

Strüktür Sanatçısı Felix Candela'nın Eğrisel Formlardaki Yenilikçi Bakışının Mimariye Etkisi

Arş. Gör. İzzettin KUTLU¹, Doç. Dr. Asena SOYLUK²

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mardin, izzettinkutlu@artuklu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-5546-5548>

² Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, asenad@gazi.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6905-4774>

ÖZET

Bu araştırmada, 1950'li yıllarda Felix Candela'nın eserleri ile yapılarda daha sık tasarlanmaya başlanan eğrisel formun, mimari yapılarda kullanımı ve günümüz mimarlık-mühendislik disiplinini şekillendiren tasarımcılar ile ilişkisi ele alınmıştır. Strüktür ve formun deneysel buluşmalarının en önemli örneğini sunan Candela'nın Santiago Calatrava ve Zaha Hadid eserlerinde eğrisel formların kullanımına verdiği ilham araştırılmıştır. Öncelikle Candela eserlerinin incelendiği çalışmada, Candela'nın öğrencisi ve iş ortağı olan Santiago Calatrava'nın ve Candela eserlerini vurgulamak için hiperbolik paraboloid pavilyon tasarlayan Zaha Hadid'in yapı tasarımlarındaki eğrisel form kullanımları incelenmiştir. Çalışmada, durum çalışması ve düzeylerine göre ilişkisel araştırma olmak üzere iki adet nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Candela'nın tasarımlarında yenilikçi form arayışlarının yalnızca inşa edildiği dönemi ve bölgeyi değil, yüzyıllar içerisinde çeşitli birçok bölgeyi etkilediği görülmüştür. Farklı işlevlerde kullanılan eğrisel formlar, Candela sonrası geniş açıklıkları geçmek dışında tasarım ögesi olarak kullanılmıştır. Calatrava ve Hadid'in strüktürel tasarım yaklaşımlarının ve heykelsi eğrisel form kullanımının Candela'nın etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak mimarlar, diğer mimarlar dahil birçok kaynaktan örneğin doğadan, modadan, sanattan esinlenebilmektedir. Mimarlığın dilini anlamak için bir projenin veya bir akımın diğerlerini nasıl etkilediğini görmek etkileyici olmaktadır. Bu açıdan Zaha Hadid ve Santiago Calatrava yaşadığı zamana göre farklı strüktürel bir yaklaşım ortaya koyan Felix Candela'yı derinlemesine anlayarak kendi eğrisel form tasarımlarını genç mimarlara ilham verecek eserlere dönüştürmüşlerdir.

Anahtar kelimeler: Eğrisel form, strüktür, yapı ve yapım teknolojisi, Felix Candela tasarımları

The Effect of Structural Artist Felix Candela's Innovative Perspective on Curved Forms on Architecture

ABSTRACT

In this research, the use of curved form in architectural buildings were discussed. Curved form started to be designed more frequently in with the works of Felix Candela in the 1950s and this study examined Felix Candela and his designs relationship with the designers who are most famous in today's architecture-engineering discipline. The use of curved forms in the architecture of Santiago Calatrava and Zaha Hadid were investigated with Candela, who built the most important example of the experimental structure and form. In this study, first of all, Candela's works were explored. Afterward, the use of curved forms in the works of Santiago Calatrava (Candela's student and later business partner) and Zaha Hadid (designed a hyperbolic paraboloid pavilion to emphasize Candela) were examined. In the study, two qualitative research methods were used; (1) case study and (2) correlational research. Curved forms were used as a design composition, apart from crossing the wide openings after Candela. As a result of this study, the structural design approaches of Calatrava and Hadid and the use of sculptural curved forms have noticed the influence of Candela. Architectural design is a process that follows the ideas of previous architects, sometimes receiving a verdict and sometimes leading to complete rejection, but the interaction never ends completely.

Keywords: Curved form, structure, building and construction technology, Felix Candela.

1. GİRİŞ

Yapı teknolojisinin gelişimi, malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin öğrenilmesi ile olduğu kadar matematik biliminin kullanımı ile de ilişkilidir. Farklı yüzey sistemlerinin geliştirilmesinde matematik, geniş bir olasılık ve farklı bir tasarım yelpazesi sunmaktadır. Ancak bu farklı yüzey sistemine sahip yapı formlarında, yapılması gerekli matematiksel analizler genellikle karmaşık olmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile beraber uzun süreli matematiksel hesaplamalar bilgisayar programları aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum günümüzde tasarım ve inşaat sürecinin hızlanmasını ve zamandan tasarruf edilmesini sağlamıştır. Bilgisayar programlarının zamanla yeni tasarım ortamı olarak yaygınlaşmasıyla birlikte mimari tasarım algısı değişmiştir. Günümüzde sadece çizim aracı olarak değil, aynı zamanda tasarım sürecinde yardımcı bir araç gibi kullanılan bilgisayarlar, üretim sürecindeki birçok ayrıntılı iki ve üç boyutlu verilerin üretilmesini sağlamaktadır. Mimarlar, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte tasarım formlarında daha fazla özgürleşmiş ve yeni dijital tasarım teknikler ile hemen hemen her form dijital ortamda modellenerek analiz edilebilmektedir. Beraberinde tasarlanan form, fiziksel olarak da inşa edilebilmektedir. Bilgisayar teknolojisindeki gerçekleşen evrim ile birçok mimar, öklid geometrisine alternatif olarak yeni yüzey organizasyonlarının olanaklarını denemektedir.

Geçmiş dönemlerde mimarlık, matematiğin bir parçası olarak ele alınmıştır ve iki disiplin birbirinden ayırt edilmeden tasarım süreçleri yönetilmiştir. Tarihi birçok önemli yapı dikkate alındığında piramitler, zigguratlar, tapınaklar vb. örneklerin günümüzde hesaplamalı bir matematik sistemine sahip oldukları görülmektedir (Salingaros, 1999: 78) Mimarlıkta, matematik ve geometrinin de değerlendirilmesiyle beraber daha çok karşımıza çıkan eğrisel formlara sahip yapılar, eğrilikli yüzeyler ile tasarlanırken aynı zamanda tanımlanabilir ve inşa edilebilir olmalıdır. Mimari tasarımın temellerinden olan matematik ve geometri bilgisi, eğrisel formların oluşturduğu farklı tasarım dilini, geometri kuralları ve yasaları üzerine kurulu sistemli bir hale getirmede yardımcı olmaktadır. Mimaride eğrilikli formların inşa edilebilir olması ile bu alanda gerçekleştirilen çalışmaların sayısı da artmıştır (Ghadim, 2013: 63).

Çağdaş mimaride giderek daha önemli bir rol oynayan eğrisel formlara sahip yapılar, amorf şekilleri, akışkan formlara sahip çizgileri ve karmaşık geometrileri ile diğer yapılardan hızlı bir şekilde ayırt edilmektedir (Hambleton vd., 2009). 20. yüzyıl ile beraber hızla ayırt edilebilen eğrisel formların kullanımının mimari tasarım sürecine entegre olma süreci izlendiğinde, formal değişimin birçok tetikleyicisi olduğu görülmektedir. Yeni imkanların zamanla ortaya çıkması sonucu, deneysel çalışan mimarların yenilikçi fikirlerinden mimari tasarım ortamı da hızla etkilenmiştir (Şamlıoğlu, 2019). Son teknolojik gelişmeler, düzlemsel panellere kıyasla, paneller arası sürekliliği olan mimari yüzeylerin panelizasyonuna izin veren tek ve çift eğrilikli panellerin büyük ölçekli üretimini mümkün kılmaktadır. Ancak mimaride eğri formlu yüzeylerin panellenmesindeki zorluk, aynı anda göz önünde bulundurulması gereken geometrik, estetik ve üretim kısıtlamaları ile ilgili farklı hedeflerin etkileşimlerinde yaşanmaktadır. Bununla birlikte eğri yüzey panellerin imalatı, panel şekillerinin karmaşıklığına ve ayrıca kullanılan malzeme ve panel üretim işlemine bağlı olarak daha yüksek bir maliyete neden olabilmektedir (Eigensatz vd., 2010) Panellenmenin zorlu bir süreç olmasının nedeni, her panelin ayrı olarak imal edilmesi ve ardından sürekli, pürüzsüz, serbest formlu bir yüzey oluşturmak için birleştirilmesidir. Malzeme sınırlamaları ve serbest formlu yüzeylerin karmaşık geometrisi de panelleme işlemi için sorunlara neden olmaktadır (Berk, 2012). Yatay kirişli ve dikey kolonlu geleneksel karkas sistemlerin aksine, çoğu eğrilikli yüzeyler ana yapısal sistem olarak işlev görmektedir. Form ve yapısal sistemin entegrasyonu, minimum malzeme ile maksimum dayanım elde edilebilecek verimli bir tasarımla sonuçlanabilmektedir (İnan, 2011).

Mimari tasarım, zaman ile gelişen ve farklılaşan bir süreçtir. Mimarlık ve tasarım ilişkisi birdenbire (aniden) oluşmamıştır, geçmişte üretilen eserler üzerinden oluşan birikimler

şekillenerek günümüz mimarisini ortaya çıkarmıştır. Bu durum mimarlık eğitimi süreçlerine de yansımış ve geçmiş dönemdeki mimarlar, ortaya çıkardığı akımlar ve etkiler mimarlık tarihi anlatımları ile pekiştirilmiştir. Geçmiş ve gelecekteki değerlerin incelenerek özdeşleştirilmesi, üretim zenginliğine artı değerler katmaktadır. Bu çalışmada, 1950'li yıllarda Felix Candela'nın (1910 - 1997) eserleri ile yapılarda daha sık kullanılmaya başlanan eğrisel formun mimari tasarımlar üzerinde etkisi incelenmiş ve günümüz mimarlık-mühendislik disiplini şekillendiren tasarımcılar ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Eğrisel formların mimari tasarımlara yansımaları, Candela eserlerinin etkisi altında kendi özgün ve sanatsal değerlerini ortaya koyan ve onun ile bağlantılı olan mimarlar üzerinden incelenmiştir. Öncelikle Candela ve eserlerinin incelendiği çalışmada, Candela'nın öğrencisi ve sonrasında iş ortağı olan Santiago Calatrava (1951 - ...) ve Candela'yı onurlandırmak amacıyla hiperbolik paraboloid pavilyon tasarlayarak Candela'nın eserlerinin önemini vurgulayan Zaha Hadid (1950 - 2016) ele alınmıştır.

2. YÖNTEM

Nitel araştırma, gözlem ve doküman analizi gibi veri toplama yöntemleri ile oluşturulan bir araştırma türüdür (Yıldırım, 1999). Bu makalede iki adet nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla durum çalışması ve düzeylerine göre araştırma türlerinden ilişkisel araştırmadır.

Durum çalışmaları, örnek olay çalışması olarak da ifade edilmektedir. Bilimsel sorulara ve araştırmalara cevap aramak amacıyla kullanılan ayırt edici bir yaklaşımdır. Gerçekleştirilen araştırmalarda durum çalışmaları, a) bir olayı oluşturan ayrıntıları belirlemek ve görmek, b) bir olayın olası açıklamalarını geliştirmek, c) bir olayı değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Kadioğlu Ateş ve Mazi, 2017).

Düzyerlerine göre araştırma yöntemleri, bilimsel araştırma düzeylerine göre betimsel, ilişkisel ve müdahaleli araştırmalar olarak tanımlanabilmektedir. Fraenkel vd. (2006) nicel veya nitel araştırmaların, bu araştırma türleri ile açıklanabileceğini belirtmiştir. Düzeylerine göre araştırma yöntemi betimsel, ilişkisel ve müdahaleli gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ilişkisel araştırma, ilişkileri ve bağlantıları inceleyen araştırma yöntemidir.

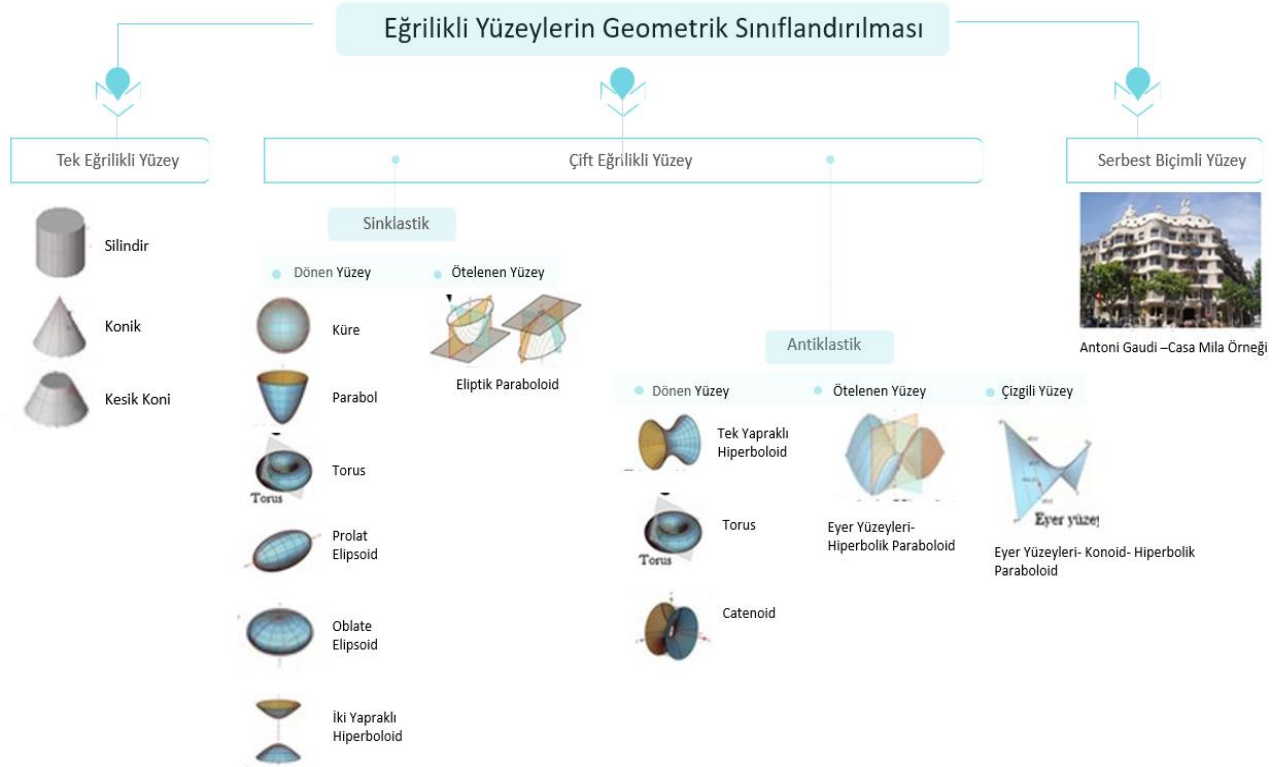
3. MATERYAL: MİMARİDE EĞRİSEL FORMLAR

Yapıları oluşturan form ve formdaki değişimler, mimarlığın gelişimini ve tarihsel sürecini de tanımlamaktadır. Mimarlığın aracı olduğu bu tanım, sosyal ve teknolojik değişimler ile birlikte zaman içinde mimari tasarım anlayışında meydana gelen değişiklikleri farklı biçimlerde bizlere sunmaktadır (Usta, 1994). Toplum içerisinde sosyo-kültürel ve sosyo-ekonomik anlamda ortaya çıkan her türlü farklılaşma yapısal biçimlenmesinde belirleyici bir rol oynamıştır (Bekar ve Dereci, 2021). Bu nedenle yaşam biçiminde dönüştürücü bir faktör olmuş ve ortaya çıkan yapılarda da formu değiştiren değişken olarak bu süreçte yerini almıştır. Günümüze baktığımızda form, aldığı tüm işlevsel ve görsel kararların yanı sıra bir düşünce aracı, bir fikir iletkeni haline gelmiştir (Şamlıoğlu, 2019). Antik dönemlerde mimari formlarda ön plana çıkan biçimler kare, daire ve üçgen olmuştur. Ching (2004), daire, üçgen ve kare formlarının temsil ettiği asal şekillerin yorumuna yer vermiştir. Dairenin merkezi ve içedönük bir figürü temsil ettiği; üçgenin durağanlığı anlattığı; karenin ise sadeliği temsil ettiğine değinmiştir. Ancak özellikle son zamanlarda modern mimarinin temsilinde asal formlar ve köşeli çizgiler, yerini eğriliğin ön planda olduğu akışkan formlara veya devasa boşluklara sahip son derece dinamik kütle düzenlerine bırakmaya başlamıştır.

Eğrilerden türetilen yüzeylerin mimaride kullanılmaya başlanmasının nedenlerinden biri, kavisli yüzeylerin düzlemsel yapılardan daha dayanıklı ve ayrıca estetik açıdan iyi yapılandırılmış olmalarıdır (Tomás & Martí, 2010: 1650; Kutlu, vd., 2021). 1950'li yıllarda ilk kez kullanılan Felix Candela'nın eğrisel formlu ince kabuklu yapıları, günümüzde halen en iyi örnekleri oluşturmaktadır. Kabukların yapısal davranışı, diğer yapı türlerine kıyasla, daha yüksek bir mekanik verimlilik sağlayabilmektedir. Beton kabukların stabilitesi ve

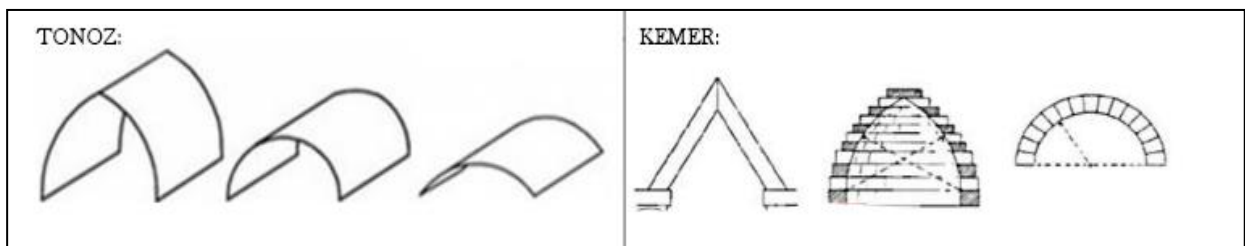
dayanıklılığı, kütlelerine değil kullanılan donatıları ile bir araya gelme şekillerine bağlıdır. Gerekli yapısal hesaplamaların gerçekleştirilmesi ile beraber optimum tasarım şartları ile kabukların inşa edilmesi durumlarında, eğrisel kabuk yüzeyler de statik ve dinamik birçok yükü karşılayabilmekte ve az malzeme ve/veya kalınlık ile önemli açıklıkların geçilmesini sağlayabilmektedir (Tomás & Martí, 2010: 1650).

Eğri yüzeylerin oluşturduğu geometri için birçok sınıflandırma bulunmaktadır. Genellikle bu yüzeyler; tek eğrilikli, çift eğrilikli ve serbest biçimli yüzeyler olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. (Susam, 2013: 63) Türkçü (2009) 'Çağdaş Taşıyıcı Sistemler' adlı kitabında, Curt Siegel'in (1972) 'Structure and Form in Modern Architecture' kitabında yer alan sınıflandırmasına yer vermiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Eğrilikli yüzeylerin geometrik sınıflandırılması (Yazarlar tarafından Türkçü 2009'dan faydalanılarak düzenlenmiştir.)

Eğrilikli yüzeylerin mimariye yansımaları erken dönemlerde tek eğrilikli yüzeylerle oluşturulan kemer ve tonoz gibi elemanlarda görmek mümkündür (Şekil 2). İlk yapılaşma dönemlerinden bu yana, yapılar inşa edilirken küçük ve orta büyüklükte açıklıklar geçilmektedir ve lentoların yetersiz kaldığı açıklıklarda zamanla kemer ve tonozların kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Binaların girişlerinde (dekoratif amaçlı) kullanılan kemerler ve tonozlar, geçmiş dönemlerde mimari yapıların vazgeçilmez bir unsuru olarak da kullanılmıştır (Dirlik, 2017: 816).



Şekil 2. Tek eğrilikli yüzeylere örnek bazı tonoz ve kemer örnekleri (Dirlik 2017'den düzenlenmiştir.)

Çift eğrilikli yüzeylerin kullanımının dünya genelinde yaygınlaşmaya başlaması mimar ve mühendis Felix Candela'nın 1950'li yıllarda Meksika'da tasarladığı eserler ile olmuştur. Candela tasarladığı bu eserler ile kendinden "structural artist" olarak söz ettirmiştir (Susam, vd., 2012: 33). Candela tasarımı yapılar, kabuk sistemin ve çift eğrilikli formların yaygınlaşmasını sağlamıştır. Mimaride serbest biçimli formlar ise, mühendislik ve tasarım zorluklarının gelişen bilgisayar teknolojisi sonucu kolaylaştırılması ile ortaya çıkan yeni tasarım fikirlerinin bir alanıdır. Bu alanda, formu, panelizasyonu, işlevselliği, malzemeleri, statiji ve maliyeti içermesi ile birlikte geometrik gereklilikleri ve karmaşık yüzey ilişkilerini ele alan eksiksiz bir tasarım süreci izlenmelidir (Pottmann, vd., 2007).

4. MİMARİDE EĞRİSEL FORM TASARIMLARINDA FELIX CANDELA VE ETKİSİ

Mimaride 19. yüzyılda bilgisayar destekli tasarım araçlarının (Computer Aided Architectural Design) gelişmesiyle beraber Candela ile yaygınlaşmaya başlayan eğrilikli yüzeyler, 20. ve 21. yüzyıl mühendislik-mimarlık alanında en önemli isimlerin başlarında gelen Zaha Hadid ve Santiago Calatrava'yı da etkilemiştir. Bu etki, zaman zaman ortak kesişimlere neden olmuş kimi zaman da farklı düşünceler ile eğrisel formların vurgulanacağı tasarımlara tesir etmiş ve yol göstermiştir. Sanayileşmenin artmasının sonucu olarak demir, çelik ve betonarme gibi geliştirilmiş yapı malzemeleri ile eğrisel formları değerlendirip geliştirerek tasarımlarına katan mimarlar, ifadelerinde serbest biçimli yüzeyler kullanmaya başlamıştır.

Felix Candela

Felix Candela (1910–97), 1950'lerde ve 1960'ların başında Meksika'da tasarladığı ve inşa ettiği çarpıcı ince kabuklu beton yapılar ile 20. ve 21. yüzyıl mimarlık alanında büyük bir etkiye sahip olmuştur. Mimarlık eğitimi almasına ve binaları bir mimar olarak bütünsel olarak düşünmesine rağmen, sadece mimar olmayı tercih etmeyip aksine bir mühendis olarak da çalışarak mimarlık ve mühendislik disiplinlerini entegre edecek şekilde tasarımlara yer vermiştir. 'Strüktür sanatçısı' olarak tanınan Candela'nın felsefesi, analitik süreci, inşaat teknikleri ve bitmiş yapı formları, bu tanım için önemli argümanlar sunmaktadır (Garlock, Billington ve Burger, 2008: 67). Candela'nın başarısı, yalnızca yaratıcı formları tasarlama değil, aynı zamanda bunları uygun bir bütçe dahilinde oluşturma yeteneğine de dayanmaktadır. Candela yapılarının inşa edilmesinden bu yana yaklaşık yarım yüzyıl geçmesine rağmen yapısal bütünlükleri bozulmadığı ve sahip olduğu farklı form özelliklerini koruduğu görülmektedir (Tablo 1).

Sadece kompleks işlevlere sahip mekânsal organizasyonları ve oluşacak yapısal sorunları çözme yeteneğiyle değil, aynı zamanda strüktürel olarak sunduğu yenilikçi çözümleri ve yapı formuna karşı sergilediği felsefi bakış açısı ile de ün kazanmıştır. Candela "*biçim her şeyi olduğu gibi yapan niteliktir*" ifadesinden başlayarak, felsefe gibi tüm bilimlerin, varlıkların biçimini inceleme ve onları açıklayabilecek temel ilkeyi keşfetme girişimi olarak değerlendirilebileceğini ifade etmiştir (Savorra ve Fabbrocino, 2013: 254) Candela, "*biçim/form*" kelimesinin karşıladığı anlam ile uygunsuz olduğunu ve ifade bakımından yetersiz bulunduğunu belirtmiştir. Biçimin keyfi olan bir şey olmaması gerektiğini savunmuş, estetik ve yapısal amaçlar gibi mantıksal ve mekanik çerçeveler aracılığıyla biçimi farklı çözümlerle ilişkilendirmiştir (Savorra ve Fabbrocino, 2013: 253-258). Candela bu durumu "*ihtiyacımız olan şey bir yapı, analiz değil*" şeklinde dile getirmiştir (Candela, 1951).

Tablo 1. Felix Candela eğrisel yüzeyli yapıları

Yapı Adı	Yapım Yılı	Konumu	Yapım Malzemesi	İşlevi	Görseller
Kozmik Işık Pavilyonu	1951	Meksika	Betonarme	Pavilyon	 
Church of la Medalla	1955	Meksika	Betonarme	İbadet Mekanı	 
Bacardi Rum Fabrikası	1956	Meksika	Betonarme	Fabrika	 
Los Manantiales Restoranı	1958	Meksika	Betonarme	Restoran	 
Lomas de Cuernacava	1958	Meksika	Betonarme	İbadet Mekanı	 
The Hemisferic / (Santiago Calatrava ile)	1997	İspanya	Çelik	Sanat ve Bilim Merkezi	 

Tasarımcı ve plançı Eisenschmidt, Candela için "*Bina ve mimariyi spekülatif bir süreç olarak ele almıştır.*" ifadesini kullanmıştır. Yaptığı bir konuşmada Candela'yı tanıtan Profesör Happold, "*1960'larda ve 1970'lerde Meksika'daki Candela'nın ince kabuk yapıları, ekonomik bir şekilde inşa edilmiş ve minimum maliyet için tasarlanmış cesur ve hayal gücü ustalığı sergilemiştir.*" (Happold, 1987). Candela ise yaptığı tasarımlar ile ilgili yaptığı konuşmada "*Kabuk yapılar hakkında yazılmış olan her şeyi pratik olarak okudum. İnsanlar hesaplamayı bilmediğimi söylerlerdi, ama tüm bunlar benim tarafımdan hesaplandı. Her neyse - her şeyi okudum ama bir şeyler inşa edebilmek için, en ucuz inşaat türleriyle rekabet etmek zorunda kaldım, bu yüzden asıl ilgim ekonomi, inşa etmenin kolay yoluydu... Her türlü şekli denedim.*" (Candela, 1997).

Santiago Calatrava







İspanyol doğumlu mimar ve mühendis Santiago Calatrava, 2022 yılı itibarıyla dünya çapında bir üne sahiptir. Köprü tasarımları, havaalanı yapıları, müze ve konser salonu projeleri ile Avrupa'daki son mimari gelişmelerde ön plana çıkmıştır (Sharp, 2003: 13). Zamanla 20. ve 21. yüzyıl mühendisliğinin seçkin mirasının bir parçası haline gelmiştir ve Calatrava da kendinden önceki mimar-mühendis nesilleri gibi (Robert Maillart, Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja, Felix Candela) teknik problemleri çözen bir yaklaşımın ötesine geçmektedir. Calatrava, yapı tasarımını "mümkün olanın sanatı" olarak ifade etmekte ve teknik bilgiye dayalı yeni bir form arayışında tasarım yapmaktadır (McQuaid, 1993: 9). Projelerindeki tasarım sürecinde genellikle canlı organizmalardan esinlenerek oluşturduğu heykelsi formları kullanmaktadır (Şekil 3). Projeleri, birçok övgü ve eleştiri ile karşılaşmasına rağmen, 20. yüzyıl mimarisine yenilik kattığı açıktır. Günümüzde birçok tasarımcı, kendine özgün strüktür çalışmaları olan mimar mühendis Calatrava stilini takip etmektedir. Mühendis ve mimar olarak yaptığı çalışmalarda, yakın çevreyi değiştiren ve doğadan ilham alan, orijinal şekillere atıfta bulunan birçok yapı tasarlamıştır (Mazur, 2019: 8).



Şekil 3. Calatrava'nın tasarımları öncesi canlı organizmalardan esinlenerek yapmış olduğu çizimler (Tola & Vokshi, 2013)

Hallgren (2014), Calatrava ve tasarımları ile ilgili hazırlamış olduğu yazısında başlarken "hareket, dinamizm, doğadan esinlenme" kelimelerini kullanmıştır. Santiago Calatrava'nın yapıları sanatın, mimarinin, mühendisliğin bir karışımını ele alarak doğal form ve hareketi yansıtmaktadır. Genellikle tek renk olarak kullandığı "beyaz", biçim ve harekete olan vurguyu güçlendirmektedir. Kendi çizdiği eskiz defterlerindeki tasarım sürecinde, insan formunun oluşturduğu biçimler ile ortaya koymuş olduğu tasarımları arasındaki bağlantıyı doğrudan göstermektedir. İnsan formu ve doğadan esinlenmesine rağmen eserleri bireysel olarak benzersizdir (Hallgren, 2014: 9; Tablo 2).

Tablo 2. Santiago Calatrava eğrisel yüzeyli yapıları

Yapı Adı	Yapım Yılı	Konumu	Yapım Malzemesi	İşlevi	Görseller
Alamillo Köprüsü	1987	İspanya	Betonarme	Köprü	
Montjuic Kulesi	1989	İspanya	Betonarme	İletişim Kulesi	
Adan Martin Oditoryumu	2003	İspanya	Betonarme	Oditoryum	
Museu do Amanha	2010	Brezilya	Çelik	Müze	
Dünya Ticaret Merkezi	2016	ABD	Çelik	Ulaşım Merkezi	
The Hemisferic / (Felix Candela ile)	1997	İspanya	Çelik	Sanat ve Bilim Merkezi	

Calatrava, "hareketliliğin 'güç' kavramında saklı" olduğunu ifade etmektedir. Yapının dinamiklerini tanıtmak için hareketin açık olması gerektiğini belirtmektedir. Calatrava heykeltıraş, mimar ve yapı mühendisi olarak tasarımlarını şekillendirmiş ve her disiplinin, diğerlerinden yararlanabileceği özellikler ile özgün üretimler ortaya koymuştur (Blockley, 2012)

Santiago Calatrava'nın genellikle kullanmış olduğu eğrisel yüzeyli tasarımlarında işlevin, biçimi izlemesi gerektiğine dair bir anlayış görünmektedir. Tasarım sürecine, formları soyut bir şekilde oluşturarak başlamaktadır. Form, matematiksel araştırmaya, doğa, insan vücudu, hareket deneyleri ile yapının bir kombinasyonuna dayanmaktadır (Levin, 2014: 64).

Zaha Hadid

Beyrut Amerikan Üniversitesi'nde matematik eğitimi gören ve ardından Londra Architectural Association School'da mimarlık eğitimi alan Zaha Hadid, eğitimini tamaladıktan sonra bir süre Rem Koolhaas'ın mimarlık ofisinde çalışmıştır. 1983 yılında bir yarışma sürecinde tasarladığı "The Peak Leisure Club" ile o dönemde adı duyulmuştur ve zamanla farklı ve özgün tasarımlarıyla mimarlık dünyasında kendinden söz ettirmiştir (Berkaya, 2014: 95). Zaha, kendisinin yirmi otuz yıl önceki benzer fonksiyona sahip işleri yaptığı halde bugün geçmişi tekrar etmediğini belirtmektedir. Zihnin sınırlarına dayanan kartezyen geometrisine karşı bir tavır sergileyerek eğrisel formları ve serbest biçimli yüzeylere sıklıkla yer veren Zaha Hadid, basit geometrik formlardan oluşan tasarımlara neredeyse hiçbir zaman yer vermemiştir (Soyluk ve İlerisoy, 2019; Tablo 3). Hadid'in yapıları dinamik, soyut, özgün ve karmaşık formda bir araya gelmektedir. Tasarımları esas olarak modern mimaride kullanılan unsurlara dayanmasına rağmen, onları sıra dışı formlarda oluşturmaktadır (Farsakoğlu, 2019: 45).

Tablo 3. Zaha Hadid eğrisel yüzeyli yapıları

Yapı Adı	Yapım Yılı	Konumu	Yapım Malzemesi	İşlevi	Görseller
Vitra İtfaiye İstasyonu	1981	Almanya	Betonarme	İstasyon	 
Sheikh Zayed	1997	Birleşik Arap Emirlikleri	Betonarme	Köprü	 
MAXXI Müzesi	2009	İtalya	Betonarme	Müze	 
Heydar Aliyev	2013	Azerbaycan	Çelik	Kültür ve Sanat Merkezi	 
Changsha Meixihu	2017	ABD	Çelik	Kültür ve Sanat Merkezi	 
KnitCandela / (Felix Candela için)	2018	Meksika	Betonarme	Pavilyon	 

Zaha Hadid yapılarının karmaşıklığı ile ilgili gelen yorumlara karşılık, "Normatif fikirlerle uğraşmıyoruz ve güzel küçük binalar yapmıyoruz. İnsanlar en uygun binanın bir dikdörtgen olduğunu düşünüyorlar, çünkü bu genellikle alanı kullanmanın en iyi yoludur. Ama bu konuda peyzajın israf olduğunu söylemek gerekir; Dünya bir dikdörtgen değil. Bir parka gidince şöyle demiyorsunuz: 'Tanrım, hiçbir kösemiz yok.'" ifadelerini kullanmıştır (Brooks, 2013: 3). Mimari tasarımı ile beraber endüstriyel tasarım ile de ilgilenen Zaha, 2015 röportajında "Biçim olarak, tüm projelerimiz -moda ve mobilya- beni eşit derecede ilgilendiriyor." ifadelerine yer vermiştir (Sulcas, 2016).

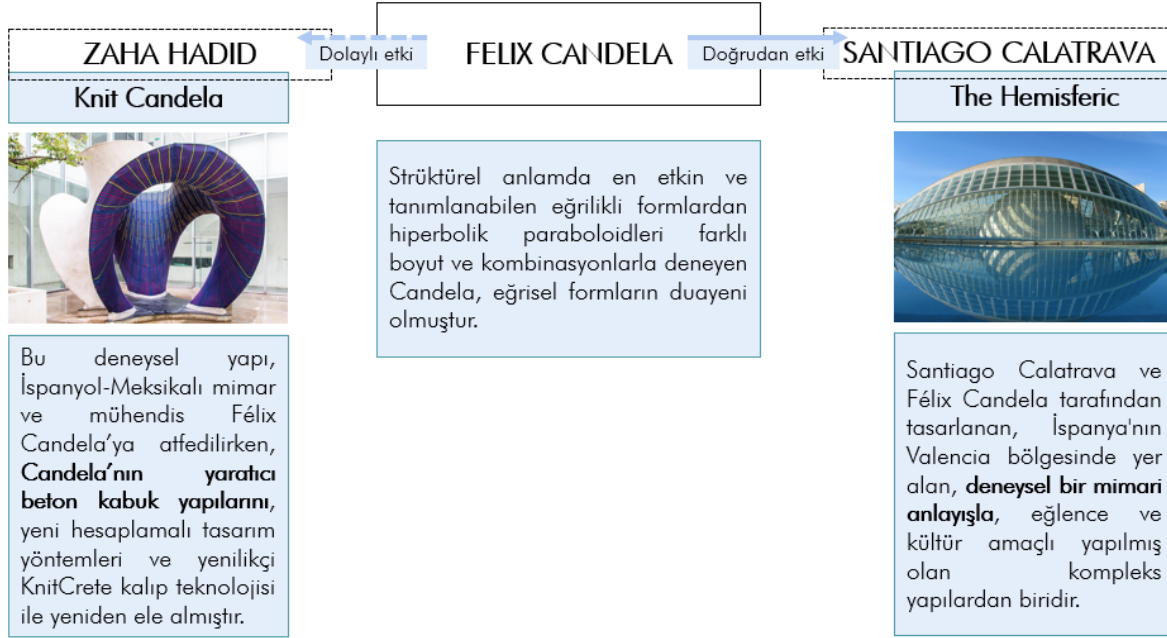
Hadid'in modernliği ve mimarlık alanına etkisi, aldığı risklerin de farkında olan tasarım anlayışından kaynaklanmaktadır. Karşıtlık, belirsizlik gibi fazla sayıda değeri tasarımlarında yer almaktadır. Kullandığı eğrisel formlar; hareketli ve dinamik olan bir sanat-yaşam vizyonunu desteklemektedir. Hadid yaptığı tasarımlarda hayal gücünü stil ile birleştirmiş içten ve geniş bir şekilde yer vermiştir. Günümüzde ilk tasarımlarından itibaren yapmış olduğu üretimlerin neredeyse tamamı şaşırtıcı ve etkileyici bulunmaktadır (Mertins, 2006: 38).

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

İnşa edilmiş çevrede mimari mekânın her öğesi, yapılı bir mimari ürün olduğu kadar bir zamanın (geçmiş veya gelecek) yansıması olarak da karşımıza çıkmaktadır. Mimari formlar oluşturulurken geçmişten gelen formlardan ilham alınmakta ve gelişen teknoloji ile entegre edilerek yeni tasarımlar üretilmektedir. Geçmişte tasarlanan formlar üzerinde ortaya çıkan anlayış ve deneysellik, zamanla günümüz mimarisini de etkilemekte ve tasarımları şekillendirmektedir. Hiçbir mimari form veya anlayış birdenbire oluşmamıştır ve zamanla oluşan birikimlerin birbirini takibi sonucu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla geçmiş ve gelecek değeri ayrı düşünülmeden incelenerek özdeşleştirilmesi, mimarlık ve tasarım zenginliğine artı değerler katmaktadır. Farklı mimari yöntemler ve yapısal teknolojilerle eklenilen yeni modüllerin ve yeni fonksiyonların, kentsel yaşamın parçası haline getirilerek yeni tasarımların gerçekleştirilmesi, mimarlık anlayışını zenginleştirmektedir. Bu bağlamda 1950li yıllarda eğrilikli formlardan ilk hiperbolik paraboloid kullanımı ile Candela, mimaride eğrisel yüzey tasarımını arttırmış ve uzun yıllar etkisini sürdürmeye devam etmiştir.

Betonarme ince kabuk strüktür teknolojisinin yaygınlaştığı dönemlerde Aimond, Baroni, ve Hruban öncülüğünde kabuk kullanımları gelişmiş ve Felix Candela ile birlikte üretimde zirveye ulaşılmıştır (Akyürek, vd., 2021). Candela üretimleri, çift eğriliğinin sağladığı strüktürel verimliliği, inşaat için gereken malzeme miktarının azlığı ve estetik beğenisi nedeniyle 20. yüzyılın en yaygın uygulanan form örneklerinden biri haline gelmiştir. 21. yüzyıl çağdaş mimarlık anlayışında halen Candela'nın etkisini görmek mümkündür ve özellikle mimar-mühendis tasarımcılarda da sıklıkla bu etkiyle karşılaşmaktadır. Kimi zaman doğrudan etkisinin ve müdahalesinin olduğu iş ortaklıkları ile kimi zaman ise dolaylı olarak etkisini vurgulamak amacıyla ortaya konan eserler ile bu etkiler görülmektedir.

Felix Candela'nın eğrisel formlardaki yenilikçi bakışının mimariye etkisini araştıran çalışmada, bu etki günümüz mimarisini şekillendiren ve kendisinden sonraki tasarımcıları da oldukça etkileyen Santiago Calatrava ve Zaha Hadid üzerinde görülmüştür. Candela'nın Santiago Calatrava'nın hocası olması ile başlayan birliktelik, Valencia'da The Hemisferic - Sanat ve Bilim Merkezi tasarlama süreci ile devam etmiştir. Bu eserin, tamamlanıp faaliyete geçtiğini göremeyen yenilikçi mimar ve mühendis Felix Candela'nın etkisi, Calatrava'nın yapmış olduğu diğer tüm eserlerinde de açıkça görülebilmektedir. Ayrıca strüktürde bu denli yenilikçi eserler üreten Candela'yı onurlandırmak amacıyla Zaha Hadid'in tasarladığı KnitCandela adlı kabuk tasarımı, eğrisel formlarda Candela'yı vurgulama isteği sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 4). KnitCandela ile ilgili düşündüklerini anlatan Zaha Hadid; "*Candela, inşaat atıklarının azaltılmasına yol açan yeniden kullanılabilir kalıplar üretmek için hiperbolik paraboloid yüzeyleri birleştirmeye çalışırken, KnitCrete çok daha geniş bir yelpazede antiklastik geometrilerin gerçekleştirilmesine izin veriyor. KnitCandela'nın yüzey alanı yaklaşık 50 m² olan ve 5'ten fazla ağırlığa sahip ince, çift kavisli beton kabuğu ton, sadece 55 kg'lık bir KnitCrete kalıbına uygulanmıştır.*" ifadelerine yer vermiştir (Url-1). Candela'nın inşa etmiş olduğu yenilikçi hiperbolik paraboloid formlara atıfta bulunan Zaha Hadid'in tasarlamış olduğu yapılarında Candela'nın eserlerini kendine referans aldığı ve yorumlarıyla geliştirdiği anlamına gelmektedir.



Şekil 4. Felix Candela, Santiago Calatrava ve Zaha Hadid'in bağlantılarını gösteren diyagram

Çalışma kapsamında oluşturulan kronolojik tablolardan görüldüğü üzere, Candela'nın 1950'li yıllarda eğrisel formları yapıların strüktürel sistemine de dahil etmesi sonucunda mimarlık alanında bu yüzeyler daha sık kullanılmıştır. Candela'nın eğrisel yüzeylerde oluşturduğu etkinin, kendisi ile çalışan Santiago Calatrava ve KnitCandela'nın tasarımcısı Zaha Hadid gibi birçok mimarı etkilediği ve tasarımda çeşitli imkanların önünü açtığı düşünülmektedir. Özellikle ortak kesişimler yaşayan bu üç mimarın yaptığı çalışmalar ele alındığında;

- Felix Candela'nın tasarladığı eserler betonarme kabuk sistemler ile oluşturulan ve o dönemde yapılması ile ses getiren hiperbolik paraboloid yüzeylerdir. Bu yüzeyler dışarıdan bakıldığında heykelsi bir görünüş etkisi hissettirirken ayrıca geniş açıklıkları geçmede kolaylık sağlamaktadır. Candela'nın restoran, şapel, pavilyon, fabrika yapılarında deneysel form arayışları içerisinde olması sebebiyle bu tür eğrisel formları denediği görülmektedir.
- Calatrava eserlerini tasarlarken doğadan ve insandan ilham aldığını birçok konuşmasında belirtmiştir. Mimar ve mühendis Santiago Calatrava'nın yapıları incelendiğinde, eğrisel yüzeyler ile strüktür arasında kurduğu ilişkinin güçlü olduğu ve köprü, iletişim kulesi, ulaşım merkezi, müze, oditoryum işlevlerinde geniş açıklıkları geçmek üzere eğrisel formları kullanmış olmasına rağmen yapıya heykelsi görünüm vermek amacıyla özgün tasarım kararlarının da olduğu görülmektedir.
- Zaha Hadid'in istasyon, köprü, müze, kültür ve sanat merkezi, pavilyon eserleri ele alındığında, kartezyen geometriye yer vermediği ve tasarımında eğrisel yüzeyleri kullandığı görülmektedir. Bu tasarım anlayışını diğer farklı fonksiyondaki tüm eserlerinde devam ettirmektedir. Yapılarında geniş açıklığı geçmek için eğrisel formları kullanan Zaha'nın tasarım anlayışı olarak ikonik yapılar oluşturmayı hedeflemektedir. Kültür merkezi, istasyon gibi işlevlerden ziyade tasarımını yapacağı yerde odak noktası oluşturmak amacıyla bir yapı tasarladığı görülmektedir.

Farklı işlevlerde kullanılan eğrisel formların geniş açıklıkları geçmek dışında tasarım ögesi olarak kullanıldığı ve aynı dönemler içerisinde Zaha Hadid ve Santiago Calatrava'nın işlev dışında forma getirmek istedikleri farklılık ile tasarıma yön verdiği tespit edilmiştir. Her iki mimarın da strüktürel olarak tasarıma yaklaşımları ve eğrisel formda, heykelsi, yapının

estetik olmasına önem vermesi Candela'nın da öncülük ettiği eğrisel form kullanımının bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇ

Candela'nın tasarımlarında yenilikçi form arayışlarının yalnızca inşa edildiği dönemi ve bölgeyi değil, yüzyıllar içerisinde birçok dönemi ve birçok farklı bölgeyi etkileyebileceği görülmüştür. Zamanla teknolojik gelişmeler ve yapı malzemelerindeki değişimler ile birlikte dünya üzerinde hızla yayılmıştır. Candela tasarımları hiperbolik paraboloid form örneği ile dünyayı etkileyen yenilikçi yaklaşımlara en iyi örneklerden olmuştur. Yenilikçi ve deneysel tasarım kararı sonucu ortaya çıkan üretimlerin, sadece var olduğu dönemde değil nesiller arasında da bir etkileşim sağlayabileceği görülmüştür. Bu çalışmada, birbirleriyle yakından bağlantılı ve etkileşim içerisinde olan üç mimarın tasarımları ele alınmıştır. Her üç mimarın da yapılar strüktürel açıdan yaklaştıkları ve formu yenilikçi bir şekilde ortaya koydukları görülmektedir. Yenilikçi form arayışları ve eğrisel yüzeyli formlar, Candela'nın dünya üzerinde ses getiren eğrisel yüzeyleri (hiperbolik paraboloid) 1950'li yıllarda sık kullanması ile başlamıştır. 20. ve 21. yüzyıl mimarlığında bu etkiyi, Candela'nın fikirleriyle etkisi altına aldığı öğrencisi Santiago Calatrava ve KnitCandela pavilyonunu tasarlayarak Candela'nın eserlerinin önemini belirten Zaha Hadid devam ettirmiştir. Candela'nın yüzey tasarımlarının etkisi ile kendi özgün ve sanatsal değerlerini ortaya çıkarmayı başaran iki tasarımcı mimarlık ve mühendislik alanına önemli katkı değerler katarak kendi dönemlerinde ve yeni dönem mimarlık anlayışında Candela ile başlayan etkiyi devam ettirmektedirler.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada strüktür ve formun deneysel buluşmalarının en önemli örneğini sunan Candela özelinde Santiago Calatrava ve Zaha Hadid mimarlığında eğrisel formların kullanımı araştırılmıştır. Calatrava'nın yapıları incelendiğinde, eğrisel yüzeyler ile strüktür arasında kurduğu ilişkinin güçlü olduğu ve geniş açıklıkları geçmek üzere eğrisel formları kullanmış olmasına rağmen yapıya heykelsi görünüm vermek amacıyla özgün tasarım kararlarının da olduğu görülmektedir. Zaha Hadid'in tasarladığı yapılarda da geniş açıklığı geçmek için eğrisel formları kullandığı ve ikonik yapılar oluşturmayı hedeflediği anlaşılmaktadır.

Mimarlar, diğer mimarlar dahil birçok kaynaktan örneğin doğadan, modadan, sanattan esinlenebilmektedir. Mimarlığın dilini anlamak için bir projenin veya bir akımın diğerlerini nasıl etkilediğini görmek etkileyici olmaktadır. Bu açıdan Zaha Hadid ve Santiago Calatrava yaşadığı zamana göre farklı strüktürel bir yaklaşım ortaya koyan Felix Candela'yı derinlemesine anlayarak kendi eğrisel form tasarımlarını genç mimarlara ilham verecek eserlere dönüştürmüşlerdir.

KAYNAKÇA

- Akyürek, M. E., Gür, N. V., & Ökten, M. S. (2021). Betonarmede Strüktürel Bir Zirve: Hipar Kabuklar. *Tasarım+ Kuram*, 17(32), 90-108.
<https://doi.org/10.14744/tasarimkuram.2020.96967>
- Bekar, İ., & Dereci, Ş. (2021). Evaluation of the Appropriateness of Space for the New Function in Traditional Housings: The Case of Mehmet Efendi House. *Journal of Interior Design and Academy*, 1(2), 3-20.
<https://doi.org/10.53463/inda.2021vol1iss2pp3-20>
- Berk, A. (2012). *A Structural Basis for Surface Discretization of Free Form Structures: Integration of Geometry, Materials and Fabrication*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Michigan University, Michigan.
- Berkaya, S. C. (2014). *Kent makroformunda sayısal tasarım araçları ile form arayışları: Zaha Hadid Kartal kentsel dönüşüm projesi örneği* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Blockley, D. (2012). *Bridges: the science and art of the world's most inspiring structures*. Oxford University Press.



- Brooks, X. (2013). Zaha Hadid: 'I don't make nice little buildings'. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2013/sep/22/zaha-hadid-dont-make-nice-little-buildings> (Erişim Tarihi: 29 Ekim 2022)
- Candela, F. (1997) *Poetic Structures*. <https://www.pidgeondigital.com/talks/poetic-structures/> (Erişim Tarihi: 20 Ekim 2022)
- Candela, F. (1951). Hacia una nueva filosofía de las estructuras. *II Congreso Científico Mexicano. Revista Ingeniería*, 25(2).
- Ching, F. D. K. (2004). *Mimarlık, Biçim, Mekan, Düzen*. (Çev.) S. Lökçe, YEM Yayınları, İstanbul.
- Dirlik, N. (2017) Antik Dönemde Kemer ve Tonoz. *TOD-Tarih Okulu Dergisi*, 10, 815-846. <http://dx.doi.org/10.14225/Joh1168>
- Eigensatz, M., Deuss, M., Schiftner, A., Kilian, M., Mitra, N. J., Pottmann, H., & Pauly, M. (2010). Case studies in cost-optimized paneling of architectural freeform surfaces. *Advances in Architectural Geometry* 49-72.
- Farsakoğlu, B. A. (2019) *Architect and brand collaboration: Stuart Weitzman stores designed by Zaha Hadid*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2006). *How to design and evaluate research in education*. Mac Graw Hill, New York.
- Garlock, M. E. M., Billington, D. P., & Burger, N. (2008). *Félix Candela: engineer, builder, structural artist*. Princeton University Art Museum.
- Ghadim, G. T. (2013). *Geometry, Form and Structure Relationship in Blob, Liquid and Formless Architecture*. (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Kıbrıs.
- Hallgren, L. (2014). Santiago Calatrava. <http://archgraphics.pbworks.com/f/Hallgren+-+Insp+pres+Paper.pdf> (Erişim Tarihi: 11 Ekim 2022)
- Hambleton, D., Howes, C., Hendricks, J., Kooymans, J. (2009). Study of Panelization Techniques to Inform Freeform Architecture, Architectural Challenges and Solutions. *Glass Performance Days*. 239-243
- Happold, T. (1987) *The Nature of engineering: Part 1 ve Part 2*. Pidgeon Digital.
- İnan, A. D. (2011) *Mimarlıkta "işlev" kavramının tarihsel yanılgılarına bir bakış*. H. Anay, Ü. Özten (Der.). Biçim-İşlev, Osmangazi Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Kadioğlu Ateş, H. & Mazi, M. G. (2017). Book Review: Scientific Research Methods, *Eurasian Education & Literature Journal*, 7, 56-94. <http://dx.doi.org/10.17740/eas.edu.2017-V7-04>
- Kutlu, İ., İlerisoy, Z. Y. & Soyluk, A. (2021). *An Assessment of the Reflection of Traditional and Computer Assisted Architectural Designing Periods on Buildings Through Hyperbolic Paraboloid Form*. Contemporary Issues In Architecture And Urban Planning, DAKAM.
- Levin, M. (2014). Santiago Calatrava: Form, Function, and Structure Follow Gesture. *Paragrana*, 23(1), 64-67. <https://doi.org/10.1515/para-2014-0007>
- Mazur, B. (2019, February). Review of Extravagant Projects by Santiago Calatrava. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(7), IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/7/072018>
- Mertins, D. (2006). *The Modernity of Zaha Hadid*. Departmental Papers (Architecture), 8.
- McQuaid, M. (1993). *Santiago Calatrava: structure and expression*. Museum of Modern Art.
- Pottmann, H., Liu, Y., Wallner, J., Bobenko, A., & Wang, W. (2007). Geometry of multi-layer freeform structures for architecture. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 26(3), 65.
- Salingaros, N. A. (1999). Architecture, patterns, and mathematics. *Nexus Network Journal*, 1(1-2), 75-86. <https://doi.org/10.1007/s00004-998-0006-0>
- Savorra, M., & Fabbrocino, G. (2013, June). Félix Candela between philosophy and engineering: the meaning of shape. *ICSA 2013 Second International Conference On The Tectonics In Architecture Between Aesthetics And Ethics*, 253-260.
- Sharp, D. (2003). *Santiago Calatrava*. Taylor & Francis.



- Soyluk, A. ve İlerisoy, Z. Y. (2019). Medeniyette Kadının Rolü; Kadın Mimarlar ve Zaha Hadid Örneği, *II. International Congress on Social Sciences Taras Shevchenko*, Kiev.
- Susam, G. (2013). *A research on a reconfigurable hyper structure for architectural applications* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Susam, G., Gürcü, F., & Korkmaz, K. (2012). Hareketli Çift Eğrilikli Çizel Yüzeylerin Tasarımı *Ege Mimarlık*, 32-35.
- Şamlıoğlu, T. (2019). *21. yüzyılda mimari formu anlamak*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Beykent Üniversitesi, İstanbul.
- Tola, A., & Vokshi, A. (2013). Santiago Calatrava, City of Arts and Science: The Similarity of the Elements, *UBT International Conference*, 3.
- Tomás, A., & Martí, P. (2010). Shape and size optimisation of concrete shells. *Engineering Structures*, 32(6), 1650-1658.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.02.013>
- Url-1, KnitCandela - A flexibly formed thin concrete shell at MUAC, Mexico City, 2018, <https://block.arch.ethz.ch/brg/project/knit-candela-muac-mexico-city> (Erişim Tarihi: 05 Ekim 2022)
- Yıldırım, A. (1999). Nitel Araştırma Yöntemlerinin Temel Özellikleri ve Eğitim Araştırmalarındaki Yeri ve Önemi, *Eğitim ve Bilim*, 23(112).