarak, rüzgar yüklerini en aza indirgemek amacıyla organik formlar kullanılmıştır.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Cephe malzemesi olarak alüminyum ve cam kombinasyonu kullanılmış, inşaat sürecinde 103 bin metreküp beton, 15 bin 500 ton çelik ve 103 bin metrekare cam kullanılmıştır. Cephe malzemesi olarak kullanılan özel cam paneller, ultraviyole ışınlarını yansıtarak enerji verimliliğini artırırken iç mekanları doğal ışıkla aydınlatmıştır.</td></tr>
</table>

Çizelge 4.13. Aldar Head Quarters Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Aldar Head Quarters</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>MZ Architects - Marwan Zgheib</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>2010 – Abu Dabi</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>İş Merkezi</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>123.000 m²
(23 katlı binanın toplam yüksekliği 110 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Aldar Genel Merkez Binası'nın tasarımında, bölgenin geçmişteki geçim kaynağını oluşturan incilerden ilham alarak, simgesel bir yapıyı ortaya koymuştur. Gökdelenin dış cephesi, çift yönde eğriliğe sahip olup, dairesel bir formda tasarlanmıştır. Aldar HQ, tek dairesel diagrid kuledir.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Yapının karmaşık geometrisi nedeniyle, çelik "diagrid" dış iskelet kullanılmıştır. Üçgen giydirme cephe elemanları ile inşa edilen yapıda, yüksek verimli camlar, doğal ışık alımını optimize ederken aşırı ısınmayı engelleyerek enerji verimliliğini artırmakta, yapının fonksiyonel ve estetik özelliklerini güçlendirmektedir.</td></tr>
</table>

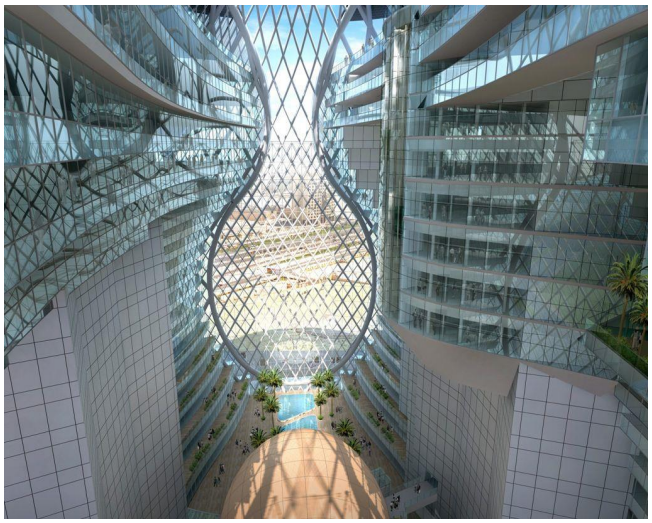
Çizelge 4.14. The Shard Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>The Shard</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Renzo Piano</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>2012 - Londra</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Ofis, Otel, Restoran</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Betonarme, Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>460.000 m²
(95 katlı binanın toplam yüksekliği 310 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">The Shard’ın inşasında, ilk kez "top down" yapım tekniği kullanılarak betonarme çekirdek ve çelik iskelet eş zamanlı inşa edilmiştir. The Shard, yapıldığı tarihte İngiltere ve Avrupa Birliği’nin en yüksek binası, Avrupa’nın en yüksek beşinci binası ve dünyanın en yüksek 96. binası oldu.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Karma bir yapı olan Shard’da, bodrumda beton, orta katlarda çelik, üst seviyelerde ise yeniden beton ve çelik kombinasyonu kullanılmıştır. Bu yöntemle inşaat maliyetleri düşürülmüş, ekstra beyaz 11 bin cam panellerle toplamda 56 bin metrekarelik alan kaplanmıştır.</td></tr>
</table>

Çizelge 4.15. Gelecek Müzesi Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Gelecek Müzesi</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>Killa Desing</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>2022 - Dubai</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Müze</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>30.548 m²
(Yapı yüksekliği 77 metre)</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Gelecek Müzesi, mimari ve mühendislik alanında yenilikçi bir yaklaşımı yansıtmaktadır. Yapının formu, derin sembolik anlamlar barındırmaktadır: dairesel şekil insanlığı, yapının oturduğu yeşil zemin yeryüzünü, merkezindeki boşluk ise keşfedilmeyi bekleyen bilinmeyen geleceği simgelemektedir. Paslanmaz çelikten oluşan dış cephesi, Arap kültürünün estetik değerlerini ve teknolojik inovasyonu bir araya getirirken, parametrik tasarım ve robotik üretim teknikleriyle inşa edilmiştir.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Bina, 77 metre yüksekliğe sahip olup toplamda 30.548 metrekarelik bir alanı kapsamaktadır. Paslanmaz çelikten oluşan cephesi, robot destekli özel üretim teknikleriyle imal edilmiş 1.024 panelden oluşmaktadır. Cephesi 17.600 metrekarelik geniş bir yüzey alanına sahiptir.</td></tr>
</table>

Çizelge 4.16. Teknosfer Binası Projesi Analizi

<table>
<tr><td>Yapı Adı</td><td>Teknosfer Binası Projesi</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Tasarımcısı</td><td>James Law</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı ve Yeri</td><td>Proje Aşamasında – Dubai</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Kullanım Şekli</td><td>Ofis, otel, ticaret ve dinlenme alanları</td></tr>
<tr><td>Kullanılan Malzeme</td><td>Çelik ve Cam</td></tr>
<tr><td>İnşaat Alanı</td><td>10 milyon ft²</td></tr>
<tr><td>Yapının Genel Özellikleri</td><td colspan="2">Dubai'nin 10 milyon metrekarelik fütüristik mini şehir projesi, mega yapılarla donatılmış bir alan içinde konut, ticaret, perakende, eğlence ve otel komplekslerini barındıran bir mikro gezegen olarak tasarlanmıştır. Technosphere projesi, sürdürülebilirlik ve teknolojiyi birleştirerek kendi kendine yetebilen bir ekosistem oluşturmayı hedeflemektedir.</td></tr>
<tr><td>Yapının Teknik Özellikleri</td><td colspan="2">Dış cephedeki cam paneller, yüksek performanslı lamine çift cam üniteleri (IGU) kullanılarak enerji verimliliğini artıracak şekilde tasarlanmış ve doğal ışık ile havalandırma sağlamak amacıyla açık alanlar planlanmıştır. Çelik malzeme, ana diagrid yapısını oluşturacak şekilde planlanmış olup, hem yapısal taşıma kapasitesini artırmak hem de estetik açıdan görsel etkiler yaratmak için kullanılacaktır.</td></tr>
</table>

20. yüzyıldan itibaren çelik ve camın birlikte kullanımı, modern mimariye büyük yenilikler getirmiştir. Bu iki malzemenin birleşimi, mimariye hem estetik hem de işlevsellik açısından önemli katkılar sağlamıştır. Çelik iskelet sistemleri ve geniş cam yüzeyler, binalarda açık, aydınlık ve modern bir görünüm oluştururken, sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarına da olanak tanımıştır. Özellikle yüksek yapılar ve gökdelenler, çelik ve camın uyumuyla mimaride yeni bir ifade biçimi kazanmış, bu sayede mimarlar daha cesur ve özgün tasarımlar ortaya koyabilmiştir.

Cam ve çelik, dayanıklılık ve estetik açısından uzun yıllardır mimaride tercih edilen malzemeler olmuştur. Günümüzde ise bu malzemelerin teknolojik gelişmelerle birlikte daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesi, gelecekte sadece binalarda değil, tüm şehirlerin inşasında da önemli bir rol oynayacağını göstermektedir. Özellikle çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve dayanıklılık konularında yaşanan ilerlemeler, cam ve çeliğin potansiyelini artırmakta ve mimari tasarımlara yeni ufuklar açmaktadır.

5. SONUÇ

Gelişen çelik ve cam malzeme teknolojileri, son yıllarda mimari mekanların üretiminde nitelikli ve özgün yaklaşımların ortaya çıkmasına olanak tanımıştır. Bu süreçte, binaların bütüncül performansını artıran yapısal tasarım bileşenlerinin mimari tasarım ile entegre olmasını sağlayan bilgi teknolojilerinin etkisi büyüktür. **"Çelik ve Cam Mimarisi"** kavramı, bu entegrasyonun bir sonucu olarak karşımıza çıkmakta ve mimarların çeşitli beklentileri karşılayacak düzeyde farklı tasarım ve üretim olanakları sunmaktadır.

Bu mimari anlayışta, çelik strüktürel elemanlar kullanılarak inşa edilen binalar, doğadan ayrılan ve yükseklik kazanan formlar sunarken, cephede kullanılan cam ile şeffaflaşarak çevre ile yeniden bütünleşmektedir. Böylece, doğal ışık iç mekanlara yönlendirilirken, dış mekanla olan ilişki de güçlendirilir. Çelik ve cam mimarisi, çağdaş mimarlığın estetik ve işlevsellik arayışına yenilikçi çözümler sunmakta ve mimari tasarımda yeni ufuklar açmaktadır.

Çelik ve camın bir arada kullanımı, modern mimaride estetik, işlevsellik ve sürdürülebilirlik arasında bir denge kurarak sadece görsel çekiciliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda enerji verimliliğine de katkı sağlar. Camın doğal ışık geçirgenliği, enerji tüketimini azaltarak yapının sürdürülebilirliğini desteklerken, çelik yapısal elemanlar daha az malzeme ile dayanıklı ve geniş açıklıklara sahip yapılar oluşturulmasına olanak tanır. Bu entegrasyon, özellikle akıllı bina tasarımlarında fonksiyonellik ve enerji verimliliğini bir araya getirerek, kullanıcı konforunu artırma ve çevre dostu çözümler üretme açısından önemli bir rol oynar.

Akıllı binalarda çelik strüktürler, yüksek yapısal dayanım sağlayarak geniş alanların oluşturulmasına ve binanın tasarım esnekliğinin artırılmasına imkan tanır. Bunun yanında cam yüzeyler, güneş ışığını iç mekanlara yönlendirerek doğal aydınlatmayı artırır ve enerji tasarrufuna katkı sağlar. Özellikle çift cam, fotokromik veya elektrokromik cam gibi teknolojiler kullanıldığında, güneşin ısı ve ışık etkisi kontrol edilerek ısıtma ve soğutma yükleri azaltılabilir. Bu sistemler enerji tasarrufu sağlayarak bina değerini artırırken, kullanıcıya yüksek konfor sunacaktır.

Çelik ve camın birlikte kullanıldığı yapılar, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edilebilen mimari çözümler sunar. Örneğin, cam cephe sistemlerinde yer alan fotovoltaik paneller, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek binanın enerji ihtiyacını karşılamaya katkıda bulunur. Çelik ise, bu tür enerji sistemlerinin montajı ve dayanımı için ideal bir altyapı sağlar. Böylece çelik ve camın birlikte kullanımı hem estetik hem de sürdürülebilirlik açısından akıllı bina konseptinin temel unsurlarından biri haline gelir.

Bu kombinasyon, aynı zamanda uzun vadede bina maliyetlerini düşürerek enerji etkin bir yapı modeli sunar. Modern mühendislik ve mimari tekniklerin sunduğu bu olanaklar, çelik ve camı, akıllı bina tasarımlarında vazgeçilmez bir ikili yapmaktadır.

Geleceğin Perspektifi

Cam, saydamlık ve estetik özelliklerinin ötesinde, gelecekte aktif bir bileşen haline gelebilir. Örneğin, akıllı cam teknolojisi, ışık geçirgenliğini kontrol edebilme, iç mekan sıcaklığını düzenleme ve güneş ışığını elektriğe çevirme gibi özelliklerle enerji verimliliğini artıracaktır. Bu tür camlar, yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda kendi enerjisini üreten şehirlerin temel taşlarından biri olacaktır. Ayrıca **şeffaf güneş panelleri**, tüm bina cephelerini birer enerji üretim ünitesine dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu gelişmeler, modern şehirlerin enerji ihtiyaçlarını azaltırken çevre dostu çözümler sunar.

Çelik ise gelecekte daha hafif, daha dayanıklı ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir malzeme olarak öne çıkacaktır. **Kendi kendini onaran çelik**, yapılardaki hasarların minimize edilmesine yardımcı olarak bakım maliyetlerini düşürecek ve özellikle zorlu ortam koşullarında uzun ömürlü yapılar oluşturacaktır. Ayrıca, çelik üretiminde karbon salımını azaltmayı hedefleyen **karbon nötr üretim yöntemleri**, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik rol oynayacaktır. Bu yenilikler, büyük ölçekli projelerde çeliğin çevresel etkisini azaltırken daha ekonomik çözümler sunar. Gelecekte, çelik malzeme kullanımıyla inşa edilen sürdürülebilir yapılar, mimarlık dünyasında teknolojinin, estetiğin ve çevresel bilincin mükemmel bir uyumunu yansıtacaktır.

Teknosfer gibi projeler, bu dönüşen malzemelerin kullanımıyla sadece bireysel yapılar değil, kendi kendine yetebilen koloni şehirlerin prototipleri olarak görülebilir. Bu yapılar, enerji üreten cam ve sürdürülebilir çelik kombinasyonlarıyla, su geri dönüşümünden atık yönetimine kadar otonom sistemler barındırabilir. Özellikle **dikey şehirler**, yoğun nüfuslu bölgelerde yerden tasarruf sağlayarak geniş toplulukları barındırabilir ve kaynakların daha etkin kullanımını mümkün kılar. Bu tür yapılar ayrıca, **gezegen dışı koloniler** için ideal bir başlangıç noktasıdır. Cam ve çeliğin hafif, dayanıklı ve sürdürülebilir özellikleri, Ay ya da Mars gibi gezegenlerde yaşam alanlarının oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Bu malzemelerin teknolojik gelişmelerle evrimi, Teknosfer gibi projelerden başlayarak tamamen otonom şehirlerin inşasına yol açabilir. Enerji üreten ve çevreye duyarlı yapılar, küresel ölçekte **kaynak krizlerine çözüm** sunabilir, **iklim değişikliğiyle mücadelede** önemli bir rol oynayabilir ve **dünya dışı yaşam alanlarının** temelini oluşturabilir.

Cam ve çelik, yalnızca bir bina malzemesi olmanın ötesine geçerek, geleceğin şehirlerini ve yaşam alanlarını şekillendirecek birer araç haline gelecektir.

KAYNAKLAR

A Great Big City. (2016). *Brooklyn Bridge opens in 1883*. A Great Big City. Erişim adresi: https://agreatbigcity.com/history/May-24/brooklyn-bridge-opens-in-1883 (Erişim tarihi: 21.09.2024)

Adam, J., Hausmann, K., & Jüttner, F. (2004). *Industrial buildings: A design manual*. Basel: Birkhäuser-Publishers for Architecture.

Abdelrazaq, A., Kyung Jun Kim, S.E., Ho Kim, J., (2008). *Brief on the Construction Planning of the Burj Dubai Project*. CTBUH 8th World Congress, Dubai, UAE.

Akman, S. M. (2003), *Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi*. Türkiye Mühendislik Haberleri, 426.

Açıksarı, C., Karasu, B., (2018), 'Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişimleri', El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi (ECJSE), 5(2), 437-457.

Akyürek, Y., (2001). *Gelişim, Mimarlık ve Cam*, Ege Mimarlık Dergisi, Mart, 22-28.

Arch2O. (Tarih yok). *Al Dar Headquarters – MZ Architects*. Erişim adresi: https://www.arch2o.com/al-dar-headquarters-mz-architects/#mwl-448928 (Erişim tarihi: 27.11.2024)

Arch2O. (Tarih yok). *Technosphere by James Law Cybertecture*. Erişim adresi: https://www.arch2o.com/technosphere-james-law-cybertecture/ (Erişim tarihi: 21.12.2024)

ArchDaily. (2012). *Al Dar Headquarters / MZ Architects*. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/240524/al-dar-headquarters-mz-architects

Archello. (Tarih yok). *Al Dar Headquarters*. Erişim adresi: https://archello.com/story/15483/attachments/photos-videos/11 (Erişim tarihi: 27.11.2024)

Arcretrofitting. (2014). *The Reichstag*. WordPress. Erişim adresi: https://arcretrofitting.wordpress.com/2014/03/23/the-reichstag/ (Erişim tarihi: 22.12.2024)

Atasoy, N., (2014). *Yüksek Yapılarda Güncel Tasarım Yaklaşımları*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Barış, Z., (1998). *'Metalin Özelde Demir ve Çeliğin Yapıdaki Strüktürel İşlevinin Tarihsel Gelişim Çerçevesinde Araştırılması*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Baker, W.F., Korista, D.S., Novak, L.C., (2008). *Engineering the World's Tallest – Burj Dubai*. CTBUH 8th World Congress, Dubai.

Baldwin, E. (2020). *MVRDV to transform iconic Expo 2000 pavilion into co-working complex*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/943508/mvrdv-to-transform-iconic-expo-2000-pavilion-into-co-working-complex?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all (Erişim tarihi: 15.12.2024)

Bell, V.B. ve Rand, P., (2006). *Materials for Architectural Design*. London: Laurence King Publishing.

Benevolo, L. (1960). *Modern Mimarlığın Tarihi*. 1. Cilt: Sanayi Devrimi, Çevre Yayınları, İstanbul.

Bergdoll, B. (2000). *European Architecture 750-1890*, Oxford University Press, New York.

Blanc, A., McEvoy, M. ve Plank, R. (1993). *Architecture And Construction In Steel*. London : E & F N Spon.
Boake, T. M., (2014). *Diagrid Structures: Innovation and Detailing, Diagrid Structures: Systems/ Connections/ Details*, Birkhauser, Ocak
Bozkurt, G., (1962). *Bir Mekan Anlayışı*. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
Britannica. (2025, Ocak 13). *Pompidou Centre*. Erişim adresi: https://www.britannica.com/topic/Pompidou-Centre (Erişim tarihi: 15.01.2025)
British Museum. (Tarih yok). *Object G 1772,0317.21*. Erişim adresi: https://www.britishmuseum.org/collection/object/G_1772-0317-21 (Erişim tarihi: 18.10.2024)
Button, D., & Pye, B. (1993). *Glass in Building*. Spain: Pilkington Glass Limited.
Compagno, A., (2002). *Intelligent Glass Façades*, Birkhäuser-Verlag, Basel
Cremers, P.J., (1928). *Peter Behrens*, sein Werk von 1909 bis zur Gegenivart
Cuff, D. (2009). *The Impact of Henry Bessemer on Industrial Manufacturing*. Metallurgical Research & Technology, 56(3)
Cybertecture. (Tarih yok). *Technosphere*. Erişim adresi: https://cybertecture.io/portfolio/technosphere/ (Erişim tarihi: 20.12.2024)
Davies, R. (2024). *Flatiron Building: Everything you need to know*. Architectural Digest. Erişim adresi: https://www.architecturaldigest.com/story/flatiron-building-everything-you-need-to-know (Erişim tarihi: 10.11.2024)
Davutoğlu, N. A. (2020). *Üçüncü Ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel Ve Sistematik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşımla Analizi*. Management and Political Sciences Review, 2(1), 176-194.
DiCrescenzo, J. (2021). *The Case for a Feeling Architecture*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/958422/the-case-for-a-feeling-architecture (Erişim tarihi: 20.10.2024)
Dick, M. (Tarih yok) *Charles Bage: The Flax Industry and Shrewsbury's Iron Framed Mills*, https://www.revolutionaryplayers.org.uk/charles-bage-the-flax-industry-and-shrewsburys-iron-framed-mills/ (Erişim Tarihi: 06.11.2024)
Dills, K. W. (1971). The Hallidie Building. *Journal of the Society of Architectural Historians*, *30*(4), 323–329. https://doi.org/10.2307/988706 (Erişim tarihi: 20.10.2024)
Douglass-Jaimes, D. (2018). *AD Classics: New German Parliament Reichstag / Foster + Partners*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/775601/ad-classics-new-german-parliament-reichstag-foster-plus-partners (Erişim tarihi: 25.12.2024)
Duralı, İ. K. (2007). *Tarihi Çevrede Yeni Yapılaşma Uygulamalarının İrdelenmesi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
Düzgün, H. (2010). *Tarihi Çevrelerde Yeni Yapı Tasarımında Kabuk - Bağlam İlişkisinin Temel ve Güncel Tasarım Kavramları Açısından İncelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
Erdemli, M.İ., (2018). *Elektrokromik Kaplamalı Camın Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Performansı Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, İstanbul.
Eren, Ö., (2014). *Büyük Açıklıklı Çelik Yapılar*. İstanbul, Arı Sanat Yayınları.

Elektrikmen. (Tarih yok). *Elektrikli endüstriyel fırınlar*. Erişim adresi: https://elektrikmen.com/elektrikli-endustriyel-firinlar/ (Erişim tarihi: 05.11.2024)
Elkadi, H. (2006). *Cultures of Glass Architecture.* Ashgate Publishing, Hampshire, İngiltere.
Elliott, C.D., (1992). *Technics and Architecture*. The MIT Press, Massachusetts, 431s.
Eyüce, Ö. (2020). *Kentsel Mekân / Yapı İlişkisine Farklı Bir Yaklaşım: Yapı Kredi Kültür Sanat*. Mimarlık Dergisi, 57(411), 45-55. https://doi.org/10.1234/mimarlikdergisi (Erişim tarihi: 05.01.2025)
Farrelly, L., (2011). *Mimarlığın Temelleri*, Singapur, Literatür Yayınları.
Farrelly, L., (2012). *Mimarlıkta Yapım+Malzeme.* İstanbul, Literatür Yayınları
Fiederer, L. (2016). *AD Classics: Eiffel Tower / Gustave Eiffel*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/67788/ad-classics-eiffel-tower-gustave-eiffel (Erişim tarihi: 16.01.2025)
Florian, M.-C. (2024). *Norman Foster to receive the 225 Andrée Putman Lifetime Achievement Award*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/1023264/norman-foster-to-receive-the-225-andree-putman-lifetime-achievement-award?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all (Erişim tarihi: 15.12.2024)
Foster and Partners. (Tarih yok). *Apple Park*. Erişim adresi: https://www.fosterandpartners.com/projects/apple-park (Erişim tarihi: 15.12.2024)
Foster + Partners. (Tarih yok). *Alif – The Mobility Pavilion, Expo 2020 Dubai*. Erişim adresi: https://www.fosterandpartners.com/projects/alif-the-mobility-pavilion-expo-2020-dubai (Erişim tarihi: 22.12.2024)
Galser R. A., (1949). *Method of forming surface films by vapor coating and the article resulting there from.* U.S. Patent #2,478,817.
Giedion, S. (1954). *Space, Time and Architecture.* Harvard University Press, Cambridge.
González, M. F. (2018). *The Shard* – Renzo Piano Building Workshop. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/889852/the-shard-renzo-piano-building-workshop (Erişim tarihi: 17.12.2024)
Gülakan, E. (2014). *Yüksek Yapılarda Uygulanan Yapım Teknolojilerinin İrdelenmesi ve Sorunların Ortaya Konması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
Günel, M. H., Ilgın, H. E. (2010). *Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form.* ODTÜ Mimarlık Fakültesi, Ankara.
Gürlek, N. (2022). *Bauhaus hakkında bilmeniz gereken 10 şey*. Oggusto. Erişim adresi: https://www.oggusto.com/dekorasyon/bauhaus-hakkinda-bilmeniz-gereken-10-sey (Erişim tarihi: 09.11.2024)
Güzel, E. (2017). *Coalbrookdale Köprüsü*. İnşaat Gündemi. Erişim adresi: https://www.insaatgundemi.com/coalbrookdale-koprusu.html (Erişim tarihi: 21.09.2024)
Hasol, D., (1975). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul, Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.
Hasol, D., (1996). *Mimarlık, Sergiler ve İletişim*. Yapı Dergisi, 174
Heath, S. (2020). *The railway and Victorian society*. Victorian Web. Erişim adresi: https://victorianweb.org/technology/railways/80.html (Erişim tarihi: 02.01.2025)
Hix, J. (1974). *The Glass House.* Phaidon Press, Londra.

Ivanov, D. (2023). *The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives*. International Journal of Production Research, 61(5), 1683-1695.

Oh, S. H. (2020). Curtain wall façades on the new generation of supertall buildings: Present and future directions. *International Journal of High-Rise Buildings, 9*(2), 113-125. https://doi.org/10.21022/IJHRB.2020.9.2.113 (Erişim tarihi: 25.11.2024)

Öbelik, Y., (2011). *Cam Hammaddesi Mineralojisi ve Cam Teknolojisi*. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Niğde.

Öğüt, M. R., (2006). *Az Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistem Olarak Çelik Malzemenin Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Öke, A., (1989). *Dünyada ve Türkiye'de Yüksek Binaların Gelişmesi*. Yapı Dergisi, Yem Yayınları, Sayı 89, s.32 İstanbul.

Özhendekçi, D., (2009). *Çelik yapılar ders notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Jordana, S. (2009). *China Pavilion for Shanghai World Expo 2010*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/34037/china-pavillion-for-shanghai-world-expo-2010 (Erişim tarihi: 25.12.2024)

Kahraman, İ., (2002). *Cam Malzemenin Türleri, Özellikleri ve Sınıflandırılması*. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Karasu, B., Sarıcaoğlu, B., (2018). *Cam Yüzey Kaplama Teknolojileri*. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi (ECJSE), Cilt 5(2).

Kazımov, T. (2018). *Yüksek Yapılar ve Performatif Mimarlık: Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi Örneklerinin Aerodinamik Tasarımı Üzerine Bir Değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Kılıç, R. (2023). *Sanayi devrimlerinin serüveni: Endüstri 1.0'dan Endüstri 5.0'a*. Takvim-i Vekayi, 11(2), 276-291.

Killa Design. (Tarih yok). *Museum of the Future*. Erişim adresi: https://www.killadesign.com/portfolio/museum-of-the-future/ (Erişim tarihi: 06.01.2025)

Kohlmaier, G. ve Sartory, B. (1991). *Houses of Glass: A Nineteenth-Century Building Type*. The MIT Press, Cambridge.

Kuban, B., (1998), *Cam Fırınlarından Kesintisiz Üretime Geçiş*. Şişecam Teknik Bülten, S.4, s.39-41.

Kuban, D., (1990). *Mimarlık Kavramları*. 3. Baskı, İstanbul

Kurtay, C., Badem, M., (2004). *Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'deki Çelik Yapı Uygulama Olanak ve Kısıtlarının İncelenmesi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi C:19 N:4, Ankara, s:351-363.

Küçük, S. K. S. G., (2015). *Tarihi Eserlerde Demir Malzeme Kullanım ve Uygulama Teknikleri*. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum.

Lee, E., Selkowitz, S., Clear, R., DiBartolomeo, D., Klems, J., Fernandes, L., Ward, G., Inkarojrit, V., & Yazdanian, M. (2006). *Advancement of electrochromic windows*. Sacramento, CA: California Energy Commission, PIER, 500-01-023, LBNL-59821. USA.

Madias, J. (2014). *Electric furnace steelmaking*. In Treatise on process metallurgy (pp. 271-300). Elsevier, 2014.

Makina Eğitimi. (Tarih yok). *Siemens Martin çelik üretim yöntemi*. Erişim adresi: https://www.makinaegitimi.com/siemens-martin-celik-uretim-yontemi/ (Erişim tarihi: 05.11.2024)

Mann, C.C., (2011). *The Birth of Religion: The World's First Temple.* National Geographic USA, June 2011, 39–59.

Marshall, C. (2015). *The world's first skyscraper: Chicago's Home Insurance Building and its history*. The Guardian. Erişim adresi: https://www.theguardian.com/cities/2015/apr/02/worlds-first-skyscraper-chicago-home-insurance-building-history (Erişim tarihi: 17.01.2025)

McGrath, R. ve Frost, A. C. (1961). *Glass in Architecture and Decoration.* The Architectural Press, Londra.

Merin, G. (2013). *AD Classic: The Crystal Palace / Joseph Paxton*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton (Erişim tarihi: 11.12.2024)

Merrill, E. M. (Tarih yok). *Peter Behrens' Turbine Factory*. Khan Academy. https://www.khanacademy.org/humanities/art-1010/architecture-design/international-style/a/peter-behrens-turbine-factory (Erişim tarihi: 15.11.2024)

Mimarlık Akademisi. (2018). *Mimari cam*. Erişim adresi: https://www.mimarlikakademisi.com/post/mimari-cam?utm (Erişim tarihi: 17.01.2025)

Mimarlık Akademisi. (Tarih yok). *Hiçbir yere götürmeyen merdivenler: Vessel*. Mimarlık Akademisi. Erişim adresi: https://www.mimarlikakademisi.com/post/hi%C3%A7bir-yere-g%C3%B6t%C3%BCrmeyen-merdivenler-vessel (Erişim tarihi: 02.01.2025)

Montjoy, V. (2022). *Overcoming design challenges with technology: Museum of the Future in Dubai*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/983458/overcoming-design-challenges-with-technology-museum-of-the-future-in-dubai (Erişim tarihi: 06.01.2025)

Moon, K., (2009). *Design and Construction of Steel Diagrid Structures.* School of Architecture, Yale University, New Haven, ABD.

Morgan, C. L., (1998). *Jean Nouvel-The Elements of Architecture*. Universe Publishing, NY

Museum of the Future. (Tarih yok). *The Building*. Erişim adresi: https://museumofthefuture.ae/en/the-building (Erişim tarihi: 06.01.2025)

MVRDV. (Tarih yok). *Expo 2000*. Erişim adresi: https://www.mvrdv.com/projects/158/expo-2000 (Erişim tarihi: 15.12.2024)

MZ Architects. (Tarih yok). *Al Dar Headquarters*. Erişim adresi: https://www.mz-architects.com/projects-detail.php?prid=64&cat=Offices (Erişim tarihi: 27.11.2024)

Okbaz, F. T. Ve Savaşir, K. (2013). *Yüksek Yapılarda Çelik Karkas Taşıyıcı Sistem Yerine Çelik Diagrid Kullanımının Avantajları.* 5. Çelik Yapılar Sempozyumu.

Olcay, E. (2009). Mimari Tasarımda Mimar-Mühendis İlişkisi", Mimar.İst Dergisi, Sayı: 31, 59-64

Öztürk, M. (2008). *Çelik Taşıyıcı Sistemli Yapılarda Taşıyıcı Yapı Elemanlarının Farklı Malzemeli Yapı Bileşenleri ile Bağlantılarının İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Perez, A. (2010A). *AD Classics: Centre Georges Pompidou – Renzo Piano & Richard Rogers*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/64028/ad-classics-centre-georges-pompidou-renzo-piano-richard-rogers (Erişim tarihi: 10.12.2024)

Perez, A. (2010B). *AD Classics: Sydney Opera House / Jørn Utzon*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/65218/ad-classics-sydney-opera-house-j%25c3%25b8rn-utzon (Erişim tarihi: 11.11.2024)

Perez, A. (Tarih yok). *AD Classics: Seagram Building - Mies van der Rohe*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/59412/ad-classics-seagram-building-mies-van-der-rohe (Erişim tarihi: 25.11.2024)

Petruzzello, M. (Tarih yok). *Britannia Bridge*. Britannica. Erişim adresi: https://www.britannica.com/topic/Britannia-Bridge (Erişim tarihi: 21.09.2024)

Pinheiro, P., Putnik, G. D., Castro, A., Castro, H., Dal, B. F. R., & Romero, F. (2019). *Industry 4.0 and industrial revolutions: An assessment based on complexity*. FME Transactions, 47(4), 831-840.

Pintos, P. (2019). *Apple Store, Fifth Avenue*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/925305/apple-store-fifth-avenue-foster-plus-partners (Erişim tarihi: 17.12.2024)

Prisecaru, P. (2016). *Challenges of the fourth industrial revolution*. Knowledge Horizons. Economics, 8(1), 57.

Pulker H. K. (1999). *Coatings on glass.* Elsevier, ISBN: 978-0-444-50103-5.

Rex NYC. (Tarih yok). *Vakko Fashion Center*. Erişim adresi: https://rex-ny.com/project/vakko-fashion-center/ (Erişim tarihi: 05.11.2024)

Riba. (1889). *Galerie des Machines, Exposition Universelle Internationale, Paris, 1889* [Fotoğraf]. RIBA Collections. Erişim adresi: https://www.ribapix.com/galerie-des-machines-exposition-universelle-internationale-paris-1889_riba17916 (Erişim tarihi: 23.12.2024)

Rognoni, F., Bitetti, E., & Maranelli, F. (2023). *Galerie des Machines 1887-1889*. The Formwork, Atlas of Details.

Roth, L. M. (1993). *Mimarlığı Öyküsü*. Kabalcı Yayınevi, İstanbul.

Saeed, S.M., (2013). *Burj Khalifa The Tallest Building In The World*. Mansoura University, Faculty of Engineering.

Sağlıyan Sönmez, Ö. & Çetin, S. (2020). *Farklı Dönemlerde Mimaride Kullanılan Cam Binalar ve Yapısal Özellikleri.* İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi , 10 (21) , 45-60 . DOI: 10.16950/iujad.580114

Schittich, C., (2001). *In detail : building skins : concepts, layers, materials*. Birkhäuser, Basel.

Schittich, C., Staib, G., Balkow, D., Schuler, M., & Sobeck, W. (2007). *Glass Construction Manual*. Switzerland: Birkhäuser.

Searle, J. (1995). *Advancements in Glass and Steel Production During the Industrial Revolution*. Journal of Industrial History, 23(4)

Shah, K. P. (Tarih yok). *Iron and steel*. Practical Maintenance. Erişim adresi: https://practicalmaintenance.net/?p=1279 (Erişim tarihi: 05.11.2024)

Stouhi, D. (2021). *Foster + Partners designs monumental Mobility Pavilion at the Expo 2020 Dubai*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/965759/foster-plus-partners-designs-monumental-mobility-pavilion-at-the-expo-2020-dubai?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all (Erişim tarihi: 21.12.2024)

Structurae. (2000A). *Galerie des Machines*. Erişim adresi: https://structurae.net/en/media/55-galerie-des-machines (Erişim tarihi: 15.12.2024)
Structurae. (2000B). *Galerie des Machines*. Erişim adresi: https://structurae.net/en/media/56-galerie-des-machines (Erişim tarihi: 15.12.2024)
Şişecam, (1999). *Cam Yapı Elemanları Kataloğu*. İstanbul.
Taylor, D. (Tarih yok). *The Gherkin*. Britannica. Erişim adresi: https://www.britannica.com/place/The-Gherkin (Erişim tarihi: 17.10.2024)
Tokyay, V., (2005). *Demokrasi Ruhunun Mimari Tasarımdaki Anlamı ve Kamu Yapıları*. Yapı Dergisi, 281
Türkseven Doğrusoğ İ. (1999). *Mimarlıkta camın tarihsel gelişim serüveni*. Ege Mimarlık
Tüter, R, (2018). *Demir ve Çelik Malzemenin Mimaride Kullanımı – Geleneksel Tarsus Yapıları Bağlamında Bir İnceleme.* Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana
Uluengin, M.B., (2006). *Mimari Metaller; Özellikleri, Bozulma Nedenleri, Koruma ve Restorasyon Teknikleri.* Birsen Yayınevi, İstanbul.
Underwood, G. A., & Worley, J. (2017). *Apple Park precast – Integrated architecture, structure, and mechanical services in a long span floor system*. 2017 SEAOC Convention Proceedings. Clark Pacific & Arup.
Utkutuğ G., Ayçam İ., (1999). *Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi ve Enerji Etkin Pencere Seçimi*, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, s:64.
Uzun, T. (2019). *Bauhaus Ekolü ve Kuramsal Arka Planı.* Ankara
Visit Dubai. (Tarih yok). *Museum of the Future*. Erişim adresi: https://www.visitdubai.com/tr/places-to-visit/museum-of-the-future (Erişim tarihi: 17.01.2025)
Vitrivius, A. (1990). *Mimarlık Üzerine On Kitap* (Güven, S., & Vanlı, Ş., Çev.). Mimarlık Vakfı Yayını.
Wente, E. F., Wondris, E. F. ve Nutting, J. (2024). *Steel*. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/technology/steel (Erişim tarihi: 12.10.2024)
Wigginton, M., (1996). *Glass in Architecture.* Phaidon Pres Ltd., London
Wikipedia. (Tarih yok). *Aziz Petrus Bazilikası*. Vikipedi. Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Aziz_Petrus_Bazilikas%C4%B1 (Erişim tarihi: 12.10.2024)
Wikipedia. (Tarih yok). *Ditherington Flax Mill*. Simple Wikipedia. Erişim adresi: https://simple.wikipedia.org/wiki/Ditherington_Flax_Mill (Erişim tarihi: 25.09.2024)
WikiArquitectura. (Tarih yok. *AEG Turbine Factory*. Erişim adresi: https://en.wikiarquitectura.com/building/aeg-turbine-factory/ (Erişim tarihi: 19.11.2024)
WikiArquitectura. (Tarih yok). *Agbar Tower*. Erişim adresi: https://en.wikiarquitectura.com/building/agbar-tower/# (Erişim tarihi: 25.11.2024)
WikiArquitectura. (Tarih yok). *Seagram Building*. Erişim adresi: https://en.wikiarquitectura.com/building/Seagram-Building/# (Erişim tarihi: 27.11.2024)
WikiArquitectura. (Tarih yok. *Hearst Offices*. Erişim adresi: https://en.wikiarquitectura.com/building/hearst-offices/# (Erişim tarihi: 02.11.2024)

WikiArquitectura. (Tarih yok). *Aldar Headquarters Building*. Erişim adresi: https://en.wikiarquitectura.com/building/aldar-headquarters-building/ (Erişim tarihi: 27.11.2024)

World Architecture. (Tarih yok). *New Project*. Erişim adresi: https://worldarchitecture.org/cdnimgfiles/extuploadc/newproject4-2-.jpg (Erişim tarihi: 9.11.2024)

Wong W., Winxe, S., (2007). *Analysis and Design of Curtain Wall Systems for High Rise Buildings.* University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying

WTTW. (Tarih yok). *Seagram Building*. Erişim adresi: https://interactive.wttw.com/tenbuildings/seagram-building (Erişim tarihi: 27.11.2024)

Yapı Dergisi. (Tarih yok). *Coco Evi*. Erişim adresi: https://yapidergisi.com/coco-evi/ (Erişim tarihi: 17.10.2024)

Yousuf, I. (2024). *Empire State Building*. Encyclopaedia Britannica. Fact-checked by [Kontrol Eden Kişi Adı]. Erişim adresi: https://www.britannica.com/topic/Empire-State-Building (Erişim tarihi: 12.11.2024)

Yun, J., Zhou, G., Xia, J., & Tang, R. (2018). *The China Pavilion of Shanghai Expo: Case Study.* ARCH 631 - Fall 2018

Zaki, B. M., Danraka, M. M., Adamu, A., Abubakar, M. A., & Yusuf, A. (2020). *Architecture and Politics: An Exposition of the New Reichstag Building by Sir Norman Foster*. African Scholar Journal of Environmental Design & Construction Management.

Zinzade, D. (2010). *Yüksek Yapı Tasarımında Sürdürülebilirlik Boyutunun İrdelenmesi.* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Zuleta, G. (2023). *Architecture classics: Barcelona Pavilion - Mies van der Rohe*. ArchDaily. Erişim adresi: https://www.archdaily.com/1007357/architecture-classics-barcelona-pavilion-mies-van-der-rohe (Erişim tarihi: 08.12.2024)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra Nur ATİLA
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmit 21.02.1993
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Atatürk Anadolu Lisesi
Lisans : Selçuk Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : S.S. Marmara Zeytin Tarım Satış Kooperatifleri Birliği

İletişim (e-posta) : 502212034@ogr.uludag.edu.tr

Yayınları : ATİLA, E. N. (2024, Aralık 15). *Examination of the combined use of steel and glass in the production of architectural space through examples.* 4th International Eurasia Congress of Building Materials, Architecture and Engineering Sciences, Adana, Türkiye. ISBN: 978-625-378-070-8.