



Beton Esaslı Prefabrike Cephe Panellerinin Tarihsel Gelişiminin Farklı Ülkelerdeki Örnekler Üzerinden Değerlendirilmesi

Evaluation of the Historical Development of Concrete Based Prefabricated Facade Panels through Examples from Different Countries

Mediha Gültekin¹, Güneş Mutlu Avinç², Pelin Sarıcioğlu¹, Ash Yıldız^{*3}

¹ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 06000, Ankara, TÜRKİYE

² Muş Alparslan Üniversitesi, 49100, Muş, TÜRKİYE

³ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 50040, Nevşehir, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 06/07/2023

Kabul / Accepted: 25/10/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2023

Öz
Prefabrike sistemler, düşük maliyet, hızlı üretim, kaynakların rasyonel kullanımı gibi sunduğu olanaklar ile yapım süreçlerinde sıklıkla uygulanmaktadır. Bu sistemler kullanılarak bir yapının kolon, döşeme, duvar, cephe yüzeyi gibi pek çok bileşeni üretilebilmektedir. Bu çalışmada iç ve dış faktörlere bağlı olarak şekillendikleri için beton esaslı cephe panellerine odaklanılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak prefabrike sistemlerin tarihsel süreç içerisindeki gelişimi ortaya konulmuştur. Daha sonra beton esaslı panellerin özellikleri, bileşenleri ve teknik detayları sunulmuştur. Bu çerçevede mimari proje bilgilerini içeren web sayfaları taranmış ve bu panellerin kullanıldığı dokuz (9) adet yapı belirlenmiştir. Yapıların belirlenmesinde panel kullanımı açısından yenilikler sunan, sürdürülebilir, özgün form ve kurguya sahip ve teknolojik açıdan gelişmiş yapılar tercih edilmiştir. Yapılara ait değerlendirmeler bir tablo içerisinde özetlenmiştir. Sonuç olarak, tekstil, cam, karbon gibi malzemelerin beton ile birlikte kullanımının yenilikçi prefabrik cephe elemanlarını ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Prefabrikasyon, Prefabrike sistem, Prefabrike beton panel sistem, Cephe panel sistemi

Abstract

Prefabricated systems are frequently applied in construction processes with the opportunities they offer such as low cost, fast production and rational use of resources. Many components of a building such as columns, slabs, walls, facade surfaces can be produced using these systems. In this research, the focus is on concrete based facade panels as they are shaped depending on internal and external factors. In this context, firstly, the development of prefabricated systems in the historical process is presented. Then, information about the properties, components and technical details of concrete based panels are given. Web pages containing information about architectural projects were scanned and nine (9) buildings using these panels were identified. In the study, buildings that offer innovations in terms of panel use, sustainable, having unique form and technologically advanced are preferred. The evaluations of the buildings are summarized in a table. As a result, it has been determined that the use of materials such as textiles, glass and carbon together with concrete creates innovative prefabricated facade elements.

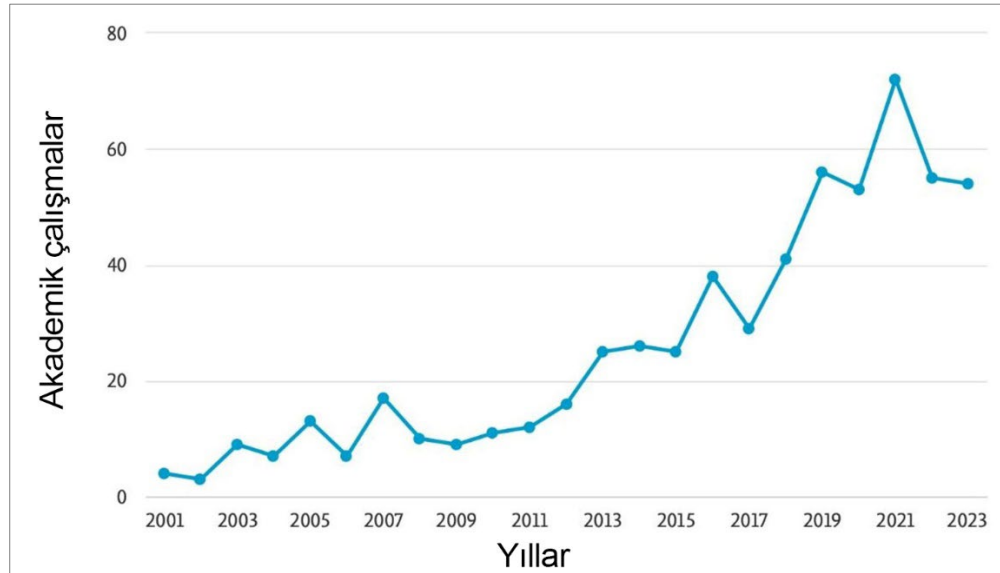
Key Words

Prefabrication, Prefabricated system, Prefabricated concrete panel system, Facade panel system

1. Giriş

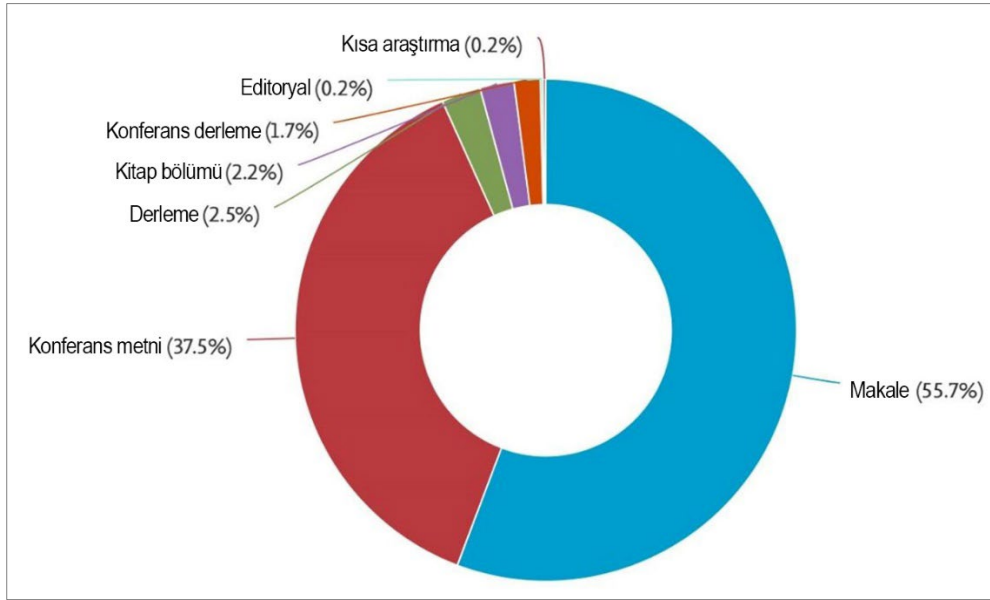
Betonarmenin kullanım alanlarının geniş olması, yük taşıma kapasitesi ve dayanıklılığının yanı sıra üretim kolaylığı, betonarmeyi 20. ve 21. yüzyılın başlarında en çok kullanılan yapı malzemesi durumuna getirmiştir (Roik vd., 2022). Betonarmenin kullanıldığı sistemlerden biri de prefabrik beton yapılarıdır. Prefabrikasyon kavramı; duvar panelleri, kapılar, pencereler, çatı makasları, dolaplar, merdivenler ve hatta tüm bina parçaları gibi bitmiş veya yarı bitmiş yapısal bileşenlerin birleştirilmesi ve tasarlanması için üretim sahasından veya fabrikadan şantiyeye kadar üretilmesi ya da önceden monte edilmesi sürecini ifade etmektedir (Nirmalkumar vd., 2021:111). Prefabrik beton yapı sistemleri inşa süresinin kısalığı, işgücü ihtiyacının az olması ve sahadaki işlerin en aza indirilmesi gibi avantajlarıyla giderek daha popüler hale gelmektedir (Gunawardena & Mendis 2022). Kullanım avantajlarının fark edilmesiyle beraber kullanım oranı giderek artan prefabrik sistemlerin ortaya çıkması betonun kullanılmaya başlandığı zamanlara dayanmaktadır. İkinci sanayi devrimi ile gelişen teknoloji ve etkili olan dış faktörlerle beraber betonarmenin kullanılmaya başlanması ve duvarların taşıyıcı olmaktan çıkmasıyla iskelet sisteme geçilmiş ve inşaat sektöründe yeni bir dönem başlamıştır. Dönemin getirdiği zorunluluklar (savaş, konut ihtiyacı, gelişmeye başlayan teknoloji) hızlı ve pratik çözümler bulmayı teşvik etmesi sebebiyle 1800'lü yılların ortasında başlayan teknolojik ilerlemelerin malzemeye yansması sonucunda 1900'lü yıllara gelindiğinde prefabrikasyonun ilk adımları atılmıştır. İlk olarak prefabrik elemanların üretimi ile başlayan prefabrikasyonun gelişimi, bir yapının tüm elemanlarıyla beraber şantiyede üretimi ile devam etmiştir. Sonraki süreçlerde Avrupa'da büyük inşaat şirketleri tarafından prefabrikasyon kullanımının teşvik edilmesiyle beraber tüm dünyada ve ülkemizde prefabrikasyon kullanım oranı artmaya başlamıştır (Seitablaiev ve Umaroğulları, 2020).

İnşaat malzemeleri ve teknolojisinde yaşanan ilerleme, minimum malzeme kullanımı, hafiflik ve ek ekonomik faydalar özelliklerini bir araya getirerek prefabrikasyonda verimli ve sürdürülebilir yapısal sistemlere yönelik araştırmalara yol açmıştır (Venigalla vd., 2022). Bunu başarmak için araştırmacılar, prefabrike beton içerisine tekstil, cam elyaf, karbon fiber gibi malzemeler katarak betonun esneklik, süneklik, dayanım, çatlak oluşumunu önleyerek ince duvarlar ve malzeme tasarrufu gibi yenilikçi sonuçlar doğurmuştur. Bununla birlikte son yıllarda literatürde prefabrik beton sistemler üzerine yürütülen araştırmalar artmaya başlamıştır. Bu bağlamda Scopus veri tabanında "prefabricated AND concrete AND panel" anahtar kelimeleri ile bir arama gerçekleştirilmiştir. Arama 2000-2023 yılları arasında sınırlandırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda farklı alanlarda gerçekleştirilen toplam 592 çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar yıl, alan ve doküman kategorisine göre analiz edilmiştir. Bu kapsamda 592 makalenin yıllara göre hazırlanan grafiği Şekil 1'de sunulmuştur. Bu grafiğe göre 2015 yılından sonra çalışmaların sayısında artış gözlemlenmiştir.



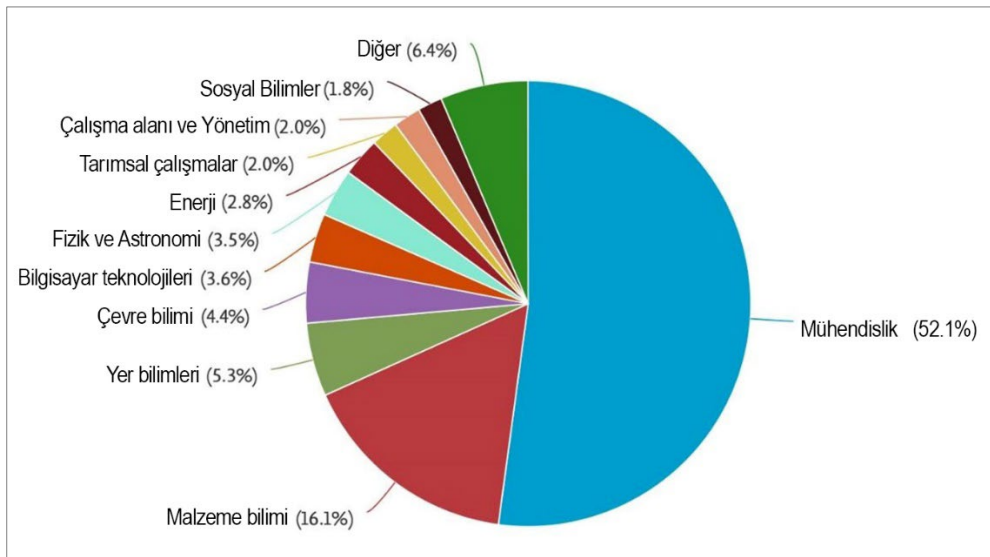
Şekil 1. Yıllara göre yayınlanmış çalışmalar

Yapılan araştırma sonucunda ulaşılan 592 çalışmanın 330'unu makaleler, 222'sini konferans çalışması ve 15 tanesini de derleme makalenin oluşturduğu görülmektedir. Bu veriler Şekil 2'de yer alan grafikte sunulmuştur.



Şekil 2. Ulaşılan çalışmalara ait araştırma kategorileri

Arama sonucunda elde edilen makalelerin ilişkili olduğu çalışma alanları Şekil 3'te sunulmuştur. Bu alanda en çok çalışmanın mühendislik, malzeme bilimi, yer bilimleri ve çevre bilimlerinde olduğu saptanmıştır.



Şekil 3. Ulaşılan çalışmalara ait araştırma alanları

Bunun yanısıra ülkemizde yürütülmüş konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde; Dağ ve diğ. (2022) depreme dayanıklı prefabrik betonarme yapıların mimari tasarım gereksinimlerini belirlemiş ve taşıyıcı sistem yaklaşımlarını ortaya koymuş. Bunun için prefabrik yapılar üzerindeki deprem etkisi özetlenmiş. Prefabrik beton yapıların depreme dayanıklılığına katkı sağlayacak mimari tasarım ilkeleri ortaya konulmuştur. Baş ve Vural (2019) ise beton panel sistemlerin konut üretimindeki kullanımını araştırmış ve kullanılabilecek panellerin kullanıldığı bir rehber hazırlamıştır. Seitablaiev ve Umaroğulları (2020) betonarme prefabrikasyonun dünyadaki ve Türkiye'deki durumunu ortaya koyarak, prefabrikasyonun gelişimine yönelik değerlendirmeler yapmıştır. Kahveci (2019) ise beton bünyeli prefabrike sistemlerdeki düğüm noktalarını incelemiş ve sınıflandırmıştır. Esin ve Coşgun (2004) çalışmalarında betonarme yapı sistemlerinin üretim aşamalarının çevrede yarattığı etkileri analiz ederek, ekolojik açıdan değerlendirmişlerdir. Bu bağlamda çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, ülkemizdeki prefabrik cephe panellerinin kullanımının yaygınlaşması için, farklı ülkelerdeki örnekleri sunarak panellerin tasarımsal olanaklarını göstermektir. Buradan hareketle araştırmanın örnek yapılar aracılığıyla tasarımcılar ve konunun diğer muhatapları için bir referans sunması amaçlanmaktadır. Çalışma içeriğinde ilk olarak prefabrikasyonun tarihinden başlanarak gelişen sistemler günümüze kadar ele alınmıştır. Sonrasında çalışmanın odağı olan beton esaslı prefabrike cephe panelleri üzerine odaklanılmıştır. Farklı ülkelerdeki yapılara ait beton cephe panellerinin sistemsel detayları incelenerek bir tablo ile sunulmuştur.

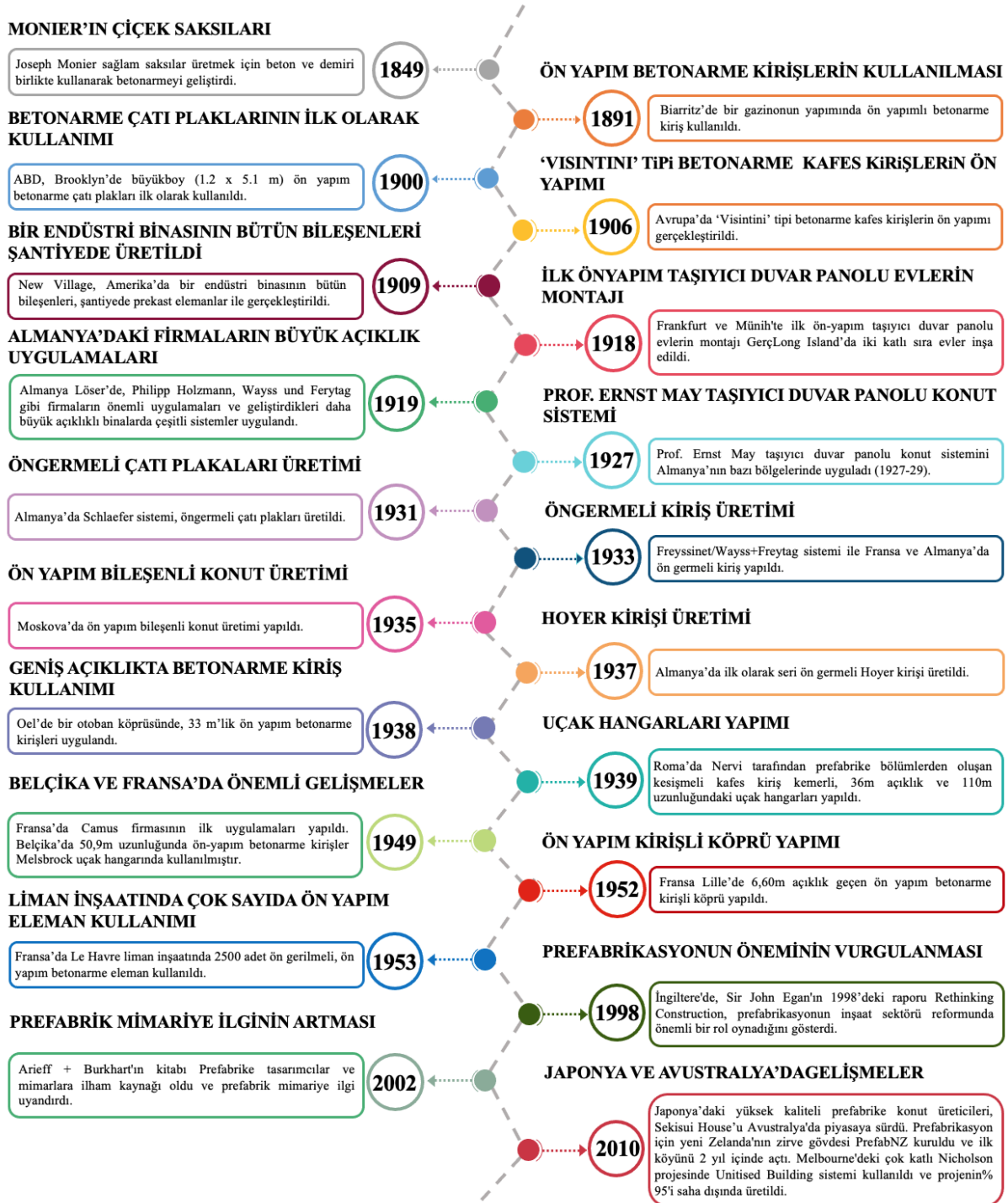
1. Kavramsal Çerçeve

1.1. Prefabrikasyonun Tarihi

Dünyanın endüstri çağına girmesiyle beraber yapı sektöründe de endüstrileşme yönünde bir gelişme olmuştur. Bu bağlamda yapıda ön üretim, ön yapım ya da prefabrike betonarme sistemler yapım sektöründeki endüstrileşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Prefabrikasyon, bina bölümlerinin büyük bir kısmının veya tümünün atölye veya fabrikalarda, endüstriyel yöntemlerle üretilmesini öngören bir yapım sistemidir (Gültek, 2012). Beton prefabrike sistemlerin tarihçesi betonun ilk bulunduğu yıllara dayanmaktadır. Betonun ilk çıkış tarihi ise yaklaşık 2.000 yıl öncesine, antik Roma'ya kadar uzanmaktadır. Kireçtaşı, volkanik kül ve deniz suyundan oluşan ve "Roma Betonu" olarak adlandırılan bu karışım su kemerlerinin, otoyolların ve tapınakların inşasına olanak sağlamıştır (Souza, 2019).

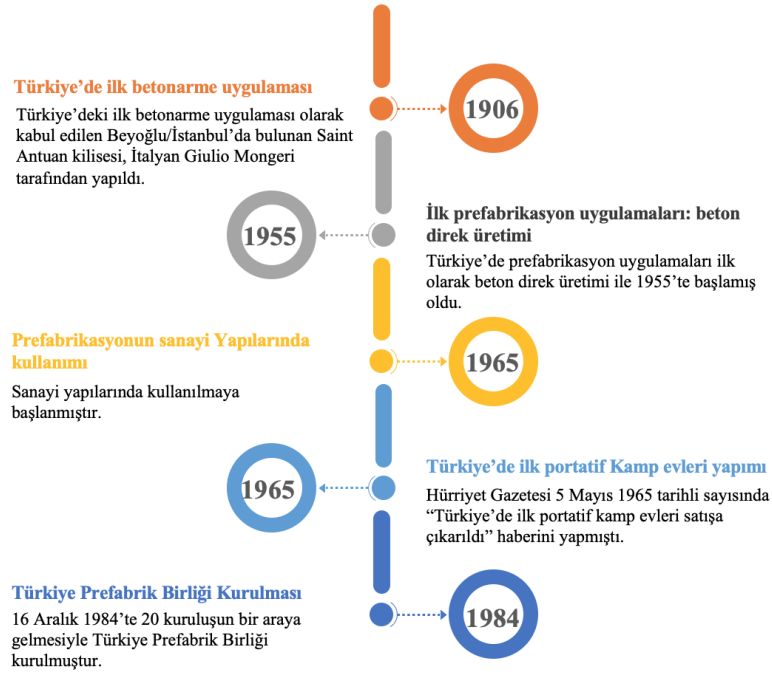
1849 yılında bir bahçıvan olan Joseph Monier tarafından betonarmenin geliştirilmesi modern yapı üretimi için bir dönüm noktası olmuştur. Bu şekilde iskelet sisteme geçilerek, duvarlar taşıyıcı olmaktan çıkmıştır (Güvenli, 2006). Sonrasında 1900'lü yıllarda betonarme döşeme plakları, kirişler gibi betonarme prefabrik elemanların üretimi başlamıştır. Prefabrikasyonun Dünya'daki gelişim aşamalarına bakıldığında, İngiltere Liverpool'da J. A. Brodie tarafından inşa edilen ilk prefabrike panelli binanın yapım yılı 1905 olarak bilinmektedir. Dünya'da prefabrike binaların yaygınlaşması ve popülerite kazanması İskandinav ve Doğu Avrupa ülkeleri aracılığıyla olmuştur (Hamid, 2017). Endüstrileşmeye doğru etkin adımlar ise ancak 1920'lere doğru atılmıştır. Le Corbusier, Gropius, Mies Van Der Rohe gibi mimarlar yapılarında prefabrike yöntemler kullanmaya başlamıştır. Bunlardan dikkat çekenlerden biri de Le Corbusier' in Dom-İno (1914) sistemidir. Bu projede Le Corbusier ilk kez endüstrileşmiş şantiye yöntemini kullanmıştır (Ayazoğlu, 2003). Sonraki süreçte 1935'e gelindiğinde bir konut yapısına ait tüm elemanların şantiyede üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda prefabrik elemanlar geniş açıklık geçilen hangar gibi endüstri ve sanayi yapılarında da bu dönemde etkin olarak kullanılmıştır. 1950'lere gelindiğinde prefabrik yöntemlerin kullanımı artmakla beraber önemi, kullanım kolaylığı ve avantajları daha iyi anlaşılabilir ve bu alanda büyük inşaat şirketlerinin yatırımları artmaya başlamıştır. İkinci Dünya savaşı sonrasında yıkılan binlerce konut ve evsiz kalan milyonlarca insanın konut ihtiyacını karşılayabilmek için çok hızlı bir yapım tekniğinin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bunun yanında teknik alanda yaşanan gelişmeler çeşitli olanaklar sunmaya başlamıştır. Bütün bu sürecin sonucu olarak da yapıda "prefabrikasyon" çağı başlamıştır (Gültek, 2012). Şekil 4'de yer alan Dünyadaki prefabrikasyonun tarihi oluşturulan zaman çizelgesinde görülmektedir (Seitablaiev ve Sev, 2018). Bu dönemde parasal kaynakların artması ve inşaat sektöründeki gelişmeler sebebiyle yapılarda endüstrileşme durumu kırsal alanlara da yayılmıştır (Gibb, 1999). Sonuç olarak prefabrikasyonun gelişimini hızlandıran dış etkenler şu şekilde özetlenmektedir:

- Binalar veya tesisler için zaman zaman ortaya çıkan acil talepler, örneğin İngiliz sömürgeciliği ve ardından gelen hızlı Avrupa tarzı konut ihtiyacı,
- 1980'lerin sonunda Londra'da hızlı ticari gelişmeye neden olan iş uygulamasındaki değişiklikler,
- Deprem gibi doğal afetlere hızlı müdahale edebilme ihtiyacı,
- Gelişmiş dünyadaki sanayi devrimi hem üretim kabiliyetlerini hem de sanayileşmiş ürünlerin tercih edilebilirliğine ilişkin kamu algısının değişmesi,
- Diğer sektörlerdeki teknoloji ilerlemeleri ile teknoloji transferi arzusu,
- İşgücü maliyetlerindeki artış, işgücü kullanımını ve verimliliği optimize etme arzusunu arttırması,
- İş sahasındaki vasıflı işgücünün azalması, üretim tesisinde istikrarlı bir vasıflı işgücüne ihtiyaç duyulması,
- Değişen müşteri beklentileri, örneğin proje sonuçlarında daha fazla öngörülebilirlik isteği,
- Çalışanların sağlık ve güvenliğine yönelik artan endişeler ile tehlikeli saha çalışmalarını azaltma isteği (Gibb, 1999).



Şekil 4. Prefabrikasyonun Tarihsel Gelişimi Zaman Çizelgesi (Seitablaiev ve Sev, 2018; Ayazoğlu, 2003'ten Uyarlanarak Yazarlar Tarafından Oluşturulmuştur)

Beton prefabrikasyonun ülkemizde kullanımı 1960'lı yıllara denk gelmektedir. 1968-1972 yılları arasında prefabrik yapı inşaatlarına beş yıllık kalkınma programında yer verilmiştir. İlk portatif kamp evleri 1965 yılında yapılmıştır (Hürriyet Gazetesi, 5 Mayıs 1965). Fakat prefabrikasyonun istihdamı olumsuz yönde etkileyeceği görüşünden ötürü yeterli destek ve ilgi sağlanamamıştır (URL-7). 1965 yılından sonra ise sanayi yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. 16 Aralık 1984'te, 20 kuruluşun bir araya gelmesiyle beraber Türkiye Prefabrik Birliği kurulmuştur. Birliğin amacı prefabrik yapılarda gerekli kalite koşullarını ve denetimini sağlamaktır (Amani ve Niyazi, 2018). Deprem açısından risk taşıyan ülkemizde 1980'lerden itibaren prefabrik yapılara verilen önem artmaya başlamıştır. 1990'lı yıllardan sonra ise ülkemizde yapılan endüstri yapılarının büyük bölümü prefabrik olarak inşa edilmiştir (Hamid, 2017). Tüm bu gelişmeler Şekil 5'te yer alan Türkiye için prefabrikasyon zaman çizelgesinde görülmektedir.



Şekil 5. Prefabrikasyonun Tarihsel Gelişimi Zaman Çizelgesi (Seitablaiev ve Sev, 2018; URL-8’den Uyarlanarak Yazarlar Tarafından Oluşturulmuştur)

Dünya’da prefabrikasyonun en gelişmiş olduğu ülkeler %45 ile Danimarka ve %40 oranla Hollanda olarak bilinmektedir. Bu ülkelerde sağlık, yurt, ofis ve endüstri yapıları prefabrik sistemlerin uygulandığı yapı türleri olarak öne çıkmaktadır. Almanya’da konut piyasasında ortalama olarak %8-9 oranında prefabrike sistemler kullanılmaktadır. Hollanda’da bu oran %20’ye çıkmakta ve ahşap-betonarme sistemler ile birlikte kullanılmaktadır. Japonya’da konut sektöründe prefabrikasyon kullanım oranı %12-16 arasındadır. Avustralya’da kayıtlı veriler incelendiğinde prefabrikasyon kullanımını %3 seviyesindedir. ABD’de ise genel olarak modül ya da panel sistemler tercih edilmektedir (Amani ve Niyazi, 2018). Türkiye’deki duruma bakıldığında ise prefabrike sistemlerin ağırlıklı olarak %85 oranında endüstri yapılarında kullanılmaktadır. Ülkemizde prefabrik yapılar da strüktürel sistem açısından da panel ve hücre sistemler az kullanılırken, iskelet ve çubuk sistemler daha yaygın olarak tercih edilmektedir (Seitablaiev ve Umaroğulları, 2020). Bölgesel açıdan prefabrik yapıların kullanımını değerlendirdiğinde sırasıyla Marmara Bölgesi (%46), İç Anadolu (%26), Ege-Batı Akdeniz (%20), Doğu Akdeniz-Karadeniz (%3) ve Doğu-Güneydoğu Anadolu Bölgeleri izlemektedir (Amani ve Niyazi, 2018).

1.2. Beton Esaslı Prefabrike Cephe Panelleri

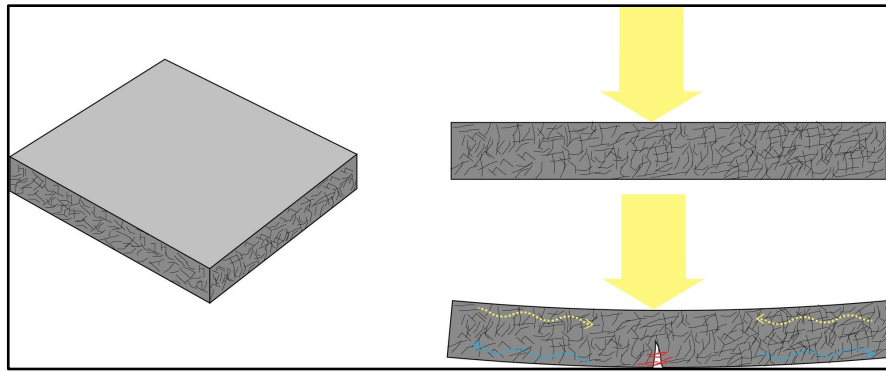
Prefabrikasyonda çerçeve sistemler, panel sistemler ve hücre sistemler olmak üzere üç tip sistem bulunmaktadır (Harris, vd., 2021). Hücre sistemler, paneller ile döşemelerin bir araya gelerek oluşturdukları sürekli sistemlerdir (Baghchesaraei, Kaptan & Baghchesaraei, 2015). Bu sistemde hücreler hem hacmi tanımlamakta hem de taşıyıcı fonksiyon üstlenmektedir. İskelet sistemler, yüzeyleri oluşturan elemanlarla taşıyıcı elemanların birbirinden ayrılmış olduğu sistemlerdir. Yapıdaki yükler iskelet sistem aracılığıyla temele aktarılmaktadır. İskelet sistemin oluşturduğu yüzeyler taşıyıcı olmayan panellerle kapatılmaktadır. Panel sistemlerde ise yapıyı oluşturan sistem elemanları duvar olarak kullanılan düşey paneller ile döşemeleri şekillendiren yatay panellerdir. Düşey paneller yapının iç ve dış kısımlarında kullanılmaktadır (Gunawardena & Mendis 2022). Çalışmada hem dış hem de iç faktörlere bağlı olarak şekillendikleri için cephe panellerine odaklanılmıştır.

Prefabrik cephe panellerinin üretiminde ahşap, beton, cam gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Beton diğer malzemelere göre panel üretiminde ön plana çıkmaktadır. Betonun diğer malzemelere göre statik, termik ve konstrüktif ihtiyaçlara daha iyi cevap verebilmesi malzemenin tercih edilirliğinde etkili olmaktadır (Ayazoğlu, 2003).

Beton esaslı prefabrik cephe panellerinin üretim aşamalarına bakıldığında ise; hem fabrikalarda hem de yerinde özel imalat olarak şantiyelerde üretilmektedirler. Fabrikada üretilen paneller, gerekli nakliye tedbirleri alınarak şantiyelerde vinçler aracılığıyla yapıya monte edilirler. Paneller hem birbirlerine hem de yapıya monte edilecek şekilde önceden detaylandırılmaktadır. Beton paneller hem iç mekanlarda hem de cephelerde kullanılmaktadır. Cephelerde taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılabilirlikleri gibi sadece yüzey kapatmak için de tercih edilmektedir. Cephelerde taşıyıcı olarak kullanıldıklarında demir donatılar da sisteme eklenmektedir. Genellikle yüzey alanları 1 m2 den büyük olan bu birimler bir araya gelerek bütün bir cepheyi oluşturmaktadır (Altınay, 2011).

Beton esaslı prefabrik cephe panellerinin içeriğine bakıldığında ise; beton, ısı yalıtımı, çerçeve sistem, bağlantı elemanları ile sızdırmazlık ve dayanım için çeşitli kimyasal takviyelerden oluşmaktadır. Paneller arasında ısı yalıtımı amacıyla taş yünü, cam yünü, XPS, EPS gibi malzemeler kullanılabilir gibi gazbeton ve köpük beton da kullanılmaktadır. Çelik çerçeve sistem ve bağlantı elemanları ise cephe panellerinde panelin özgül ağırlığını taşımak ve panele gelen yükü binaya aktarmak için kullanılmaktadır. Panellerin çerçeve sistemi C ve/veya U profillerden meydana gelmektedir. Üretim aşamasında ise panele özel bağlantı elemanları ile cepheye monte edilmektedir. Bağlantı elemanları dış ortamda yağmur suyu, rüzgâr geçirimsizliği, ısı yalıtımı gibi görevleri üstlenirken, iç mekânda kalan bileşenler ise konstrüktif bağlantıyı sağlamaktadır (Dikici ve Kocagül, 2019).

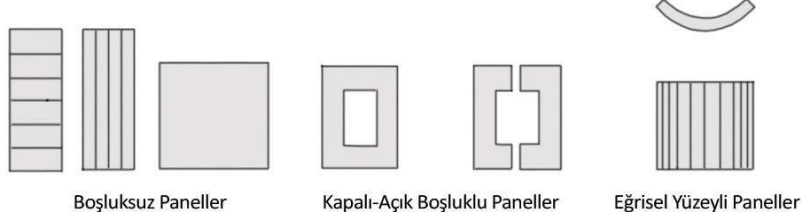
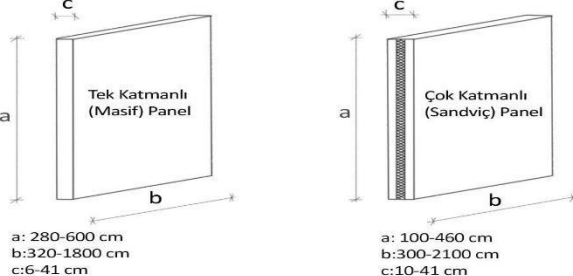
Geçmişte beton esaslı panellerin üretiminde yalnızca çimento kullanılırken günümüzde ise cam elyafı ya da karbon fiber elyaf gibi takviyelerle sistemler geliştirilmektedir. Elyaf ve tekstil katkılı betonlar; çimento, agrega, su ve kimyasal özel katkıları eklenerek oluşturulan bir malzemedir. Yüksek dayanıma sahip elyaf; esnek, hafif ve düşük maliyetli ince cam veya plastik esaslı tellerden üretilmektedir (Yıldız vd., 2018). Ayrıca elyaf malzemenin ana özelliklerinden biri olan plastisite, cephe panellerinin mimari tasarıma tam olarak uyacak şekilde kalıplanmasını sağlayarak daha ince ve dolayısıyla daha hafif parçaların üretilmesine olanak tanımaktadır. Cam elyaf takviyeli beton ise, çimento, agrega, su, kimyasal katkı maddeleri ve alkaliye dayanıklı cam elyafların bir karışımıdır. Karbon fiber (*Carbon fiber-reinforced*) elyaf takviyeli malzeme de güçlendirilmiş beton, beton ve karbon lifleri veya çubuklarından üretilen bir yapı malzemesidir. Karbon, betonun katmanları arasına yerleştirilen ağ benzeri tekstil hasırlar aracılığıyla ya da beton boyunca rastgele veya eşit şekilde dağılmış lifler olarak betona dahil edilmektedir. Bu sayede karbon elyaf, betonun çekme mukavemetini büyük ölçüde artırmaktadır (URL-9). Yapı dış yüklerden, sıcaklık veya nem değişikliklerinden kaynaklanan yüksek gerilime maruz kaldığında, içinden geçen lifler çatlakların genişlemesini önleyen yapısal mikro takviyeler oluşturmaktadır. Sonuç olarak, lifler normalde düşük direnç gösteren beton ve harçların çekme ve kayma gerilimi altındaki performansını önemli ölçüde artırmaktadır (Şekil 6) (Souza, 2019).



Şekil 6. Lifli Beton Direnci (Souza, 2019)

Cephe panelleri taşıyıcılıklarına, kesitteki katmanlarına, genişliklerine, yüksekliklerine, boyutlarına, biçimsel farklılıklarına ve taşıyıcılık özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır (Göçer, 2005). Katmanlarına göre paneller tek katmanlı, çift katmanlı veya çok katmanlı olarak adlandırıldıkları gibi masif veya sandviç paneller olarak da sınıflandırılmaktadır. Masif paneller, tek bir katmandan oluşan hazır paneller olarak tanımlanmaktadır. Sandviç paneller ise iki beton tabakanın arasına yerleştirilen bir ısı yalıtım tabakasından oluşan panellerdir. Taşıyıcılık özelliklerine göre paneller taşıyıcı olan, kendini taşıyan veya taşınan paneller olarak sınıflandırılmaktadır. Panelin taşıyıcılık özelliğine göre üretim detayları ve bağlantı biçimleri değişmektedir. Üretim biçimlerine göre de özel üretim paneller veya seri üretilen paneller olarak ikiye ayrılmaktadır. Panellerin sınıflandırılmasında biçimsel farklılıklar da belirleyici olmaktadır. Boşluklu (yekpare), açık, kapalı boşluklu ve eğrisel yüzeyli gibi çeşitli biçimlerde paneller bulunmaktadır. Ayrıca boyutsal farklılıklarına göre de paneller değişmektedir. Kat yüksekliğinden küçük olan paneller, kat yüksekliğinde veya birkaç kat yüksekliğinde paneller ile parapet panelleri olarak piyasada değişik boyutlarda paneller mevcuttur (Gibb, 1999). Beton esaslı prefabrik cephe panelleri kullanım amaçlarına göre de farklı ebatlarda üretilmektedir. Panellerin kalınlıkları yalıtım kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 6 ila 41 cm arasındadır. Panellerin uzunlukları ise tek katmanlı-masif panellerde 18 metreye kadar çıkabilirken, çok katmanlı-sandviç panellerde 21 metreye kadar üretilmektedir. Yükseklik olarak ise tek katmanlı-masif paneller 6 metre, çok katmanlı-sandviç paneller ise 4,6 metre yüksekliğe erişmektedir (Tablo 1) (Van de Voorde vd., 2015).

Tablo 1. Beton Esaslı Prefabrik Cephe Panellerinde Malzeme Birleşim Detayları (Gibb, 1999)

a	Panellerde biçimsel farklılıklar	 <p>Boşluksuz Paneller Kapalı-Açık Boşluklu Paneller Eğrisel Yüzeyle Paneller</p>
b	Katmanlarına Göre Panellerin Boyutları	 <p>Tek Katmanlı (Masif) Panel Çok Katmanlı (Sandviç) Panel</p> <p>a: 280-600 cm a: 100-460 cm b: 320-1800 cm b: 300-2100 cm c: 6-41 cm c: 10-41 cm</p>

Buraya kadar ele alınan beton panel özellikleri farklı ülkelerden seçilen örneklerin analizlerinde kullanılmıştır. İncelenen örnekler ile beton panel kullanımının çeşitli kullanım biçimleri sunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

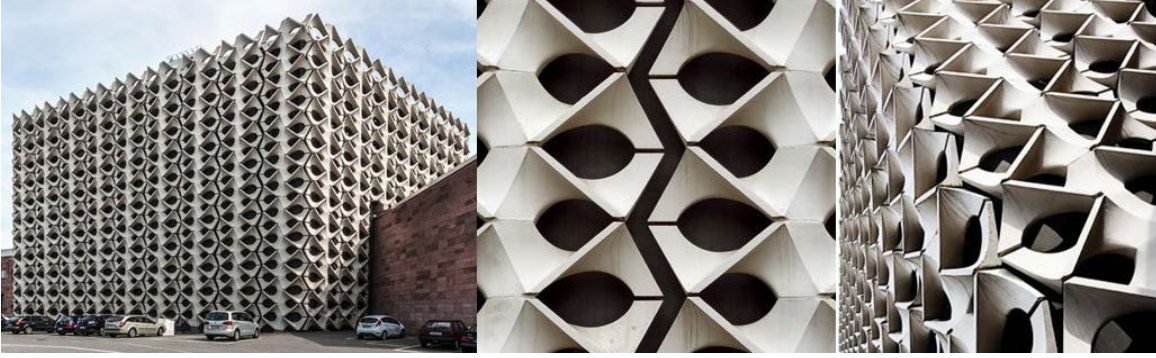
Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Nitel araştırma yöntemi, üzerinde çalışılan veriyle ilgili anlam üretmek ve veri setinde neyin temsil edildiğine dair açıklamalar geliştirmek amacıyla yapılan bir sınıflandırma ve yorumlama sürecidir. Nitel araştırma yöntemi içerisinde gözlem tekniği yöntemine dayanan çalışmada, yapı örnekleri üzerinden gözlemler yapılmıştır. “Gözlem tekniği; veriden anlam üretilmesi, verilerin sınıflaması ve benzeri boyut indirgemelerle anlaşılabilirliğinin sağlanması ve sonuçların yorumlanmasında, kolaylıklar sağlayarak analiz sürecinde üstünlüklerin elde edilmesine olanaklar tanıyan bir yöntemdir” (Çelik ve diğ., 2020).

Beton esaslı prefabrik cephe panel elemanlarını incelemeyi hedefleyen bu çalışmada ilk olarak literatür taraması ile Dünya’da ve Türkiye’de prefabrikasyonun tarihi incelenmiştir. Prefabrikasyonun tarihsel gelişimi, betonun tarihinden başlayarak ele alınmış, ikinci sanayi devrimi ile betonarmenin kullanılmaya başlanmasından sonraki süreçte etkin olan dış faktörlerle beraber prefabrik ön üretime geçiş, Dünya ve Türkiye için zaman çizelgesi yapılarak ortaya konulmuştur. Daha sonra prefabrikasyon strüktürel sistem türleri araştırılmış ve beton esaslı prefabrik cephe bölümünde malzeme özellikleri, bileşenleri ve teknik detayları hakkında bilgiler aktarılmıştır. Günümüzde kullanılan beton esaslı prefabrike panel cephe sistemleri bölümünde ise archdaily (URL-1), architizer (URL-2), dezeen (URL-3), archlovers (URL-4), architecturaldigest (URL-5), ArchEyes (URL-6) gibi mimari projeler hakkında bilgiler içeren web sayfaları taranmıştır. Bu taramalar sonucunda incelenecek örnekler belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Analizlerde gözlem tekniği ile ulaşılan veriler sınıflandırılmış; yapının yeri, yapım yılı, panel bilgisi, uygulama sistemi, biçimsel özelliği ve katman niteliği incelenmiştir. Yapıların belirlenmesinde panel kullanımı açısından yenilikler sunan, sürdürülebilir, özgün form ve kurguya sahip ve teknolojik açıdan gelişmiş yapılar tercih edilmiştir. Yapılara ait değerlendirmeler bir tablo içerisinde özetlenmiştir.

3. Bulgular

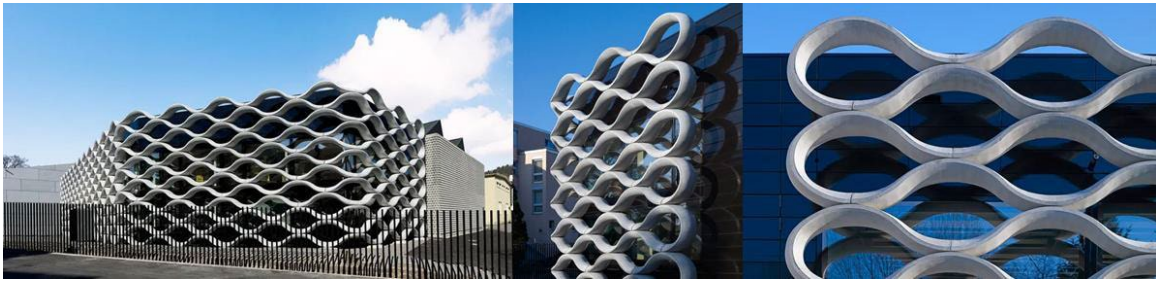
3.1. Beton Esaslı Prefabrike Panel Cephe Sistemlerinin Örnekler Üzerinden İncelenmesi

Çalışma kapsamında beton esaslı prefabrik cephe panellerinin kullanıldığı örnek yapılar incelenerek, geçmişten günümüze olacak şekilde sunulmuştur. Bu bağlamda ilk örnek olarak incelenen Chemnitz Belediye Binası (Şekil 7), özel bir poligonal beton prekast kiremit tasarımıyla inşa edilmiştir. 1974 yılında inşa edilen bu beton kalıplı cephenin her bir tekil unsuru, bükülmüş çiçek yaprakları gibi görünmektedir (Doshi, 2012; URL-11). Bu yapıda kullanılan beton esaslı prefabrike paneller, çift cidarlı bir cepheye sahip olan binanın ikinci kabuğunu oluşturmaktadır. Bununla birlikte yapıda kullanılan cephe panelleri tek katmanlı ve eğrisel yüzeylidir.



Şekil 7. Chemnitz Belediye Binası, Almanya, Rudolf Weber-Hubert Schiefelbein, 1974 (Doshi, 2012; URL-11)

İsviçre'nin Männedorf kentinde yer alan Wellenhalle Galerisi (Şekil 8) ise Baier Bischofberger tarafından tasarlanmıştır. Yapının cephesi, betonun yaratıcı bir uygulamasının önemli bir örneğini temsil etmektedir. Galeri cephesinde, betonun sertliği akışkan ve dalga şeklinde sunulmaktadır. İnce ve esnek bir şeritte desen oluşturmaya yönelik bu yaklaşım, malzemenin ağır ve sert görünümünü hafifletmektedir (Doshi, 2012). Cephede kullanılan paneller tek katmanlı masif olup, eğrisel yüzeyli olarak şekillendirilmiştir.



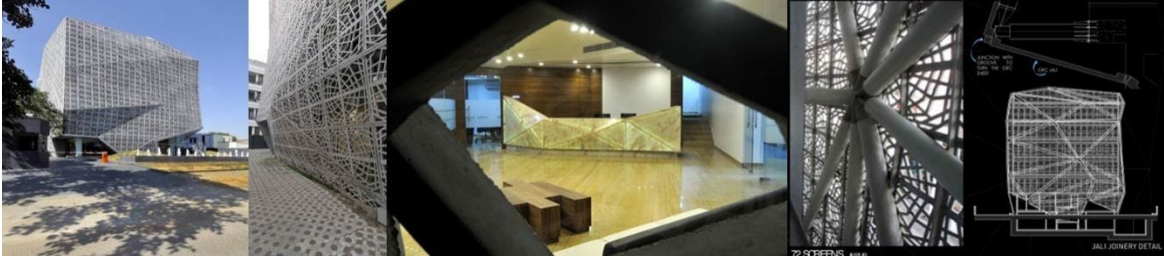
Şekil 8. Wellenhalle Galerisi, İsviçre, Baier Bischofberger Architekten, 2012 (URL-12)

Azerbaycan'ın başkenti Bakü'de yer alan ve Zaha Hadid mimarlık ofisi tarafından tasarlanan Haydar Aliyev Merkezi'nde (Şekil 9), cam elyaf katkılı beton cephe paneller kullanılmıştır. Malzemenin plastik özelliği, cephenin istenilen amorf formlarda tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Yapı akışkan yüzeyleri ile beton panellerin form biçimlenmesinde sınırların ötesine geçerek yeni bir yaklaşım geliştirmiştir (Souza, 2019). Yapıdaki beton paneller ise yalıtımla birlikte çift katmanlı olup, eğrisel bir yüzey oluşturmaktadır.



Şekil 9. Heydar Aliyev Center, Zaha Hadid Architects, Azerbaycan, 2013 (URL-13; URL-14)

Bir başka yapı örneğinde ise çöl iklimine karşı güneş kırıcı olarak beton paneller kullanılmıştır. Bina cephesinde aşırı sıcaklara karşı cam elyaf katkılı beton paneller ile önlem alınmıştır. Bölgenin mimari mirası olan geleneksel 'jali' perdelerinden ilham alan beton perde, binayı her yönden sararak ısı kazancını azaltmakta ve binayı enerji açısından daha verimli hale getirmektedir (URL-15). Aynı zamanda beton paneller gürültüye karşı izolasyon da sağlamaktadır (Puri, 2013). Binanın ana strüktürel sistemi betonarmedir. Betonarme sisteme ankre edilen çelik borulara paneller bağlanmaktadır. Panellerin derinliği yapının üç boyutlu etkisinden dolayı yer yer değişmekle birlikte, iki metreye kadar çıkmaktadır (Şekil 10) (URL-16). Yapı cephesinde kullanılan paneller çok katmanlı olup, açık-kapalı boşluklu olarak tasarlanmıştır.



Şekil 10. 72 Screens, Sanjay Puri Architects, India, 2013 (URL-17)

Portekiz'deki Minho Üniversitesi Biyo-Sürdürülebilirlik-Bilim ve Yenilik Enstitüsünde (Şekil 11), binanın dış cephesinde elyaf takviyeli prefabrik beton paneller kullanılmıştır. Bu paneller uzun ömürlü, sünek, plastik ve akışkan özelliklere sahiptir (Zapartan, 2016). Cláudio Vilarinho tarafından tasarlanan cephede, titanyum nanotüplerden esinlenilmiştir. Genişliği 200 cm, boyu ise 180 ile 380 cm arasında değişen paneller cephede bir ritim oluşturacak şekilde delikli olarak kurgulanmıştır. Yeşil pigmentler ve oksitlerden oluşan bir karışım, üretim esnasında betona entegre edilerek cephenin mevcut yüzey rengi elde edilmiştir. Bununla birlikte beton paneller, cephenin ısı kazanımını kontrol ederek yapının sürdürülebilirliğine de katkı sağlamaktadır (Dick-Agnew, 2017). Cephede kullanılan paneller tek katmanlı ve açık-kapalı boşluklu olarak düzenlenmiştir.



Şekil 11. Biyo-Sürdürülebilirlik, Bilim ve Yenilik Enstitüsü, Portekiz, Cláudio Vilarinho, 2015 (URL-18)

Almanya'nın Düsseldorf kentindeki eski bir ulaşım merkezine eklenen Ballet am Rhein bale prova binasında (Şekil 12) ise camlı girişin üzerinde beton panellerden oluşan bir kat yer almaktadır. Betoshell olarak adlandırılan tekstil ve karbon fiber takviyeli beton paneller, yapıda taşıyıcı özelliğe sahip olmayıp yalnızca kaplama malzemesi olarak kullanılmışlardır (Griffiths, 2015). Binada 1500 metrekarelik yüzey alanına sahip olan paneller 240 cm* 120 cm ebatlarında olup, 40 mm kalınlığındadır (URL-19). Bu yapıda kullanılan beton cephe panelleri çok katmanlı olup, açık-kapalı panel sınıfına girmektedir.



Şekil 12. Ballet am Rhein, Gmp Architects, Almanya, 2015 (URL-20)

Los Angeles, Amerika'da inşa edilen The Broad çağdaş sanat müzesi, Diller Scofidio + Renfro ile ARUP işbirliği ile tasarlanmıştır (Şekil 13) (URL-21). Binanın cephesinde cam elyaf katkıli beton paneller kullanılmıştır. Yapıda kullanılan malzeme; yüksek performanslı çimento, cam elyafı, ince agrega, mineraller, isteğe bağlı olarak polimer ve bazı yapı kimyasallarının karıştırılmasıyla elde edilen dayanıklı ve güçlü bir malzeme olarak ifade edilmektedir (URL-22). Üç boyutlu yüzeyler, beton esaslı panellerin yapılarda kullanımına özgün bir örnek oluşturmaktadır. Yapının panel bilgisi ise tek katmanlı ve eğrisel yüzeyli olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 13. Broad Müzesi, Diller Scofidio & Renfro, 2015 (URL-23)

Meksika’da inşa edilen bir başka örnekte ise masif cepheler, beton paneller ile oluşturulmuştur. Toyo Ito tarafından tasarlanan Uluslararası Barok sanat ve kültür müzesinde (Şekil 14) yapının dış yüzeyinde çok az açıklık olup, pencere ve kapılar bir iç avlu etrafında şekillendirilmiştir (Tardiff, 2016). Yapının dış duvarları ve döşemeleri prekast olup, iç duvarlar ise yerinde döküm betondur. Dış yüzeyi oluşturan paneller sandviç panel olup, 65 mm kalınlığındadır (URL-24). Yapının cephe sistemi çok katmanlı ve eğrisel yüzeyli yapıya sahiptir.



Şekil 14. Uluslararası Barok Sanat ve Kültür Müzesi (URL-25; (URL-26)








Amerika’nın Chelsea kentinde yer alan çok katlı bir yapıda panellerin kullanımı görülmektedir. Kentin kuzey sınırında yer alan The Maverick yapısı (Şekil 15), 20 katlı bir kuledir. Yapıda asit yıkama tekniğiyle oluşturulan paneller, üç boyutlu olup katlar arasında bağlanmaktadır. Koyu renkli paneller kiralık konutları ifade ederken, açık renkli panellerden oluşan kısım ise kat mülkiyetli alanları içermektedir (Marani, 2020). Yapı cephesinde kullanılan paneller çok katmanlı ve açık-kapalı sistemde düzenlenmiştir.



Şekil 15. The Maverick, Amerika, DXA Studio, 2022 (Marani, 2020; URL-27)

Buraya kadar değinilen tüm örnek yapılar konum, yıl, beton panel bilgisi, katman ve biçimsel özellikleri bağlamında Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Prefabrik Beton Panel Cephe Sistem İncelemeli Özet Tablo

Bina Adı	Görsel	Yer	Yıl	Beton panel bilgisi	Panel Özelliği	Panel Katman Özelliği	Panel Biçimsel Özelliği
Chemnitz Belediye Binası		Almanya	1974	İkinci cephe elemanı olarak uygulanmıştır.	Çiçek yaprağına benzer bir doğal geometrik desen	Tek katmanlı masif panel	Eğrisel yüzeyli panel
Wellenhalle Galerisi		İsviçre	2012	İkinci cephe elemanı olarak uygulanmıştır.	Uzun ve eğrisel beton elemanlar, malzemenin ağır ve sert görünüşünün hafifletilmesi	Tek katmanlı masif panel	Eğrisel yüzeyli panel
Haydar Aliyev Kültür Merkezi		Azerbaycan	2013	Cam elyaf takviyeli beton bir ikinci cephe olarak şantiyede çelik çerçeveye takılmıştır.	Eğrisel kabuk tasarımı	Çok katmanlı sandviç panel	Eğrisel yüzeyli panel
72 Screens		Hindistan	2013	Cam elyaf takviyeli beton bir ikinci cephe olarak şantiyede çelik çerçeveye takılmıştır.	Cam elyaf takviyeli beton ile dantelsi görünüm, sürdürülebilir tasarım	Tek katmanlı masif panel	Açık-kapalı boşluklu panel
Biyo-Sürdürülebilirlik - Bilim ve Yenilik Enstitüsü		Portekiz	2015	Beton çerçeveli binaya metal desteklerle ikinci cephe elemanı olarak monte edilmiştir.	Elyaf takviyeli prefabrik beton, sünek, akışkan ve plastik özellik, titanyum nanotüplerden esinlenme	Tek katmanlı masif panel	Açık-kapalı boşluklu panel
Ballet am Rhein bale prova binası		Almanya	2015	Karbon fiber takviyeli beton cephe elemanları kullanılmıştır.	İnce beton levha giydirme cephe kullanımı	Çok katmanlı sandviç panel	Açık-kapalı boşluklu panel
Broad Müzesi		Amerika	2015	Cam elyaf katkılı beton ikinci cephe	Eğrisel, dinamik görsel etki,	Tek katmanlı masif panel	Eğrisel yüzeyli panel

				olarak kullanılmaktadır.	sürdürülebilir tasarım		
Uluslararası Barok sanat ve kültür müzesi		Meksika	2016	Dış duvarlar ve döşemeler prefabrik olarak şantiyeye getirilmiştir.	Kıvrımlı, bükülmüş, eğimli duvarlar, plastik tasarım	Çok katmanlı sandviç panel	Eğrisel yüzeyle panel
The Maverick		Amerika	2022	Pencerelerin yer aldığı duvar yüzeyi üretilip şantiyede montajı sağlanmıştır.	Modüler sistem, geometrik desen	Çok katmanlı sandviç panel	Açık-kapalı boşluklu panel

4. Sonuç ve Tartışma

Beton esaslı prefabrik cephe panelleri farklı renk, doku ve yüzey seçenekleri ile yapılarda giderek daha çok kullanım alanı bulmaktadır. Çünkü, panellerin cephelerde kullanımı ile pek çok avantaj elde edilmektedir. Ayrıca prefabrik cephe panelleri, projelerin tasarım ve inşaat aşamalarında atık oluşumunu azaltmak için bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Osmani, Glass & Price, 2006; Jaillon, Poon & Chiang, 2009; Gunawardana & Mendis, 2022). Sahip olduğu hızlı ve kolay kurulum sayesinde işçilik maliyeti azalmakta ve iskele kurulumu gerekmemektedir. Kullanım ömürleri uzun olup yangın, ısı ve ses yalıtımı açısından gerekli teknik koşulları sağlamaktadır. Hafif olmaları ve büyük ebatlarda üretilebilmeleri zamandan tasarruf edilmesine olanak tanımaktadır.

Bunların yanı sıra cephelerde panel kullanımının birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Montaj işleminden sonra yapılara müdahale edilme olanağının olmaması ve yanal yüklerin aktarımı açısından eksenel olmayan kuvvetlere maruz kalma olasılıklarının geleneksel sistemlere göre daha yüksek olması dezavantajlarıdır. Mimari tasarımı bilinçli yapılmış bir prefabrik beton panel yapılar taşıyıcı sistem seçimi ve bağlantı detayları doğru kurgulandığı takdirde depreme dayanıklı olup, deprem bölgelerinde güvenle kullanılabilir. Bu sistemlerde kullanılacak olan bağlantı profillerinin civatalı, kaynaklı ve galvanizli tercih edilmesi deprem güvenliği açısından doğru bir tercih olacaktır (Dağ ve diğ., 2022). Sonuçta deprem riski çok olan ülkemizde getirdiği statik avantajlardan dolayı prefabrik yapı sistemleri ile prefabrik beton cephe panellerinin kullanımının artması için devlet politikalarıyla da desteklenmesi sonucunda mimar-mühendis ve tasarımcıların teşvik edilmesi önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen örneklerde, panellerin yalnızca iki boyutlu düzlemsel yüzeyler sunmadığı, özgün ve farklı geometrik desenlere sahip tasarımlar da sunduğu görülmektedir. Özellikle son yıllarda üretilen beton cephe elemanlarının içerisinde eğrisellik, dinamiklik, süneklik kazandırmak ve betonun sürdürülebilir olması için içerisine cam elyaf ve karbon fiber takviyesinin yapıldığı görülmüştür. Bununla birlikte beton cephe elemanlarının gölgeleme ve enerji korunumu için ikinci cephe elemanı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda mimarlar, tasarımcılar ve mühendisler için, cam elyaf, plastik ve karbon takviyeli beton türleri, herhangi bir biçim, şekil, yüzey yapısı ve rengi yüksek kalitede üretmek için kullanım olanağı tanıdığından tasarım özgürlüğü sağlamaktadır (Roik vd., 2022). Bu incelemeler sonucunda prefabrik beton cephe panellerinin işlevsel olduğu kadar estetik açıdan da tercih edildiği tespit edilmiştir. Çünkü bu paneller son derece özelleştirilebilir olup, mimarların esnek tasarımlar oluşturmasına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte yenilikçi, sürdürülebilir ve enerji verimli bina uygulamalarına yönelik talep artmaya devam ettikçe, prefabrik cephe panellerinin kullanımının önümüzdeki yıllarda daha da yaygınlaşması beklenmektedir.

Referanslar

Altınay, G. (2011). Beton Esaslı Prekast Cephe Panellerinin Üretimi, Uygulaması, Yapısal Performansının Değerlendirilmesi ve Bir Alan Araştırması ile İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Amani, A., & Niyazi, A. Q. (2018). Türkiye’de PrefabrikYapı Sektörünün Hızlı Gelişimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 487-494.

AYAYDIN, Y. (1987). Taşıyıcı duvar perdeli prefabrik yapılar, Yılmaz offset matbaası, İstanbul.

- Ayazoğlu, İ. (2003). Prefabrike panel sistemlerle konut üretiminde mimari tasarım sorunları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İst, s.34.
- Baghchesaraei, A., Kaptan, M. V., & Baghchesaraei, O. R. (2015). Using prefabrication systems in building construction. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(24), 44258-44262.
- Baş, Y.G., Vural, N. (2019). Prefabrike beton panel sistemlerin konut üretiminde kullanım olanakları. *Online Journal of Art and Design*, 7(4), 124-133.
- Çelik, H., Baykal, N.B., Memur, H.N. (2020). Nitel Veri Analizi ve Temel İlkeleri. *Eğitimde Nitel Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 379-406.
- Dağ, I., Kuruşcu, A.O., Parsa, A.R. (2022). Architectural and Structural System Design of Precast Concrete Structures in Earthquake Zones. *International Journal of Scientific Research and Management*, 10(7), 2445-2458.
- Dick-Agnew, D. (2017). A Holey, Green Facade Inspired by Science Covers a Campus Building in Portugal. <https://www.azuremagazine.com/article/nanotube-inspired-facade/>
- Dikici, A., Kocagül, M. (2019). Isı Yalıtımında Kullanılan Eps, Xps ve Taş Yünü İzolasyon Malzemelerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 129-136.
- Doshi, A. (2019). 6 concrete facades with solid waves and beyond, as captivating as the material itself. [designwanted: https://designwanted.com/concrete-facades/](https://designwanted.com/concrete-facades/)
- Esin, T. ve Coşgun, N. (2004). Betonarme yapım sistemlerinin ekolojik açıdan değerlendirilmesi. II. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, Ankara 1-8.
- Gibb, A.G.F. (1999). *Off-Site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*, Whittles Publishing, Scotland, UK, 54-82.
- Göçer, C. (2005). Beton Esaslı Prefabrike Cephe Panellerinde Yüzey Özelliklerine Bağlı Atmosferik Kirlenme Etkisi. 2. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul.
- Gültek, M. (2012). Prefabrikasyon Ders Notları, PowerPoint slaytı, Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü.
- Güvenli, Ö. (2006). Tarihsel süreç içinde malzeme cephe ilişkisi ve giydirme cepheler. (Master's thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı).
- Gunawardena, T., & Mendis, P. (2022). Prefabricated building systems—design and construction. *Encyclopedia*, 2(1), 70-95.
- Griffiths, A. (2015). GMP Architekten's ballet facility features materials that reference its industrial setting. <https://www.dezeen.com/2015/09/12/gmp-architekten-deutsche-oper-am-rhein-ballet-facility-dusseldorf-germany/>
- Jaillon, L., Poon, C. S., & Chiang, Y. H. (2009). Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, 29(1), 309-320.
- Hamid, K. M. H. (2017). Betonarme Prefabrik Endüstri Yapılarında Cephe Panellerinin Bağlantısı İçin Özel Bir Elemanın İncelenmesi (Master's thesis, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü).
- Harris, F., McCaffer, R., Baldwin, A., & Edum-Fotwe, F. (2021). *Modern construction management*. John Wiley & Sons.
- Kahveci, B. (2019). Beton bünyeli prefabrike panel sistemler ve düğüm noktalarının tasarım sorunları (Master's thesis, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı).
- Marani, M. (2020) DXA Studio's 'The Maverick' wraps up facade install of acid-etched precast concrete panels. <https://www.archpaper.com/2020/08/facades-dxa-studios-the-maverick-acid-etched-precast-concrete-panels/>
- Nirmalkumar, K., Chandrasekaran, P. ve Rathipraba, M. (2021). *Prefabricated Structures and Its Components*. Advances in Civil Engineering. Delhi: Hindistan, AkiNik Publications, s. 111.
- Osmani, M., Glass, J., & Price, A. (2006, May). Architect and contractor attitudes to waste minimisation. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-waste and resource management* (Vol. 159, No. 2, pp. 65-72). Thomas Telford Ltd.
- Puri, S. (2013). 72 Screens | Sanjay Puri Architects, <https://www.archilovers.com/projects/208480/72-screens.html>

- Roik, M., Tietze, M., & Kahnt, A. (2022). A revival in façades: Textile reinforced concrete panels are light, safe and aesthetically pleasing. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 33, 497–503. DOI: <https://doi.org/10.14311/APP.2022.33.0497>
- Seitablaiev, M. Ö. ve Sev, A. (2018). Beton Prefabrikasyonun Sürdürülebilirliğini Geliştirmeye Yönelik Gelişmeler, Dicle Üniversitesi 1. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu, 3-4 Ekim 2018, Aykal, D.F., Kejanlı, T., Özbudak Akça B., Koç, C., Aras Baylan, B. (Editörler), Çevreden Mekana, ss. 5-19, https://www.researchgate.net/publication/331432571_BILDIRI_KITABI_PROCEEDINGS_BOOK adresinden 23.05.2023 tarihinde erişilmiştir.
- Seitablaiev, M. Ö., ve Umaroğulları, F. (2020). Dünya’da ve Türkiye’de Betonarme Prefabrikasyon. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 5(2), 309-320.
- Souza, E. (2019). How Fiber-Reinforced Concrete Can Make for More Resistant and Lighter Architecture. <https://www.archdaily.com/921833/how-fiber-reinforced-concrete-can-make-for-more-resistant-and-lighter-architecture>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-1: <https://www.archdaily.com/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-2: <https://architizer.com/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-3: <https://www.dezeen.com/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-4: <https://www.archilovers.com/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-5: <https://www.architecturaldigest.com/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-6: <https://archeyes.com/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-7: <https://www.mavitasprefabrik.com.tr/prefabrik/prefabrik-yapilarin-tarihcesi>, Erişim Tarihi: 24.05.2023
- URL-8: <https://www.mavitasprefabrik.com.tr/prefabrik/prefabrik-yapilarin-tarihcesi>, Erişim Tarihi: 24.05.2023
- URL-9: <https://theconstructor.org/building/carbon-concrete/565362/>, Erişim Tarihi: 25.05.2023
- URL-10: <https://www.neteren.com/tr/Urunler/Markalar/Cretox-Brut-Beton-Panel/>
- URL-11: <https://architectuul.com/architecture/city-hall-chemnitz>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-12: <https://www.california-architects.com/en/projects/view/wellenhalle>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-13: <http://architect-1.blogspot.com/2015/09/structure-design-of-Heydar-Aliyev-Center-Zaha-Hadid.html>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-14: https://www.archdaily.com/448774/heydar-aliyev-center-zaha-hadid-architects?ad_medium=gallery, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-15: <https://architizer.com/projects/72-screens/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-16: https://dcpd6wotaa0mb.cloudfront.net/comp1st-cms/redactor_assets/documents/47/Cem-FIL_Architects_Case_Study_Shree_Cement_Office_11-2013_Rev0_approved.pdf, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-17: <https://www.idesignawards.com/winners/zoom.php?eid=9-8993-15>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-18: https://www.archdaily.com/798576/institute-of-science-and-innovation-for-bio-sustainability-claudio-vilarinho?ad_medium=gallery, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-19: <https://www.heringinternational.com/en/news/detail/n/betoshellr-textile-reinforced-concrete-facade-for-the-rehearsal-building-ballett-am-rhein-in-dusseld/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-20: https://www.archdaily.com/773368/ballet-am-rhein-gmp-architekten?ad_medium=gallery, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-21: <https://www.arup.com/projects/the-broad>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-22: <https://www.ekoyapidergisi.org/geleneksel-oldugu-kadar-da-inovatif-cam-lifi-takviyeli-beton-grc>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-23: <https://www.archdaily.com/772778/the-broad-diller-scofidio-plus-renfro>, Erişim Tarihi: 23.05.2023

- URL-24: <https://www.archdaily.com/786104/museo-internacional-del-barroco-toyo-ito-and-associates-architects>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-25: <https://archeyes.com/international-baroque-museum-puebla-toyo-ito/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-26: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/creatividad-innovacion-y-hormigon-arquitecto-toyo-ito>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- URL-27: <https://architizer.com/projects/maverick-chelsea-1/>, Erişim Tarihi: 23.05.2023
- Tardiff, S. (2016). Toyo Ito's Museum for Baroque Art Opens in Mexico. <https://www.architecturaldigest.com/gallery/toyo-ito-museum-baroque-art-opens-in-mexico>
- Yıldız, S., Kıvrak, S., Arslan, G. (2018). Built Environment Design-Economic Sustainability Relationship in Urban Renewal, *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(1), 33-42.
- Van de Voorde, S., Wouters, I., Berters, I., Verswijver, K., Belmans, B., Verdonck, A., Descamps, F. (2015). Post-War Building Materials in Housing in Brussels, *Vrije Universiteit Brussel*, s. 370-426.
- Zapartan, T. (2016). A Facade Inspired By Titanium Nanotubes At The IBS In Guimarães. <http://inspirationist.net/a-facade-inspired-by-titanium-nanotubes-at-the-ibs-in-guimaraes/>