

SAYISAL TEKNOLOJİLERİN TEKSTİL TASARIM ve ÜRETİM SÜREÇLERİNE ETKİSİ

Şükran ÖZKAN
sukranozkan@hotmail.com.tr

ÖZET

Bilim ve teknolojinin etkileşimi ile gelişen, üretken sanat yaklaşımından beslenen sayısal tasarım, bilgi devrimiyle hayatımızın her alanına girmiş olan kod, yazılım ve elektronik tasarımın tekstil tasarım ve üretim süreçlerine etkisi araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Teknoloji ve bilgi ile çalışma kabiliyetimizi arttırmakta, aynı zamanda yeni ve farklı düşünme biçimlerinin de önünü açarak yaratıcılığın ve özelleştirilmiş tasarım ürünlerin gelişimini desteklemektedir. Araştırmada, tekstilde sayısal ve hesaplamalı tasarımın, çağdaş sanatın kreatif etkisiyle, teknoloji ve sayısal imalat yöntemlerinin avantajlarıyla harmanlandığı, yapıt niteliği taşıyan özelleştirilmiş ürün örneklerine yer verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Üretken Sanat, Elektronik Tekstil, Hesaplamalı Tasarım, Yaratıcı Kodlama, Sayısal Üretim.

ABSTRACT

The subject of research is the digital design which is fed by the generative art approach developed by the interaction of science and technology, and by the information revolution the code, software and electronic design which have entered into every field of our life, have an influence on textile design and production processes. It enhances our ability to work with technology and knowledge, and at the same time supports the development of creativity and customized design products by opening new and different ways of thinking. The research will include examples of customized products with artistic qualities blended with the digital and computational design of the textiles, the creative impact of contemporary art, and the advantages of technology and digital manufacturing methods.

Keywords: Generative Art, Electronic Textile, Computational Design, Creative Coding, Digital Production.

1.GİRİŞ

20.yy.'ın başında plastik sanatlarda biçim ve içerik açısından büyük değişim yaşandığı görülmüştür. Endüstrileşmenin etkisiyle Kübistler, geleneksel malzemelerin yanında kolaj ile teknolojik her türlü nesnelere ve malzemelere katarak ürettikleri yapıtlarıyla, sanatta yeni yaklaşımların önünü açmış, M.Duchamp (ready-made) ile tepkisini dile getirirken, Kandinsky'nin duyguyu bütünüyle motifsiz ifadesi, soyutlamanın temellerini atmıştır.

Tekstil tasarım ve üretim teknikleri, özellikle Bauhaus döneminde 20. yy. sanat anlayışıyla paralellik gösterdiği görülmektedir. Bauhaus'un sanatsal değeri yüksek duvar dokumaları tapestryler P. Klee, A. Albers, O. Berger, G. Stölzl gibi sanatçılar tarafından üretilmiştir. J.Miro gibi sanatçıların eserlerinin etkisi dönemin iç mekan tekstillerinde güçlü bir şekilde hissedilmiştir.

Bauhaus'un anlayışı ile sanat, müze ve galerileri kısıtlamasından kurtulup insanın gündelik yaşam alanı içine, kentin sokaklarında yer almaya başladığı görülmüştür. Sanatçı, tavır koyan, düşünen, araştırmacı kişiliğini, malzeme kullanımıyla dile getirirken, sanat uygulamalarının kolaj, asamblaj, hepining olarak çağdaş sanat ortamında yer aldığı görülmektedir. Tekstil sanatı çağına paralel bir gelişimle geleneksel sınırlarını aşarak, disiplinler arası etkileşimi, sanatçının deneyselliği, tasarım ve teknolojinin sunduğu imkânların da kullanımıyla, özgün yapıtlarla plastik anlatımlara dönüştür. 1960'lı yıllarda tekstil, resim ve heykelin çizdiği sınırları zorlayarak yeni bir çağdaş sanat alanı tanımlarken, sanayi üretimi için yeni fikirlerin doğuşuna da önyak olmuştur (Özkan, 2011).

1950'li yıllarla birlikte yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmelerin etkisi özellikle iletişim ve bilgisayar teknolojilerine dayanan sanat uygulamalarının ortaya çıkmasıyla görülmüştür.

Örneğin; Ernest Edmonds'ın, 1960'lı yıllarda daha ilginç bir sanat üretebileceğini düşüncesiyle, fırça ve şövaleden bilgisayara geçtiği görülmüştür (Boden, Edmonds, 2010). Sayısal medyanın sunduğu potansiyel ve popülerite İzlenimciler, Kübistler ve Fütüristlerin çalışmalarıyla elde edilen görsel efektlerin 2D görüntüleme yazılımı ile oluşturulmasına olanak tanınmasıyla ve birçok alanda olduğu gibi geleneksel sanat süreçlerinede değişim getirmiştir (Braddock, Harris, 2012).

Sanal mekanda görsel fikirlerin gelişimi sürecinde sanatçıların kavram ve imaj üretmek için yeni yaklaşımlar sergilediği görülmektedir. Bilgisayarlar karmaşık imajların geliştirilebileceği, sanatçıların arasındaki işbirliğinin kolaylaştırıldığı ve fiziksel işleme ve hazırlama için yeni yöntemlerin geliştirildiği zengin ortamlar sunmaktadır (Treadaway, 2015). Bilgisayarların gerçekleştirdikleri simülasyonlar, doğanın yeni görünümüne izin vermekte, hayal gücü izleyiciyi gerçeğin yanı sıra geçmişten de ayırmakta, gelecekle yüzleştirmektedir (McCormack, 2003).

1940'lı yıllardan başlayarak, bilim ve mühendislik alanlarında çalışmaya yardımcı olmak için geliştirilen kod ile çalışmaya, sanatçı, tasarımcı ve mimarların yaklaşımının farklı olarak geliştiği görülmüştür. Sanatta kodla düşünme yaklaşımı, 1950'ler ve 1960'larda sistem estetiği gibi yazılım ve yazılımla ilgili temaları denemeye başlayan sanatçıların çalışmaları yoluyla ortaya çıkarılmıştır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

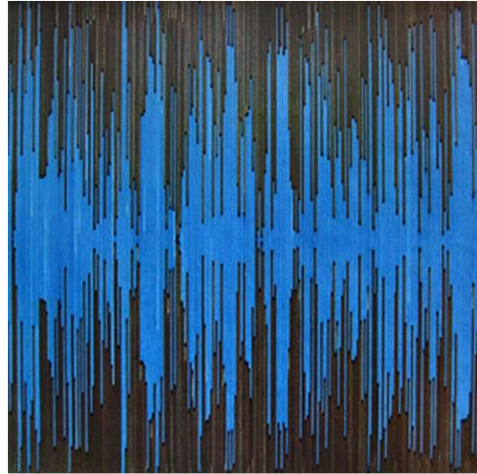
1950'li yıllarda, birkaç araştırmacı Shannon ve Weaver'ın bilgi teorisini psikolojiden daha iyi bir anlayış sunabileceği düşüncesiyle estetiğe uygulama girişiminde bulunmuş, "bilgi estetiği" teorisinin hem analiz hem de sentez için kullanılabilmesine değinmiştir. Alman filozofu Max Bense, bilgi teorisini estetik eserler ile ilişkilendiren bir 'üretken estetik teorisi' geliştirmiştir. Burnham, sistem estetiğinin sanat için yeni ve üstün bir yol olduğu düşüncesini bilimin ve teknolojinin felsefelerinde, özellikle de sistem teorisi ve sibernetikte izlemiş, ilerleyen yıllarda, sistemler estetiğinin, sanat için baskın bir paradigma haline geldiği görülmüştür (McCormack, 2003). Bu keşifler ilk olarak 1968'de Londra Çağdaş Sanatlar Enstitüsünde yapılan "Sibernetik Serendipity" ve 1970'de MoMA da "Yazılım Bilgi Teknolojisi" sergisiyle halka tanıtılmıştır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

"Yazılım sergisinin küratörü Jack Burnham, sergilenen eserleri "iletişim ve enerji alışverişi"

altında yatan yapılarla ilgilenen işlemsel olan sanat" olarak tanımlamıştır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

1.1. Üretken Sanatın Çağdaş Tasarım ve Üretim Yaklaşımlarına Kreatif Etkisi

Bilim ve teknolojinin, sanat dünyası üzerindeki etkisinin artmasıyla, 1950'ler ve 1960'lı yıllarda üniversite laboratuvarlarında ve sanatçı stüdyolarında başlayan bu sanatın kümülatif etkinin teknolojik kültür üzerinde derin etkisi olmuştur. Dolayısıyla, yaşanan yeniliklerin büyük kısmı, güzel sanat düşüncesi altında değil, ancak popüler kültür endüstrisinde çalışan kişiler tarafından (bilgisayar grafik, film, müzik videoları, oyunlar, robotik ve internet) gerçekleştirilmiştir (McCormack, 2003). Bu yeni yaklaşımlar teorik ve metodolojik açıdan ilişkili olup, genellikle bilgisayar sanatı, elektronik sanat veya üretken sanat etiketleri altında toplanmıştır (Boden, Edmonds, 2010).



Resim 1. Plotter çizimi ve taş baskı (Georg Ness, 1970)

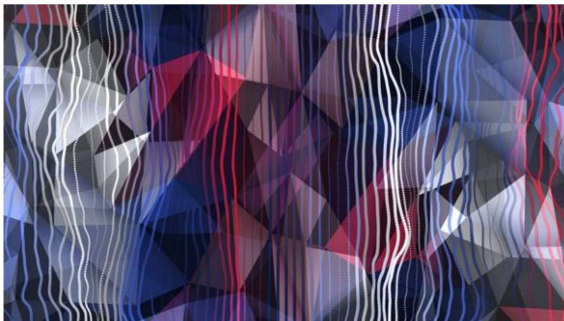
Üretken sanat alanı, kavram biliminden ve özellikle yapay zekadan beslenmekte olup, 1950'lerde sibernetik olarak, 1960'lar da hesaplamalı" olarak tanımlanmıştır. İlk bilgisayar sanatı sergisi "Generative Computer Graphic" adıyla 1965'te Stuttgart'da düzenlenerek Georg Nees'in eserlerini sergilemiştir. (Boden, Edmonds, 2010). Üretken sanatın tanımında kullanılan biyolojik metaforlar, genotip ve fenotip terimleri, bu sürecin farklı yönlerini göstermek için kullanılmaktadır. Genotip, genel olarak biçimsel bir süreç tanımlarken, bu sürecin tasviri sahnelendiğinde, fenotipi üretmekte; bu fenotip de aslında eserin deneyimini oluşturmaktadır (McCormack, 2003).

Üretken süreçte, hesaplamanın bir araç olarak keşfedilmesine yönelik analitik bir yaklaşım, bir

UTM (Evrensel Turing Makinası) gibi ideal bir bilgisayar biçimini düşünmeyi ve böyle bir makine için mümkün olan her programı incelemeyi gerektirmekteydi. Dolayısıyla, birçok farklı türdeki programı sınıflandırmak, genel olarak hesaplamanın doğası ve özellikle 'üretken hesaplama yapan program sınıfı' veya 'duran programlar' gibi belirli program türlerini kategorize etmek mümkün olmaktadır. Genel anlamda hesaplama için en basit hücresel otomata programları, sistemin kendisinden daha basit bir sistem tarafından tanımlanamayan bir karmaşıklık üretebilirler. Hücresel otomata kurallarının daha basit bir tanımlaması olmayıp, hesaplama olarak ifadeleri, sonsuz karmaşıklığı temsil etmektedir. Temsil, yazılımda model geliştiren herkes için önemli olmaktadır (McCormack, 2003).

Günümüzde bilgisayar ve hesaplamalı yöntemler sanatsal, mimari, mühendislik ve tasarım alanlarında kavramları ifade etmenin bir aracı olarak kullanılmaktadır. 2D ve 3D bilgisayar destekli tasarımdaki sayısal yöntemler, kapasite ve deneyleri artırmakta, maliyetleri düşürüp emeği azaltmakta ve yeni karmaşık hesaplamaları yönetmek için kullanılmaktadırlar.

Teknoloji, sanatçılara görüntüleri yeni yollarla keşfetme imkânı sunarken en ince detayı veya birleştirilmiş katmanların görüntüsü ile sanatçıların estetik deneyim ve bilgilerini de genişletmektedir (Treadaway, 2015). Bilim ve sanatın birbirine iyice yakınlaşmasıyla, estetik ve kavramsal niteliklerin birleştiği, bazen de görünenin çok ötesindeki şeylerin ifade edildiği görülmektedir (Braddock, Harris, 2012). 1960'lı yılların sanatındaki sistem teorisi ve sibernetik vizyonunun, 21. yüzyılın yapay yaşam sanatında ve üretken sanatta etkili olduğu, günümüzde de sanat biçimlerinin modern sanayinin ve bilgi kültürlerinin teknolojik çıkarlarına hizmete devam etmekte olduğu görülmektedir.



Resim 2. Club Nomadic Night
Processing + HYPE framework + GLSL +
Minim/FFT+ SVG
(Jaoshua Davis, 2017)

2. SAYISAL TEKNOLOJİLERİN TEKSTİLE KATKISI

Tarih boyunca tekstil tasarım ve üretimi, sanatın kreatif vizyonundan esinlenmiş, bilimsel ve endüstriyel yeniliklerle yakından ilgilenmiş, her yeni teknolojiyle genişleyen yaratıcı bakış, tasarımcıların daha önce hayal edilmemiş şekilde yenilik yapmalarının önünü açmıştır. Sayısal teknolojilerin yaratıcılık alanındaki gelişimi ve etkileşimi, tekstil sanatçıların ve tasarımcıların, kavram ve imajları iletmek için yeni görsel ve malzeme dilini benimsemesini gerektirmiştir. Geleneksel süreçlerin, bilgi ve deneyimin, sayısal teknolojilerin sunduğu imkânlarla desteklenmesi, zengin bir çeşitlilikle ortaya koymaktadır.

Birçok endüstride olduğu gibi, tekstil tasarım ve üretim süreçlerinde bilgisayar tabanlı teknolojiler başlıca üç alanda toplanabilmektedir; CAD teknolojisi, tekstil tasarımcıların sanal örnekleri bilgisayar ekranı üzerinde geliştirip gösterebilmelerini ve tekstil ürünlerinin görünümünü malzeme ve imalat proseslerini simüle etmelerini sağlamaktadır. CAM tekstil üretim süreçlerini kontrol etmek için kullanılan bilgisayar teknolojisi olarak tanımlanabilir. Bilgisayar tabanlı tekstil makineleri, programlanabilir denetleyiciler, endüstriyel bilgisayarlar, veri geçitleri, hücre denetleyicileri, veri toplama, yığın denetleyicileri ve sürücü ana denetleyicileri aracılığıyla eğirme, dokuma, örme, baskı veya bitirme işlemlerini desteklemek için kullanılmaktadır. CAM, bilgisayarla tümleşik imalat CIM sisteminin en önemli parçalarından biridir. CIM, bilgisayarları genel olarak kapalı döngü kontrol süreçlerine dayanan ve sensörlerden gelen gerçek zamanlı girdilere dayanan tüm üretim sürecini kontrol etmek için kullanan üretim yaklaşımıdır. Bu, bireysel süreçlerin birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunmasına ve planlama, yönetim ve üretim dahil eylemleri başlatmasına izin verir. CIM'in nihai hedefi esas olarak tekstil tasarımı, imalatı, testi, kalite kontrolü ve nihai ürün pazarlaması, perakende için süreç kontrolü ve bilgi iletişiminin sayısal bir platformunu sağlamaktır (Hu, 2011).

Bilgi devrimiyle üretilen araçlardan yazılım, zihin gelişimini desteklemenin yanısıra yazılımların kullanımı bilgi ile çalışma kabiliyetimizi arttırmakta, aynı zamanda yeni ve farklı düşünme biçimlerinin de önünü açmaktadır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Tasarımcılar için pratik yöntem ve yaklaşımların parçası haline gelen sayısal teknolojiler, yeniliği ve uygulanabilirliği ile yeni fırsatlar yaratmakta, disiplinler arası işbirliği sağlayarak yeni tasarım ve

uygulama ortamları sunmaktadır. Bu alan, tekstil, moda, aksesuar, sanat, teknoloji ve mühendislik kesişiminde çeşitli kaynaklardan gelen örneklerle zenginleşmektedir. Günümüzde tekstili etkileyen sayısal teknolojik eğilimler içerisinde akıllı malzeme teknolojisi, elektronik, sayısal üretim, sayısal ve kod içeren hesaplamalı tasarım süreçlerinin bir tasarım alanı oluşturduğu ve ana tasarım uygulamalarının da bir parçası haline geldiği görülmektedir (Genova, Moriwaki, 2016).

2.1. Malzeme Bakımından Bilgisayar Teknolojilerinin Tekstile Katkısı

On dokuzuncu yüzyılın başlarından itibaren tarihsel süreç içerisinde, teknolojik gelişmelere paralel bir devinimle, tekstil ve modanın tasarımı, üretimi ve tüketim ve dağıtımının yeniden şekillenerek tanımlandığı görülmektedir. Tekstillerde metal lif ve iplik kullanımı M.Ö. 2000 yılından bu yana farklı kültürlerde görülebilmekte, giyilebilir teknolojiler on üçüncü yüzyılda kaydedilen ilk gözlük camlarına kadar uzanabilmektedir (Kettley, 2016).

1801'de Joseph Marie Jacquard tarafından icat edilen Jacquard tezgâhı, detaylı ve gerçekçi görüntülerden oluşan karmaşık desenler ve yüksek miktarlarda kumaş üretebilmekteydi. Bir dizi ahşap kart üzerine delinmiş olan her dokuma sırası binary sistemi ile oluşturulmuştu. Jacquard tezgahının elde ettiği karmaşık dokuma desenlerinden esinlenerek Charles Babbage tarafından 1839'da programlanabilir otomatik tekstil tezgâhının icadı gerçekleştirilmiştir. Bir hesaplama fonksiyonu, kontrol akışı ve entegre belleğin bir araya getirilmesiyle geliştirilen "Analytical Engine" modern bilgisayarın prototip olarak ilk gerçek öncüsü olmuştur (Braddock, Harris, 2012). Endüstriyel tekstil üretiminde yaşanan artış, çağın teknolojileri, seri olarak üretilen kumaşa olan talebi de artırmıştır. Tekstil üretimindeki bu maddi değişim, bulunabilirliği ve ekonomikliği olanaklı kılarak, modanın çeşitlenmesine ve yeni pazarların gelişmesine olanak sağlamıştır.

On dokuzuncu yüzyılda dikiş makinesi giyim üretiminde devrim yaratmış, tasarımda dinamik yeni şekiller, stiller ve estetik yaratmak için yeni sentetik malzemeler denenmiştir. 1960'larda, P. Cardin, A. Courreges, R. Gernreich ve P. Rabanne gibi modernist moda tasarımcıları, uçuş cazibesinden, uzay yarışı ve Pop Art'tan esinlenerek ürünler geliştirmiştir. Akıllı tekstiller ve giyilebilir bilgisayar kullanımı ise tekstillere tamamen yeni bir işlevsellik getirmiştir. Bu alandaki çalışmalar bilgi işlem araştırmalarıyla 1960'ların sonunda başlamış, ancak 1980 ve 1990'larda komponentlerin minyatür-

leştirilmesi ile gelişme yaşanmıştır. MIT'de giyilebilir bilgisayarın ilk öncülerinden Steve Mann, Toronto Üniversitesi'nde kişisel masaüstü bilgisayar unsurlarını vücuda takıp kullanabilecek bir hale getirmek isteyen araştırmacı neslin önünü açmış, bu araştırmaların modaya yansımalarıyla cyborg estetiğine giden bir süreç yaşanmıştır (Lee, 2005).

Nanoteknolojideki son teknolojik gelişmelere de paralel olarak, sensörlerin elektronik ve bilgisayar sistemlerinde kullanılan mikro işlemci, mikro denetleyici, algılayıcı, verici, kablosuz ağ birimleri gibi sistem bileşenlerinin boyutları her geçen gün daha da küçülmektedir. Bu durum sistemlerin taşınabilir olma özelliğinin yanı sıra, giyilebilir olma özelliğini de öne çıkarmıştır. Bir ürüne "giyilebilir teknoloji" dememiz için, ürünün akıllı sensörlerden gelen bilgileri akıllı telefonunuza kablosuz ağ veya bluetooth ile bağlanarak aktarması gerekmektedir. Bu ürünler bir kişinin gereksinimlerine göre uyarlanabilen akıllı bir ortamın parçası olabilmekte ve bunların hepsi radyo dalgaları aracılığıyla bağımsız bir şekilde çalışabilmektedir.

1995 yılında MIT Medya Laboratuvarı'nda Thomas Zimmerman ve Neil Gershenfeld, başka bir kişiye veya cihaza veri veya sinyal göndermek için vücudun elektrik iletkenliğini kullanma fikrini ortaya atmıştır. Kişisel vücut ağı PAN ise bir ayakkabı altında saklanan küçük bir bilgisayar yardımıyla yaratılan vücuda zararsız elektrik sinyalleri gönderebilmektedir. Taşıyacağımız herhangi bir cihaz (saat, cep telefonu veya kredi kartı), potansiyel olarak bir PAN cihazı gibi davranabilmektedir (Lee, 2005).

Yirmi-birinci yüzyılda yaşanan gelişmeler, algılayıcıların, kumaş dokusu ile birleştirilmelerine olanak tanıyarak kumaşın elektronik bir hale gelmesini sağlamış ve yeni nesil bilgi işleme sürecinin önünü açmıştır. Kaplama, baskı, nakış, aplike, kapitone, dokuma ve örme gibi geleneksel moda ve tekstil teknikleri, elyaf, iplik, kurdele, bant, kumaş, karbon, paslanmaz çelik, gümüş ve altın vb. iletken malzeme kullanımıyla iletken kumaşlar ve giysiler oluşturulabilmektedir. Bir giysinin elektronik yapısı tasarımın bir parçası halinde kabul edilebildiği gibi gömülü bir tasarımla tamamen de gizlenebilmektedir. Bu kumaşlar, sensörler, anahtarlar, transistörler, güç kabloları, antenler ve göstergeler gibi davranarak, nasıl dokunulduğunu hissedebilmektedir. 2004'te Microsoft, insan vücudunu bir bilgisayar ağı olarak aldığı patentte vücudu sadece bir kanal olarak değil, aynı zamanda bir yüzey olarak kullanma becerisini de tanımlamıştır (Lee, 2005).

Tekstil ürünlerinde kumaş top halinde gelerek, kesme-dikme süreciyle tasarıma dahil olurken, çağdaş tekstil ve moda uygulamalarının doğrudan sıvı veya tozdan yapılmış 3D baskı giysi ve objelere yönelmekte ya da bireysel ihtiyaçlara cevap veren akıllı tekstillerden püskürtme, biyolojik büyütme ya da programlama ile imal edilebilir giysilere doğru bir gelişme süreci yaşandığı görülmektedir.

2.1.1. Akıllı Tekstiller

Bilgisayar, internet, elektronik ve tasarım alanlarında yaşanan gelişmeler, her alanda çağın farklı ihtiyaçlarıyla şekillenirken tekstil alanında da, akıllı yapıların tekstil materyalleriyle bütünleştiği uygulamalar görülmektedir.

Akıllı tekstiller teknoloji ile paralel gelişme süreci göstermekte olup tekstil sektöründe katma değeri yüksek bir potansiyele sahiptir. Yenilikçi ve çağdaş bakış açılarıyla geliştirilen tekstil ürünlerin giderek önem kazanarak yaşamımızda kullanımları artmakta sadece tekstil, moda ve aksesuarlarla sınırlı olmayıp aynı zamanda imalat, havacılık, sağlık ve güvenlik alanlarındaki endüstriyel uygulamalarda bulunan ihtiyaçlarla da gelişme göstermektedir. Farklı fiziksel uyarılara (mekanik, elektrik, termal ve kimyasal), tepki yeteneğine sahip olan akıllı tekstiller tekrarlanabilir davranış gösterebilmektedir. Bir kumaş veya liflerin yapısına entegre edilebilen bu davranışlar, pasif, reaktif veya etkileşimli olarak sınıflandırılabilir, renk, ısı, hareket, ses ve diğer çıktı biçimlerinde değişiklikler yapabilmektedir. Akıllı tekstilleri genel olarak dört başlık altında toplamak mümkündür (Kettley, 2016).

- Farklı fiziksel uyarılara (mekanik, elektrik, termal ve kimyasal), tepki yeteneğine sahip olan akıllı tekstiller.
- Giyilebilir teknoloji; vücutta giyilebilecek kadar küçük herhangi bir elektronik cihaz.
- Etkileşimli tekstiller; giysi içine yerleştirilmiş veya kontrol edilebilen, entegre bir pano veya düğme.
- E-tekstiller; Tekstil liflerine dahil edilmiş elektronik özelliklere sahip tekstiller.

Akıllı tekstiller genel anlamda, pasif akıllı, aktif akıllı veya çok akıllı olarak da tanımlanabilmektedir. Pasif akıllı tekstiller uyarıları (mekanik, termal, kimyasal, elektriksel veya manyetik durumlar olabilir), çevreden hissedebilmekte olup bu durumlara tepki vermezler, ancak başka yerlerde bir işlemciye bilgi aktarabilirler. Dolayısıyla bu tekstiller, hesaplama veya iletken materyallerin kullanılmasına gerek kalmadan ve aktif kullanıcı kontrolü olmaksızın tutarlı bir işlevsellik sağlar. Aktif akıllı tekstiller bir

mikroişlemci ya da yalnızca kullanıcı tarafından işletilen bir anahtar gerektirebilmektedir. Aktif edildiğinde tekstil, tek bir estetik ifadeye sahip olabilir (örn., Işık yanar ve yanık kalır) veya önceden programlanmış bir durum değişikliği (örn. Renk değişiklikleri) arasında geçiş yapabilmektedir. Farklı uyarılar farklı tepkiler gerektirebilmekte, dinamik kararlar vermek için basit bir yazılım kullanılabilir. Çok akıllı veya süper akıllı tekstiller, birden fazla bağlamsal bilgiye ulaşma ve kendi durumunun farkında olma becerisine sahiptirler. Çoğunlukla kompozit iletken elyaf kullanırlar ve sıcaklık, leke veya hava kalitesi gibi dış uyarılara olduğu kadar kendi performanslarını da hissedebilirler (Kettley, 2016).

2.1.1.1. Farklı Fiziksel Uyarılara Tepki Yeteneğine Sahip Akıllı Tekstiller

Teknolojinin tekstil ile bütünleşme süreci yalnızca yüzey derinliğinde değil, aslında moleküler düzeyde başlamaktadır (Kettley, 2016). İletken ve reaktif malzemeler ile bunların tekstil, moda ve aksesuar tasarımında kullanımı, eklenen elektronik etkileşimli ürünler oluşturma imkanı vermektedir. İletken malzemeler, ısı, elektrik veya ses iletimi geçirme kabiliyetine sahiptir. Bu malzeme örnekleri iletken kumaşlar, iplikler, boyalar ve bantları içerip, hepsi elektrik akımı taşıyabilmektedir. Reaktif malzemeler UV ışığına, sıcaklık değişimlerine ve suyla temasa yanıt verir. Reaktif malzemeler, harici bir tetikleyiciye tepki vererek dönüşüm sağlarlar. Kumaş, iplik, boya ve reçinelere kadar çeşitlilik göstermektedirler.



Resim 3. AIR,
(Theunseen Studio, 2014)

Theunseen Studio'nun air adlı çalışmasında malzeme bilimi ile sayısal tasarım buluşmasının yeni bir forma dönüştüğü görülmektedir. Tasarımın parçalarının oluşturulmasında lazer kesim imkanları kullanılırken, ürün çevredeki hava ile temas üzerine etkileşime girerek renk değiştiren rüzgar reaktif mürekkep uygulamasını sergilenmektedir.

2.1.1.2. Giyilebilir Teknolojiler

Giyilebilir teknoloji, üstünüze giydiğiniz teknolojik aletlerin genel adı olarak kullanılmaktadır. Sensör teknolojisi, iletişim teknolojisi ve veri analizi teknikleri giyilebilir teknolojinin temel unsurlarını oluşturmaktadır.

Giyilebilir teknolojilere ait uygulamalara, sağlık-spor endüstrisi, oyun-eğlence endüstrisi, askeri teknoloji endüstrisi gibi farklı endüstri alanlarında rastlanılmaktadır. Akıllı saatlerden, akıllı gözlüklere, elektronik tekstilden, veri eldivenlerine kadar çeşitlilik gösteren giyilebilir sistemler, iş organizasyonu, aktivite, fitness, kilo kaydı ile ilgili verilerin kontrolünde, çeşitli hastalıkların takibi, teşhis ve tedavi sürecinde rol oynamakta, farklı dillerde konuşulanları bile kendi dilinize çevirebilmektedirler.

Hüseyin Çağlayan heykeltıraş, ressam, yönetmen, koreograf ve bir fikir adamı olarak modayı kavramsal fikirlerinin ifade bulduğu bir keşif alanı olarak görmektedir. Mimari, felsefe, bilim, tarih, antropoloji, biyoloji ve teknolojiden esinlendiği çalışmalarında, teknolojik ilerleme, göçmenlik ve kültürel kimlik gibi çeşitli alanlardaki düşüncelerini çağdaş sanat uygulamalarıyla ifade ettiği görülmektedir (İstanbul Modern, 2018).



Resim 4. Fear and Love: Reactions to a Complex World, (Hüseyin Çağlayan, 2016)

Çağlayan'ın sanatsal bakış açısıyla çağdaş sanat alanındaki üretkenliğini, hem moda hem de sanatsal tasarımlarını satılabilir, piyasa gerçeklerine uygun şekilde geliştirmektedir. Çağlayan, dijital geleceği ve çağdaş sanatı, tasarımları için ilham kaynağı olarak görmekte, inovatif bir araç olarak kullanmaktadır. Kişilerin çok yönlü olmasıyla, disiplinlerin paralel

yürmesiyle heyecan verici yapıtların ortaya çıkabileceğini düşünmektedir (Çağlayan, 2018).

Günümüz çağdaş sanatında teknoloji üzerine yürüyen bir akım olduğunu dile getiren Çağlayan'ın 'Fear and Love: Reactions to a Complex World' adlı çalışmasını Intel ile gerçekleştirdiği işbirliğiyle altı aylık bir çalışma sonucunda oluşturduğu görülmektedir. Çağlayan, Intel'in Curie çipinden güç alan akıllı gözlük, beyin verilerine anlık tepki verebilmektedir. Elde ettiği veriyi optik sensörlerden gelen nabız değerleriyle ve mikrofonla ölçülen nefes hızıyla işleyerek, görüntü olarak aktarabilmektedir (Çağlayan, 2018).

2.1.1.3. Elektronik Tekstil

Tekstil katmanları üzerine doğrudan sabitlenmiş elektronik özellikli sistemler ve iletken ipliklerle dikilmiş işlemeli sensör ve bilgisayarların tekstil yapısı ile birleşimi tasarım olanakları bakımından devrim niteliğindedir (Genova, Moriwaki, 2016).



Şekil 5. Lazer Işıklı Elektronik Tekstil, (Hüseyin Çağlayan, 2008)

Elektronik tekstil alanındaki interaktif çalışmalarıyla yıllardır ilgilenen Çağlayan'ın 2008 koleksiyonundaki kıyafetlerin kristaller ve 200'den fazla gömülü lazerle ışıklandırıldığı görülmektedir.

Electra örneğinde ise Afra Sönmez tarafından gerçekleştirilen giyilebilir teknoloji tasarım kostüm uygulaması görülmektedir. Yunan mitolojik tanrıçası Electra'dan gelen bu isim parlayan kadın anlamına gelmekte olup, kostüm üzerinde kullanılan Led'lerdeki gökkuşağı döngüleri kod ile oluşturulmuştur.



Şekil 6. Electra, (Afra Sönmez, 2016)

Makerlar ise geleneksel malzeme ve yaklaşımları, ileri teknolojiyle birleştiren melez bir işçiliği genellikle kendine has bir estetik duyarlılıkla, kendi zevkleri için örnelemektedir. Zaman geçtikçe, işletmelere dönüşen bu girişimler, genellikle daha pahalı endüstriyel süreçler tarafından sunulmayan niş bir kitleyi hedefledikleri görülmektedir (Genova, Moriwaki, 2016).



Resim 7. Vega One, (Angella Mackey, 2011)

Angella Mackey tarafından kurulan Vega'nın, ürün yelpazesi sık şehirli bisikletçiler için gömülü elektronikler ile dış giyimi birleştirecek şekilde geliştirilmiştir. Ürünlerin işlevselliği, giysileri bir moda öğesi olarak basit teknoloji ile harmanlamaktan, bisiklet sürerken, koşarken veya yürürken güvenliği sağlamaktan ibaret olmaktadır.

2.2. Tasarım Bakımından Bilgisayar Teknolojilerinin Tekstile Katkısı

Tekstil ürünlerinin çözgü ve atkı ipliklerinin dokuma yoluyla ikili geçişli bir biçime sahip olması, dolayısıyla tekstilde en temel dokuma ilkesi modern bilgi işlem stratejisinin gelişmesine önyak olmuştur.

Tekstil tasarımı alanındaki bilgisayar teknolojisi, donanım ve yazılımdan oluşup, üretim ve tasarım sistemleri olarak ayrılmaktadır. Tasarım süreçlerine yardımcı olmak için kullanılan CAD sistemleri, başlangıçta üretim sistemleri olarak geliştirilip kullanılmış, 1980'lerin sonunda tasarım yazılımlarının geliştirilmesi ile tekstil tasarımcılarının ilk defa bilgisayar sistemlerine erişebilir olmuştur. Tekstil tasarımı için ilk bilgisayar sistemi 1967'de IBM tarafından tanıtılmıştır. 'Tekstil grafikleri' sistemi olarak başlatılan bu sayısal sistem, jakar dokumacılığı ve rulo baskı teknik verilerini doğrudan bilgisayarın belleğine girebilmekteydi. Böylece tasarımcılar, grafik tablet ile şekilleri doğrudan bir CRT monitörüne çizebilmekte ve teknik üretim örgüsü ve gravür bilgilerini atayabilmekteydiler. Devrim niteliğindeki bu sistem, ürün geliştirme sürecini kısaltıyor olsa da ilk etapta yaratıcı tasarım sürecine katkısı bulunmuyordu. 1970'lerin ortalarından 1980'lerin ortalarına kadar, tekstil bilgisayar sistemlerindeki gelişme özellikle dokuma ve örme üretimine yönelik yaşandığı görülmüştür (Hu, 2011).

Bu yıllarda tekstil tasarımı yazılım sistemleri yalnızca özel üretilmiş süper bilgisayarlarda işletilen pahalı tescilli yazılım sistemleri olarak mevcuttu ve bunları yalnızca sınırlı sayıdaki tekstil endüstrisi erişebilmekteydi. Unix platformlarının ve süper bilgisayarlardaki gelişmelerin, bilgisayarın bir tasarım aracı olarak popülaritesini arttırdığı, 1990'lı yılların başından itibaren piyasada bulunan hazır multimedya 'Photoshop ve illustrotor' yazılımlarının, erişilebilirliği ile tekstil tasarımcıları tarafından daha çok benimsendiği görülmüştür. Ancak tescilli tekstil tasarım yazılımının aksine, piyasada bulunan hazır yazılımların bazı işlevsel kısıtlamaları bulunur ve belirli prosedürlere ulaşmak için ilave adımlar gerektirmektedirler. Endüstri profesyonelleri şuan tescilli tekstil tasarım yazılımlarını (AVA CAD/CAM, EAT, Gerber Technology, Lectra Systems, NedGrapghics, Marvelousdesigner vb.), komple tasarım sistemleri olarak sunmak yerine, sistemleri her tasarım gelişimi aşamasına uygun modüller halinde sunmaktadır. Bu tür modüller çevrimiçi eğilim tahmini, renk ayrımı, renklendirme, tekrar tasarım, 3D doku haritalama, 3D örüntü simülasyonları, ve iç mekan mobilyalarını içeren 3D model simülasyonları, tasarım story-board sunumları vb. içerebilmektedir (Hu, 2011). Bazı CAD yazılımları, tasarım modüllerinin kesintisiz entegrasyonuna olanak tanımakta, tasarım renkleri ya da detaylarında yapılan değişiklikleri otomatik olarak algılayarak sunum modüllerine yansıtılabilmektedir.

1980'lerde kişisel bilgisayarın yaygınlaşması programlamanın daha geniş bir kitleye ulaşmasını

sağlamıştır. Programlama okuryazarlığının sanat, tasarım ve mimarlık toplulukları içindeki yükselişi, programlama seçeneklerinin hızla yaygınlaşmasını sağlamıştır. Kodun ilk etkilerinin, ekran ve yansıtılan görüntüyle sınırlı kalmayıp, fiziksel alanda da etkili olduğu görülmüştür (Reas, McWilliams, Lust, 2010). Geçmişte, bilgisayar teknolojisi, veriyi almak, depolamak ve işlemek için programlanabilir bir makine olarak kabul edilirken çağdaş sanayi ve kültürde, bilgisayar tasarımcıların yaratıcı süreçlerine yardımcı olan önemli bir araç olarak benimsenmektedir.

Bir tasarım aracı olarak bilgisayar algısı ve ilişkili kuramlar 'metamedium' ifadesini doğurmuş, bilgisayar teknolojisinin birçok süreç ve sonuçta dinamik ve yaratıcı bir araç olarak yerini almıştır. Günümüzde tekstil endüstrisinde, bilgisayar teknolojisi tüm üretim süreci boyunca uygulanmakta, ilk tasarım konseptinden nihai üretim aşamasına kadar etkili olarak kullanılmakta, tasarımcıların, daha kısa sürede daha fazla tasarım çalışması yapmalarına, uygun maliyetli tasarım ürün grupları oluşturulmasına, pazar ihtiyaçlarına ve tasarım değişikliklerine hızla cevap verebilmesine, müşterilerinin ihtiyaçlarını kısa sürede karşılmasına olanak tanımaktadır. Tekstil tasarımcıları, 1990' ların başından bu yana internet bilgi teknolojisini trend araştırmalarının ana kaynağı olarak kullanmakta eğilim tahmininde bulunan şirketlerden gelen bilgileri tasarım konseptleri için başlangıç noktası olarak kullanmaktadırlar. Tasarım profesyonelleri günümüzde, stil trendlerini bloglar ve sosyal ağ siteleri aracılığıyla da araştırarak internet teknolojisine her ortamda erişebilir durumdadırlar (Hu, 2011).

Küreselleşmenin neden olduğu küresel rekabetin etkisiyle tekstil sektöründe, hızlı tasarım ve trend döngüsü tasarımcılar için sorumlulukları daha da çeşitlendirmiş ve genişletmiştir. Tasarımcının rolü, ürünün tamamını yönetmek ve geliştirmekle daha fazla ilgilenmekte, çok görevli ve dinamik bir meslek haline gelmiştir. Dolayısıyla, bilgisayar teknolojileri komple ürün geliştirmeyi yönetmek için sistemlere odaklanmaya başlamış, PLM (ürün yaşam döngüsü yönetimi) sistemlerinin geliştirilmesiyle, koleksiyonları yönetmek, tasarlamak, geliştirmek ve üretmekle ilgili tüm süreçleri verimli bir şekilde optimize etmek mümkün hale gelmiştir.

Son yıllarda tasarımcıların sayısal tasarım ve üretim sürecine hakim olabilmeye adına prosedürel ve parametrik hesaplamalı yazılım eğitimlerine yöneldiği görülmektedir.

2.2.1. Sayısal ve Hesaplamalı Tasarım ile Tekstil Ürünü Üretimi

Kod, bilgiyi bir kanala iletmek veya bir ortamda saklamak için başka bir form veya temele dönüştüren bir kurallar sistemi olarak görülebilmektedir (Genova, Moriwaki, 2016). Kodlar kısa, öz ve katı sözdizimi kuralları ve basit kelime bilgileridir (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Bilgi çağında kod tarafından yönlendirilen yazılım, çağdaş tasarımın ve görsel kültürün her yönünü etkilemekte, toplumdaki birçok sistemin temelini oluşturmakta, günlük yaşamlarımızı desteklemekte ve günlük sistemlerin çalışması için gerekli olan bağlantı, işleme, depolama ve alımı sağlamaktadır (Genova, Moriwaki, 2016).

Kodlar başlangıcından bu yana genellikle üç ana hedefe hizmet etmekte olup bunlar iletişim, açıklama veya gizleme amaçlı kullanımlar olmaktadır. Birçok türü bulunan kodlar genellikle bir algoritma, prosedür veya program olarak adlandırılmaktadırlar. Belirli talimatların izlenebilmesinde yeterli ayrıntıya sahip işlemleri tanımlamakta kullanılan bu tür kodlar genellikle bilgisayar talimatları bağlamında kullanılmaktadır. Algoritmalar taşıdığı dört nitelikte tanımlanabilmektedir. Aynı hedefe götüren farklı yol tarifleri dizisi yaratan algoritmalar, varsayımlar üretir, belli kararlar içerir ve karmaşık bir algoritma modüler parçalara bölünebilmektedir. Bilgisayar programlamasında, bir bilgisayarın işlemlerini kontrol etmek için kullanılan kod (kaynak kodu), programlama dilinde yazılmış bir algoritmadır. Bir kod parçası bir bilgisayarda çalıştırılmadan önce, insan tarafından okunabilir bir formattan bilgisayarda yürütülebilir bir biçime yani makine kodu, ikili dosyalar veya çalıştırılabilir formata dönüştürülmelidirler. Yazılıma dönüştürülen kod bilgisayarda çalıştırılabilir ve genellikle makine tabanlı kod 1 ve 0 serileri olarak temsil edilmektedir (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Algoritma, bir eserin üretimi ya da kapsadığı sürecin görselleştirilmesi kadar önemli olurken, süreç dilin bir parçası olmakla birlikte, algoritma hesaplama teorisi veya bilgisayar programcılığı pratiği ile ilgili en fazla bilgiye sahip olan terimdir. Süreç ve algoritma kavramları, dinamizm ve değişimle olan ilişkileri bakımından yakından ilişkili olmaktadır (Dorin, 2001). Süreçleri okumak ve yazmak olarak tanımlanan prosedürel okuryazarlık, bir bileşeni programlamada kesinlikle teknik bir görev olmayıp, bir iletişim eylemi ve dünyayı temsil etmek için sembolik bir yöntem olmaktadır (Reas, McWilliams, Lust, 2010). Prosedürel bir gösterim statik olmayıp,

bir süreç yeni bir varlık yarattığında veya yeni koşullar getirdiğinde, getirdiği değişimler ile ilgili dinamik, üretken bir süreç oluşmaktadır. Bilgisayar aynı üretken süreçleri tekrar tekrar çalıştırabilir. Ayrıca, her uygulandığında yeni olay dizileri üreten süreçler ve programcı tarafından dayatılan sınırlar içinde kalırken çevre ve insan girişimine tepki veren süreçler oluşturma esnekliği de getirebilmektedir (Dorin, 2001). Prosedürel okur-yazarlık tüm programlama dillerini dışında düşünmek için geçerli olan genel bir düşünce tarzı olup, her programlama dili, çalışma ve düşünme için farklı bir materyal türü oluşturmaktadır. Görsel programlama dilleri kodla düşünmenin alternatif bir yolunu sağlamaktadır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Başlangıçta bilgisayarlar tarafından sunulan avantajlar verimlilik ve hassaslık şeklinde gelişmiştir. Bilgisayarların bir üretim aracı olarak sağladığı verimlilikle, tasarlama daha fazla zaman tanımakta olduğu, yaratıcı sürece olan katkısının daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Tescilli yazılım ürünleri, belirli form türlerinin üretimi için tasarlanmış genel araçlardır. Genellikle, yeni veya benzersiz bir vizyon gerçekleştirmek için sanatçıların ve tasarımcıların mevcut araçların sınırlamalarını aşmaları gerekmektedir. Bu sınırlamaların ötesine geçmek için mevcut uygulamaları programlama yoluyla veya kendi yazılımlarımız yoluyla özelleştirilmek mümkündür. Bilgisayarlar bildiğimizi modellemek için kullanılabiliyorsa, bilmediğimizi simüle etmek için de kullanabilmektedir. Fransız mimar ve felsefeci Bernard Cache, bu konuyla ilgili CAD sistemlerinin tarihini şu sözleriyle özetlemektedir (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

"... kesinlikle fikir üretkenliğini arttırdı, fakat temelde elle yapılan iş üzerinde hiçbir gelişme önermiyorlar..." "Şimdi, nesnelere artık tasarlanmadığı ama hesaplandığı ikinci nesil sistemi düşünebiliriz."

2.2.2. Baskı ve Yüzey Desenleri Oluşturma

Tasarım dünyasında artan bir güç haline gelen Kod ile çalışmak, kod temelli süreci anlamak başka deyişle mevcut genel grafik ve multimedya yazılımlarını kullanarak mümkün olmayacak karmaşık tasarımlar oluşturma fırsatı sunması bakımından önemlidir (Genova, Moriwaki, 2016).

Bilgisayarlara öncülük eden Jacquard tezgâhı dokuma talimatlarını depolamak için delgi kartları kullanmış, bu kartlar aynı deseni tekrar tekrar dokumak üzere makineyi yönlendirmiştir. Hesaplamayı tekrar tekrar gerçekleştirmek için tasarlanmış olan sayısal

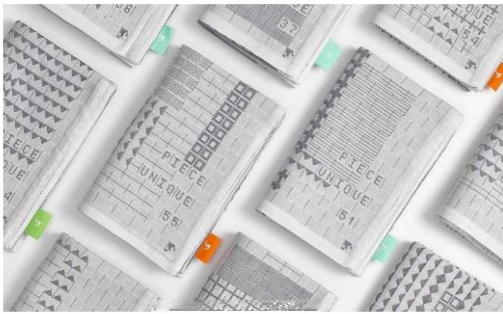
bilgisayar ortamı tekrar oluşturmak için olağanüstü sistemler olup doğru, güvenilir hesaplamalar yapmak için durumları saniyede iki milyar kez (2 GHz) değişebilmektedir. Tekrarlama, bilgi işlem dili üzerine derinlemesine gömülür ve bu nedenle programlanma şekli insanlara özgüdür. Dolayısıyla tekrarlama kodun doğal bir parçasıdır ve sınırsız varyasyon alanını sunmaktadır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

1960'ların ortalarında Stuttgart Üniversitesi'nde Frieder Nake, estetik yaklaşımıyla koddan çizimler üreten plotter ilk kullananlar arasında olmuştur. Nake'in görsel çalışmalarındaki mükemmellik, programlanmış tekrarlama açısından öncü niteliktedir. Raster grafiklerinin gelişmesi, farklı bir görsel kalitede tekrar elde etmeye izin vermiştir. Bu teknik sunduğu yenilikle, programlanmış grafik dünyasını, iskelet taslaklarından canlı renkler ve dokular dünyasına dönüştürmüştür. Bilgisayar sanatçısı David Em, bu yeni grafik türündeki öncü çalışmalar üretmiş, kendisinden önceki sanatçılar gibi, çalışmalarını üretmek için ihtiyaç duyduğu üst düzey bilgisayarlara erişmek için araştırma (California'daki NASA, JPL lab.) laboratuvarlarında bilgisayar grafiği yeniliği yapan Jim Blinn ile çalışmıştır. Em'in yoğun, gerçeküstü ortamlar serisi üretmek amacıyla simüle edilmiş 3D bir ortamda dokularla çalışmak için kullandığı yüksek kapasiteli Macintosh bilgisayarlar böylece 1984'te ev ortamına taşınmıştır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Temelde tüm görsel desenler ve örüntüler algoritmalarından oluşmaktadır. Bir eşarbin dokumasındaki örüntüye bir algoritma yaklaşımıyla bakmak ya da yazılım içine kodlanabilecek sıkı kompozisyon kuralları barındıran İskoç ekoselerindeki tekrar mantığıyla ilişkisi. Tekrarlanan desenler, tekstil veya duvar kağıtlarındaki gibi kesintisiz bir görüntünün oluşturulması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu desenler William Morris'in tekstil ve duvar kağıtları gibi gösterişli ve karmaşık detaylar barındırabilmektedir Şekil üretmek için nesnelere kendine benzer bir şekilde tekrarına odaklanan süreç olan özyineleme tekniği de geleneksel tekstillerde oldukça yaygın kullanılan bir örüntü yöntemidir (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Günümüzde tasarımcılar özel yazılımlar aracılığıyla tekstillerde kullanılan yüzey desenleri, şekil ve teknik biçimler üretilebilmekte özelleştirilmiş tasarımlar ortaya çıkarılabilmektedir. Şekil üretmek için bir veya daha fazla elementin modüler bir şekilde düzenlenmesi, parametrelerle ilişkili olup sadece elementlerin yeniden konumlandırılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Üretken tasarım

yaklaşımında, adım adım bir algoritma yerine, belirli bir dizi kuraldan veya kısıtlamalarla oluşturulan prosedürel olarak üretilen eserlerin önemi artmaktadır. Adım adım yaklaşımda, yazılımcı bilgisayarın eylemlerini açıkça yönlendirirken, kural tabanlı yaklaşımda, belirtilen kurallardan bilgisayar eylemlerine çeviri direkt olarak açık değildir. Üretken yöntemde sonuç öngörülemez ve bazı parametrelerin değiştirilmesiyle sınırsız alternatif oluşturmaya imkan tanımaktadır. Processing, Cinder, OpenFramework gibi yazılım platformları tasarımcılara özel tasarımlar geliştirebilme imkanı tanımaktadır.



Resim 8. Hesaplamalı Tasarım, Processing, (Pixtil Stüdyo)

Tekstil ürünlerinde uyguladığı desenleri processing ile oluşturan Pixtil studio, sınırlı sayıda ürettiği ürünlerin her kopyasında benzersiz bir desen elde etmeyi amaçlamakta olup tek olan her desen ve örgü, sayısal olarak üretilmektedir (Pixtil, 2017).

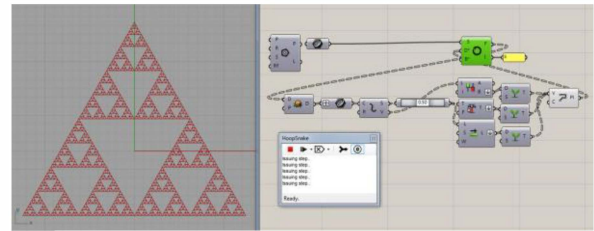
2.2.3. Şekil ve Form Oluşturma

Formun üretimi ve oluşturulmasında kod kullanılmaya başlanmıştır. Formun bilgisayar tarafından nasıl manipüle edildiği konusunda genel bir bilgiye gereksinim gerektirmektedir (Reas, McWilliams, Lust, 2010). Kod, orijinal silüet üretmek için çıkış noktası olarak tekstil, moda veya aksesuarların dokusunu ve 2D şeklinin kendisini ve 3D formları oluşturmak için kullanılabilir.

Solid Works, 3DSMax, Autodesk Maya ve Rhinoceros gibi yazılımlar, 3D modelleme için popüler ve yaygın olarak kullanılan yazılımlardır. Geleneksel olarak ürün tasarımı ve mimaride kullanılırlar, ancak moda tasarımında ve özellikle takı, ayakkabı, topuk veya donanım prototipleme bakımından gelişmiş tasarım ortamı sunmaktadırlar.

Rhinoceros ve Autodesk Maya gibi yazılımlarda nesnelere genellikle vektörler kullanılarak temsil edilmektedir. Bu yazılımlar, tanıdık olduğumuz iki boyutlu eğrilere, noktalara ve çizgilere ek olarak,

tasarımcıların kafesler, NURBS ve alt bölüm yüzeyleri gibi farklı nesnelere oluşturmalarına olanak tanımaktadırlar (Reas, McWilliams, Lust, 2010). Rhinoceros modellemede Mesh yerine NURBS tabanlı olması bakımından yüksek hassasiyete sahiptir ve 3D prototipleme alanında daha çok tercih edilmektedir. Grasshopper kodlama eklentisi Rhino'ya parametrik kontrol olanağı tanıyarak üretken modelleme oluşturma fırsatı sunması bakımından yüksek fonksiyona sahip bir program olarak tasarım ve üretim sektörlerinde genişçe kullanıma sahiptir.



Resim 9. Tekrarlı Desen Örneği Grasshopper Rhino Algoritmik Modelleme Eklentisi

Parametrik yazılımlar, bir kullanıcının, üretim başlamadan önce kullanıcı odaklı görselleştirme yoluyla boyutsal ve yapısal tasarım parametrelerini gözlemlemesine, analiz etmesine ve değiştirmesine olanak tanır. Bu yaklaşımdaki gelişmelerle, parametrik keşif 3D baskı gibi sayısal imalat süreçlerinin oluşturulmasına olanak tanımıştır (Vallett, Knittel, Christe, Castaneda, 2017).

2.3. Üretim Bakımından Bilgisayar Teknolojilerinin Katkısı

1952'de MIT'deki araştırmacılar tarafından, bir bilgisayar freze makinasına bağlayarak ilk dijital imalat aracı yaratılmış, o zamandan beri sayısal üretim alanında kullanılan teknikler, makineler ve işlemler katlanarak genişlemiştir (Genova, Moriwaki, 2016). Tekstil ve moda ile ilgili endüstrileri üretimle buluşturan sayısal alanlar doku, form ve yüzey olarak çeşitlilik gösterir. İlerleyen teknik arenada 'kod' yaratıcı potansiyelinin yanı sıra üretim safhasında da kritik önem taşımaktadır (Braddock, Harris, 2012).

Sayısal imalat yöntemleri, malzeme ve zaman kaybını en aza indirmeye yardımcı olan üretim öncesi görselleştirme ve analiz araçlarının benimsenmesiyle tasarım ve üretim süreçlerini yeniden şekillendirmekte olan ileri bir üretim modelidir. Sistem altyapısına (bilgi, hesaplama, yazılım, algılama, ağ oluşturma) ve yeni materyallerin kullanımına dayanan bir grup etkinliği birleştirerek ürün üretimini tanımlamak için kullanılmakta olup

(Vallett, Knittel, Christe, Castaneda, 2017), bir imalat makinesinin bir bilgisayar ve yazılım yani kod ile kontrol edildiği üretim süreci olarak da tanımlanabilmektedir. Üretim yöntemlerinde, CNC router, lazer kesim, inkjet baskı, ve 3D baskı imkanları vb. kullanılmaktadır.

Tasarımcıların, koleksiyonlarını gerçekleştirmek için giderek dijital imalat tekniklerine yöneldiği, sektörde deneyime sahip olmalarına rağmen, dijital üretim gereksinimlerinin tasarım sürecine nasıl entegre edileceğini anlamak için dijital imalat teknolojilerinin gerektirdiği bilgi ve becerileri edindiği görülmektedir (Genova, Moriwaki, 2016).

Dijital imalat makinelerinin, farklı tasarım gücüne sahip iki ana alt tipe ayrıldığı görülmektedir.

2.3.1. Subtractive Çıkarılabilir Üretim

Özellikle lazer kesiciler ve CNC yönlendiriciler bu kategoriye girmektedir.

2.3.1.1. InkJet Baskı

1980'lerin ortalarında evde kullanım için geliştirilen ilk lazer yazıcılar, tonerin kağıda kaynaştırılması için elektrik şarjı ve odaklanmış ışık kombinasyonu kullanmakta olup, nokta vuruşlu yazıcıların 72 dpi çözünürlüğünden daha yüksek, inç başına 300 dpi baskıya olanak tanımaktaydılar. İlerleyen dönemde mürekkep püskürtmeli (inkjet) yazıcının icadı, mevcut ortam ve mürekkep hacmini genişletmiş, baskı sistemlerinin gelişmiş temel püskürtme nozzle tasarımı, kağıt, plastik ve kumaş vb. çeşitli materyale baskı yapma olanağı tanımıştır (Reas, McWilliams, Lust, 2010).

Tekstil endüstrisinde geniş format inkjet yazıcılar ve uygun mürekkep gelişimi 1998'de, endüstri ölçekli yazıcıların gelişimi 2003 yılında olmuştur. 2010 yılında ise yüksek hızlı (single-pas) sistemlerinin (üretim hızı 20-75 m/dk arasında) piyasaya çıkmasıyla baskı sürecinde ciddi değişim yaşandığı görülmüştür. Tek geçişli (single-pass) baskı konsepti numuneden uzun metraj baskılara kadar seri üretimde kullanılabilir (Kanık, 2016).

InkJet baskı CAD sisteminde üretilen sayısal desen verilerini kullanarak çok ince düzeler yardımı ile baskı mürekkebinin online olarak kumaşa püskürtülmesi esasına dayanmaktadır. Inkjet baskıda, geleneksel serigrafî ve rulo baskının kısıtlamaları bulunmayıp, tekstil tasarımında tekrarlama ihtiyacını da ortadan kaldırmıştır. Rapor tekrarı olmayan

sınırsız uzunlukta desenlerin uygulanmasını mümkün kılmaktadır.

Endüstrinin ekonomik kısıtlamalarıyla geleneksel baskıda tekstil tasarımcıları, ürünlerini genellikle dört ila on renk arasında değişen renk yolunda serigrafî veya rulo baskıya yönelik hazırlamaktaydılar. Inkjet baskı, yalnızca numuneleri prototipleme aracı olarak kullanılmaktaydı. Prototipleme büyük ölçüde numune maliyetlerini düşürürken, tasarımcıların dijital baskının tasarım potansiyelinden faydalanma imkanı bulunmuyordu (Hu, 2011). Günümüzde inkjet baskı endüstri içinde yaygın kullanımı ile yerini almış durumdadır.

Analog baskı sistemlerinin aksine, sayısal inkjet baskı, herhangi bir basılı imajda binlerce rengin kullanımına olanak tanımaktadır. Akademisyenler, bir ile on milyon arasındaki renklerin göz ile ayır edilebileceğini savunmaktadır. Bilgisayar ekranları ise insan gözünün görebileceğinden çok daha fazla, 16.4 milyona kadar renk üretebilmektedir. CAD ekranlarında bulunan bu geniş renk yelpazesi, tasarımcılara basılı ürün ile aynı sonuçları elde etme isteği uyandırmaktadır (Treadaway, 2004). Ancak ilk etapta inkjet baskıdaki en büyük zorluk tasarımcıların renk kullanımına olan yaklaşımından kaynaklanmaktaydı. Geleneksel serigrafî ve rulo baskıcılıkta spot (formüle) renk kullanılıp, her bir renk tonu baskı öncesinde laboratuvarında özel olarak hazırlanmaktadır. Inkjet baskıda renkler dört temel CMYK proses renginin malzeme üzerinde tram efektiyle karışmasıyla elde edilirken, günümüzde renk sayısında standart 8 olup, 32 ye kadar çıkabilmektedir.

İnsanlar rengi iki şekilde görmektedir: Işık yayıcılarından ve ışık emicilerden. CAD ekranları, kullanıcıların RGB'yi birleştirerek milyonlarca renk algılayabilmeleri için kıllıca tasarlanmıştır. Işık emicilerde oldukça farklı olarak materyaldeki pigmentler belirli frekansları absorbe eder ve başkalarının yansımalarına izin verir. Görülen renk, olaylı ışığın seçici emiliminin sonucudur ve 'subtractive' renk olarak adlandırılır. İnsan görüşü, ana renkleri yeniden yapılandırmak için mavi, kırmızı ve sarı renkleri bir araya getirebilir. Bu nedenle, ilke olarak CMYK renkleri, CAD ekranında bulunan renkleri çoğaltmak için baskıda kullanılabilir. CMYK modelinin renk skalası RGB'ye göre daha düşüktür. Tasarımcının sanal alanda oluşturduğu görüntü, inkjet baskı sisteminin renk çıktıları ile uyum sağlamadığı için genellikle baskı sonrasında hayal kırıklığı yaratmaktadır. CIE renk uzayı, ek renk (örn., bir CAD ekranından), çıkarılabilir renk (örn., basılı bir kumaş) ve insan vizyonu arasında anlamlı

ilişkilerin kurulmasına izin verebilmektedir (Hu, 2011).

Hesaplama gücü, tekstil ürünlerini sayısal olarak basma sürecinde üç farklı aşama için kullanılır. İlk olarak, tekstil baskı tasarımı desenin sayısal ortamda hazırlanması, ikincisi tasarımın, baskı için uygun bir olacak biçimde işlenmesi ve üçüncüsü, yazıcının her pikselin doğru mürekkep karışımı ile doğru yerde bırakılacağı şekilde kontrol edilmesidir. Ortalama bir inkjet baskı kalitesi inç başına atkı yönünde 360 dpi ve çözgü yönünde 540 dpi olmaktadır. Uygulama aşamasında yaşanan zorlukların üstesinden gelmek için küresel bir sayısal renk iletişim standardı (RIP) protokollerinin geliştirilmesiyle sağlanmıştır. Raster görüntüler tarama ve dijital fotoğrafçılıkla üretilir ve yazdırma için gereklidir. İmaj manipülasyonu ve tasarım çalışmaları en iyi vektör grafikleri kullanılarak yapılmaktadır. Vektörün raster grafiklere dönüştürülmesi, görüntü yazdırma için gerekli bir adımdır. CAD görüntülerini belirli yazıcılara uygun raster grafik biçimine dönüştüren RIP yazılımıdır (Hu, 2011). Fotografik imajların aynı kalitelere, tekstil malzemesi üzerine basılabilme olanağı sağlayan InkJet teknolojisi tasarım açısından sektöre bir takım avantajlar sağlamaktadır;

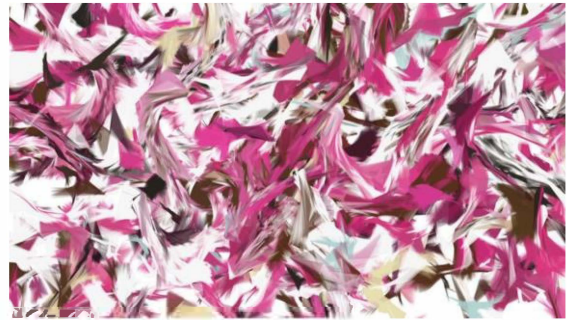
- Tasarım sürecinde desende çeşitlilik ve sınırsız varyant imkanı,
- Karmaşık ayrıntılarda ve milyonlarca renkte fotografik tasarım yapma olanağı,
- Limitsiz rapor boyları, geniş ölçekli görüntü üretme imkanı,
- Koleksiyon değişimine hızlı uyum sağlayabilme olanağı.

Sanal dünyanın yaratıcı ve hesaplama gücünün genişlemesiyle, sayısal görüntü üretme imkanları da değişmiştir. InkJet baskı sistemlerinde kapasitenin yükselmesi, tasarımda renk ayrımı, raporlama ve varyant işlemleri sürecinde de hızı gerekli kılmış, buna paralel olarak CAD /CAM yazılımlarında da birtakım gelişmeler yaşanmış ve tescilli yazılımlar özel sayısal baskı modüllerini sektöre tanıtmışlardır.

Çağdaş baskılı tekstil tasarımında sayısal görüntülemenin kullanılması, sadece üretilen eserlerde değil aynı zamanda kavram ve imaj üretmek yaklaşımlarına da değişiklikler getirmiştir (Treadaway, 2004). Baskı, geleneksel anlamda kumaş boyunca aynı görüntüyü tekrar tekrar üretme yöntemidir. Günümüzde, inkjet baskı teknolojisi statik bilgiden çalışmak zorunda değildir, basılırken değişen bir tasarımı yazdırabilir özelliklere sahiptir. Sayısal teknolojinin bunu yapmak için gerekli içeriği sağlayabileceğini, sadece basılırken değiştirmekle

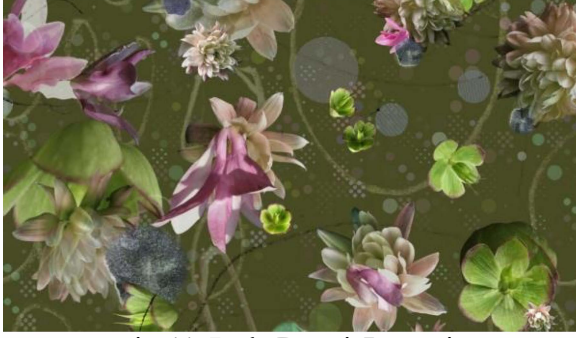
kalmayacak, aynı anda tekrarlanmayan bir tasarım oluşturabildiği görülmüştür. Inkjet baskı teknolojisine bu imkanı üretken yazılım uygulamaları sağlamaktadır. (Russell, 2014).

Daha çok tasarım stüdyoları, bireysel sanatçı, tasarımcı ya da akademisyenler tarafından geliştirilmekte olan inkjet baskıya yönelik üretken tasarım yaklaşımı, endüstrinin ekonomik kısıtlamalarından uzak bir araştırma ve süreç gerektirmektedir. Inkjet baskıda yaşanan gelişmeler endüstriyel üretim hızlarını karşılayan ve ekonomik olarak uygulanabilir olan sistemleri sağladığı için bu durum muhtemelen tasarım sürecinde de değişimi gerekli kılacaktır. Tekstil tasarımı uygulamaları her dönem üretim yöntemleri ve teknolojiyle bağlantılı olarak gelişme göstermekte, her teknolojik değişim, üretilen tekstilin görsel çıktısını etkilemekte ve teknolojiyi kullanmak için gerekli olan teknik becerilerin kazanılması, tasarımcı ile ürün arasındaki mesafeyi kısaltmakta, üretimin gerekliliklerini karşılamak üzere yeni yorumlara ve uyarlamalara olanak tanımaktadır.



Resim 10. Repeatless, Baskı Deseni, Processing, (Alex Russell, 2014)

Russel, tasarım ilkelerinin modellemesini yapılandırmak için karmaşık bir hücreli otomasyon sistemi kullanmaktadır. Böyle bir sistem içerisindeki her unsur, bir dizi kurallar temelinde çevresine tepki verir. Tasarımcıların yüzyıllar boyu tekrar kalıplarıyla çalıştıkları teknikler, potansiyel olarak sonsuz uzunlukta, tekrarlanmayan desen üreten karmaşık bir sisteme dönüşmektedir. Ayrıca bu araştırma, dijital baskının önceki teknolojilerden tamamen farklı bir şeyler yapabileceğini önermekte olup dinamik bir tasarım çıkartabilmekte ve baskı sürecinin aynı şeyi tekrar tekrar yapmakla ilgili olan paradigmasını değiştirebilmektedir (Russell, 2014).



Resim 11. Baskı Deseni, Processing,
(Casey Reas, 2018)

Dinamik ve gelişen görsel eserler yaratmak için kodla çalışan Casey Reas'ın bu düşüncüyü Processing ile oluşturduğu eserinden anlık görüntüler olarak baskı deseni uygulamaları gerçekleştirmektedir. Casey Reas gibi pek çok yazılım sanatçısının, tekstil tasarım sürecine eklenebilecek çarpıcı görüntüler oluşturmak için kod kullandığı görülmektedir. Bu durumda, bir yazılım sürecinin çıktısı tasarım sürecinin başlangıç noktası olarak görülmektedir (Reas, 2018).

Bu yöntemle, yazılım ve donanımın bir araya getirilmesiyle teknoloji tamamen yeni bir biçimde kullanılarak, sınırsız uzunlukta tekrarlanmayan bir tasarım oluşturmaya imkan tanımakta, tasarımı inkjet bir yazıcıya aktarılmak için, bölüm bölüm kaydetme imkanı bulunmaktadır (Treadaway, 2004).

2.3.1.2. CNC Yönlendirici

CNC yönlendirici, subtractive olarak tanımlanan, bilgisayar kontrollü bir kesme ve gravürleme makinesidir. Başlangıçta ahşap ve metal için kullanılmış olsa da, CNC yönlendirici çok katmanlı kumaşların, büyük ölçekli model kesimi ile giderek tekstil alanında da yaygınlaştığı görülmektedir.

CNC bıçak kesimi, otomatik kesme ve çoğaltma kesimi olarak da bilinir. CNC kesiciler yüksek hızda çalışırlar ve uygun malzemelerle saniyede 1.5m'ye kadar kesim yapabilir, CAM dosyası tarafından tanımlanan bir yolu izleyerek, x ve y eksenini parçalarında ilerler, son derece tekrarlanabilir ve nitelikli parçalar üretebilmektedirler. CNC bıçak kesiminde döner bıçak, sürüklenme bıçağı ve karşılıklı bıçak bulunmaktadır. Bıçağı tutan kafa, yatay x ve y eksenini parçaları boyunca hareket ederek, bıçağı kesme yönü doğrultusunda tutmak için döner. Döner ve sürüklenme bıçakları, tek ve düşük katlı kesimler için kullanılır. Döner bıçaklar sac malzemeye bastırarak kesilir. Sürme bıçakları, materyalin yüzeyinden çekildikçe kesim oluşmaktadır. Uzun düz bir bıçak yüksek hızda yukarı ve aşağı testere hareketi

ile kesim sağlamaktadır. Ek olarak, kesici kafa bir v-çentik bıçağı ile delik delmek için kullanılabilir. Düz bıçakların kesme hareketi sürtünme ısısı üretmesi, özellikle termoplastiklerle ilgili sorunlara neden olabilir, malzeme yumuşama sıcaklığının ötesinde ısınırsa kenarlar birlikte kaynaşabilir. Bu durumda, ısınmayı azaltan dalgalı kenarlı bir düz bıçak kullanılır (Thompson, Thompson, 2014).



Resim 12. Metal Ayakkabı
(Bryan Oknyansky, 2017)

Dünyanın ilk özelleştirilmiş titanyum alaşımlı 3D baskı ayakkabısı olması bakımından 'Heavy Metal Seri' Bryan Oknyansky tarafından tasarlanmıştır. Mimari tasarım ve sayısal üretim teknolojisi birleşimiyle ortaya çıkan koleksiyonun giyilebilir sanatsal eserleri yüksek işçilik, teknoloji, lüks ve estetiği birleştirmiştir. Ürünler tasarlanırken 3D tarama kullanılarak bir insan ayağının hassas ölçümlerine uyarlanmış, üretiminde 3D baskı ve CNC işleme teknolojisi kullanılmıştır (Oknyansky, 2018).

CNC yönlendiriciler ise daha çok sert malzemeler için kullanılır. Üç boyutlu şekiller dört veya beş eksenli CNC yönlendiricilerin kullanılmasıyla, bu yönlendiricinin birden fazla düzlemdeki profillerin etrafında dolaşması ve herhangi bir açı ile kesim elde edilmektedir. CNC kesimde, kesme yollarının programlanma ile belirlenmesi prototipleme, numune alma işlemlerinde ve seri üretime uygundur. Bilgisayarlı iç içe yerleştirme ve optik tanıma sistemleri, materyalin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Takım kafaları, işaretçiler, matkaplar, zimbalar ve etiketleme aygıtlarının yanı sıra çok sayıda kesici bıçakla donatılabilirler. Bu, birden fazla işlemin tek bir işlemle ve kumaşın her seferinde tekrar sürülmesi gerekmeden gerçekleştirilebileceği anlamına gelmektedir (Thompson, Thompson, 2014). CNC bıçak kesimi mekanik bir işlemdir, bu nedenle çalışma sırasında duman veya gaz çıkmaz. CNC yönlendirme ise indirgeyici bir işlemdir, bu nedenle operasyonda atık üretmektedir.

2.3.1.3. Lazer Kesim

Lazer kesim, subtractive bir sayısal imalat süreci olarak tanımlanmakta olup başlangıçta 1960'larda ve 70'lerde endüstriyel uygulamalar için kullanılmıştır (Baker, 2016). Lazer kesim bir dizi malzemeyi kesmek, oymak, gravür ve işaretlemek için kullanılan yüksek hassasiyetli bir CNC prosesidir. Termal enerjinin kullanıldığı kesme esnasında fiziksel temas olmayıp kuvvet uygulamaz; bu sayede hassas malzemeler çok karmaşık şekillerde, maksimum performansla kesilebilmektedir. Lazerle kesme, hemen hemen tüm malzemeleri ısıtmak, eritmek, kesmek, aşındırmak veya buharlaştırmak için 0,1-1 mm genişliğinde bir noktaya termal enerjiyi odaklayarak çalışır. CO² ve Nd:YAG olmak üzere iki ana türü vardır. CO², lazerler ağırlıklı olarak plastik ve tekstil gibi ince tabaka malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır (Thompson, Thompson, 2014). Neredeyse tüm lazer işlemlerinde, lazer enerjisinin veya enerji seviyesinin hassas kontrolü, CO² lazer işlemede yüksek kaliteli sonuç elde etmek için büyük önem taşımaktadır. Lazer ışınında çıkış gücü ve mod kararlılığı, öngörülebilir ve tekrarlanabilir enerji darbeleri şarttır. (Isarica, Dragana, Isarieb, Nastasec).



Resim 13. Wilderness Embodied, Lazer Kesim, (Iris Van Herpen, 2013)



Resim 14. Cymatics, Lazer Kesim- 3Dbaskı, (Iris Van Herpen, 2016)

SEIJAKU; Hayatın kaosu içinde huzur bulma olarak ifade eden Herpen, eserindeki ses dalgaları, geometrik desenler geliştikçe görselleşmektedir. Cymatics'te, ses dalgası frekansı ne kadar yüksekse, görünür desenler o kadar kompleks olmaktadır. Cymatics'te yaygın olan bu koleksiyonun biyomorfik hacimlerinin temelini oluşturan dairesel şekilleri ve geometrik desenleri sergilemektedir. Herpen, Japon sanatçı Kohei Nawa'nın eserlerinden esinlenilerek on binlerce Swarovski su damlası kristalinin silikon kaplanmasıyla çiğ damlacıklarla kaplı ıslak bir cilt görünümü elbise yaratılmıştır. Koleksiyon için geliştirilen inci kaplı kauçuk kumaşın lazer kesimle oluşturulan detayların siyah tül üzerine dikilmesi fosil ve çiçek katmanlaması yaratmak için kullanılmıştır (Herpen, 2018)

Lazer kesim, 0.2 mm ince tekstillerden, 40 mm'ye kalın levha plastik malzemelere kadar geniş bir kesim imkanı sağlamakta, malzeme türüne bağlı olarak da işleme hızı değişmektedir. Bazı malzemeler üzerinde görülen yanık izleri lazerle kesmeyi kozmetik uygulamalar için daha az tercih edilir kılmaktadır. Bu durumda alternatif olarak CNC bıçak kesimi kullanılabilir. Gravür, malzemenin türüne ve kalınlığına göre değişiklik gösterse de, oymalar karanlık malzemeler üzerinde daha açık alanlar ve açık renkli malzemeler üzerinde daha koyu bölgeler üretme eğiliminde olmaktadır (Thompson, Thompson, 2014). Lazer kesimde kullanılabilecek malzemeler; pamuk, ipek, polyester, şifon, ahşap, deri, süet, jarse, kot, keten, keçe gibi çeşitli kumaş, ahşap, kağıt, karton, kauçuk, metaller, cam, seramik vb. çeşitlilik göstermektedir. Bir tasarımdan geriye kalan öğeler ayrıca geri dönüştürülebilir, başka düz

bir şablon üzerine yeni bir tasarımda kabartma etkisi ile versiyon oluşturmak için yeniden kullanılabilirlikte.

Lazer kesicinin izleyeceği desen dijital bir dosyada biçimlendirilmelidir. Dosyanın tam biçimi, kullanacağınız lazer kesicinin markasına bağlı olarak değişmekle birlikte kesilecek yer ve kesme talimatları, genelde illustrator gibi vektör bazlı yazılım kullanılarak dxf ve dwg dosya biçimlerinde oluşturulmuş, bir CAD dosyası şeklinde makineye verilmektedir. Kullanılan yazılımlar arasında AutoCAD, Solidworks, Rhinoceros, Adobe Illustrator ve SketchUp bulunmaktadır (Baker, 2016).

2.3.2. Additive Katkılı Üretim

Katkı imalatı, bir nesne ortaya çıkıncaya kadar az miktarda malzeme ekleyerek nesnelere yaratır. 3D yazıcılar, bir katkı imalat teknolojisi örneğidir (Genova, Moriwaki, 2016).

2.3.2.2. 3D Baskı

Üç boyutlu baskı genel olarak üretken imalat ya da hızlı üretim olarak nitelendirilen teknolojilerin kullanımı gittikçe daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Bu yöndeki artan ilginin kaynağı geliştirilen imalat yaklaşımındaki kullanılabilirlik, daha yüksek kalite ve fiyat avantajından kaynaklanmaktadır.

“3D-baskı, veri toplama, geometrik verilerin ön işleme tabi tutulması, baskı makinesinin hazırlanması, baskı dizisinin kendisi ve post-processing prosedürleri gibi bütün bir işlem akışından oluşmaktadır (Schönberger, 2016).

Üretken imalat, 3D baskı bir ürün üretmek için güçlü sayısal tabanlı olasılıklar üretmeye olanak tanıyan, 3D modelleme yazılımı ile çalışılmayı gerektirmektedir. Kullanılan veri, tabaka, sıvı veya toz esaslı malzemelerden fiziksel parçalar oluşturmak için doğrudan CAD dosyasından aktarılır. 3D modellenen ürün üretme sürecinde nesne yazılımla modelledikten sonra çalışma dosyası STL biçiminde dışarı aktarılır ve seçilen yazıcıyla yazdırılır.

Moda, ayakkabı ve kuyumcu tasarımcıları, düşük hacimde özel parçaların yanısıra tek kullanımlık ve özelleştirilmiş öğeler üretmek için bu tekniklerden yararlanılmaktadır. Ayakkabı tabanları, zincir metallere ve aksesuarlar gibi plastik parçalar, FDM, SLS ve SLA kullanılarak üretilmektedir (Thompson, Thompson, 2014).

Standart CAD sistemleri istenen geometriyi üretmek için kullanılabilirken, serbest formlu yüzey modelleme özelliğine sahip sistemler de 3D baskılı uygulamalar için kullanılabilir. Makine çözünürlüğü, mekansal kısıtlamalar, destek yapılarına olan ihtiyaç, malzeme sınırlamaları vb. nedeniyle her geometri 3D yazdırılmaz. Mevcut katı cisimlerin hızlı üretimine yönelik kopyalanması için de genellikle X-ışını, ultrasonik veya lazer tarama gibi optik yöntemlere dayanarak geometrik veriler elde etmek gerekmektedir. CAD verileri genellikle dilimleme olarak adlandırılan baskı yazılımı ile sayısal olarak katmanlı (STL) hale getirilmelidir. Stereolitografi dili, ilave katman bilgisi içeren 3D veriler için standart dosya formatı olarak belirlenmiştir. Destek yapılarına olan ihtiyaç, seçilen plastik malzeme özelliklerine (sıvı veya katı), imalat yöntemine ve üretilen geometrinin karmaşıklığına bağlıdır. 3D baskıda destek yapılarının kullanımını bir ölçüde durdurmak için 3D-dönen taban plakası kullanımına gidilmektedir. STL dosyası olarak adlandırılan gerçek yazdırma verileri online olarak makineye aktarılır. Kullanılan malzeme seçilen baskı teknolojisine bağlı olarak baskı makinesinde doldurulmalıdır. Özellikle lazer sinterleme uygulaması için, yeni bir toz kullanmak çok ekonomik değildir, %20 geri dönüştürülmüş toz kullanımı, şekillendirilmemiş, ancak bir önceki baskıda bir dereceye kadar ısıtılan bir lazer sinterleme sürecindeki tozlar kullanılabilir. Baskı makinesi normalde insan etkileşimi gerektirmeden baskı dizisini otomatik olarak gerçekleştirir. 3D yazdırma uygulamalarının büyük bir çoğunluğu, post-processing adımlarını belirli bir dereceye kadar gerektirmektedir. Tipik işlem sonrası adımlar, destek yapılarının çıkarılması, ultraviyole (UV) tabanlı teknolojilerin post-kürlenmesi ve yüzey işlemleridir. Süreç örneklerin durulama, dezenfeksiyon veya sterilizasyon prosedürleri ve paketleme adımları ile tamamlanmaktadır (Schönberger, 2016).

3D üretken üretimde tüm baskı yaklaşımları bir katmanlama işlemi ile 3D nesnelere üretmek için farklı tekniklerle birleştirilir. 3D yazdırma yöntemleri üç ana yaklaşımda özetlenebilir (Schönberger, 2016).

- Polimer tozu ile 3D baskı,
- Erimiş polimerle 3B baskı,
- Sıvı polimerle 3B baskı.

3D baskıyı ana teknikler dahilinde altı başlık altında sınıflandırmak mümkündür;

2.3.2.2.1. Stereolitografi STL / SLA

1980'lerde başlayan STL yaklaşımı Charles W. Hull'ın gözetiminde, ilk ticari 3D baskı teknolojisi olarak düşünülerek geliştirilmiştir (Schönberger, 2016). 0,05 mm ile 0,1 mm arasında tabaka kalınlığıyla, bir bilgisayar kontrollü merceğin yönlendirdiği bir UV lazer ışını, dokunduğu UV'ye duyarlı sıvı epoksi reçinesinin yüzey tabakasını sertleştirilmesiyle işlem gerçekleşir (Thompson, Thompson, 2014). STL prosesi, iyi yüzey kalitesi ve proses kararlılığı ile hızlı bir baskı süreci sunmaktadır. Uygulanan dalga boyları, kimyasal yapısına bağlı olarak kullanılan fotopolimerin gereksinimlerini karşılamalıdır. Bu işlem, yazdırılacak her kat için tekrarlanır. STL makineleri bir veya daha fazla lazer ile tek bir malzeme bileşeni yazdırmak üzere tasarlanmıştır (Schönberger, 2016).

2.3.2.2.2. Sayısal Işık Projeksiyonu DLP

Dijital ışık projeksiyonu DLP yaklaşımı STL'ye benzer, ancak fotopolimerler morötesi ışınlar (örn; LED kaynağı) uygulanarak sertleştirilmektedir. DLP teknolojisi, daha önce tanımlanan geometride tabaka olarak fotopolimerleri iyileştiren bir UV kaynağı ve mikro mercekler ile çalışmaktadır. Her seferinde bütün bir tabaka iyileştirildiğinden, DLP teknolojisi de yüksek yazdırma hızına sahiptir (Schönberger, 2016).

2.3.2.2.3. Multijet / PolyJet Modelleme MJM

Yeni bir süreç olan PolyJet, Stratasys tarafından patentlenmiştir. Baskı malzemesini istenilen şekle sprey olarak sıkıştıran bir baskı kafası kullanılmasıyla tam anlamıyla gerçek bir 3D baskısı olarak düşünülebilir. Renkli fotopolimer ardışık katlar halinde uygulanır ve UV ışık altında kürlenir. Süreç hızlı ve çok yönlüdür; çoklu termoplastikler katıdan esnek ve şeffaf ile opak arasında kullanılabilir. Bu işlemle birden fazla renk (Thompson, Thompson, 2014) ve malzemeyi aynı bölüme birleştirmeye olanak tanıyan birkaç paralel jetden oluşabilmektedir. (Schönberger, 2016). Bu prosesle model malzeme 0.016 mm kalınlıklarda tam kontrollü bir yazıcı kafası, tek geçişte sekiz malzeme veya renk uygulanabilmektedir. Fotopolimer ile birlikte yazıcı, karmaşık geometrileri ve çıkıntılı şekiller oluştururken gereken destek malzemesinde uygular (Thompson, Thompson, 2014).

2.3.2.2.4. Seçici Lazer Sinterleme SLS

Seçici lazerle sinterleme (SLS) teknolojisi, yüksek enerjili darbeli lazer ışınları uygulayarak yerel olarak eritilerek bağlanan termoplastik polimerleri toz olarak kullanmaktadır. Her kür aşamasından önce, dikey

olarak hareket ettirilebilen bir kap içine ince bir toz tabakası doldurulur. Daha sonra lazer ışınları termoplastik tozu, istenen konumlarda eriterek, yerel birleşmeyi katılmış bir tabakaya kadar indükler. SLS prosedürü tozun katı hali nedeniyle diğer baskı yaklaşımlarına göre daha az destekleyici yapıya ihtiyaç duymaktadır (Schönberger, 2016).

2.3.2.2.5. Kaynaştırılmış Biriktirme Modellemesi FDM

FDM, 1988'de Stratasys'in kurucusu Scott Crump tarafından icat edildi. Ayrıca Fused filament fabrication FFF olarak da adlandırılmaktadır. Katmanlı plastik modelleme sürekli bir ekstrüzyon filaman kullanılarak oluşturulmaktadır (Thompson, Thompson, 2014). Filament ısıtmalı bir nozle ile beslenir ve yarı sıvı halde kalır. Bilgisayar kontrollü yollarla yönlendirilen nozle 0.2 mm kalınlıkta bir tabaka uygular ve termoplastik soğurken aşağıdaki katman ile güçlü bir bağ oluşturur. Katman tamamlandıktan sonra, yapı platformu belirli bir mesafeye iner ve bir sonraki katman üste uygulanır. Destek yapıları sağlamak için genellikle farklı bir termoplastik tipteki ikinci bir nozle kullanılmaktadır.

FDM uygulama sürecinin basitliği nedeniyle en yaygın kullanılan üç boyutlu baskı yaklaşım olarak, bir makineyi çalıştırmak için yazılımlara gerek görmeden, ayrıntılı talimatlara da olanak tanımaktadır (Schönberger, 2016).

2.3.2.2.6. Arburg Plastik Serbest Şekillendirme AKF

Arburg plastiksizleştirme AKF, teknolojisi, 2013 sonbaharından bu yana üretken imalat dünyasındaki gelişmelerde etkisiyle çığır açan ve termoplastik malzeme pazarında potansiyeli yüksek bir teknolojidir (Schönberger, 2016).

AKF yaklaşımının sağladığı olağanüstü özellik Standart termoplastik reçineler, ilk kez 3D sistemini iyileştirmek için kaplama veya ek bileşikleri özel işlem yapılmaksızın işleyebilen, imalat sanayinin gelişmiş teknoloji olan metalik insertleri veya sensörleri basitçe entegre edebilmektedir (Schönberger, 2016).



Resim 14. 3D Alçı (Deniz Karaşahin, 2014)

Deniz Karaşahin, tasarladığı ve 3D baskı teknolojisiyle prototipini oluşturduğu 'Alçı' ile 2014 Golden A'Design Award ödülüne '3D baskı formları ve ürün tasarımları' kategorisinde layık görülmüştür. Endüstriyel tasarımcı olan Karaşahin'in tasarladığı ürün 3D Alçı ayrıca kırıkların tedavi sürecinde de etkili olan giyilebilir özelliği ile dikkat çekmektedir. 3D alçı ile geliştirilen düşük yoğunluklu ultrason teknolojisi (LIPUS), kırık bulunan bölgeye günde 20dk. uygulandığında bölgedeki kırık kemik dokusunu normal süreye oranla %40 daha kısa sürede iyileştirme özelliğine sahiptir (Özdoğan, 2018)



Resim 15. 3D Alçı (Deniz Karaşahin, 2014)

3D baskı alanına, vücut mimarisi yaklaşımı yeni bir tasarım ve uygulama türü getirmektedir. Mimarlarla beden arasındaki bağlantı, 2007'de Los Angeles

Çağdaş Sanat Müzesinde düzenlenen 'Skin + Bones' sergisi ve ilgili yayınında, moda ürünlerini tasarlayan mimarlara genişçe yer vermesiyle birlikte gündeme gelmiş olup, moda endüstrisine olan ilgiyi arttırmıştır. Vücut mimarisi yaklaşımı, sadece moda ürünlerini değil, aynı zamanda insan vücuduna yönelik diğer tasarım ürünlerini de içeren yeni bir alan olarak gösterilmekte ve başka disiplinlerden, öğrenciler tasarım, üç boyutlu düşünme ve materyal davranışını mimarlıkta olduğu kadar iyi anlamaya yönelik eğitimlerle desteklenmektedir (Leach, 2017).

3D baskı teknolojisinin moda tasarım dünyasına ilk kez 2010 yılında Iris Van Herpen'in fütüristik tasarımlarıyla girdiği görülmektedir. Herpen'in Amsterdam Moda Haftası'nda sergilediği 3D baskılı giysisi koleksiyonu 'Kristalizasyon', sanatçı, tasarımcı, mimar ve heykeltıraş olan Daniel Widrig ile birlikte, Materialize'in 3D baskı şirketi MGX de hazırlamıştır.



Resim 16. Crystallization, (Iris van Herpen, 2010)

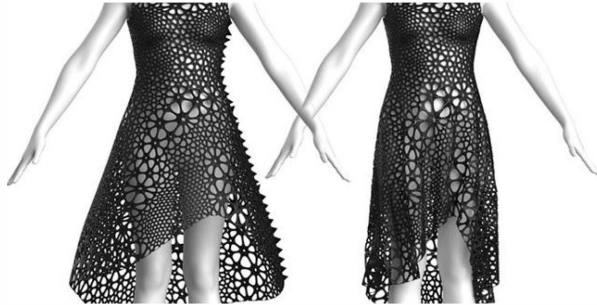
Herpen, olağanüstü işçilik, olağandışı dokular ve özel yapım malzemeler kullanarak, geleneksel giysilerin sınırlarını sorgulayan, oluşturduğu heykelsi parçalar ile inovatif bir üne sahiptir. Koleksiyonlarını genellikle dansçılar ve koreograflar, görsel sanatçılar, şapka ve ayakkabı tasarımcıları ve mimarların da dahil olduğu multi-disipliner sanatçı işbirliğinin sonucunda hazırlamaktadır. Herpen, donan sudan esinlenerek tasarladığı bu koleksiyonda, suyun farklı durumlarını, yapılarını ve kalıplarını ifade etmektedir. Kristalizasyon'un parçaları yenilikçi, karmaşık ve girift, aynı zamanda serttir. Beyaz poliamitten, 3D

baskılı tek parça olarak SLS tekniğinde üretilmiştir. (Herpen, 2018).

Bilgisayar kontrollü üretim teknikleri, özelleştirilmiş tasarımın herkes tarafından erişilebilir olmasını sağlamaktadır. Massachusetts'teki tasarım stüdyosu Nervous System'in kurucularından Jessica Rosenkrantz ve Jesse Louis-Rosenberg, bu yeni alanda bazı çığır açan girişimler yapmışlardır (Rosenkrantz, Rosenberg, 2017).

Nervous System, özel olarak geliştirilen Web uygulamaları, vücut taramaları, simülasyonu, ve biyometrik veriler arasındaki ara-yüzlerle mücevher, elbiseler ve koşu ayakkabıları gibi öğelerin, tek statik tasarımlarını yapmak yerine sayısız sonuç veren dinamik, eğlenceli sistemlerin kodlanması yoluyla, özelleştirilmiş üretken tasarımların, dijital imalat ile üretilmesine imkan veren yeni bir üretim yaklaşımını temsil etmektedir (Rosenkrantz, Rosenberg, 2017).

Kinematik tekstiller, mozaik şeklinde döşenmiş menteşelerle bağlı üçgen modüllerden oluşmakta, bileşenler sağlam olmakla birlikte, sürekli bir kumaş gibi davranarak, vücut hareketine tepki vererek esnek bir şekilde uyum sağlayabilmektedir. Geleneksel kumaşın aksine, Kinematik tekstil, gövde boyunca farklı modül boyutları ve tiplerinin uygulanması sertlik, katlama, esneklik, gözeneklilik ve desende değişiklik gösterebilmektedir (Rosenkrantz, Rosenberg, 2017).



Resim 17. Kinematics Elbise Simülasyonu,
(Jessica Rosenkrantz, 2014)

Bu yapıların, CAD modellemede oluşturulması zor ve zaman alıcı olabilmekte, ancak Nervous System'in Kinematik kumaş uygulaması, tasarımın herkes tarafından erişilebilir olmasına imkan vermektedir. Kinematik kumaş, insanların çizim ile özel 3D giysiler tasarlayabileceği bir Web uygulaması olarak geliştirilmiştir. Uygulamada elbiseler, etekler ve gömlekler de dahil olmak üzere çeşitli giyim eşyaları oluşturulabilmektedir. Kinematik kumaşın, JavaScript ve WebGL'de oluşturulan tasarım süreci, kullanıcı girdisinin anında görselleştirilmesini sağlayan gerçek

zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Parametrik vücut modelleme teknolojisi kullanan kullanıcılar, kendi vücut şeklini 3D tarama veya geleneksel ölçümlerle uygulamaya aktarabilmekte, tüm tasarım süreci müşterinin kendi bedeninin simülasyonunda 3D olarak gerçekleştirebilmektedir. Tasarımları yazdırılabilir hale getirmek için, Nervous System'in simülasyon aracı olan Kinematics Fold ile %85'in üzerinde sıkıştırılabilmektedir. Kinematics Fold, Kinematik tasarımlarının dijital olarak sıkıştırmak için menteşeli hareketi taklit etme fikrine dayanan akıllı bir katlama stratejisi kullanmaktadır. Sistem binlerce ara parça içeren tasarımları birkaç dakika içinde 3D baskıya hazır konfigürasyonlara sıkıştırabilme yeteneğine sahiptir (Rosenkrantz, Rosenberg, 2017).



Resim 18. Kinematics Elbise,
(Jessica Rosenkrantz, 2014)

4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Teknolojik gelişmelerin her dönem tekstilde tasarımı ve uygulama alanlarını etkilediği, sanatın kreatif etkisinin, malzemelerden yeni üretim süreçlerine kadar teknolojik gelişmelerin, tekstil ürünlerinin estetiği, stili ve işlevselliği konusundaki algımızı yükselterek anlayışımızı geliştirdiği görülmüştür. Tekstil de her zaman sanat ve teknolojiye paralel bir anlayışla gelişme göstermiştir. Tasarım açısından da yeni teknoloji ve malzeme kullanımı, sayısal, hesaplamalı ve elektronik tasarım ve sayısal imalat yöntemlerinin tasarımcılar için sunduğu olanaklar ile yeni bakış açıları geliştirdiği görülmektedir.

Elektronik tekstil ürünlerinin ilerlemesindeki önemli bir engel pil ve güç kaynağı iken bir diğer husus elektroniğin geliştirilme sürecindeki yüksek maliyetlerin tekstil ve modanın düşük kar marjlarıyla örtüşmemesinden kaynaklanmaktadır.

Bu ürünlerin ancak özelleştirilmiş tasarımlarla ilerleyen dönemde giderek hayatımızda yer alabileceği öngörülere güçlenmektedir.

Tekstil tasarımcılarının teknoloji ile sanatsal detayların harmanlandığı bir yaklaşımla oluşturduğu ürünlerin giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Sayısal üretimin avantajlarının yaygın olarak kullanıldığı özelleştirilmiş tasarımlarla çağdaş yapıt niteliği bu ürünlerde etkin şekilde hissedilmektedir. Çağdaş tasarım ve üretim yaklaşımıyla oluşturulacak tekstil ürünlerinde, bilim, teknoloji, sanat ve tasarım gibi alanlardan multidisipliner ekiplere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Sayısal imalat tekniklerinin yaygınlaşması, endüstri içinde yeni kurulan iş rollerinde ciddi katkı sağlayacaktır.

Hesaplama tasarım, teknolojisi ve malzemelerinin piyasada henüz yaygın olarak kullanım alanı oluşmamıştır. Ancak tarihsel süreç içerisinde teknoloji, malzeme ve tasarım gelişimine baktığımızda, benzer bir sürecin yaşanabilme ihtimalinin yüksek olduğu görülmektedir. Günümüzün tekstil ve moda ürünleri, teknolojik ve işlevsel olduğu kadar giyilebilir, son derece işçilik gerektiren karmaşık detaylar barındırabilir, sanatsal niteliği yüksek özelleştirilmiş tasarımlarla endüstrinin kısıtlamaları olmadan sayısal üretim yöntemleriyle üretilmektedir.

KAYNAKLAR

Baker, L., B., 2016. Laser Cutting for Fashion and Textiles. s. 7-10

Boden, M. A., Edmonds, E., A., 2009. What is generative art?, *Digital Creativity*, 20, ss.21-46

Braddock Clarke, S. E., Harris, J., 2012. Digital Vision in Fashion + Textiles: Made in Code.

Dorin, A., 2001. Generative processes and the electronic arts, Cambridge University Press, Printed in the UK. *Organised Sound* 6/1, s. 47-53

Genova, A., Moriwaki, K., 2016. Fashion & Technology, *A Guide to Materials and Applications* s.4.

Hu, J., 2011. Computer Technology for Textiles and Apparel.

Kanık, M., 2016. Butekom Akademi_Tekstilde Özel Konular_InkJet ve Rotasyon Baskıda Yenilikler Eğitim Kitapçığı

Kettley, S., 2016. Designing with Smart Textiles, s.10.

Lee, S., 2005. Fashioning The Future, Tomorrow's Wardrobe

Reas, C., McWilliams, C., Lust, 2010. Form + Code, In Design, Art, and Architecture.

Schönberger, M., 2016. Emerging Trends in Medical Plastic Engineering and Manufacturing, *Generative Manufacturing Technologies-The Future?*

Thompson, M., Thompson, R., 2014. Manufacturing Processes for Textile and Fashion Design Professionals.

Isariea, C., Dragana, A., Isarieb, L., Nastasec, D., 2006. Modern laser technologies used for cutting textile materials, *Proceedings of Spile Conference*.

Leach, Neil., 2017. What is 3D-Printed Body Architecture. *Architectural Design, Profile No 250*, s.6

McCormack, J., 2003. Art and the mirror of nature, *Digital Creativity Journal*, 14, s.3-22.

Rosenkrantz, J., Rosenberg, J.L., 2017. Dress/Code, Democratizing Design Through Computation and

Digital Fabrication. *Architectural Design, Profile No 250*, s.48

Russell, A., 2014. Repeatless:transforming surface pattern with generative design, *Shapeshifting Conference: Auckland University of Technolog*

Treadaway, C., 2015. Digital Imagination:The Impact of Digital Imaging on Printed Textiles, *Textile The Journal of Cloth and Culture*,s.258.

Vallett, R., Knittel, C., Christe, D., Castaneda, N., Kara, C.K., 2017. Digital fabrication of textiles: an analysis of electrical networks in 3D knitted functional fabrics, *Proceedings of Spile Conference*.

Özkan, Ş., 2011. Sanatsal Dokumalarda Geleneksel Dokuma Tekniklerinin Kullanımı. MSGSU, Sosyal Bilimler Enstitüsü YL. Tezi.

Çağlayan, H., 2018. Moda endüstrisi dinamiklerini, dijital geleceği ve sanat dünyası ile bağının Çağlayan'ın yaratıcılığına olan etkisi. <http://timtv.com.tr/etkinlikler/turkiye-tasarim-haftasi/konferans-modanin-dahisi-huseyin-caglayan> Ocak,2018

İstanbul Modern, 2018. Hüseyin Çağlayan: 1994-2010, Retrospektif sergi. http://www.istanbulmodern.org/tr/sergiler/gecmis-sergiler/huseyin-caglayan-1994-2010_262.html Ocak, 2018

Herpen, I., V., 2018. <http://www.irisvanherpen.com/haute-couture/seijaku>, Ocak, 2018

Herpen, I., V., 2018. <http://www.additivefashion.com/iris-van-herpen-and-3d-printing-the-beginning/>, Ocak, 2018

Oknyansky, B., 2018. <http://www.bryanoknyansky.com/heavymetalseries>

Özdoğan, B., 2018. Türk tasarımcıdan ödüllü 3D baskı ürünü kırık alçısı, Log.com.tr <https://www.log.com.tr/turk-tasarimcidan-odullu-3d-baski-urununu-kirik-alcisi/>

Pixtil, 2017. Generative is a software and creative process. <http://pixtil.fr/php/generatif/>

Reas, C., 2018. <http://reas.com/text>

Rosenkrantz, J., 2017. <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/sets/kinematics-dress/>

Resim 1., Georg Ness,
http://www.heikewerner.com/images/nees_print3_ot.jpg, Kasım, 2017

Resim 2., Jaoshua Davis,
<http://freight.cargocollective.com/w/750/i/f95222770abde6837d7e0c9d5c5ad2c21536d940638ed39731e8e4e861f5fde2/img43.png>, Kasım, 2017

Resim 3., Theunseen,
<http://seetheunseen.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/landscape-368x245.jpeg>, Kasım, 2017

Resim 4., Hüseyin Çağlayan,
<http://www.tekdozdijital.com/wp-content/uploads/2016/10/Show-3-1200x1800-400x600.jpg>, Ocak, 2018

Resim 5., Hüseyin çağlayan,
<http://www.dugumkume.org/wp-content/hussein-waldemeyer-2007-1.jpg>, Kasım, 2017

Resim 6., Afra Sönmez,
<https://platosanatblog.files.wordpress.com/2016/10/af-ra-sonmez-gorsel.jpg?w=1400>, Kasım, 2017

Resim 7., Angella Mackey,
http://2.bp.blogspot.com/-3hSjguh8rkM/TZxbFLrAo0I/AAAAAAAAAG3E/o6mjYHTb6Jw/s640/angellamackeySS11_19.jpg, Kasım, 2017

Resim 8., Pixtil Studio,,
<http://pixtil.fr/php/produits/img/serviette1.jpg>, Kasım, 2017

Resim 9. Grasshopper-Rhino Algoritmik
http://api.ning.com/files/AlUWUzhZhdLspJSbGBzGLoh40-G18sAbp2i5Hq7z*GgDpdnu-mKR*a1H3IG6GQ*IGWsQSAmn*c1PkqJ6IdQQZixrUAWAqIEV/Triangulorecursivo.PNG

Resim 10., Alex Russel,
http://www.artdesnet.mmu.ac.uk/gallery/resized/13806_m.jpg, Kasım, 2017

Resim 11., Casey Reas,
http://www.artpractical.com/uploads/features/_1246_1246/Casey-Reas-Process-18-Software-3.jpg, Kasım, 2017

Resim 12., Bryan Oknyansky,
<http://www.urukia.com/titanium-shoes-series-bryan-oknyansky/>

Resim 13., Wilderness Embodied, Iris Van Herpen,
http://www.irisvanherpen.com/_uploaded/IrisVHerpe_n010713-0428_1-50.jpg, Ocak, 2018

Resim 14., Cymatics, Iris Van Herpen,
http://www.irisvanherpen.com/_uploaded/LOWE_IV_H_B_COUTURE-PARIS_-435-50.jpg, Ocak, 2018

Resim 15., Deniz Kardeşahin,
<https://www.log.com.tr/wp-content/uploads/2014/04/3d-alcı.jpg>,

Resim 16., Deniz Kardeşahin,
<https://www.log.com.tr/wp-content/uploads/2014/04/3d-alcı-2.jpg>
Ocak, 2018

Resim 17., Iris Van Herpen,
http://www.irisvanherpen.com/_uploaded/Iris2-50.jpg, Ocak, 2018

Resim 18., Jessica Rosenkrantz
<http://www.3dsolusindo.com/files/5114/6098/3047/KinematicSystem.png>

Resim 19., Jessica Rosenkrantz
<http://images.mid-day.com/images/2015/aug/3D-Printed-Dress.jpg>