



TARİHSEL SÜREÇ İÇERİSİNDE GELİŞEN MALZEMENİN ENDÜSTRİ DEVRİMİ SONRASI YAPILARA ETKİSİ

The Effect Of The Material Developed In The Historical Process On The Buildings After The Industrial Revolution

Doç. Dr. Cengiz TAVŞAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Trabzon/TÜRKİYE

ORCID: 0000-0001-5796-6859

Elif ÖZEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Tezli Yüksek Lisans Programı, Trabzon/TÜRKİYE

ORCID: 0000-0002-2937-8061

Doç. Dr. Filiz TAVŞAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Trabzon/TÜRKİYE

ORCID: 0000-0002-0674-2844

Cite As: Tavşan, C., Özen, E. & Tavşan, F. (2021). "Tarihsel Süreç İçerisinde Gelişen Malzemenin Endüstri Devrimi Sonrası Yapılara Etkisi", International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal, (Issn:2630-631X) 7(48): 1890-1906.

ÖZET

Mimarlık, geçmişten günümüze yapıya etki eden zamanla gelişen, değişen ve yeniden üretilen bir gelenektir. Bu geleneği şekillendiren en önemli etkenlerden biri malzeme bilimi ve mühendislikteki gelişmelerdir. Endüstri Devrimine kadar yapı, malzemenin izin verdiği ölçüde şekillenebilirken, İngiltere’de başlayan Endüstri Devrimiyle birlikte yapı malzemeleri daha kolay üretilmiş ve geliştirilmiştir böylece daha karmaşık mimari formların çözümü kolaylaşmıştır. 19. yüzyıla beraber yapı dünyasına katılan beton, çimento ve Titanyum, Alüminyum gibi metaller de mimariye büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Ardından ETFE gibi plastikler ve cam, beton ve ahşabın geliştirilmesiyle oluşturulmuş kompozitler yapı dünyasını şekillendirmiştir. Geleneksel ahşaba göre yüksek dayanıma sahip olan ve bir endüstriyel yapı malzemesi olan ahşap, işlenerek geniş açıklıkları geçebilen yangın dayanımı yüksek ve daha sağlam bir yapı malzemesi haline getirilmiştir. Doğa strüktürleri ilham alınarak ve nano teknolojiyle üretilen nano malzemeler ve bir doğa strüktürü olan bambu gibi sürdürülebilir malzemelerin yapıda kullanılmaya başlanmasıyla 21. yüzyıl mimarlığı geçmişe meydan okumuştur. Malzeme ve mühendislik alanındaki bütün bu gelişmeler, gelişmelerin ortaya çıktığı dönemde yapılan yapılar üzerinden kolayca okunabilmektedir.

Bununla birlikte gelişen teknoloji ve değişen malzemelerin yanı sıra bazı geleneksel malzemelerin değerini koruduğu görülmüştür. Özellikle ekoloji ve sürdürülebilirlik kavramlarının ortaya çıkması ile doğal malzemelere endüstri devrimini izleyen süreçte bir geri dönüş yaşanmıştır.

Bu çalışmada da geçmişten günümüze malzemelerdeki değişim; endüstri devrimi sonrası yapılan ve yapıldığı dönemde etki uyandırmış yapılar üzerinden tanıtılmıştır. Armağan (2011) tarafından da belirtilen malzemenin tarihsel süreci içerisinde gelişen 14 farklı yapı malzemesinin uygulandığı 10 endüstriyel yapı seçilmiştir. Sonuç olarak tarih boyunca gelişen mimarlıkta malzemenin endüstri devriminden sonra günümüzde gelmiş olduğu nokta örnekler üzerinden ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Strüktür, Malzeme, Biçim, Modern Binalar, Cephe Tasarımı

ABSTRACT

Architecture is a tradition that evolves, changes and reproduces over time that has affected the building from the past to the present. One of the most important factors shaping this tradition is advances in materials science and engineering. Until the Industrial Revolution, building can be shaped as much as the material allows, with the Industrial Revolution that started in England, building materials were produced and developed more easily, thus making it easier to solve more complex architectural forms. Concrete, cement and metals such as Titanium and Aluminum, which joined the construction world in the 19th century, also contributed greatly to the architecture. Subsequently, plastics such as ETFE and composites formed by the development of glass, concrete and wood shaped the building world. Wood, which has high strength compared to traditional wood and is an industrial building material, has been processed and turned into a more durable building material with high fire resistance that can pass wide openings. The 21st century architecture has challenged the past with the use of sustainable materials such as bamboo, which is a nature structure, and nanomaterials produced with nano technology and inspired by natural structures. All these developments in the field of materials and engineering can be easily read through the structures made in the period when the developments occurred.

However, it has been observed that in addition to developing technology and changing materials, some traditional materials preserve their value. Especially with the emergence of ecology and sustainability concepts, there has been a return to natural materials in the process following the industrial revolution.

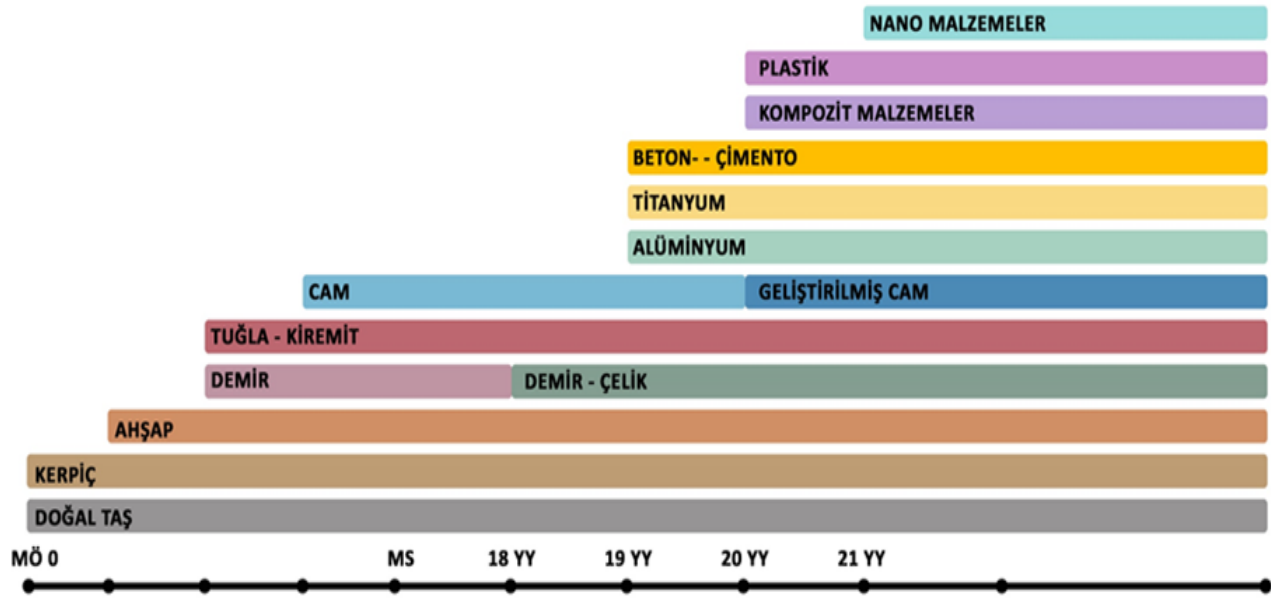
In this study, the change in materials from the past to the present; It was introduced over the buildings that were built after the industrial revolution and had an impact in the period they were built. 10 industrial buildings in which 14 different building materials developed in the historical process of the material specified by Armağan (2011) were applied were selected. As a result, the point that the material has reached today after the industrial revolution in architecture, which has developed throughout history, has been revealed through examples.

Key words: Structure, Material, Form, Modern Buildings, Facade Design

1. GİRİŞ

Mimarlık; yaşayan, gelişen ve değişen bir gelenektir. Bu geleneğin önemli bir kaynağı da malzemelerdir. Geçmişte, bir yapı oluşturulurken çeşitli malzemelerin kullanımıyla, malzemenin izin verdiği ölçüde form oluşturulabilirdi. Ancak zaman içinde gelişen teknoloji, strüktürel sistemlerin ve malzemelerin gelişmesine katkıda bulunmuş ve bu gelişmeler istenilen her türlü karmaşık mimari formların elde edilebilmesini sağlamıştır.

Şekil 1’de de görüldüğü gibi ilk yapı malzemelerini, insanların yakın çevrelerinde buldukları yerel malzemeler oluşturmuştur. Bunlar taş, kerpiç, toprak, ahşap, saz ve saman türü bitkilerdir. Bu hammaddeleri şekillendirmek, iyileştirmek için yapılan girişimler malzeme teknolojisinin gelişmesindeki ilk başarılarıdır. Malzeme biliminin gelişimi uzun yıllara yayılmıştır fakat 1960’larda İngiltere’de başlayan ve her alanda olduğu kadar yapı sektörüne de büyük ölçüde ivme kazandıran Endüstri Devrimi, malzeme ve teknolojiyi yeni bir noktaya taşımıştır. Başka bir deyişle uzun yıllardan beri bilinmesine rağmen demir, tuğla ve kiremit, cam gibi malzemelerin etkin bir şekilde yapı malzemesi olarak kullanımları Endüstri Devrimi ile mümkün olmuştur ve seri üretimin başlamasıyla bu malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır (Armağan, 2011, 9). Öte yandan yeni malzemeler keşfedilmiş ve bu malzemelerin mimaride kullanımı oldukça ilgi çekici ve estetik sonuçlar doğurmuştur.



Şekil 1. Malzemelerin Mimarideki Etkin Kullanımının Kronolojik Sıralaması

Dolayısıyla Endüstri Devriminin malzeme ve teknoloji üzerindeki etkisi, yeni malzemelerin keşfi ve yeni tasarım anlayışları mimariyi yeniden biçimlendirmiştir. Örneğin; 1763 yılında keşfedilen buharlı makineler ile cam ve demir gibi eritilen malzemelerin işlenmesi kolaylaşmıştır. Böylece malzemenin kesilmesi ve biçimlendirilmesi daha zahmetsiz bir hale getirilmiştir. İlk yıllarda dökme demir ve dövme demir olarak kullanılan demir, geliştirilerek demirden daha hafif ve sağlam olan çelik malzemesine dönüştürülerek kullanılmıştır. Dökme demir ağırlıklı olarak 1750-1850 yılları arasında kullanılırken, 1850-1900 yıllarında ise demir tam eritilmeden dövülerek veya haddelenecek şekilde şekillendirilmiştir. Yapısal çelik ise 1880’lerden sonra kullanılmaya başlanmıştır (Eren, 2014). Bu gelişmeler doğrultusunda yapı malzemesi olarak öncelikle köprülerde kullanılan demirin daha sonra binalarda camla birlikte kullanılmasıyla etkileyici yapılar ortaya çıkmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile geliştirilen ve pek çok yönden avantajlı hale getirilen camın etkili ve baskın kullanımı ise 20. yüzyılda gerçekleştirilmiştir ancak camın demirle birlikte kullanımının ilk ilgi çekici örneği, Fransız Pierre Fontaine’nin 1829 yılında inşa ettiği Şekil 2’de görüldüğü gibi Galerie D’ Orleans’tır (Turhan, 2007, 60-66). Cam ve demirin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan şeffaf ve geniş mekan o dönem için ciddi bir örnek teşkil etmektedir. Büyük etki uyandıran dikkat çekici bir başka örnek ise Joseph Paxton tarafından 1851’de inşa edilen Şekil 2’de de görüldüğü üzere Crystal Palace’tır. Yapımında dökme demir ve cam paneller kullanılmıştır. Çok kısa sürede inşa edilen bu yapı günümüz teknolojisine göre hâlâ şaşırtıcı bir süre olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2. Galerie D'Orleans, Pierre Fontaine, 1829, Fransa

Kaynak: www.digital-libraries.artic.edu/digital/collection/mqc/id/64131/



Şekil 3. Crystal Palace, Joseph Paxton, 1851, Londra

Kaynak: www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton

Demir gibi yüzyıllardır bilinen metallerin yanında, yeni keşfedilen ve yapı sektörüne dahil edilen metaller de vardır. Örneğin; 1827 yılında keşfedilen Titanyum, saf olarak 1887 yılında elde edilebilmiştir. Titanyum, paslanmaz çelikten daha üstün özelliklere sahip bir metaldir ve yer kabuğunda bol miktarda bulunmaktadır. İlerleyen yıllarda strüktür elemanı (kolon, kiriş, uzay kafes sistem) olarak kullanılması öngörülmektedir. Titanyumun yapı sektöründe ilk defa kullanıldığı yapılardan biri 1984 yılında inşa edilen Tokyo Electric Power Building'dir. Yine şekil 3'teki fotoğrafta bulunan ve Japonya'da 1994 yılında inşa edilen en büyük beyzbol stadyumu olan Fukuoka Dome'un çatısında da kaplama malzemesi olarak titanyum kullanılmıştır (Yılmaz, 2008, 26). Bu yapılar arasında büyük ölçüde ilgi toplayan ve dikkatleri Titanyuma çeken yapı, Frank Gehry'nin tasarladığı ve 1998 yılında İspanya'da açılan Guggenheim Müzesidir. Bu yapıyla beraber dünya genelinde Titanyum kullanımında büyük artış olmuştur.

smartofjournal.com / editorsmartjournal@gmail.com / Open Access Refereed / E-Journal / Refereed / Indexed



Şekil 4. Fukuoka Dome, Takenaka and Maeda Corporation, 1993, Japonya

Kaynak: www.virtualglobetrotting.com/map/fukuoka-dome/view/google/

Beton malzemesi ise 19. yüzyılda keşfedilen çimento (Portland Çimentosu) sayesinde gelişmiş ve ardından demir ve çelikle birleştirilerek yapılarda taşıyıcı sistem yani betonarme olarak kullanılmıştır. Sonraki yıllarda kaydedilen teknolojik gelişmelerle, özellikle 1960'lı yıllarda kimyasal katkıların, 1970'li yıllarda liflerin betonda kullanılmaya başlanmasıyla beton, çeşitli strüktür sistemlerinde (katlanmış plaklar, kabuklar) ve kaplama malzemelerinde (kendini temizleyebilen, şeffaf, çevre koşullarına dayanıklı beton vb.) kullanılmaya başlanmıştır (Hazır Beton Dergisi, 2019, 68-70).

20. yüzyılda ise gelişen üretim teknolojilerine bağlı olarak mekanik özellikleri daha üstün malzemeler üretilmiştir. Böylelikle gelişmiş cam, plastik ve kompozit malzemeler de yapı dünyasındaki yerini almıştır. Cam malzemesindeki gelişmelere bakılırsa; ilk giydirme cephenin 1918 yılında tasarlandığı görülür. 1950'lere doğru cam giydirme cephe kullanımı yaygınlaşmış ve Seagram Building, Lever House, Birleşmiş Milletler Binası gibi yapılar giydirme cephe kullanan önemli yapılar arasında yerini almıştır. Foster + Partners tarafından 1975 yılında İngiltere'de yapılan Willis Faber and Dumas Binası ise yeni cam tespit tekniklerinin kullanıldığı önemli örneklerden bir tanesidir (Altınkaya, 2004). Bununla birlikte güneş ışığı miktarını kontrol edebilen akıllı camlar, ısı ve ses yalıtımı sağlayan camlar ve güvenlik amaçlı kullanılan camlar gibi geliştirilmiş camların kullanılmasıyla camın mimarideki ele alınış biçiminin değiştiği söylenebilir.

1920'lerde yapı eylemine dahil olan plastikler ise günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır (Yıldız, 2019, 6-14). Plastikler, diğer malzemelere yakın özellikler gösterecek şekilde üretilmektedir ve diğer malzemelerin bünyesine katılmak suretiyle malzemeleri yapısal olarak geliştirebilmektedirler. 1950'lerde yaygınlık kazanan kompozit malzemeler ise, çeşitli materyallerin malzemenin bünyesine katılarak veya malzemelerin çeşitli yöntemlerle birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu sayede kompozitler, geleneksel malzemelere göre daha üstün mekanik özellikler göstermektedir. Örneğin; İnşaat malzemesi olarak kullanılan ve kum, agrega, çimento ve su karışımı olan beton kompozit bir malzemedir. Betona farklı yapıdaki maddelerin eklenmesiyle pek çok özellik kazandırılabilir. Başka bir örnek ise, geleneksel ahşaba göre büyük açıklıkları geçebilen, oldukça sağlam ve günümüzde taşıyıcı sistem olarak kullanılabilen endüstriyel ahşaplardır. Ahşap kompozitler 1900'lü yıllarda üretilmiştir. Ahşap talaş levhalar 1908'de Avusturya'da, lif levhalar 1915'te ABD'de, yonga levhalar ise 1941'de Almanya'da üretilmiştir (Bilgin, 2009, 51). Pek çok malzemeden oluşan ve birkaç örneği verilen kompozitlerin kullanımı günümüzde oldukça yaygındır ve kompozitler üzerindeki çalışmalar halen devam etmektedir. Bunun yanında malzemeler üzerinde oldukça etkili olan bilgisayar teknolojisi de malzemelerin yapısal olarak geliştirilmesine ve çevre koşullarına dayanıklı hale getirilmesine katkı sağlamıştır (Armağan, 2011, 16).

21. yüzyıla gelindiğinde disiplinler arası iletişimin artmasıyla bilimin malzeme üzerindeki etkisinin de arttığını görmekteyiz. Biyolojik yapıların incelenmesiyle strüktür ve malzeme birçok yönden geliştirilmiş ve

bugünkü şeklini almıştır. Örneğin; doğadan ilham alan nano teknoloji, atomlara tek tek müdahale edilerek malzemeye pek çok özellik kazandırılmasını sağlar. Biyolojik yapıları inceleyen ve bir tasarım yaklaşımı olan Biyomimikri ise strüktür ve tasarım üzerinde önemli bir etki oluşturmuştur. En az kaynak kullanarak en iyi sistemi oluşturmayı amaçlayan Biyomimikri sayesinde mimaride eşsiz yapılar oluşturulabilmektedir. Öte yandan direkt yapı malzemesi olarak kullanılabilen bambu gibi doğa strüktürleri de 21. yüzyılın yenilikçi malzemelerindendir. Bambu sağlamlık ve dayanıklılığına göre beton, çelik, ahşap gibi malzemelerle karşılaştırıldığında, bambunun çelikten sonra gelen en yüksek dayanıma sahip malzeme olduğu görülür. Sağlamlık olarak sıralandığında ise bambu, en iyi sağlamlığa sahiptir. İkinci sırayı ise çelik takip etmektedir. Boşluklu tüp yapısı sebebiyle ahşap kirişlere göre çok daha verimlidir. Bu bağlamda yapı malzemesi olarak tercih edilen ve doğal bir malzeme olan bambu, geleneksel ahşaba göre daha elverişlidir. Bu avantajlara göre bambunun mimari ve strüktürel açıdan sürdürülebilir uygulamalar için sahip olduğu potansiyeli ortaya koymaktadır (Demirel, 2018).

Endüstri Devrimine paralel olarak gerçekleşen bütün bu gelişmeler, mimari tasarımı etkilemiş ve mimarlıktaki malzeme-biçim-strüktür ilişkisini değiştirerek güçlendirmiştir. Dolayısıyla artık çok daha karmaşık tasarım problemleri; malzeme, bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu gelişmelerin mimariye yansımaları somut örnekler üzerinden ortaya koymak gelişmelerin mimariye olan katkısının algılanması açısından önemlidir. Bu makalede 19. yüzyıldan günümüze kadar olan süreçte, dönemin teknolojisi dikkate alınarak, belli dönemlerde yapılan yapılar; malzeme, strüktür ve form açısından değerlendirilecektir. Bu sayede teknolojik gelişmelerin malzeme, biçim ve strüktüre etki ederek zaman içinde nasıl bir boyuta dönüştüğü gözler önüne serilebilecektir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmanın materyalini, malzeme ve mühendislik alanında önemli gelişmelerin olduğu 19. Yüzyıldan 21. Yüzyıla kadar olan süreçte yapılan farklı işlevdeki 10 yapı örneklem grubu oluşturmaktadır. Yapıların yapıldığı dönemde etki uyandırmış ve spesifik birkaç özelliğe sahip olmasına dikkat edilmiştir. Örneğin; Crystal Palace, demir strüktür ve cam panellerle tasarlanmış ilk prefabrik yapı olması sebebiyle; Guggenheim Müzesi, bilgisayar destekli tasarım programı ile tasarlanan ilk yapı oluşu ve yapıda titanyum kullanımının benzersiz uygulamasıyla dikkatleri titanyuma çekmiş olması sebebiyle seçilmiştir. Seçilen yapıların dönemin teknolojisi dikkate alınarak malzeme, strüktür ve form açısından değerlendirilmesiyle sürecin mimari üzerindeki etkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Örnek yapılarda kullanılan malzemeler, yapıların yapım sistemleri ve yapım yılı tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Seçilen Örneklem Grubu

No	Yapının Adı	Yapım Yılı	Strüktür Malzemesi	Cephe Malzemeleri
1	Delas Freres Şaraphanesi	2019	Yapısal Taş, Çelik	Doğal Taş
2	Shirasu EcoHouse	2019	Kerpiç, Çelik, Betonarme	Kerpiç
3	Crystal Palace	1851	Dökme/Dövme Demir	Cam
4	30 St. Mary Axe Kulesi	2003	Çelik	Geliştirilmiş Cam
5	John Hancock Center	1968	Çelik	Alüminyum, Cam
6	Guggenheim Bilbao Müzesi	1997	Çelik	Titanyum, Kireç Taşı
7	Sydney Opera Binası	1959-1973	Betonarme	Prekast Beton
8	The Metropol Parasol	2011	Endüstriyel Ahşap, Çelik, Betonarme	Endüstriyel Ahşap
9	Panyaden Okulu Bambu Spor Salonu	2017	Bambu	Bambu
10	Eden Projesi	1996-2001	Hafif Çelik	ETFE Membran
11	Heydar Aliyev Kültür Merkezi	2013	Betonarme, Çelik	Cam Elyaf Takviyeli Beton ve Polyester Paneller

2.2. Yöntem

Malzeme biliminin gelişimi ve teknolojik gelişmeler, yapının strüktürüne ve formuna ciddi anlamda etki etmektedir. Çalışma kapsamında, malzemelerin ve teknolojinin zaman içerisindeki gelişimi hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Bu parametrelerin yapılar üzerindeki etkisi hakkında bilgi vermek ve bu bilgilerden yola çıkarak örnek yapı uygulamaları üzerinden analiz tabloları oluşturularak bazı sonuçlara varmak amaçlanmıştır. Bu nedenle malzemenin tarihsel gelişimi üzerinden yola çıkılarak tarihsel süreç

içerisindeki malzemelerin kullanıldığı örneklem grubu belirlenmiştir ve elde edilen bulguların değerlendirildiği bir tespit çalışması yapılmıştır.


3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tarihin başlangıcından itibaren gelişen malzeme teknolojisinin endüstri devrimi sonrasında günümüz mimarisine başka bir deyişle biçim ve strükture yansımalarının örnekler üzerinden ele alındığı bu çalışmada öncelikle malzeme ve teknolojiadaki gelişmeleri ortaya koymak için literatür araştırması yapılmıştır. Farklı yapı malzemelerinin kullanıldığı toplam 10 örnek yapı incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan yararlanılarak örnek yapıların temel bilgilerinin bulunduğu yapı künyeleri oluşturulmuş ve yapılarda; malzemenin, strüktür ve cephelerdeki kullanımları analiz edilmiştir. Analizler, doğal taş kullanımından başlayarak, malzemelerin tarihsel gelişim sıralarına göre gruplara ayrılarak değerlendirilmiştir.

3.1. Doğal Taş

Tablo 2. Delas Freres Şaraphanesi Yapı Kimliği

DELAS FRÈRES ŞARAPHANESİ		
Mimarı	Carl Fredrik Svenstedt Architecture	
Yapım Yılı	2019	
Yapım Yeri	Fransa	
Bina İşlevi	Şaraphane	
Yapım Sistemi	Çerçeve Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Yapısal Taş, Çelik	Doğal Taş



Tablo 2’de yapı kimliği verilen, Londra’da Building Center’daki “New Stone Age” sergisine dahil edilen Delas Freres Şaraphanesi, 2019 yılında Carl Fredrik Svenstedt tarafından Fransa’da inşa edilmiştir (URL 1, 2020). 80 metre uzunluğunda ve neredeyse 8 metre yüksekliğindeki cephe 55 cm kalınlığındadır ve geometrik olarak sabit, yapısal bir forma sahiptir. Kumtaşı özelliğindeki yerel Estailade taşından yapılan duvar, parametrik yazılım ile tasarlandıktan sonra CNC tekniği ile şekillendirilmiştir. CNC tekniği, bilgisayar yazılımı ile programlanmış makinelerin hareketi ile istenilen biçimi oluşturmaya yarayan bir üretim sürecidir. Bu duvar 2 metre yüksekliğindeki bloklardan yapılmıştır. Blokların oyulma sürecinde artan taş parçaları şaraphane bahçesi için çakıl olarak kullanılmıştır. Oluşturulan bloklar temele ard germeli çelik kablolar ile sabitlenmiştir ve paslanmaz çelik kablolar ile yatayda, yüzeyde görünmeyecek şekilde, birleştirilmiştir (URL 2, 2021).


Bir çeşit gözenekli kumtaşı olan Estailade taşı termal olarak nötrdür ve ortam sıcaklığını her zaman sabit tutmaktadır. Ucuz, hafif, yanmaz ve hızlı bir şekilde işlenebilen Estailade taşı, betona kıyasla çok küçük bir karbon ayak izine sahiptir ve daha ekolojiktir. Ayrıca kaplama ve yalıtıma da ihtiyaç duymamaktadır (URL 3, 2020).

Taşın, bilgisayar destekli makineler ile yazılımlar aracılığıyla tasarlanmış bir biçimde işlenebiliyor olması, taşın çağdaş mimarideki kullanımı değiştirmektedir. Günümüzde taşıyıcı sistem olarak çok sık tercih edilmemektedir fakat doğal taşın kolay işlenebilir, ekolojik olması ve nano teknolojinin taşa getirmiş olduğu kendini temizleyebilme, yaşlanma direncinin artması, su geçirmezlik gibi pek çok özellik sayesinde mimaride cephe ve kaplama malzemesi olarak kullanımı oldukça yaygındır.

3.2. Kerpiç

Tablo 3. EcoHouse Yapı Kimliği

SHIRASU ECOHOUSE		
Mimarı	Asei Architects	
Yapım Yılı	2019	
Yapım Yeri	Japonya	
Bina İşlevi	Konut	
Yapım Sistemi	Çerçeve ve Yığma Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Kerpiç, Çelik, Betonarme	Kerpiç



Kerpiç geleneksel bir malzeme olarak bilinse de günümüz çağdaş mimarisindeki kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Günümüz mimarisinde aranan ekolojik ve sürdürülebilir olma gibi kriterleri karşılayan kerpiç; estetik, ucuz ve kolay ulaşılabilir. Tablo 3’de yapı kimliği verilen EcoHouse’ta da kullanılan kerpiç, çimento ile karıştırılarak tuğla haline getirilerek yapıya dahil edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nin kurak bir bölgesinde UNESCO Dünya Mirası Alanı olarak belirlenmiş ve tamamıyla toprak malzemeden oluşan Taos Pueblo kasabasından ilham alınarak yapılmıştır (URL 4, 2020). Kerpiç geleneksel bir yapı malzemesi olsa da sürdürülebilir ve ekolojik olması nedeniyle çağdaş yapılarda ilerici bir davranış sergilemektedir. Bu da kerpice olan ilgiyi artırmaktadır.

Yapının temeli oluşturulurken, volkanik bir toprak olan Shirasu’dan yapılmış bloklar kullanılmıştır ve betonarme ile desteklenmiştir. Kerpicein kullanımı, Japonya’daki sınırlı blok ve beton ağrea kaynakları sebebiyle yapı malzemelerine bir alternatif olmuştur. Üretiminde CO₂ gazı ortaya çıkmadığından sürdürülebilir bir malzemedir. Ayrıca yazın temiz havanın geçmesine izin veren ve kışın ısıyı muhafaza ederek optimum koşulları sağlayan kerpiç, dengeli bir termal ortam ve doğal bir mekan oluşturur.

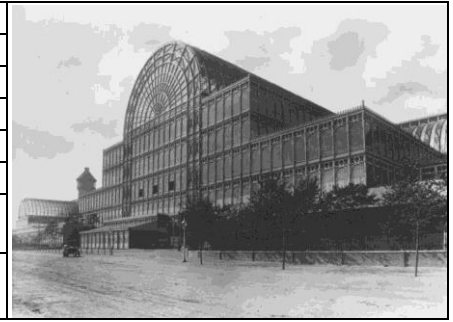
Her katı Shirasu bloklarından oluşan bu iki katlı kagir binanın kare şeklinde çekirdek bir yapısı vardır ve dikey ve yatay kuvvetleri taşımaktadır. Bu çekirdek yapılar betonarme levha ile bağlanmıştır. Bazı alanlarda uzun süreli dikey yükleri taşıması için çelik kolonlar yerleştirilmiştir. Aynı durum çatı için de geçerlidir ancak gerekli alanları desteklemek için çelik kirişler kullanılmıştır.

Shirasu bloklarının basınç dayanımlarının 10N/m²’den yüksek olduğundan emin olduktan sonra kagir yapı olarak tasarlanmıştır. Bloklar eğilme gerilimini taşıyamadığı için bükülme durumu hesaba katılarak 300 adımda bir dikey donatı yerleştirilerek bloklar desteklenmiştir (URL 4,2020). Ek olarak Shirasu EcoHouse, 2020 yılında Reiwa 2. yıl Nikkeiren Mimarlık Ödülleri arasında teşvik ödülü kazanmıştır (URL 5, 2020).

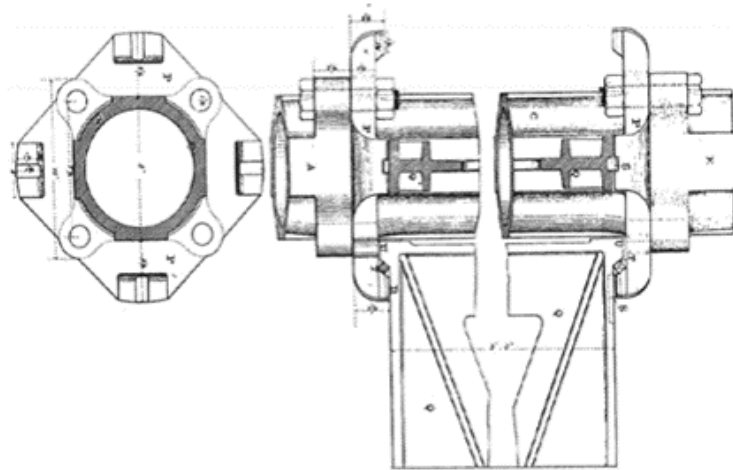
3.3. Demir, Çelik ve Cam

Tablo 4. Crystal Palace Yapı Kimliği

CRYSTAL PALACE		
Mimarı	Joseph Paxton	
Yapım Yılı	1851	
Yapım Yeri	Westminster, İngiltere	
Bina İşlevi	Fuar/Sergi Yapısı	
Yapım Sistemi	Çerçeve Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Dökme Demir	Cam



Joseph Paxton’un tasarladığı Crystal Palace, 1851 yılında İngiltere’de bir yarışma sonucu seçilerek çok kısa bir sürede prefabrike olarak inşa edilmiştir (Addis, 2006). Crystal Palace’ın dokuz ay gibi kısa bir sürede yapılmasının en önemli nedenlerinden biri, disiplinler arası iş birliğiyle yarım yüzyıldan fazla birikmiş deneyimlerin ortaya koyulmasıdır. Yapı inşa edildikten 6 ay sonra sökülüştü ve 1852’de Londra Sydenham’da yeniden birleştirilmiştir. 1936’da ise geçirdiği yangın sebebiyle yıkılmıştır.

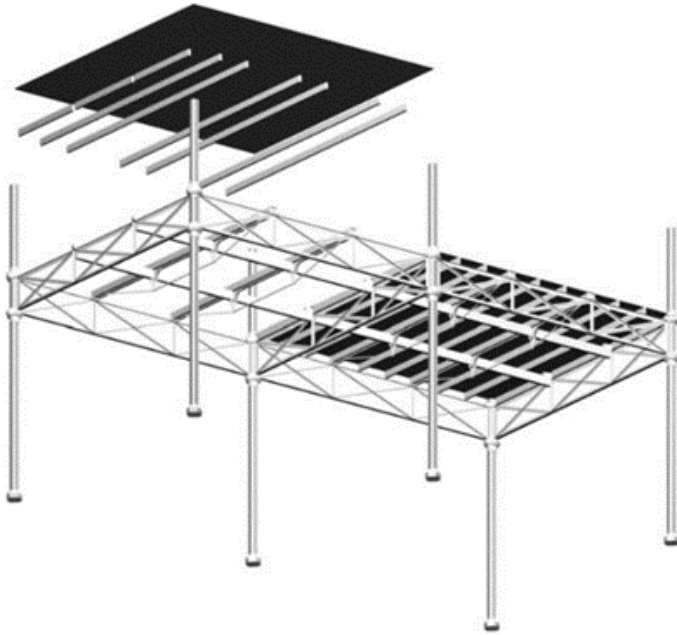


Şekil 5. Kolon Ve Kiriş Arasındaki Bağlantı Kesiti

Kaynak: Addis, B. (2006). The Crystal Palace and its Place in Structural History

Yapının ana gövdesi 563 m uzunluğunda, 124 m genişliğinde ve 33 m yüksekliğindedir (Korkmaz, 2019, 42-44). O dönemde bu boyutlarda bir binanın inşa edilmesi son derece ilgi çekicidir. Binada dökme demir kolonlar kullanılmıştır. Kolon-kiriş birleşim elemanları dövme demirden, sıkıştırma elemanları ise dökme demirden yapılmıştır ve perçinler kullanılarak zemin seviyesinde monte edilmiştir (Downes, 1851). Dolayısıyla dökme demir ve dövme demirin inşaatlarda kullanılmasının ilk örneklerindedir ve Crystal Palace'ı dünya tarihinin önemli yapılarından yapan en önemli özelliği şekil 4'te de görüldüğü gibi konstrüksiyon detaylarıdır.

Tüm kolon ve kirişler prefabrike olarak üretilmiştir ve gereken yerlerde enine kesitleri artırılarak yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Prefabrike elemanların yerinde birleştirilmesi yapım teknolojisinin önünü açmıştır. Galerilerin zeminleri, zemin yükünün dört çevre kirişe dağıtılmasını sağlamak amacıyla iki yönlü kiriş sistemi kullanılarak desteklenmiştir (Şekil 5) (Addis, 2006). Daha önce kullanılan yapısal demir tek yönde uzatılabilirken Crystal Palace'ta kullanılan yapısal demir iki yönde uzatılarak çerçeve sistem kullanılması yapıyı statik olarak desteklemiştir ve yapının öne çıkan özelliklerinden bir tanesidir.



Şekil 6. Döşeme Strüktürünün 3 Boyutlu Modeli (Neil Hamill)

Kaynak: Addis, B. (2006). The Crystal Palace and its Place in Structural History

Binadaki kolonlar ve kirişler arasında olan bağlantılar ile oluşturulan çerçeve ve yapısal çerçeveye önemli ölçüde yanal stabilite sağlayan çapraz bağlantılar yatay rüzgâr yüklerinin zemine taşınmasına yardımcı olmuştur. Kullanılan çapraz destek elemanlarının açık kullanımı ilk açık çapraz destek kullanımlarından biridir (Addis, 2006).

Tablo 5. 30 St. Mary Axe Kulesi Yapı Kimliği

30 ST. MARY AXE KULESİ		
Mimarı	Foster + Partners	
Yapım Yılı	2003	
Yapım Yeri	Londra, İngiltere	
Bina İşlevi	Ofis	
Yapım Sistemi	Diyagrid Yapısal Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Çelik	Geliştirilmiş Cam



Londra'nın ilk çevresel gökdelenlerinden ve kentin en tanınmış çağdaş mimari örneklerinden biri olan 30 St Mary Axe gökdeleni Norman Foster ve partnerleri tarafından tasarlanmıştır (Şekil 8). 180 metre yüksekliğinde ve Londra'nın en yüksek ikinci binasıdır. 2004 yılında kullanılmaya başlamasından bu yana 10'dan fazla ödül almıştır. Ödüller arasında İngiliz Mimarisi Kraliyet Enstitüsü'nün Stirling ödülü de yer almaktadır (URL 6).

Gökdelen, binanın enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmak için doğal aydınlatma ve havalandırma miktarını en üst seviyeye çıkaran aerodinamik şekli ile gelişmiş çevre stratejisine sahiptir. Ofisin iç mekanlarını doğal olarak havalandırabilmek ve yapay ısıtma ve soğutma açısından enerji tasarrufu yapabilmek için spiral ışık kuyuları yapılmıştır ve bu kuyulardan temiz hava çekilmektedir (URL 7, 2019).

Şekil ve geometri doğadaki tekrar eden formlarla benzerlik göstermektedir. Çam kozalağı gibi doğal bir spirale sahiptir ve hava koşullarındaki değişikliğe göre 792 adet cam açılıp kapanabilir bir sisteme sahiptir. Binayı taşıyan diyagrid yapısal sistem kolonsuz bir iç alan sağlamaktadır ve katlara dikey destek sağlar. Diyagrid sütun boyutları tabana doğru büyüyen, değişken bir boyuta sahiptir ve diyagridin dışarı çıkmasını engelleyen 19 kasnak yapısı mevcuttur ve bu elemanlar toplam 360 düğüm noktasında çelik plakalar ile birbirine bağlanır (Foster, 2009, 516-523). Yapıda kullanılan bu sistem çelik kullanımı ciddi bir şekilde azaltmaktadır ve mekanlarda süreklilik sağlamaktadır.

Dış cephe kaplaması, her seviyede değişiklik gösteren 5.500 adet düz üçgen ve elmas şekilli cam panelden oluşmaktadır. Camların toplam yüzey alanı 24.000 metrekaredir. Ofis alanlarının camları, çift camlı bir dış katman ve güneş kontrolü panjurları içeren tek camlı bir iç perdeden oluşmaktadır. Boşluklar, ek ısıtma ve soğutma ihtiyacını azaltmaya yarayan bir tampon bölge işlevi görmektedir ve ofislerden çekilen hava ile havalandırılır. Kuleyi çevreleyen ışık kuyularının camı, birleşik gri renkli cam ve güneş enerjisini etkili bir şekilde azaltan yüksek performanslı kaplamaya sahip açılabilir Solar Low-e çift camlı panellerden oluşmaktadır (Sipahi ve İsmailoğlu, 2019). Bu panellerin tek camdan oluşturulduğu düşünülürse binadaki ısı ve ışık kontrolünün mümkün olmayacağı açıktır. Bunun yanında binada harcanan enerji şu an harcanan enerjinin kat kat üzerinde olacaktır. Sonuç olarak Güneş ışığı, ses ve gürültü kontrolü sağlayan geliştirilmiş camlar 30 St. Mary Axe gökdelenindeki gibi büyük bir hacme sahip yapılarda enerji tüketimini ciddi şekilde azaltmaktadır.

3.4. Alüminyum

Tablo 6. John Hancock Center Yapı Kimliği

JOHN HANCOCK CENTER		
Mimarı	SOM, Fazlur Rahman Khan	
Yapım Yılı	1968	
Yapım Yeri	ABD	
Bina İşlevi	Karma Fonksiyon	
Yapım Sistemi	Dış Çapraz Bağlantılı Tübüler Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Çelik	Alüminyum, Cam



1968 yılında SOM tarafından tasarlanan John Hancock Center, tübüler sistemin (Çerçeve-tüp sistem) kullanıldığı ilk uygulamalardan biridir. Günümüzdeki ismi "875 North Michigan Avenue" olsa da John Hancock Center olarak tanınmıştır. 344 m yüksekliğindeki bu gökdelen, 20. yüzyıldaki teknolojik gelişmelerin ortaya koyduğu en önemli örneklerden biridir (Sev, 2001).

John Hancock Center'da kullanılan sistemde; geleneksel çerçeve sistemli ve giydirme cepheli yüksek yapıların aksine, cephe duvarı da strüktürel bir eleman olarak düşünülmüştür. Dış cephe kaplaması, renkli bronz camlı siyah anodize alüminyumdur. Taşıyıcı sistem, kafesli bir tüp ve iç çerçeveden oluşmaktadır. Cephede bulunan diyagonal kirişler rüzgâr ve deprem yüklerini karşılayarak binanın dayanımını artırmaktadır. Kullanılan çelik miktarı, geleneksel çerçeve sistemde kullanılan çelik miktarının yarısı kadardır (Korkmaz, 2019). Bu da yapım sistemindeki teknolojik gelişmeler sayesinde, yüksek katlı binaların daha ekonomik bir şekilde inşa edilebilmesini sağlamıştır. Bu yeni strüktürel sistemlerle gökdelenlerin alışılmış formlardan kurtularak yeni biçimleri alabilmesinin önü açılmıştır.

3.5. Titanyum

Tablo 7. Guggenheim Bilbao Müzesi Yapı Kimliği

GUGGENHEIM BILBAO MÜZESİ		
Mimarı	Frank O. Gehry	
Yapım Yılı	1997	
Yapım Yeri	Bilbao, İspanya	
Bina İşlevi	Müze	
Yapım Sistemi	Düz Kafes Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Çelik	Titanyum, Cam ve Kireç Taşı



Titanyum kaplama kullanılan yapılar içerisinde en çok ilgi çeken hiç kuşkusuz Frank O. Gehry'nin tasarladığı ve İspanya'da bulunan Guggenheim Bilbao Müzesi'dir (Şekil 10). Yapıyı bir heykel gibi tasarlayan Gehry, "Mimar ile heykeltıraş arasındaki tek farkın mimarın yapıların içine tuvalet eklemesi" olduğunu düşünmektedir (Yılmaz, 2008, 36-40). Yapının modellenmesi 1977 yılında uçak endüstrisinin kullanımı için geliştirilen CATIA yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çoğu mimari yazılımdan farklı olarak yüzeyler üzerine çalışan yazılım, Bilbao projesindeki çeşitli eğrilikleri, pürüzsüz ve rasyonel hale getirmiştir. Ek olarak yüzeylerin taşınabilmesi için gerekli strüktürün olası inşa alanlarını tanımlamak için kullanılmıştır (Akın Paşaoğlu, 2016, 37-43). Dolayısıyla projenin yapımı için on binlerce mimari plana ihtiyaç duyulmuştur (Orhon, 2005, 82-86).

Çelik kafes sistemle inşa edilen Guggenheim Bilbao Müzesi'nin çatı ve cephe kaplaması için 42.875 adet 61×122 cm boyutlarında, düz bitişmeli, tavllanmış ve 1. Derece saf titanyum kaplama kullanılmıştır (Şekil 6) (Orhon, 2005, 82-86). Cephedeki yüzeyin oluşturulabilmesi için kafes sistemin önüne düşeyde 60 mm çapında galvaniz çelik borular düzenli aralıklarla yerleştirilmiştir ve elemanların üzeri galvanize çelik plaklar ile kaplanmıştır. Çelik plakların üstüne su yalıtımı yapıldıktan sonra titanyum montajı yapılmıştır. Titanyum kaplamalar küçük ve eş boyutlu olarak üretilmiştir (Akın Paşaoğlu, 2016, 37-43). Toplam 32.000 m² alan kaplayan titanyum çatı ve cephe kaplamalarının kalınlığı 0.3-0.4 mm, ağırlığı ise 1.35-1.8 kg/m²'dir (Orhon, 2005, 82-86). Ayrıca atmosferik koşullara ve aşınmaya karşı dayanıklı olan titanyum kaplama, hafifliğine karşın oldukça dayanıklıdır. Titanyumun eşsiz bir şekilde kullanıldığı bu yapıdan sonra, titanyuma olan ilgi oldukça artmıştır ve titanyum kullanımı mimaride yaygınlaşmıştır.



Şekil 7. Guggenheim Bilbao Müzesi'nin Yapım Aşaması (Çelik Strüktür)

Kaynak: www.guggenheim-bilbao.eus/en/the-building/the-construction

Yapının tüm strüktürüne ait profil boyut bilgilerini CATIA yazılımı veremediği için, köprü ve otoyol projeleri için geliştirilmiş BOCAD yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, çelik profillerin büyük açılardaki birleşimlerinin elde edilmesine imkân vermiştir. Yazılımın başka bir avantajı da bilgisayar tarafından gelen sayısallaştırılmış veri ile çelik profillerin kesiminin yapılabilmesidir (Akın Paşaoğlu, 2016, 37-43). Bu projede kullanılan yazılımlar ve disiplinler arası iş birliği projenin yapım sürecine oldukça büyük katkı sağlamıştır ve hata payını düşürmüştür. Ayrıca geometriyi tam olarak ifade edemeyen iki boyutlu çizimlerin aksine birçok veriyi algılanabilecek şekilde sağlayan programlar, zaman ve emek tasarrufu sağlamıştır ve bu şekilde tasarım süreci ile imalat süreci arasında doğrudan bir bağlantı sağlanabilmiştir. Buna bağlı olarak, bu sistemler olmadan böylesine karmaşık bir projenin makul bir sürede üretilebilmesinin neredeyse imkânsız olduğunu söyleyebiliriz.

3.6. Beton ve Çimento

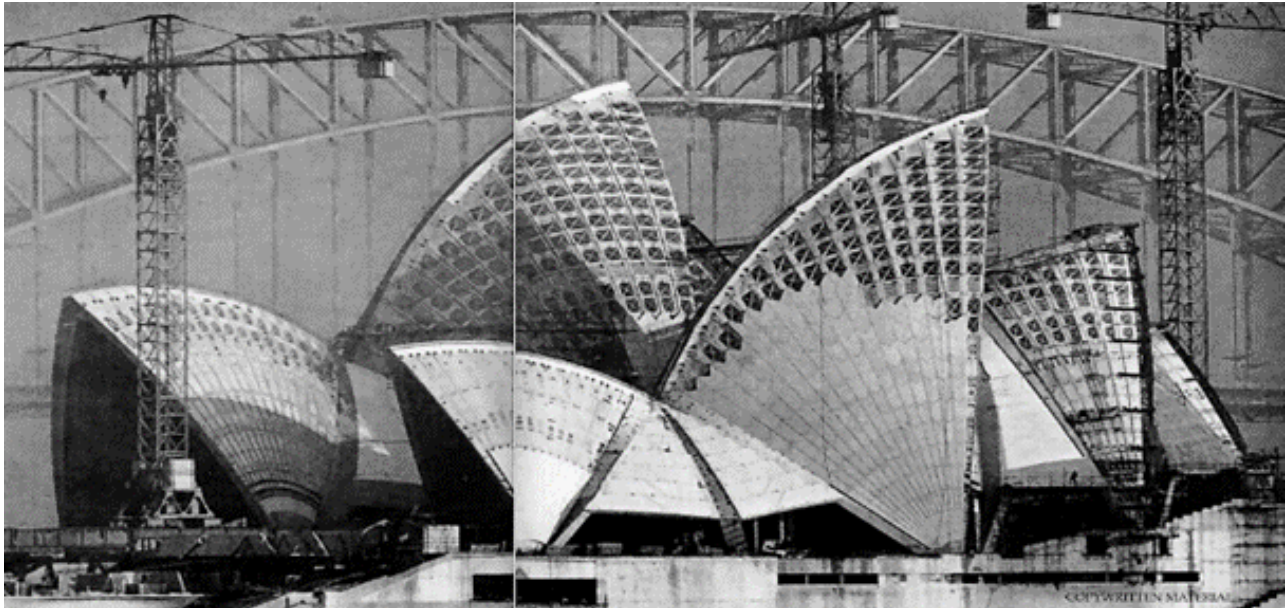
Tablo 8. Sydney Opera Binası Yapı Kimliği

SYDNEY OPERA BİNASI		
Mimarı	Jorn Utzon	
Yapım Yılı	1959-1973	
Yapım Yeri	Sydney, Avustralya	
Bina İşlevi	Opera	
Yapım Sistemi	Kabuk Sistem (Eğrilikli Yüzeysel Strüktür)	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Betonarme, Prekast Beton Nervürlü Çatı	Beyaz Seramik, Pembe Granit, Lamine Cam



Jorn Utzon tarafından tasarlanan Sydney Opera House, evre I (1959-1963), evre II (1963-1967) ve evre III (1967-1973) olmak üzere üç aşamalı olarak Sydney’de inşa edilmiştir (Şekil 9). Bu süreçte tasarımın zorluğu nedeniyle üretim ve maliyet açısından çeşitli zorluklar ortaya çıkmıştır ve inşaat ancak 1973’te tamamlanabilmiştir (URL 8, 2010). Sydney’in sembolü olan ve 20. Yüzyılın en ünlü ve en bilinen yapılarından olan Sydney Opera House, 2003 yılında bu eşsizliği nedeniyle tasarımcısı Mimar Utzon’a Pritzker ödülü kazandırmıştır (URL 9). 2007 yılında ise UNESCO Dünya Miras Listesi’ne alınmıştır.

Sydney Opera House, Ekspresyonist tarzda yapılmış, büyük prekast beton kabuk dizilerinden oluşan modern bir tasarımdır. Yapı 183 m uzunluğunda, 120 m genişliğinde ve 67 m yüksekliğindedir. Yerin 25 m kadar altına inen 588 adet beton ayak 160.000 ton ağırlığındaki yapıyı taşımaktadır (URL 8, 2010). Prekast beton elemanlardan oluşturulan ve neredeyse 5 cm kalınlığında olan çatı İsveç yapımı parlak beyaz ve mat krem renkli 1.056.006 adet ince şerit desenli seramikle kaplanmıştır (URL 10). Ayrıca kabuklar dışarıya cam duvarlarla kapanmıştır. Kabuk kaplamaları ve fuaye mekanlarının cam duvarları dışında, binanın dış kaplaması ise büyük ölçüde pembe granitten oluşan panellerle kaplanmıştır (URL 8, 2010).



Şekil 8. Guggenheim Bilbao Müzesi’nin Yapım Aşaması (Çelik Strüktür)

Kaynak: www.nfsa.gov.au/collection/curated/sydney-opera-house

Binanın yapım sistemi ve binada kullanılan malzemelere bakıldığında ön germeli betonun kullanımı yapımı zorlayan tasarımın çözümünü sağlamıştır. Kendini temizleyebilen bir yapıda olan beyaz seramiklerle kaplanan kabuk, şekli ve rengiyle oldukça ilgi çekmektedir. Betonarme sistem klasik kullanımından çıkmış ve ikonik yapılar oluşturabilmek için elverişli hale getirilmiştir. Cam duvarlar oluşturulurken kullanılan lamine cam bir kompozittir. Normal cama göre ısı/ses yalıtımı ve güvenlik sağlayan lamine camlar o dönemde çok az yapıda kullanılmıştır. Bu ikonik yapıdaki sistemin oluşturulabilmesi için bilgisayar kullanılarak geometrik hesaplamalar yapılmıştır ve disiplinler arası iş birliğiyle yapı tamamlanmıştır. Buna bağlı olarak 20. yüzyılda bilgisayarın tasarım ve üretim sürecine büyük ölçüde dahil olduğunu söylenebilir.

3.7. Ahşap

Tablo 9. The Metropol Parasol Yapı Kimliği

THE METROPOL PARASOL		
Mimarı	Jürgen Mayer H. Architects	
Yapım Yılı	2011	
Yapım Yeri	Sevilla, İspanya	
Bina İşlevi	Karma Fonksiyon	
Yapım Sistemi	Kafes Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Ahşap, Betonarme, Çelik	Ahşap



Dev bir mantara benzeyen Metropol Parasol, 2011 yılında İspanya’da Alman mimar Jürgen Mayer tarafından tasarlanmıştır. Dünyanın en büyük ahşap yapısı olarak tanımlanan Metropol Parasol ahşap elemanların örülerek birbirine geçirilmesi ile oluşturulmuştur. En görünür ölçüleri 150 m’ye 70 m’dir. Yüksekliği ise 28 m kadardır (URL 11, 2018).

Bar, restoran, seyir terası gibi birçok işlevi barındıran Metropol Parasol yapısı bir kompozit kereste çeşidi olan lamine ahşap plakalardan (LVL-Laminated Veneer Lumber) oluşturulmuştur. Yük taşıma kapasitesi yüksek ve yangına dayanıklı LVL gibi kompozitler yapıya estetik görünüm sağlamanın yanında yapıyı statik olarak da desteklemektedir. Yapının temeli betonarme olarak yapılmıştır ve müze alanı altından bağlantı çubukları ile birbirine tutturulmuş kompozit çelik ve betonarme makaslarla genişletilmiştir.

Ahşabı korumak için, lamine kaplama keresteye 2-3 mm kalınlığında poliüretan tabakası püskürtülmüştür. Esnekliği ve ahşap yüzlerdeki kuvvetli birleşimi sayesinde bu katman, ahşaptaki çatlakları önlemeye yardımcı olmaktadır ve yüksek yangın dayanımı sayesinde ahşabı korumaktadır. Bu yeni kombinasyon, mühendis ve mimarlara ahşap yapıları işlemek için yenilikçi yollar sağlamaktadır.

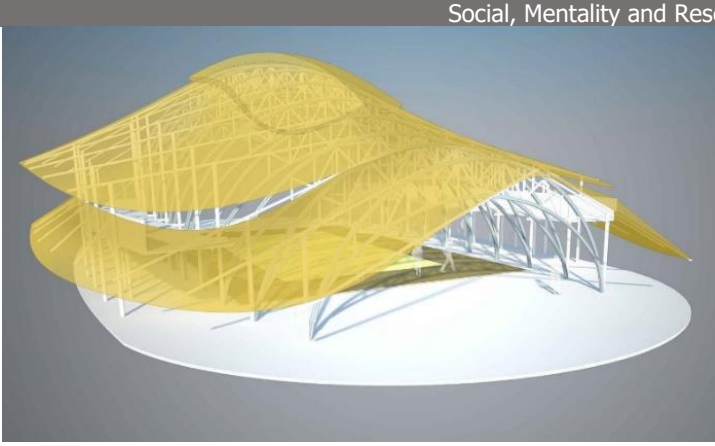
The Metropol Parasol tasarlanırken hem Almanya hem de İspanya’da paralel çalışmalar yürütülmüştür ve veriler sorunsuz bir şekilde aktarılmıştır. Metropol Parasol’un yapısal analizi oldukça karmaşık üç boyutlu hesaplamalar gerektirmiştir. Bu sebeple ahşap elemanların yüksekliğini, profillerini ve uzaydaki yönelimlerini ortaya koyan bir program kullanılmıştır (Koppitz, Quinn, Schmid ve Thurik, 2011, 249-257). Toplamda 3400 parça ahşap eleman üretilmiş ve montaj için çelik bağlantı elemanları kullanılmıştır. Her parça hesaplamalara göre özel olarak üretilmiştir ve bu sayede böylesine karmaşık bir yapı hata payı sıfıra indirilerek üretilebilmiştir.

Tablo 10. Panyaden Okulu Bambu Spor Salonu Yapı Kimliği

PANYADEN OKULU BAMBU SPOR SALONU		
Mimarı	Chiangmai Life Architects	
Yapım Yılı	2017	
Yapım Yeri	Tayland	
Bina İşlevi	Spor Salonu	
Yapım Sistemi	Kafes Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Bambu	Bambu, Kerpiç



Chiangmai Life Mimarları tarafından 2017’de Tayland’da inşa edilen bu yapıda sadece doğal yapı malzemeleri kullanılmıştır. Sürdürülebilir bir tasarım anlayışıyla inşa edilen yapının karbon ayak izi değeri sıfırdır. Tasarım lotus çiçeğinden ilham almıştır. Yapıda bambu ve toprak ürünleri dışında, çelik bağlantı elemanları gibi diğer yapı malzemeleri kullanılmamıştır. Çelik sabitleme yerine yalnızca halat kullanılması daha fazla karbon emilimine sahip olduğunu göstermektedir (URL 12, 2017). Projede kullanılan bambu kirişler prefabrike olarak üretilmiştir ve bu kirişlerle 17 metre açıklık geçilmiştir. Kafesler bir vinç kullanılarak monte edilmiştir. Bambuların dayanıklılığını artırmak için doğal bir mineral olan boraks tuzu kullanılmıştır ve hiçbir kimyasal kullanılmamıştır. Yaklaşık 50 yıllık bir kullanım ömrü öngörülen yapı, kullanılan bambu sayesinde rüzgâr, deprem gibi doğa olaylarına dayanıklı şekilde inşa edilmiştir (Şekil 11) (URL 13, 2017).



Şekil 9. Panyaden Spor Salonunun Bambudan Yapılmış Strüktürü

Kaynak: www.archdaily.com/877165/bamboo-sports-hall-for-panyaden-international-school-chiangmai-life-construction

Bir doğa strüktürü olan bambu, teknoloji ile en uygun şekilde yorumlanarak strüktürlerde enerji verimliliğini artıran tasarımların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Doğa, biyoloji ve teknoloji arasında ortak bir anlayış mevcuttur (Demirel, 2018). Mimari yapılar oluşturulurken doğanın bu yapılara ilham kaynağı olmasıyla strüktürler, yapım sistemleri ve malzemeler büyük ölçüde gelişme kazanmaktadır. Dayanımı neredeyse çeliğe yakın olan ve hacim başına kütesine oranla sağlamlığı çelikten fazla olan bambu üzerine yapılan araştırmalar gittikçe artmaktadır. Bambu, ahşaptan daha üstün özellikler göstermektedir ve daha ekonomik olması nedeniyle tercih edilebilmektedir. Sürdürülebilir bir yapı malzemesi olan ve yapılarda etkin kullanımı nerdeyse yeni olan bambu, geleceğin sıfır karbon ayak izine sahip doğal yapı malzemesi olarak görülmektedir ve sahip olduğu özellikler sebebiyle sürdürülebilir mimari için yüksek potansiyele sahiptir.

3.8. Plastik

Tablo 11. Eden Projesi Yapı Kimliği

EDEN PROJESİ		
Mimarı	Tim Smit, Grimshaw Architects, Anthony Hunt and Associates	
Yapım Yılı	1996-2000	
Yapım Yeri	Cornwall, İngiltere	
Bina İşlevi	Botanik Bahçe	
Yapım Sistemi	Geodezik Kubbe	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Hafif Çelik	ETFE Membran



Yapımına 1996 yılında başlanan ve tasarımını Tim Smit'in yaptığı Eden Projesi, 2000 yılında tamamlanmış ve 2001 yılında halka açılmıştır. Başta kemerler, aşıklar ve cam elemanlar kullanılarak yapılması planlanan projenin, bu şekilde yapılırsa yüksek maliyete sebep olacağı anlaşılmıştır. Bunun yerine altıgen geometriye dayalı tek katmanlı bir kubbe yapısı geliştirilmiştir. Ortaya çıkan uzaysal ağ silikatlar (siO₄) gibi minerallerin moleküler organizasyonuna benzemektedir. Doğaya uyum sağlayan bu tasarımın zemine oturması daha kolaydır ve altıgen formu içeriye daha çok güneş alınmasını sağlamıştır (Knebel, Sanchez-Alvarez ve Zimmermann, 2001, 1-11).

1997'de projeye dahil olan MERO, büyük boyutlardaki tek katmanlı yapının ekonomik olarak inşa edilemeyeceğini ve deformasyonunun çok büyük olduğunu sonucuna varmıştır. Daha sonra geometri ve yapı değiştirilerek altıgen üst kiriş geometrisine sahip çift katmanlı çelik uzay çerçeve olarak değiştirilmiştir (Knebel, Sanchez-Alvarez ve Zimmermann, 2001, 1-11). Eden projesinde tercih edilen geodezik kubbe, geniş açıklıkları az sayıda elemanla geçilmesini sağlamaktadır. Bu strüktürlerdeki çubuklar arasındaki bağlantılar, narin elemanlardan oluşur ve bunlar konstrüksiyonun ağırlığı taşır (Vural, 2000). Bu yapıda kullanılan strüktürün hesaplamaları, bir bilgisayara aktarılarak, 3D analiz programı olan RSTAB tarafından yapılmıştır. Analizler sonucunda yapının istikrarı kanıtlanmıştır (Knebel, Sanchez-Alvarez ve Zimmermann, 2001, 1-11).

Kaplama malzemesi olarak ise bir plastik yapı malzemesi olan hava dolgulu ETFE folyo yastıklar kullanılmıştır. Camın aksine daha hafif olan, gerekli çelik kullanımını azaltan ve ısı yalıtımı sağlayan bu

malzeme güneş ışınlarının kubbelere geçmesine de izin vermiştir. Bu sayede yapı daha ekonomik ve hızlı inşa edilmiştir (Knebel, Sanchez-Alvarez ve Zimmermann, 2001, 1-11).

Buradan da anlaşılabilirliği gibi çelik strüktür sistemlerinin daha ekonomik ve kolay uygulanabilir hale gelmesi büyük açıklıklar geçilmesini sağlamaktadır. Örneğin; Eden Projesinde kullanılan ve küresel bir form oluşturan geodezik kubbe, kolay ve birçok açıya uygun olacak şekilde montaj sağlayan MERO sistemi sayesinde, en az malzeme kullanılarak yapılabilmektedir. Dolayısıyla yapı ağırlığı ciddi ölçüde azalmıştır. Böylesine büyük bir sistemde cam kullanımını düşünürsek, camın geliştirilmiş ve pek çok avantaj sağlayan yapısına rağmen oldukça maliyetli ve riskli olacağı açıktır. Hem ışık geçirgenliği hem hafif oluşu hem de ısı yalıtımı sağlaması açısından, termoplastik bir polimer membran olan ETFE'nin (etilen tetrafloroetilen kopolimer) kullanımı çok daha uygun görünmektedir. Ayrıca ETFE, ultraviyole ışınları yansıtıcı, yapışmaz, alev almayan, kendini temizleyebilen, sağlıklı ve uzun ömürlü bir malzemedir.

Eden Projesi, sürdürülebilir duyarlı çevreyi yenilikçi malzeme ve tasarımla sunmuştur. Aslında havacılık ve uzay endüstrisine yönelik olarak geliştirilmiş bir malzeme olan ETFE, teknoloji ile mimariye uygun hale getirilmiş ve yapı malzemeleri arasında yerini bulmuştur. İlk defa bu kadar büyük ölçekli olarak ETFE kullanılan Eden Projesi, bu malzemenin mimarideki kullanılabilirliğini göstermiş ve yaygınlaşmasını sağlamıştır (Korkmaz, 2019). Bütün bunlar, yapı malzemelerindeki seçeneklerin arttığını, daha avantajlı ve yenilikçi malzemelerin üretildiğini ve mühendislikteki gelişmelerin, daha büyük açıklıkların daha az ekonomik maliyetle geçilebilmesine imkân verdiğini göstermektedir.

3.9. Nano Malzemeler

Tablo 12. Heydar Aliyev Kültür Merkezi Yapı Kimliği

HEYDAR ALİYEV KÜLTÜR MERKEZİ		
Mimarı	Zaha Hadid Architects	
Yapım Yılı	2013	
Yapım Yeri	Bakü, Azerbaycan	
Bina İşlevi	Kültür Merkezi	
Yapım Sistemi	Çerçeve ve Uzay Kafes Sistem	
Yapı Malzemesi	Strüktür	Cephe
	Çelik, Betonarme	Cam Elyaf Takviyeli Beton ve Polyester, Cam Panel



Bakü'nün altyapısını ve mimarisini çağdaşlaştırmak ve geliştirmek için yapılan yatırımlardan biri olan Heydar Aliyev Kültür Merkezi, Zaha Hadid ve ofisi tarafından tasarlanmıştır ve 2013'te tamamlanmıştır. Tasarım, çevre ve iç mekân arasında sürekli ve akıcı bir ilişki kurmaya izin vermektedir. Ayrıca yapıdaki dalgalanmalar, çatallanarak ayrılmalar, katlanmalar ve bükülmeler gibi karmaşık formlar yapıyı birçok işlevi bir araya getiren bir mimari peyzaja dönüştürmektedir (URL 14, 2013). Bu hareketle yapı, kentsel peyzaj ve mimari nesne, yapı kabuğu ve kent meydanı, biçim ve zemin, iç mekân ve dış mekân arasındaki geleneksel farklılaşmayı bulanıklaştırmaktadır (Korkmaz, 2019).

Projenin serbest biçimli yapısı, farklı fonksiyonları içeren mekanları birbiriyle ilişkilendirmek için tek bir yüzeyi değiştirerek uygulayan mimari konseptten kaynaklanmaktadır (URL 14, 2013). Yapı kabuğunun homojen bir görünüm vermesi ve sürekli bir yüzey oluşturması için yapım fikirlerinin ve teknik sistemlerin bir araya getirilmesi gerekmiştir. Bu karmaşık süreçte gelişmiş bilgisayar programları kullanılmıştır ve mühendis ve mimarlar arasında kesintisiz kontrol ve iletişim sağlanmıştır (Korkmaz, 2019).

Heydar Aliyev Kültür Merkezi, betonarme çerçeve sistem ve çelik uzay kafe sistem olmak üzere iki sistemden oluşmaktadır. Uzay kafes sistem, serbest biçimli olan bu yapının inşa sürecine zamana açısından büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Mimari tarafından yönlendirilen geometri, kavisli ön germeli kolonlar ve cepheyi destekleyen, serbest uca doğru sivrilen konsol kirişler gibi alışılmadık yapısal çözümleri de beraberinde getirmiştir. Bakü deprem açısından riskli bir bölge olduğundan, yapı temeli 170 fit uzunluğundaki beton kazıklarla desteklenmiştir. Ayrıca uzay kafes sistem, geniş açıklığından dolayı yapının sağlamlığını korumak için doğrudan temele ve betonarme strüktüre bağlanmaktadır. Strüktür oluşturulurken bütün elemanlar bilgisayar programları aracılığıyla tek tek hesaplanmıştır.

Kaplama için, yenilikçi bir kompozit yapı malzemesi olan aynı zamanda yapının güçlü ve esnek tasarımına izin veren ve meydan, yapı kabuğu ve geçiş bölgeleri gibi farklı fonksiyonlara uyum sağlayabilen cam elyaf takviyeli beton ve cam elyaf takviyeli polyester paneller kullanılmıştır (Bekiroğlu, 2013).

Haydar Aliyev Kültür Merkezi projesinde iç mekân ile dış mekan, zemin ile yapı kabuğu arasındaki ayrım bulanıklaştırılarak ziyaretçilere akışkan bir mekan deneyimi sunulmuştur. Yapının serbest biçimli formunu oluşturabilmek için bilgisayar programlarının kullanılması kaçınılmazdır. Yapı kabuğunda tercih edilen kaplama malzemesi, birçok açıdan güçlendirilmiş bir malzemedir. Bir kompozit olan cam elyaf katkılı beton nano teknolojiyle geliştirilmiştir ve kendi yüzeyini temizleyebilen bir özelliğe sahip olup yapı yüzeyini kirden korumaktadır. Bu da malzeme ve mühendislik alanındaki gelişmelerin yapı formunda ve strüktür oluşumunda oldukça büyük bir role sahip olduğunu gözler önüne sermektedir. Öte yandan göz alıcı serbest form 21. yüzyıldaki tasarım algısının geçmişe göre oldukça değiştiğini ve geliştiği göstermektedir.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan incelemede tarih boyunca geliştirilen farklı yapı malzemelerinin Endüstri devrimi sonrasında da kullanılarak günümüzde halen kullanıldığı görülmektedir. Yapı malzemelerinin çeşitlenmesi ve farklı alternatifleri olması ile bu çeşitlilik içerisinde mimarlar yapının işlevi ve konseptine göre geniş bir yelpaze içerisinde malzeme seçimlerini yapmaktadır.

Geleneksel yapım teknikleri içerisinde yer alan ve yapım tarihinin kullanılan ilk malzemesi olan doğal taş; günümüzde teknolojinin etkisi ile geliştirilerek Delas Frères Şaraphanesi'nde olduğu gibi modern zamanlarda da tercih edilen bir malzeme olarak günümüzdeki yerini almıştır.

Ekolojik bir malzeme olan kerpiç (Sipahi ve Kulözü-Uzunboy 2021) kullanımı günümüzde sürdürülebilir yapı malzemesi olarak tercih edilen bir malzemedir.

Milattan önceki yıllarda masif ahşap kullanımı ile başlayan kimi zaman geçme sistemler ile geliştirilen ahşap yapılar günümüzde halen ekolojik ve sürdürülebilirlik kavramları ile kerpiçte olduğu gibi, tercih edilen doğal bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aynı ahşap gibi milattan önce yapılarda kullanılmaya başlanılan demir ve süregelen süreç içerisinde çelik ahşabın aksine yapım teknolojisinin gelişmesi ile hemen hemen bütün yapılarda kullanılan malzeme grubu olarak günümüzdeki yerini almıştır. Crystal Palace'tan başlayarak 30 St Mary Axe Kulesi'ne uzanan cam cepheli yapılar grubunda ise cam ile tercih edilen ana malzemeler olmuşlardır.

Toprağın pişirilmesiyle elde edilen tuğla ve kiremit yapı malzemesi grubu da günümüzde gaz beton, alçı panel gibi sistemlerin yaygınlaşması ile bölücü olarak eskisi kadar sık kullanılmasa da halen görülen; Çatılarda ise halen yaygın olarak kullanılan bir malzemedir.

Cam ve teknolojinin değişimi ile geliştirilmiş cam malzeme olarak aynı demir- çelik yapı malzeme grubunda olduğu gibi binaların vazgeçilmez malzemesidir. Bununla birlikte demir- çelik malzeme grubunun etkin kullanıldığı cam cepheli yapıların da ana malzemesini oluşturduğu görülebilmektedir.

Taşıyıcı özelliğinin zayıf olmasının yanında estetik açıdan şık görünümü sebebi ile başta cephe olmak üzere binanın farklı noktalarında kullanılmaktadır. Alüminyumun cephe üzerinde kullanımına, John Hancock Center iyi bir örnek olarak gösterilmektedir.

Titanyumun yapı malzemesi olarak günümüzdeki yeri özellikle parametrik tasarımı ile Guggenheim Bilbao Museum ile farklı bir boyuta taşınmıştır. Bu yapı ile birlikte teknolojik yapılarda görülen bir malzeme olmuştur.

Beton endüstri devriminin başından itibaren betonarme yapıların kullanımının artması ile sık kullanılan bir malzeme olurken kompozit malzemeler ile desteklenerek kullanılmıştır.

Kompozit malzemeler ise yapı sektöründe plastik ve nano malzemeler ile birlikte oldukça farklı çeşitleri çıkan malzeme grupları olarak göze çarpmaktadır. Bu malzeme grupları içerisinde yeni araştırmalar ve gelişen teknoloji sayesinde yeni malzeme çeşitleri her geçen gün çıkmaya devam etmektedir.

Sonuç olarak yapı endüstrisi içerisinde gelişen malzemeler ile yeni yapım tekniklerinin ortaya çıkması farklı yapı tasarımlarının ortaya konulmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte en eski yapı malzemesi dahi şekil ve uygulama tekniği değişse ve gelişse dahi günümüzde halen kullanılmaya devam etmektedir. Yeni yapım malzemelerinin ortaya çıkışı ise tasarımcıların elini güçlendirmekte; farklı malzemelerin farklı şekilde bir araya getirilmesi ile daha farklı tasarımlar her geçen gün ortaya konulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Addis, Bill (2006). The Crystal Palace and Its Place in Structural History, *International Journal of Space Structures*, İngiltere, Y. 21 S. 1.
- Altinkaya, Taşkın; Özgen, Aydan (2004). *Camın Yapısal Kullanımının Tarihsel Gelişimi, Güncel Olanaklar ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- Akın Paşaoğlu, Tomris (2016). Mimarlık ve Strüktür, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.37-43.
- Armağan, Coşkun Çağlar (2011). *Fenomenolojik Yöntem ve Tektonik Dil Aracılığı ile Materyale Duyarlı Tasarım*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bekiroğlu, Saffet Kaya (2013). *Heydar Aliyev Center*, London.
- Bilgin, Hakan (2009). *Ahşap Yapıların Tarihsel Süreç İçindeki Gelişimi ve Günümüzde Ahşap Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haliç Üniversitesi, İstanbul.
- Demirel, Esra (2018). *Bambu Malzeme Davranışına Bir Model Olarak Kabuk Strüktür Tasarım ve Şekil Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Downes, Charles (1851). *The Building Erected in Hyde Park for the Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations*, İngiltere.
- Eren, Özlem (2014). *Büyük Açıklıklı Çelik Yapılar*, Arı Sanat Yayınları, İstanbul.
- Foster, Norman (2009). *Works 5*, 516-523.
- Knebel, Klaus; Sanchez-Alvarez, Jaime; Zimmermann, Stefan (2001). *The Structural Making of the Eden Domes*, MERO, s. 1-11.
- Hazır Beton Birliği (2019). Geçmişten Geleceğe Vazgeçilmez Yapı Malzemesi: Beton, *Hazır Beton Dergisi*, V. 152 S. 2, 68-70.
- Korkmaz, Yelda (2019). *Toplumsal Değişim ve Çelik Yapı malzemesi Etkileşiminin Mimari Tasarıma Yansımaları*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Koppitz, Jan-Peter; Quinn, Gregory; Schmid, Volker (2011). *Metropol Parasol Digital Timber Design, Computational Design Modelling*, s. 249-257, Berlin, Almanya.
- Leslie, Thomas (2019). "Buildings Without Walls": Curtain Wall Development in Chicago Architecture Of the 1980s, University of California Press, Society of Architectural Historians, V. 2, s. 1921-1936.
- Orhon, Ahmet Vefa (2005). Mimarlıkta Titanyum, *Yapı Dergisi*, V. 278, s. 82-86.
- Sev, Aysin (2001). *Türkiye ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- Sipahi, Kulözü-Uzunboy (2021). *A study on reducing the carbon footprint of architectural buildings based on their materials under the guidance of eco-design strategies*, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(3), 991-1005.
- Sipahi, Serkan; İslamoğlu, Semiha (2019). *İkinci Dünya Savaşı Sonrası Avrupa'da Binalar ve Modernizm*, Gece Akademi Yayınları, Ankara.
- Turhan, Emrah (2007). *Mimari Tasarımda Cam Kullanımı ve Alışveriş Merkezlerinde Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- URL 1 (2020) www.dezeen.com/2020/03/19/delas-freres-winery-carl-fredrik-svenstedt-architects-france.
- URL 2 (2021) www.buildinganddecor.co.za/robots-build-theatrical-winery-wall
- URL 3 (2020) www.architecturalrecord.com/articles/14419-delas-freres-winery-by-carl-fredrik-svenstedt.
- URL 4 (2020) www.archdaily.com/937786/shirasu-sakurajima-ecohouse-asei-architects
- URL 5 (2020) www.njr.or.jp/list/news/2020/01415.
- URL 6 www.archute.com/the-gherkin-a-monumental-building-in-the-middle-of-london-by-foster-partners.

URL 7 (2019) www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners

URL 8 (2010) www.v3.arkitera.com/h49297-utzonun-zarif-gorunuslu-fakat-kaprisli-tasarimi.

URL 9 (2007) www.mimarobot.com/forum/wiki/sydney-opera-evi.

URL 10 www.arkitektuel.com/sydney-opera-binasi.

URL 11 (2018) www.en.wikipedia.org/wiki/Metropol_Parasol

URL 12 (2017) www.dezeen.com/2017/08/21/chiangmai-life-architects-construction-sports-hall-panyaden-international-school-thailand-arching-bamboo-trusses.

URL 13 (2017) www.designboom.com/architecture/chiangmai-life-architects-bamboo-sports-hall-panyaden-international-school-thailand-08-09-2017.

URL 14 www.zaha-hadid.com/architecture/heydar-aliyev-centre.

Vural, Nilhan (2000). Uzak Kafes Strüktür Sistemleri ve Türkiye'deki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yıldız, Bengi; Seçkin, Nazire Papatya (2019). Mimaride Malzemelerin Algısal Farklılıklarının Değerlendirilmesi, Sabahattin Zaim Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, V. 1 S. 1, s. 6-14.

Yılmaz, Nadiye (2008). Mimaride Titanyum Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.