

MİMARİ TEKTONİĞİN EVRİMİ: DİJİTAL ÇAĞ MİMARİSİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Hafize Büşra SABUR

Mimar, Araştırma Görevlisi, Hitit Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık
Fakültesi, Mimarlık Bölümü
hbusrabostanci@gmail.com

Semra ARSLAN SELÇUK

Mimar, Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
semraselcuk@gazi.edu.tr

ÖZET

21. yüzyılda hızla gelişen ve yaygınlaşan sayısal tasarım ve üretim teknolojileri tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimari tasarım ve üretim alanlarında da yenilikçi ve devrimsel nitelikteki çalışmalara yön vermiştir. Özellikle bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD ve CAM) teknolojileri ile tasarım ve yapım süreçleri için yeni bakış açıları geliştirilmiş ve son ürünün tasarımı yerine “sürecin tasarımı” odaklı bir yaklaşım benimsenmeye başlamıştır. İlk dönemlerde, karmaşık yapıların tasarımı ve üretimi için uçak tasarımı ve otomatik üretiminde kullanılan CATIA programının mimari tasarımda kullanımının önü açılmış ve dosyadan fabrikaya (*file to fabrication*) olarak adlandırılan sayısal üretim teknolojilerinin tasarım ve yapım sürecine dahil edilmesi sağlanmıştır. Zamanla, mimarın artan ihtiyaçlarını karşılamak üzere yeni yazılımlar geliştirilmiş ve yaygınlaşmış böylece CAD/CAM teknolojileri hesaplamalı mimarlık süreçlerinde tasarım ve üretimin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Söz konusu teknolojilerle şekillenen bu tasarlama ve üretme biçimleri kendi tektoniğini yaratmaya başlamış ve “dijital tektonik” olarak adlandırılabilir yeni yapma biçimleri, mimarın malzeme ve strüktürle olan diyalogunu da yeniden biçimlendirmiştir. Bir başka ifade ile, yapı pratiğindeki geleneksel inşaat eylemi üretim, fabrikasyon ve montajla çok daha karmaşık biçimlerde yan yana gelirken, yeni malzemelerin tasarlanması ya da var olanların farklı biçimlerde kullanılması, *hibridleşmesi*, sonuçta yeni tektoniklerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda bu bildiride tektonik kavramı, farklı kuramcılarının görüşleri çerçevesinde irdelenmiş ve yüzyıllar içerisinde özellikle 4 farklı endüstri devrimi gibi mimarlık tarihindeki önemli dönüm noktaları gözetilerek bir sınıflandırma çalışması yapılmıştır. CAD/CAM kavramlarının mimariyle bütünleşmesi sonucu yapım/üretim tekniklerinin geldiği son nokta ve dijital tektonik kavramı son yıllarda uygulanmış öncül örnekler ışığında tartışılmıştır. Sonuç olarak hesaplamalı araçların/ortamların mimaride kullanımının yaygınlaşması ile mimarın yapı sanatını değiştirmek, geliştirmek ve tasarım ve yapımdaki mevcut sorunları çözmek için ileri otomasyon teknolojilerini nasıl kullanabilecekleri konusunda bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tektonik, Dijital tektonik, Dijital mimari, Hesaplamalı teknolojiler

EVOLUTION OF ARCHITECTURAL TECTONIC: AN ASSESSMENT ON DIGITAL TECTONICS

ABSTRACT

Numerous design and production technologies that are rapidly developing and widespread in the 21st century have given direction to innovative and revolutionary works in architectural design and production areas as well as in all design fields. New perspectives for design and construction processes have been developed, especially with computer-aided design and manufacturing (CAD and CAM) technologies, and a “design processes” approach has been adopted instead of final product design. In the early periods, the use of CATIA program in architectural design for the design and production of complex structures, which has been used in aircraft design and automatic production, has been opened and digital production technologies, called file to fabrication, have been included into the design and construction processes. By the time of progress, new software has been developed and expanded to supply the increasing needs of architects, thus CAD / CAM technology has become an important component of design and production in computational architectural processes. These forms of

design and manufacturing, shaped by these technologies, have begun to create their own tectonics, and new forms of construction termed as “digital tectonic” have also reshaped the communication of architect with the material and structure. In other words, while the traditional construction practice in building application consist of much more complex forms with manufacturing, fabrication and assembly, design of new materials or use of existing ones in different forms, *hybridization*, ultimately leads to the emergence of new tectonics. In this regard, the tectonic concept in this context is examined within the framework of the different theoreticians’ views and a classification study is carried out over the centuries, especially considering the significant crossroads such as four different industrial revolutions in architectural history. The end of the construction/fabrication methods resulted by integration of CAD / CAM concepts with architecture and the term of digital tectonics is discussed by the examples that have been applied in recent years. As a result, an evaluation about how architects can use advanced automation technologies to modify, develop and solve the existing problems in design and construction with widespread of the computational tools/ environments uses in architecture is carried out.

Keywords: Tectonic, Digital tectonic, Digital architecture, Computational Technologies

Giriş

“Gerektiği gibi bir bina gerçekleştirmek için işe ölçülemeyenle başlamalısınız ve ölçülebilir yollardan geçmelisiniz. Sadece bu şekilde inşa edebilirsiniz, binayı sadece bu şekilde varlığa erdirebilirsiniz, ölçülemeyen vasıtasıyla. Kuralları takip etmelisiniz ancak nihayetinde, bina yaşantının bir parçası olduğunda ölçülemeyen nitelikler uyandırmalıdır. Tuğla miktarları, inşa yöntemleri ve mühendislik içeren tasarım aşaması sona erdiğinde yapının varlık tını devreye girer.”

Louis Kahn (Konuralp, 2014)

21. yüzyılda hızla gelişen ve yaygınlaşan sayısal tasarım ve üretim teknolojileri tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimari tasarım ve üretim alanlarında da yenilikçi ve devrimsel nitelikteki çalışmalara yön vermiştir. Özellikle bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD ve CAM) teknolojileri ile tasarım ve yapım süreçleri için yeni bakış açıları geliştirilmiş ve son ürün tasarımı, yerini “sürecin tasarımı” odaklı bir yaklaşıma bırakmaya başlamıştır. Mimari ile sayısal teknolojilerin entegrasyonu; mimaride yeni anlatımların, yapılarda yüksek kalite ve verimliliğin, ekonomik strüktürlerin önünü açmıştır. Dijital araçlar, mimarlar ve mühendisler için çalışma yöntemlerini ve ifade biçimlerini büyük ölçüde etkilemiş (Nilsson, 2007), mimari tasarım ve üretim konusunda etkisini her geçen gün daha fazla hissettiren CAD ve CAM teknolojileri, tasarımı ve üretimi zor ve pahalı olan karmaşık biçimlerin yapımını kolaylaştırmıştır.

Konsept ve üretim arasındaki ilişkiyi yeniden yorumlayarak neyin tasarlanıp neyin üretilebileceği arasında doğrudan bir bağ oluşturan bu teknolojilerle, yapılar sadece dijital olarak tasarlanmayıp dijital olarak kontrol edilen üretim teknolojileriyle artık doğrudan “dosyadan fabrikaya” üretilebilmektedir.

Bu bağlamda bu çalışmanın genel kurgusu “tektonik” kavramı ile başlamaktadır. Tektonik kavramının ortaya çıkışı, mimarlık disiplinindeki yeri, önemi ve sayısal teknolojilerinin gelişiminden nasıl etkilendiğinin araştırıldığı makalede özellikle Frampton’un yazılarında kullandığı “tektonik kültür” kavramının 19. yy. ve 20. yy. mimarlığına nasıl yön verdiği ve 21. yy’da “dijital tektonik” teriminin ortaya çıkmasıyla bilgi teknolojileri aracılığıyla da mimarlığın tasarım ve üretimin nasıl evirildiği tartışılmıştır.

1. Mimarlıkta Tektonik

Tektonik terimi eski Yunancada *marangoz veya inşa eden anlamına gelen “tekton”* teriminden ya da *teknoloji veya yapı yapma sanatı* anlamına gelen *“techne”* kelimesinden türemiştir. Jeoloji biliminde yeryüzü tabakalarının yapısını ve bu yapıyı oluşturan evrimi anlatan tektonik terimi mimarlık disiplinde, bir yapının ihtiyacı olan konstrüksiyon/strüktür/malzeme bütünlüğü olarak kullanılmaktadır.

Tektonik kavramının mimaride kullanılmaya başlandığı 19. yy'da kavrama farklı bir anlam kazandıran Karl Mürrel (1830) tektoniği *“parçaların bir araya getirilmesiyle ilgili sanatsal bir eylem”* olarak tariflerken Karl Mürrel'in etkilediği, Alman mimarlık kuramcısı Karl Bötticher (1844-1852) ise *“bir binayı biçimlendiren aktivite”* olarak tektoniği tanımlamıştır. Gottfried Semper (1851), birçok kavram için Bötticher'in tanımlarından etkilenmiş olsa da *“Mimarlığın Dört Elemanı” (Four Elements of Architecture)* isimli çalışmasında tektonik terimine değinmiştir. Dijital kavramların ortaya çıktığı 1990'lı yılların başlarında kavrama yeni bir bakış açısı kazandıran isim de Kenneth Frampton olmuştur. 20. yy'da *“dijital tektonik”* kavramının alt yapısını hazırlayan teknolojik gelişmelerin önemine vurgu yaparak bilgi teknolojilerinin mimarlıktaki yerine vurgular yapmıştır. Mimarlık tarihçisi Elias Cornell (1996) ise tektoniği *“mimarideki merkez kavram”* olarak nitelendirirken, *“yapıcı veya yapı elemanları ve parçaları ile açıkça inşa edilmiş, ya gerekli ya da yalnızca figüratif”* olarak tariflemiş ve yeni bir tartışma başlatmıştır (Nilsson, 2007). Sven-Olov Wallensten (2004) tektonik fikrinin, gelenekselde kökten bir kırılmaya sebep olan klasik düzenlemelerin doğası ve süslemeleri üzerindeki tartışmaların, modern mimarlığa yönelik gelişmelerdeki dönüm noktası olduğunu ileri sürmüştür.

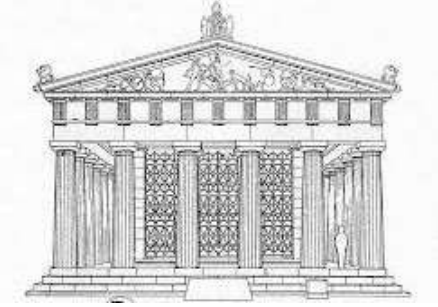
Bu çalışmada tektonik kavramı iki temel başlık altında incelenmektedir: ilkinin, mimarlık disiplinde ilk kez *“tektonik”* terimini ele alan Vitruvius'un yaklaşımıyla başlayan ve 1803-1879 tarihleri arasında I. ve II. Endüstri Devrimlerinin de etkisini gösterdiği, Karl Bötticher ve Gottfried Semper'in yaklaşımlarıyla ele alınan *geleneksel tektonik yaklaşımlar*; ikincisini ise III. Endüstri Devriminde üretim süreçlerinin elektronik ve bilgi teknolojileri ile otomasyonun sağlanması ve Frampton'ın (1995) söylemleri ile mimarlık literatürüne girmiş olan ve etkilerini 21.yy mimarisinde görmeye başladığımız *dijital tektonikler* oluşturmaktadır.

1.1. Geleneksel Tektonik Yaklaşımlar

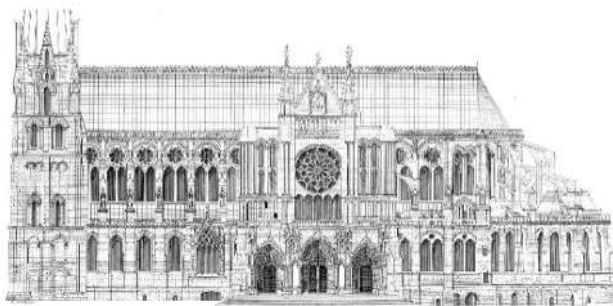
Tarihin ilk zamanlarında avcılık ve toplayıcılıkla yaşamını sürdüren insanoğlunun, tarımsal faaliyetler göstermeye başlamasının sonrasında göçebe hayattan yerleşik yaşama geçmesi ile barınma ihtiyacı da biçim değiştirmiştir. Bu dönemde barınma ihtiyacı *“işlevsellik”* ile karşılanmıştır. Doğada bulduğu her türlü malzemeyi ihtiyaçları doğrultusunda işleyerek yapılarda kullanan insan, artan teknik bilgiler sonucunda malzemelerin performans ve işlenmişlik düzeyini artırmıştır.

18. yy.'da sanatsal faaliyetlerin artmasıyla beraber mimarlıkta estetik kavramı da önem kazanmaya başlamış; mimarlar, mühendisler ve zanaatkarlar yapılarına, yaşadıkları dönemlere ait imgeleri aktarmaya başlamışlardır. Strüktürel ifadelerin yanında sembolik ifadelerin de mimarlıkta önemli olduğunun vurgulandığı bu dönemde çeşitli kavramlar da mimarlık disiplinde karşılık bulmuştur. Bu kavramların başında, ilk olarak Vitruvius'un ele aldığı *“tektonik”* terimi gelmektedir. Mimarlığı üç temel faktöre (sağlamlık, kullanılabilirlik, estetik) dayandıran Vitruvius, tektonik kültür üzerine yazılmış ilk metinlerinde *“techne”* kavramını özel bir araç ya da üretim şekli yerine doğru bir akıl yürütmeye dayanan ve insanın kendisi tarafından tasarlanmış bir şeyi ortaya çıkarmasını sağlayacak zanaat/sanat olarak tanımlamaktadır (Güncü, 2007).

19. yy'da kavrama farklı bir anlam kazandıran Alman yazar Karl Mürell tektoniği "...parçaların bir araya getirilmesiyle ilgili sanatsal eylem..." olduğunu ileri sürmüştür. Sanayileşmenin de başlangıcı kabul edilen, İngiltere'de ortaya çıkıp önce kıta Avrupa'sına, sonra da tüm dünyaya hızla yayılan ve aletli üretim yerine makinalı üretimin hâkim olduğu dönem olan I. Endüstri Devrinde yaşanan gelişmeler sonrasında Karl Bötticher (1806-1889) tektonik terimini bina/yapı için kullanarak mimari formun strüktürel ilkeler doğrultusunda biçimlendiğini savunmuştur. Mimarlıkta, fonksiyonel, kültürel ve strüktürel etmenlerin bütünlüğünü sağlama amacı olan "varlıkbilim - strüktür düzeni"(ontoloji) ve tek başına işlevsiz olarak yapının geri kalanından ayrılan "temsili - süsleme"(representation) arasındaki farkı ortaya koyarak mimarlık ve tektonik terimlerini birleştirmiş, arkitektonik (architectonic), bir yandan bilim ve teknolojiyi bir araya getirirken diğer yandan da sanatla bütünleştirmenin yolunu açmıştır (Schmidt, 2005). Gotik ve Yunan Mimarlığı üzerine araştırma ve incelemelerini yapmış olduğu "Die Tektonik der Hellenen" (The Tectonics of Greek) (1843-1852) isimli çalışmasında "tektonik" kavramını bir Yunan tapınağının tüm elemanlarını birleştiren ayrıntılı bir sistem olarak elen alan Bötticher, araştırmalarının sonucunda ikisinin birleşiminden oluşan üçüncü bir mimarlık ontolojisi önermektedir (Hartoonian, 1994). Gotik mimarlığından strüktürel özellikleri ile Yunan mimarlığından süsleme özelliklerini birleştirerek Alman tektonik kuramının temel unsurları haline gelen ana-form (core-form) ve sanat-form (art-form) ayırımını yapmıştır (Resim 2.1.1, Resim 2.1.2.). Ana-form (core-form-kernform); taşıyıcı sistemdeki çekirdektir ve sanatsal-form (art-form -kunstform) da bu çekirdeğin taşıyıcı sistemin yerleşmiş kültür geleneğini temsil ve sembolize etme görevinde olan dekoratif kaplamasıdır (Frampton, 1995).



Resim 2.1.1Kunstform - Yunan (Helen) Mimarisi - Aphaia Tapınağı (kunstform – sanatsal form) ve cephe görünüşü (URL-1, URL-2)



Resim 2.1.2:Kernform - Gotik Mimari - Notre Dame Katedrali ve cephe görünüşü (URL-3, URL-4)

I. Endüstri Devrinde, buhar, kömür ve demirin yanı sıra; çelik, elektrik, petrol ve kimyasal maddelerin de üretim sürecinde kullanılmaya başlamasıyla endüstrinin daha da gelişmiş olması, Bötticher'i de etkilemiştir. 19. yy'da yeni bir yapım malzemesi olan demirin kullanımı ile yakından ilgilenen Bötticher, yapılarda demir kullanımıyla daha geniş açıkların

geçilmesine ve böylece daha geniş mekanlar üretilebilmesine, dolayısıyla da yeni konstrüksiyon ve yapı formlarının tasarlanabileceğini belirtmektedir (Güncü, 2007).

Bötticher, “*Four Elements of Architecture*” isimli çalışmasıyla mimaride tektonik kavramını, kendi tanımlamış olduğu, her birini ya teknik ya da sembolik olarak ayrılabilen yapının dört bölümünde (*earthwork, hearth, framework/roof, light-weightenclosingmembrane*) ele alan Gottfried Semper’a öncü olmuştur. Semper’ın yaşadığı 19. yy’ın ikinci yarısında, ABD, Japonya gibi ülkelerde de hızla yaygınlaşarak dünyanın birçok bölgesini etkileyen II. Endüstri Devriminin etkisini göstermiştir. Semper (1851), bilim, endüstri ve sanatı kapsayan tektonik kavramını teknoloji ve mimarlığı bütünleyen bir kuram olarak ortaya atmıştır (Hartoonian, 1994). I. Endüstri Devrimi ile buharlı makinaların üretilip dokuma ve gemi sanayisinde kullanılması ardından II. Endüstri Devriminde seri üretime geçilmesiyle teknolojiye olan hayranlığı artan Semper, teknik ve sembolik konular arasında bir ayırım yaparak malzeme ve üretim yöntemi arasındaki tutarlılığın önemine değinmiştir. Ayrıca düğümü (*knot*) en eski ve konstrüksiyonun en orijinal yapısı olduğunu düşünen Semper, eklem yerlerine (*joint*) çok önem vermekte ve yapının güzelliğini ortaya çıkaran yapısal elementler arasında bir geçiş olduğu belirtmektedir (Andersson & Kirkegaard, 2006).

Semper’ın mimarlığa yaklaşımı ve mimarlığın doğası hakkında ortaya koyduğu görüşler, III. Endüstri Devriminde yaşanan teknolojik gelişmelerle tektonik terimine başka bir bakış açısı getiren Framton’un çalışmalarına da yön vermiştir.

1.2. Dijital Tektoniğe Geçiş

Tasarım/yapım/üretim süreçlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler sonucunda, yeni malzemelerin tasarlanması ya da var olanların farklı biçimde kullanılmasıyla malzemenin konstrüksiyonla eş zamanlı üretimi sağlanmış ve sonuçta yeni tektonikler ortaya çıkmıştır. Dört önemli endüstri devrinde yaşanan gelişmelerle sürekli gelişen teknoloji sayesinde sanayide üretkenlik artmış ve sonuç olarak mimarlık disiplininde paradigmatik değişimler meydana gelmiştir. 1970’lerin başında yaşanan III. Endüstri Devriminde; üretim süreçlerinin elektronik ve bilgi teknolojileri ile otomasyonun sağlanmasıyla; programlanabilir makinalar gelişerek endüstriyel robotlara dönüşmüş ve dijital devrim, elektroniklerin kullanımı ve Bilgi Teknolojilerinin (BT) gelişmesiyle de üretim otomatikleşmeye başlamıştır. Elektronik ve enformasyon teknolojilerine dayalı yüksek düzeyde otomasyonu içeren III. Endüstri Devrimini takip eden IV. Endüstri Devriminin ya da güncel kullanımıyla Sanayi 4.0 sadece otomasyondaki gelişiminin sağlandığı bir dönemdir. Teknolojinin fabrikasyon yöntemleri için günümüz adına getirdiği en büyük avantajlardan biri olarak geçen Sanayi 4.0 faydaları; kendi kendini yöneten *akıllı fabrika* olarak da kısa bir özet ile geçilebilmektedir. Sanayi 4.0 ile geleneksel fabrikalar dijital fabrikalara dönüşmekte ve otomasyon; maliyeti düşürmek ve üretimi hızlandırmak adına büyük bir avantaj sağlamaktadır. Üretimde maliyetler azalırken hız, kalite ve verimlilik artmasıyla günümüzde büyük önem taşıyan Sanayi 4.0 sayesinde yapay zekâ, büyük veri, bulut bilişim, robotik sistemler, makine öğrenimi, arttırılmış gibi kavramlar oluşurken siber-fiziksel sistemlerin otonom kararlar aldığı yapıların yaygınlaşacağı ön görülmektedir.

20. yy’da yaşanan endüstri devrimlerinin, teknolojiye olan etkisi göz önünde bulundurulduğunda, teknolojik gelişmelerden etkilenecek mimarlıkta “tektonik” kavramını inceleyen ve yeniden tanımlayan kuramcılardan biri de Frampton olmuştur. “*Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*” isimli kitabında, mimari morfolojik analiz yöntemi ile geçmiş mimarlığı kendi bakış açısıyla tekrar yorumlayan Frampton için mimarlık ilk ve öncelikli olarak yapının

taşıyıcı sistemi, daha sonrasında ise yüzey, hacim ve plana bağlı soyut bir söylem olarak ifade edilmektedir (Frampton, 1995). Materyal kültürü ve konstrüksiyon ayrımını reddederek bu iki kavramı birleştiren mimarlık görüşünü benimseyen ve dijital mimarlığın ortaya çıktığı dönemde “tektonik form” kavramını bir binanın tüm konstrüksiyon mantığını gösteren açık bir strüktür ve birleşimler yoluyla yük transferini yansıtan detaylardan ortaya çıkan bir form/biçim olarak tanımlayan (Jameson, 1997) Frampton’a göre, her binadaki tektonik potansiyel, yapının hem bütünsel hem de bilişsel yönlerini ifade etme kapasitesinden kaynaklanmaktadır (Nilsson, 2007). Frampton, Semper’in binanın sembolik ve teknik yönleri arasındaki ayrımına atıfta bulunarak, tektonik formun temsil ve ontolojik yönleri arasında ilginç bir ayrım yapmış ve mimarlık formunun yaratılmasının sürekli bir reformülasyon ihtiyacında olan bir süreç olduğunu belirtmiştir (Nilsson, 2007). Frampton, yapı çevrenin birbiriyle etkileşim içinde olan üç durumun sonucunda üretildiğini savunmaktadır: topos, yer; topos, yapı tipi ve tektonik. Frampton'a göre tektonik, kendi disiplini dışındaki söylemlerde mimariyi tanımlamaya yönelik mevcut eğilimlere karşı koymak için en uygun durumdur. (Nilsson, 2007).

Dijital tektoniğe geçiş, dijital araçların her yerde bulunmasının doğrudan bir sonucu olmuştur. Bilgisayar programları aracılığıyla kullanılması yaygınlaşmış yeni teknik ve araçlar, hem mühendislik hem de mimarlık disiplininde karmaşık şekillerin özellikle karmaşık formlardaki yapıların tasarımı ve üretim alanlarında yenilikçi ve devrimsel nitelikteki çalışmalara yön vermiştir. Söz konusu teknolojilerle şekillenen bu tasarlama ve üretme biçimleri kendi tektoniğini yaratmaya başlamış ve “dijital tektonik” olarak adlandırılabilir yeni yapma biçimleri, mimarın malzeme ve strüktürle olan diyalogunu da yeniden biçimlendirmiştir.

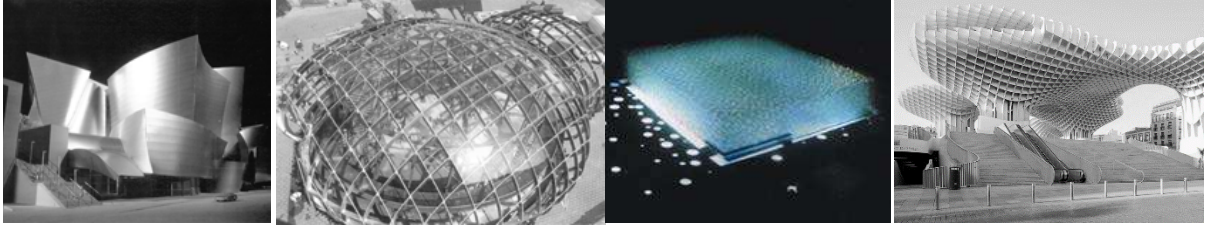
Geometrik olarak serbest formların dijital oluşumlarının yeni olanakları birçok mimarın eğrisel yapı oluşturmaya ilham vermektedir. Dijital araçların ortaya çıkmasından kaynaklanan stilistik kırılma, yapısal teknoloji, süreklilik ve morfoloji kavramını görünüşte reddeden mimarlıkla sonuçlanarak mimarlığa klasik ya da temsili yaklaşım kullanılmaya başlanmıştır. Dijital araçların ortaya çıkmasıyla verilen yeni olasılıklara çok farklı yaklaşımları temsil eden yapılar arasında Frank Gehry tarafından tasarlanan Los Angeles'taki *Walt Disney Concert Hall*, Franken Architects tarafından tasarlanan *BMW Pavilyon*, PTW tarafından tasarlanan *National Swimming Centre* ve J. Mayer Architects tarafından İspanya Seville’de yapılan *Metropol Parasol* bulunmaktadır (Resim 2.2.1 -URL - 5).

Frank Gehry’nin Los Angeles’taki Walt Disney Concert Hall’a yönelik projesi, mimari taş işçiliği yapmak için CAD / CAM’ın ilk kapsamlı kullanımını temsil etmektedir. Gehry’nin Bilbao projesinde yapının destekli çerçeveli ve ikincil çelik yapıları da dahil olmak üzere yapısal çeliklerin kapsamlı bir dijital modelini otomatik olarak oluşturarak çeşitli bileşenleri hassas bir şekilde kesmek ve önceden birleştirmek için imalat çizimlerini veya CNC verilerini otomatik olarak üretmek için kullanılan BOCAD adlı bir yapısal çelik detaylandırma yazılımı programını(ve fabrikasyon) aracılığıyla Walt Disney Concert Hall projesini gerçekleştirmiştir.

2000’li yılların başlarında tamamlanmış Franken Architects tarafından gerçekleştirilen BMW Pavillion, ikonik bir yapı biçimindedir. Su damlasından ilham alınan bu formu oluşturmak için simülasyon bilgisayar programları kullanılmıştır. Kabarcık, tasarımdan konstrüksiyona kadar tümüyle dijital yollarla yapılmış olan dünyadaki ilk yapılardan biridir.

2003 yılında Pekin’deki Olimpiyatlar için PTW Architects tarafından tasarlanan National Swimming Centre örneğinde, konsept, binanın hem yapıcı hem de mekânsal sistemini tanımlayan su köpüğünün üç boyutlu yapısına dayanmaktadır. Böylece bina, farklı işlevler için oyulmuş alanlar olan bir su molekülünün köpü olarak açıklanabilir.

Dünya'nın en büyük ahşap yapılarından ve en yenilikçi projelerinden biri olan, 2011 yılında tamamlanan Metropol Parasol mimarlıkta iki boyutlu kesme teknolojilerini kullanarak üretilen öncü örneklerden biri olarak bahsedilebilir. Metropol Parasol, farklı malzemelerin çeşitli mimari ve yapısal taleplerine bağlı olarak yapıda kullanılmasıyla hibrid bir strüktüre sahiptir.



Resim 2.1.1: Dijital olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş binalar - Walt Disney Concert Hall, BMW Pavillion, National Swimming Centre ve Metropol Parasol (Andersson & Kirkegaard, 2006) (URL – 5)

Dijital, sanal, soyut ve doğa yasalarından arındırılmış olarak, tektonik ise dokunsal, somut ve daha önce tarif edildiği gibi, doğa yasalarının bir tepkisi olarak ortaya çıktığı düşünüldüğünde dijital ve tektonik terimlerinin birbirleriyle çeliştikleri sonucuna varılsa da, dijital tektonik terimini tektonik kavramından ayırmak mümkün değildir. Tektonik kavramında olduğu gibi, dijital tektonik teriminin yorumlanması konusunda da birçok farklı görüş bulunmaktadır. Dijital tektonik kavramının tanım önerilerinden biri “*dijital olarak tasarlanmış, strüktürel olarak açıklanmış ve doğrudan üretilmiş mimarinin bütünsel ifadesidir.*”(Andersson & Kirkegaard, 2006).

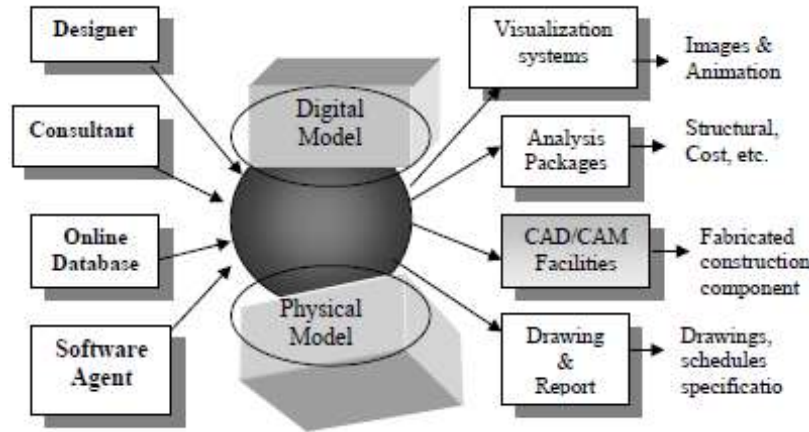
Dijital ve klasik öğelerle süreçleri birleştiren yeni tektoniğin daha sistematik yapısı olan dijital tektonik çalışmalar, dijital teknolojiyle birlikte geleneksel mimarlık disiplindeki dramatik değişimi fark ederek, mimarlık disiplindeki dijital teori anlayışını değiştirmiştir (Liu & Lim, 2006). Dijital teknolojilerle beraber değişen yapısal gelişmeler; strüktürel teknoloji, süreklilik ve morfoloji kavramlarını da değiştirerek mimarlık disiplinde klasik veya temsili yaklaşımın önu açılmıştır.

Sonuç olarak sanayi ve teknolojinin gelişimi, insanlığın varoluşundan bu yana toplumların davranışları üzerinde etkili olmuştur. Sanayi devrimlerinin etkisiyle de insanların yaşam koşulları, sosyo-ekonomik durumları, tüketici davranışları, algıları köklü değişime uğradıkça ihtiyaçları da değişiklik göstermiştir. Buharlı makinelerin geliştirildiği I. Endüstri Devrimi'nden sonra II. Endüstri Devrimi'nde elektriğin bulunması ile de fabrikalarda seri üretime geçilmiş ve III. Endüstri Devrimi'nde teknolojinin gelişimine bağlı olarak bilgisayar ve bilgi/iletişim teknolojileri (BT) ilerlemiş ve otomasyon teknolojilerinin gelişmesi ile de endüstriyel robotlar geliştirilmiştir. Günümüzde yaşanan IV. Endüstri Devrimi yani Sanayi 4.0 ile kendi kendini yönetebilen dijital-akıllı fabrikalar sayesinde üretimde maliyet azalırken hız ve verimliliğin arttığı ve yapay zekâ, otonom robotlar, bulut sistemi gibi kavramların olduğu dijital çağ yaşanmaya başlamıştır. Sanayi 4.0 ile mimarlık disiplinde, bilgi ve teknolojilerin kullanımı sayesinde strüktür/konstrüksiyon/malzemenin bir bütün olduğu ve eş zamanlı üretimlerinin sağlanabildiği görülmektedir.

Dijital tektoniklerin geliştirildiği bu dönemde bilgisayarlı tasarım ve üretim teknolojileri ile karmaşık tasarım problemlerine yeni çözümler sunulabilmektedir. Dijital üretken süreçler, formun ortaya çıkan ve uyarlanabilir özelliklerine odaklanmış bir mimari morfolojiyi eklemleyerek, kavramsal, biçimsel ve tektonik araştırma için yeni bölgeler açmakta (Kolarevic, 2003) ve böylece önem, “*form oluşturma*” dan, çeşitli dijital tabanlı üretken tekniklerin ortaya çıktığı “*biçim bulmaya*” doğru kaymaktadır.

2. 21. yy. Teknolojileri ve Mimarlıkta İleri Otomasyon Kullanımı

Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojilerindeki ilerlemeler, 1990'ların ortalarından beri binaların tasarımı ve inşaatı üzerinde bir etkiye sahip olmaya başlamıştır. Sayısal tasarım ve imalat (CAD/CAM) araçlarının ve teknolojilerinin 21. yüzyıldaki gelişimi, mimarlar, mühendisler ve ilgili tüm paydaşların tasarım ve yapımdaki sorunları çözmek için yeni hesaplama araçlarını ve ileri otomasyon teknolojilerini entegre etmelerini teşvik etmiştir. En son teknolojiler ve yenilikçi materyaller mimarların, “tasarım ve üretim” in geleneksel yöntemlerini en uygun hale getirmek için yeni bir süreci - tasarım sürecini tasarlamak - takip etmelerini sağlamaktadır. Bu ilerlemeler durumunda, sayısal tasarım ve üretim teknolojileri mimarları yeni inşaat yöntemleri hakkında düşünmeye zorlamış ve sonuç olarak daha yaratıcı ve daha üretken yapılar tasarlamak mümkün olmuştur. Tasarımcıların düşünceleri ve teknik danışmanlar arasında çevrimiçi veri tabanı ve sanal etkenler tarafından sağlanan bütünleşik görevlerin hepsi dijital/fiziksel modeller üretmek için girdiler oluşturmakta ve bu modellerin çıktıları da CAD/CAM araçları tarafından yapılan çizimler, görüntüler, animasyonlar, VIR, analitik raporlar, fabrikasyon yapı bileşenleri vb. olarak oluşturulmaktadır (Resim 3.1) (Mitchell, 1995).



Resim 3.1: Dijital Modele yönelik entegre roller(Mitchell, 1995)

CAD ve CAM teknolojilerin, yakın zamana kadar tasarım, üretim ve montaj için çok zor ve pahalı olan çok karmaşık mimari yapıların oluşturulması için yeni fırsatların önünü açmasıyla dijital araçlar, tasarımcıya en başından itibaren düşünme sürecinde destek olabilmektedir.

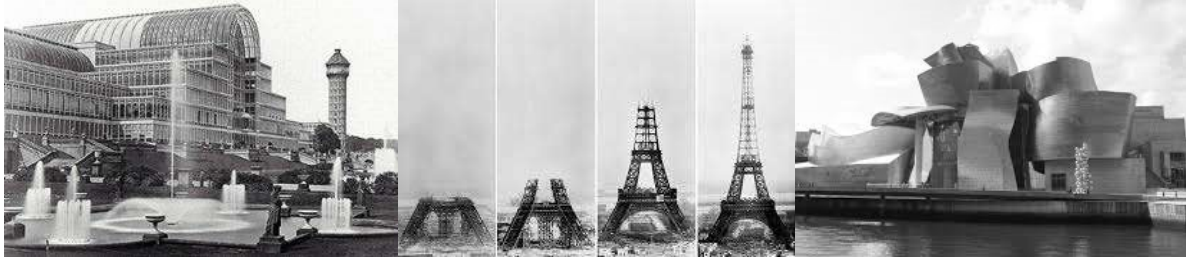
Çalışmanın bu bölümünde CAD/ CAM teknolojileri aracılığıyla gelişmekte olan hesaplamalı tasarım ve üretimin günümüzde gelmiş olduğu nokta irdelenmiştir.

2.1. Hesaplamalı Tasarım – CAD

Tüm mimarların amacı, düşünüp tasarladıkları yapıyı inşa etmektir çünkü “mimarlar inşa edebilecekleri şeyi çizmek isterler ve çizebilecekleri şeyi inşa ederler.” (Seely, 2004). Dijital teknolojilerin gelişimiyle, karmaşık yapı üreterek mimarlık disiplinine katkıda bulunmak isteyen mimarlar ve mühendisler tarafından görselleştirilen herhangi bir şeyin tasarlanıp inşa edilmesi mümkün olmuştur. Hesaplamalı tasarım ve dijital üretim yöntemleri, form ile malzeme arasındaki ilişkiyi ve dolayısıyla tasarım ve inşa edilecek yapının görüntüsü arasındaki bağlantıyı arttırmış ve bu görüntünün gerçekleşmesini sağlamlaştırmıştır.

20. yüzyılın sonlarına doğru bilgi teknolojilerinin gelişmesiyle bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojilerindeki ilerlemeler bina tasarımı ve

yapı uygulamaları üzerinde bir etki yaratmaya başlamıştır. Dijital teknolojilerle tasarımdan yapıya doğrudan bir bağlantı olan yeni bir dijital süreklilik kurulmasıyla, geleneksel yapı teknolojilerini kullanarak tasarlanması, üretilmesi ve birleştirilmesi çok zor ve pahalı olan karmaşık yapıların üretilmesi ve inşası için yeni fırsatlar oluşturulmuştur. Sanayi devriminin etkisiyle cam ve demir gibi yeni malzemelerin mimarlık disiplininde kullanılmaya başlamasıyla malzemenin önem kazandığı yapıların başında gelen Kristal Saray ve Eiffel Kulesi yapılarının Bilgi Çağının başlatmasını, Frank Gehry'nin Bilbao'daki Guggenheim Müzesini tasarlayarak dijital bilgi teknolojilerinin önünü açması takip etmiştir (Resim 3.1.1). Dijital Bilgi Çağında, daha önceki Sanayi Çağı gibi, sadece yapıların nasıl tasarlandığı değil, aynı zamanda yapıların nasıl üretilip inşa edildiği de önem taşımaktadır.



Resim 3.1.1: Kristal Saray (URL – 6), Eiffel Kulesi (URL – 7), Guggenheim Müzesi (URL – 8)

Dijital teknolojilerle tasarımdan yapıya doğrudan bir bağlantı olan yeni bir dijital süreklilik kurulmuştur. Dijital medyanın üretken ve yaratıcı potansiyeli, otomotiv, havacılık ve gemi inşaat sektörlerinde elde edilen üretim ilerlemeleriyle birlikte gelişen, dijital olarak yönetilen tasarım süreçleri, mimari tasarımda yeni boyutlar açmış, “mimarının kendini yeniden ortaya koyması, kısmen topolojik geometrilerin deneysel bir araştırması haline gelmesi, kısmen robotik materyal üretiminin sayısal olarak düzenlenmesi ve kısmen de mekana üretici kinematik bir şekil verme haline gelmesiyle oldukça zenginleşmiştir.

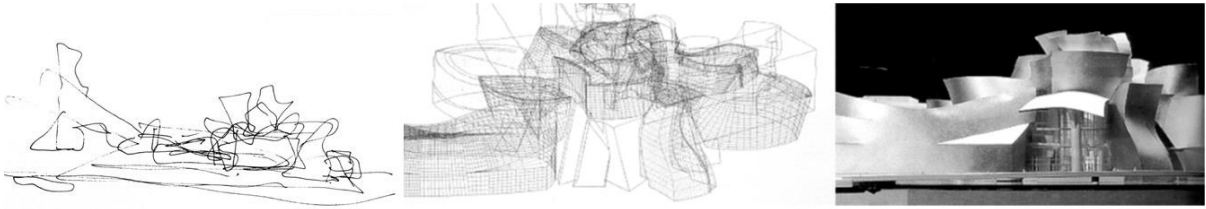
Dijital teknolojilerin mimarlık disiplininde kullanılmaya başlamasıyla tasarımda olduğu gibi üretim biçimlerinde de yenilikler yaşanmıştır. Bu yenilikler bilgisayar destekli araçlar sayesinde tasarım sürecini farklılaştırdığı gibi üretim sürecinin de dijital ortam yardımıyla tamamlanmasını sağlamıştır. Bilgisayar destekli teknolojilerin gelişerek mimarlık disiplininde kullanılmasıyla hem daha hızlı hem de hatasız sonuçlar alınmış ve bu sayede mimarlar karmaşık yapı tasarlayıp üretme konusunda cesaretlenmiştir. Aynı zamanda mimarlar mühendislik, biyoloji, matematik, paleontoloji gibi farklı disiplinlerden araştırmacılarla disiplinler arası çalışmaların önü açılmıştır. Bilgisayar tabanlı teknolojiler aracılığıyla gerçekleştirilen “tasarım sürecinin tasarımı”, mimarlara çok disiplinli bir ortamda çok sayıda alternatifin sınıandığı, önceden alınmış kararlara yanıt veren yeni teknik ve üretim biçimleri ile sonuç ürünün oluşturulduğu hesaplamaya dayalı bir ortam sunmaktadır (Orhun ve Özcan, 2014).

2.2. Hesaplamalı Üretim – CAM

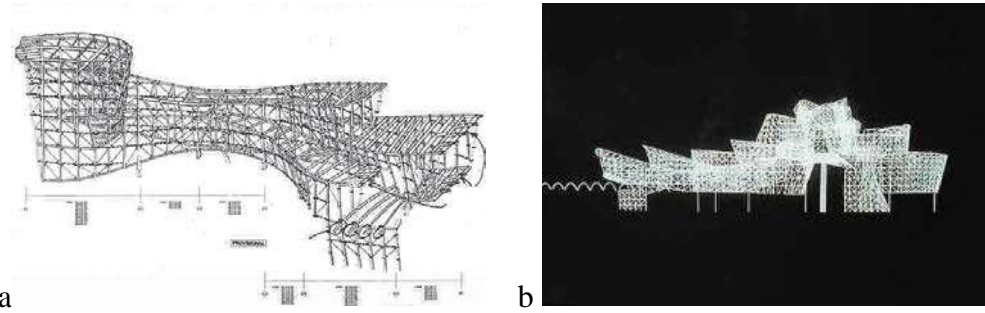
Dijital teknoloji çağı kavram ve üretim arasındaki ilişkiyi radikal bir şekilde yeniden yapılandırıp neyin tasarlanabileceği ve nelerin inşa edilebileceği arasında doğrudan bir bağ oluşturmuştur. Sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarları yeni inşaat yöntemleri hakkında düşünmeye zorlamasıyla, bugün yapı projeleri sadece dijital olarak değil, bilgisayarlı sayısal kontrol ile (CNC) üretim teknolojilerinin “dosyadan fabrika” (*file to fabrication*) süreçleri ile dijital olarak gerçekleştirilmektedir.

Dijital üretim, bazı yapım yöntemleri ile binaların inşaat süresi boyunca malzeme kullanımı için bilgisayar destekli bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Dijital yöntemler, kullanıcı tarafından –tasarımcı, mühendis vb.- bilgisayara verilen bilgilerle başlar ve makine bilgileri aldıktan sonra durur (Sabur ve Arslan Selçuk, 2017).

Mimarlık disiplininde dijital üretimi ilk kullanan Frank Gehry'dir. Tasarımının üretimini, Fransız havacılık endüstrisi (*Dassault Systems*) için geliştirilen uçakların tasarımı ve üretimi için üç boyutlu modelleme ve üretim programı olan CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application-Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Etkileşimli Uygulama*) ile tamamlamış ve böylece dijital üretim mimarlık disiplininde inşa edilmiş bir yapı geliştirmek ve inşa etmek için kullanılmıştır. Gehry gibi bazı tasarımcılar için, fiziksel modelin doğrudan dokunsallığı, bilgisayar ekranında yüzeylerin “düz” bir dijital manipülasyonundan daha çok tercih edilen bir tasarım yöntemidir. Gehry'nin durumunda, dijital teknolojiler bir kavram aracı olarak değil, fiziksel modelin geometrisini girdi olarak alan ve dijital olarak kodlanmış, çeşitli üretim makineleri tarafından kontrol bilgisini kullanarak sonuç ürün veren bir aktarım aracı olarak kullanılmaktadır (Kolarevic, 2003) (Resim 3.2.1).



Resim 3.2.1: Gehry tarafından Guggenheim Bilbao Müzesi için tasarım süreci (Kolarevic, 2003)



Resim 3.2.2: (a) Guggenheim Müzesi (1997), Bilbao, İspanya, mimar Frank Gehry'nin çelik yapısı ve çelik detaylandırma programı Bocad (Kolarevic, 2003) (b) Guggenheim Müzesi CATIA çizimi (URL – 9)

Tasarım ve yapım süreçleri uygulanarak malzemenin manipüle edilmesi ve mimarın mevcut kimliğinin değiştirilmesi için mevcut yolu değiştirecek devrimci potansiyele sahip yöntemler geliştirilmiştir (Sabur ve Arslan Selçuk, 2017).

Dosyadan fabrikaya sürecinde sayısal kontrole dayalı üretim teknikleri kullanılır. Kolarevic dijital üretim teknolojilerini 4 grupta incelemektedir:

- İki boyutlu üretim (CNC kesim işlemleri) (*2d cutting*)
- Çıkarma işlemine dayalı üretim (katı objelerin frezelenmesi) (*subtractive*)
- Ekleme işlemine dayalı üretim (katmanlı üretim/ serbest biçimli katı obje üretimi/ hızlı prototipleme) (*additive*)

- Biçimlendirmeye dayalı üretim (*formative*)(Kolarevic, 2003).

Bunların yanında özellikle 3d yazıcı teknolojilerinin ve robotların yapım sürecine entegrasyonu ile birlikte, -robotik dronlar, tuğla robotları, kaynak robotları, exoskeletonlar, forklift robotları, humanoidler vb. - geleneksel yapı malzemeleri montaj ve ilgili bağlantı detayları açısından gelişmeler yaşanmaktadır.

İki boyutlu üretim (2d cutting)

Mimari üretim yönteminde en çok kullanılan iki boyutlu kesimdir. Çeşitli kesme teknolojileri var. Bu üretim yöntemi - plazma-yay, lazer-ışın ve su püskürtme gibi - kesme kafasına göre tabaka malzemenin iki eksenli hareketini içerir, hareketli bir kesme kafası, hareketli bir yatak ya da ikisinin kombinasyonu olarak uygulanır (Afify & Elghaffar, 2007).

Çıkarma işleme dayalı üretim (subtractive)

Subtractive, üç boyutlu bir nesne yapmak için mekanik, elektriksel ve kimyasal olarak kullanılan bir materyal çıkarma işlemidir. *Subtractive*, veya “malzeme çıkarma işlemleri”, istenen nesnenin nihai boyutundan daha büyük bir katı malzeme bloğu ile başlar; gereksiz malzeme istenen şekle ulaşılan kadar artarda kaldırılarak üretimin gerçekleştiği bir yöntemdir. Çok eksenli CNC freze robotları, heykelleri, köpük kalıpları şekillendirmek veya göçertme yaparak alan yaratmak için yapılabilir (Afify & Elghaffar, 2007).

Ekleme işleme dayalı üretim (additive)

Bu yöntemde ilke, dijital modelin iki boyutlu katmanlara dilimlenmesidir. Her katın bilgisi daha sonra imalat makinesinin işlem kafasına aktarılır (Stucker, Gibson, & Rosen, 2010). Bu dijital üretim kategorisi en çok hızlı prototipleme olarak bilinir. Bununla birlikte, tüm katkı süreçleri, dijital tasarım bilgisini bir dizi iki boyutlu katmana dönüştürmek temelinde çalışır. Her bir katmanın verileri daha sonra imalat makinesinin kafasını yönlendirmek için kullanılır ve fiziksel nesne, biriktirme katmanlama işlemiyle yapılır (Dunn, 2012).

Biçimlendirmeye dayalı üretim (formative)

Malzemeyi çıkarmak ya da inşa etmek yerine, biçimlendirici üretim süreçleri, materyalleri gerekli arzu edilen şekil ile yeniden şekillendirmek ya da deforme etmek için mekanik kuvvetleri kullanır. Bu işlemlerde ısı veya buhar tipik olarak kullanılır, böylece malzeme daha esnek hale getirilir ve sonra soğutulduktan sonra yeni geometrisini korur (Dunn, 2012).

3. Sonuç

Tektonik, mimarlık disiplininde birkaç yüzyıldır kullanılan tektonik terimi hem bina sanatının somut hem de soyut yönlerini ifade eder. Tektonik terimi kapsamına giren ana konular, *malzeme ve konstrüksiyon* arasındaki etkileşim ve yapının *strüktür* ile bağlantısı olarak görülmektedir. Yapılar, geleneksel mimarlık disiplininde bileşenlerin bir araya gelmesi olarak düşünülürken, mimarlıkta tektonik, montajın strüktürel açıklığını, malzemeyi ve detayı belirtmektedir. Tektonik, bina için sadece bir başka kelime değildir, aynı zamanda, mimarlığın üretimini, malzeme ve yapı yöntemlerinin bilinçli bir şekilde kullanılmasıyla

geliştirilebilecek bir kültürel ifade olarak görürken, ontoloji ve temsil arasındaki ideal ilişkiyi de ifade eder. Dört önemli endüstri devrinde yaşanan gelişmelerle mimarlık disiplininde meydana gelen paradigmatik değişimlerin başında yeni malzemelerin tasarlanması ya da var olanların farklı biçimde kullanılmasıyla malzemenin konstrüksiyonla eş zamanlı üretimi sağlanması ve sonuçta yeni tektoniklerin ortaya çıkması gelmektedir. 20. yy'da yaşanan 4. Endüstri Devriminin etkisinde kalarak tektonik terimini kendi bakış açısıyla tekrar yorumlayan Frampton, yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde dijital tektonik kavramına değinmiştir. Bunların sonucunda, otomatik üretim süreçlerinin ortaya çıkışı ile de sanal simgeleri doğrudan fiziksel yapılara çevirme olasılığı; dijital olarak tasarlanmış, strüktürel olarak belirgin ve doğrudan imal edilmiş mimarinin bütünlüğü olarak ifade edilebilen dijital tektoniği meydana getirmiştir. Günümüzde yaşanan bilgi ve teknoloji gelişmelerine bakıldığında dijital mimari araçların ortaya çıkmasıyla, mimarların yapı sanatını değiştirmek ve geliştirmek için fırsatları olmuştur. Son yıllarda, hemen hemen bütün düşünülebilir özellikleri bir araya getirerek, malzeme oluşturmak mümkün hale gelmesiyle konstrüksiyon ve strüktür mantığı da değişmiştir. Aynı zamanda, bilgisayar teknolojisi ile de daha önce tamamlanması imkânsız olan yapıların tasarlanıp üretilmesi mümkün kılınmıştır.

Kaynaklar

- Afify, H., & Elghaffar, Z. A. A. (2007). *Advanced Digital Manufacturing Techniques (CAM) In Architecture Authors*. Paper presented at the Proceedings of the 3rd International ASCAAD Conference.
- Andersson, I. K., & Kirkegaard, P. H. (2006). *A Discussion Of The Term Digital Tectonics*. WIT Transactions on The Built Environment, 90.
- Dunn, N. (2012). *Digital Fabrication In Architecture*. London: Laurence King Publishing.
- Frampton, K. (1995). *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, London: MIT Press.
- Güncü, A. (2007). *Yüksek Binalarda Yapı Kabuğunun Tektonik Kurgu Değişiminin Analizi*. Doktora Tezi.
- Hartoonian, G. (1994). *Ontology of Construction-On Nihilism of Technology in Theories of Modern Architecture*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jameson, F. (1997). *The Constraints of Postmodernism, Rethinking Architecture: A Reader in Cultural Theory*, Leach, N., London: Routledge Press
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture In The Digital Age. Design And Manufacturing*. New York and London, Taylor & Francis.
- Liu, Y.-T., & Lim, C.-K. (2006). *New Tectonics: A Preliminary Framework Involving Classic And Digital Thinking*. Design Studies, 27(3), 267-307.
- Mitchell, M. (1995)..*Digital Design Media*, New York, Van Nostrand Reinhold.
- Nilsson, F. (2007). *New Technology, New Tectonics?-On Architectural And Structural Expressions With Digital Tools*. Paper presented at the Tectonics-Making Meaning. Conference Proceedings.
- Orhun, D., Özcan, N., (2014). *Sayısal Tasarım- Mimarlıkta Morfogenetik Tasarım ve Öncü Örnekler*, Mimarlık, 376.

- Sabur, H.B., Arslan Selçuk, S. (2017). *New Construction Methods and Hybrid Tectonics: Robotics in Architecture*. International Conference on Civil Environmental Engineering (ICOCEE-Cappadocia) Nevşehir, Turkey, May 8-10 2017.
- Schmidt, A. M. D. (2005). *Digital Tectonic Tools*. Paper presented at the Proc. Of the 23rd eCAADe Conf. on Digital Design, eds. JP Duarte, G. Ducla-Soares and AZ Sampaio.
- Seely, J. C.K. (2004). *Digital Fabrication in the Architectural Design Process*, Master Thesis, Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, ABD.
- Stucker, B., Gibson, I., & Rosen, D. (2010). *Additive Manufacturing Technologies*. Springer.

URL – 1:<https://www.flickr.com/photos/healinglight/2399246472>

URL – 2:<https://www.flickr.com/photos/psulibscollections/5832438303>

URL – 3:<https://www.slideshare.net/gwfreeman/gothic-art-10506560>

URL – 4:<http://www.medart.pitt.edu/menufrance/chartres/plandraw.html>

URL – 5:<https://www.enfrentearte.com/metropol-parasol-seville/>

URL – 6:<https://www.dobrenoviny.sk/c/18344/cinsky-miliardar-chce-v-londyne-opat-postavit-krystalovy-palac>

URL – 7:<http://irannewsdaily.com/eiffel-tower/>

URL – 8: <https://www.spanishcontemporaryart.gallery/guggenheim-museumbilbao/>

URL – 9: <http://www.photogether.chez-alice.fr/albums/juil01/gehry.html>