

BİLGİSAYIMSAL DÜŞÜNCE VE JENERATİF SANAT BİRLİKTELİĞİNİN GÖRSEL TASARIMA ETKİLERİ *

SALİH SAĞLAM**, ATILA IŞIK***

ÖZ

Jeneratif sanat, tasarım sürecinde otonom bir sistemin eser üretimini kısmen ya da tamamen üstlenmesi olarak ifade edilebilir. Bu sistemi inşa etmek için kullanılan dijital araçlar, bir probleme bilgisayarlı düşünceyle çözüm üretmek için de kullanılmaktadır. Dolayısıyla, her iki alan birlikteliğinin görsel tasarımda bilgisayar gücünün etkili şekilde kullanılmasını sağlayacağı ve uygulama verimliliğini artıracığı düşünülmektedir. Böylece, dijital ortamda yürütülen görsel tasarım pratiklerinde, uygulama ve zaman maliyetlerinin azalacağı, süreç yönetiminin kolaylaşacağı ve verinin kolay şekilde işlenerek yeni ifade biçimlerinin keşfine ortam sunacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu araştırmanın amacı, dijital araçların jeneratif sanat ve bilgisayarlı düşünce süreçlerindeki kullanım amaçlarını ve görsel tasarım üzerindeki etkilerini tespit etmektir. Araştırmanın odak noktasını netleştirebilmek için araçlar algoritma, yazılım, kod, prosedür ve veri ile sınırlandırılmıştır. Dijital araçların görsel tasarım sürecini nasıl etkilediği, seçilen uygulama pratikleri üzerinden incelenmiş ve geleneksel yöntemlerden ayrılan yönleri üzerine tespitler yapılmıştır. Bu araştırma, görsel tasarım sürecinde yeni fikirlerin keşfine, zamanın esnek ve verimli kullanımına, tasarım uygulama yöntemlerine ve verinin sanatsal olarak görselleştirilmesine yönelik literatüre yapacağı katkılardan dolayı önemlidir. Nitel araştırma sürecini aydınlatmak amacıyla kitap, dergi ve çeşitli dokümanlardan kavramların tanımıyla ilgili genel literatür taraması yapılmıştır. Çalışma, vaka analizi yöntemiyle planlanmış olup, soyut araçların kullanıldığı belirli uygulamalar amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilmiş ve görsel kaynak olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeneratif Sanat, Bilgisayarlı Düşünce, Görsel Tasarım, Veri Görselleştirme, Teknoloji.

* Bu çalışma, Doç. Dr. Atıla IŞIK danışmanlığında Salih SAĞLAM tarafından hazırlanan "Nörobilimsel Veri ile Görsel Tasarım" başlıklı Sanatta Yeterlik Tez'inden üretilmiştir.

** Öğr. Gör. Salih SAĞLAM, Selçuk Üniversitesi, Tasarım Meslek Yüksekokulu, Grafik Tasarım, salih.saglam@selcuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0548-1005>

*** Doç. Dr. Atıla IŞIK, Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Grafik Bölümü, atila@hacettepe.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9888-9762>

**** İki yazar da çalışmaya eşit oranında katkıda bulunmuşlardır. Çalışmada herhangi bir destek ve teşekkür beyanı veya çatışma beyanı yoktur.

THE EFFECTS OF THE COMBINATION OF COMPUTATIONAL THINKING AND GENERATIVE ART ON VISUAL DESIGN*

SALİH SAĞLAM**, ATILA IŞIK***

ABSTRACT

Generative art can be defined as the process in which an autonomous system partially or entirely takes over the creation of an artwork during the design process. The digital tools used to construct such a system are also employed to solve problems using computational thinking. Therefore, the integration of these two fields is expected to enable the effective use of computational power in visual design and increase application efficiency. Consequently, it is concluded that in visual design practices conducted in digital environments, application and time costs will be reduced, process management will become easier, and data will be processed more effortlessly, paving the way for the discovery of new forms of expression. The purpose of this research is to identify the purposes of using digital tools in generative art and computational thinking processes and their effects on visual design. To clarify the research focus, tools have been limited to algorithms, software, code, procedures, and data. How digital tools influence the visual design process has been examined through selected application practices, and the distinctions between these practices and traditional methods have been analyzed. This research is significant due to its potential contribution to the literature on the discovery of new ideas in the visual design process, the flexible and efficient use of time, design application methods, and the artistic visualization of data. To shed light on the qualitative research process, a general literature review has been conducted using books, journals, and various documents related to the definitions of key concepts. The study is planned using the case study method, with specific applications employing abstract tools selected through purposive sampling and evaluated as visual resources.

Keywords: Generative Art, Computational Thinking, Visual Design, Data Visualization, Technology.

* This article is derived from a Proficiency in Art thesis named "Visual Design with Neuroscientific Data," by Salih SAĞLAM under the supervision of Assoc. Prof. Dr. Atila IŞIK.

** Öğr. Gör. Salih SAĞLAM, Selcuk University, Vocational School of Design, Department of Graphic Design, salih.saglam@selcuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0548-1005>

*** Assoc. Prof. Dr. Atila IŞIK, Hacettepe University, Fine Arts Faculty, Department of Graphic Design, atila@hacettepe.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9888-9762>

1. GİRİŞ

Günümüzde bilim ve teknolojinin gelişimiyle birlikte toplumsal ihtiyaçlar da sürekli olarak değişmektedir. Bu değişen ihtiyaçlar karşısında, geleneksel tasarım yöntemleri ve sonuç odaklı tasarım yaklaşımları genel olarak yetersiz kalmaktadır. Geçmiş dönemlerde geçerli olan tasarımdaki çözümlenme ve üretim süreçlerindeki geleneksel yöntemler, günümüz dinamikleri karşısında eski yaklaşımların etkinliğini sorgulatmaktadır. Ayrıca, veri gibi yapıların işlenmesi ve görselleştirmeye yeni ifade biçimlerinin keşfi ve yeni araçların tasarım sürecine uyumunu da zorlaşmaktadır. Dolayısıyla, görsel tasarım dinamikleri daha esnek, daha hızlı, yenilikçi ve çok yönlü tasarım süreçlerini gerektirmektedir. Görsel tasarımda kullanılan yapay zeka araçlarının artışı göz önüne alındığında, bu gerekliliğin önemi daha iyi kavranabilir. Bu açıdan, tasarım sürecinde algoritma, yazılım, kod, prosedür ve veri gibi dijital araçların etkin bir şekilde kullanılması, tasarım sürecini daha verimli hale getirecektir ve özgün çözümlerin gelişmesine olanak tanıyacaktır.

Dijital araçların görsel tasarımda etkili şekilde kullanılması için tasarım problemlerinin, bilgisayarın çalışma prensiplerine en yakın şekilde ele alınması gereklidir. Bu durum, tasarım sürecinin dijital araçlarla uyumlu hale gelmesine imkan vereceğinden, çözümü bilgisayarın işleyiş prensiplerine yakınlaştıracaktır. Bilgisayarlar, dijital araçlar ve belirli mantıksal işleyişle çalıştığından, tasarım sürecinin de bu yapı ile uyumlu olması, uygulamalardaki işlem sürelerinin kısaltarak, tasarımın daha verimli hale gelmesine katkı sağlayabilir. Dolayısıyla, dijital araçların çalışma prensipleri veya işleyiş sistematiği temel alınarak oluşturulacak bir tasarım yaklaşımı, üretim sürecinin daha etkin planlanmasını sağlayacaktır. Dijital araçların gücünden tam anlamıyla faydalanabilmek için bu yaklaşımın, bilgisayarlı düşünce çerçevesinde şekillendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Beecher'a göre bilgisayarlı düşünce, bilgisayar biliminden önemli içerikleri ve prensipleri özümsemektedir. Bu içerik ve prensipler, bir problemdeki temel detayları seçme, bilgisayarın anlayabileceği şekilde formüle etme ve problem çözme sürecini otomatik hale getirme konularını içermektedir (Beecher, 2017, s. 1). Bu açıdan, bilgisayarlı düşünceyle ilgili bir tasarım yaklaşımı, görsel tasarım sürecini dijital araçlara yakınlaştıracak ve uygulama pratiklerindeki dinamikleri değişime zorlayacaktır.

Sanat ve tasarım alanında, bilgisayar bilimiyle yoğun temas halinde olan uygulamaların en çarpıcı örneklerini, jeneratif sanat pratiklerinde görmek mümkündür. Bu alandaki pratiklerde, tasarım problemleri belirli alt parçalara ayrıştırılmakta, çözüme yönelik küçük parçalar arası etkileşimler kurgulanmakta ve görsel sonuçlar için belirli sistemler oluşturulmaktadır. Dijital araçlar kullanılarak inşa edilen sistem doğrultusunda, tasarım süreci mekanize edilerek, otonom şekilde üretim yapılmaktadır. Dijital araçların etkin kullanımı, tasarım ve üretim potansiyeli açısından jeneratif sanat pratiklerini işlevsel olarak güçlendirmektedir. Söz konusu üretim teknikleri, sadece jeneratif uygulamalarla sınırlı

değildir, aynı zamanda diğer görsel tasarım uygulamalarını da desteklemektedir. Galanter'e göre bir film sahnesi için yüzlerce veya binlerce ağaç, elle çalışarak çok uzun zaman ayırmak yerine, L-sistem tabanlı bir jeneratif sistemle otomatik şekilde oluşturabilir. Bu durumda sonuçlar, jeneratif bir sistemle veya ağaçlarla ilgili olmayacaktır (Galanter, 2016, s. 173-174). Bu nedenle, jeneratif sanatın diğer görsel tasarım alanlarını destekleyebilmesi, sistemi inşa edildiği araçların esnekliği ve farklı tasarım pratiklerinde kullanılması bağlamında da oldukça önemlidir.

Bu araştırma, görsel tasarım potansiyelinin dijital araçlarla nasıl artırılabilirliğini, jeneratif sanat ve bilgisayarlı düşünce perspektifinden incelemektedir. Tasarım sürecindeki bu iki alan birlikteliği, bilgisayar ve bilgi-işlem gücünü oldukça etkili şekilde kullanımını mümkün kılarak, görsel tasarımda süreç yönetiminin sağlanması, görsel formlar verimliliğinin artırılması ve zamanın daha doğru değerlendirilmesi gibi kritik unsurlar üzerinde etkiler oluşturması beklenmektedir. Bu etkilerin, özellikle yeni medya, grafik tasarım, endüstriyel tasarım ve iç mimarlık gibi dijital ortam ağırlıklı alanlarda daha belirgin olacağı düşünülmektedir. Araştırma, görsel tasarım sürecinde yeni fikirlerin ortaya çıkarılması, zamanın esnek ve verimli kullanılmasına, tasarımla ilgili düzenlemelerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesine ve verinin sanatsal olarak görselleştirilmesine önemli katkılar sunması beklenmektedir. Ayrıca, teknik uygulanabilirlik konusunda farklı yaklaşımların gelişmesi ve dijital araçların veri görselleştirme sürecinde kullanılabilmesi üzerine literatüre katkı sağlayacaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, dijital araçların, görsel tasarım sürecindeki potansiyel etkilerini jeneratif sanat ve bilgisayarlı düşünce perspektifinde inceleyen, nitel bir araştırmadır. Araştırmanın odak noktasını netleştirebilmek için bu araçlar algoritma, yazılım, kod, prosedür ve veri ile sınırlandırılmıştır. Bu araçların görsel tasarım süreçlerindeki üretim, sonuç ve uygulama üzerine potansiyel etkileri değerlendirilmiş ve geleneksel yöntemlerden ayrılan yönleri de tespit edilmiştir. Araştırma sürecini desteklemek için kavramların tanımları ve teorik çerçevenin oluşturulmasına yönelik olarak kitap, dergi ve çeşitli dokümanlar üzerinden genel literatür taraması yapılmıştır. Karasar'a göre genel tarama modelleri, çok sayıda elemandan oluşan evrende, evren hakkında genel bir yargıya varmak amacı ile ondan alınacak bir örneklem üzerinde yapılan tarama düzenlemeleridir (2017, s. 111).

Çalışma, açıklayıcı vaka analizi yöntemiyle planlanmıştır. Görsel tasarım sürecinde soyut araçların neden ve nasıl kullanıldığı, tasarım sürecine veya sonuçlara olan etkileri, seçilen uygulama süreçleri üzerinden incelenmiştir. Analiz için seçilen örneklerin, jeneratif sanat ve bilgisayarlı düşünce ile ilişkili olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Tasarım sürecinde dijital

araçların kullanıldığı ve bu kullanım etkilerinin belirgin şekilde gözlemlenebildiği uygulamalar, örneklem olarak seçilmiştir. Buna karşılık, üretim süreci dijital alanda gerçekleşse bile, sonuç odaklı alınan kararlarla görsel formların inşa edildiği ya da dijital araçların etkisinin belirlenemediği tasarım süreçleri, örneklem kapsamına dahil edilmemiştir. Seçilen örneklerin iyi anlaşılabilmesi için tüm süreç adım adım ayrıştırılarak, görsel kaynak olarak eklenmiştir.

İlk bölümde, bilgisayarlı düşünmenin tanımlanmış ve bilgisayar bilimiyle olan bağları araştırılmıştır. Problemlerin çözüm sürecinde nasıl kullanıldığı araştırılarak, bilgisayarın çalışma prensipleri üzerinden incelenmiştir. Dijital araçlarla olan bağlantıları ele alınmış ve görsel tasarıma yönelik, nasıl bir tasarım yaklaşımı olarak kullanılabilirliği temellendirilmiştir. İkinci bölümde, jeneratif sanat tanımlanmış ve uygulama pratiklerinin dijital araçlarla olan etkileşimi, seçilen uygulama süreçleri üzerinden örneklendirilmiştir. Jeneratif sanatı, geleneksel tasarım yöntemlerinden ayıran temel özellikleri üzerine tespitler yapılmıştır. Üçüncü bölümde, her iki alan içinde yaygın olarak kullanılan dijital araçlar belirlenmiş ve görsel tasarım sürecinde nasıl kullanıldığı seçilen uygulama pratikleri üzerinden adım adım incelenmiştir. Bu araçların görsel tasarım sürecine etkileri ve geleneksel yöntemlerden ayrılan yönleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Araştırmada, dijital araçlarla görsel tasarım alanında problemlerin çözümünden, görsel form olarak temsil edilmesine kadar geçen sürecin bir bütün halinde yürütülebileceği vurgulanmıştır. Bilgisayarların bu süreçte oldukça etkili şekilde kullanılabilirliği, tasarımın potansiyelinin önemli ölçüde artırılabilirliği ve dolaylı olarak maliyetlerin birçok yönden azalacağı ifade edilmiştir. Ayrıca, geleneksel yöntemlerin aksine, veri gibi dijital varlıkların bu süreçte işlenmesi ve görselleştirilmesinin kolaylaşacağı temellendirilmiştir.

3. BİLGİSAYIMSAL DÜŞÜNCE

Bilgisayarlı düşünce, bilgisayar bilimindeki prensiplerden ilham almakta ve insanlara özgü problem çözme yeteneklerinden oluşmaktadır (Curzon ve McOwan, 2018, s. 1). Bilgisayar biliminden gelen geniş bir zihinsel araç ve kavram yelpazesine, insanların problem çözmelerine, sistemler tasarlamalarına, insan davranışını anlamalarına olanak tanımaktadır (National Research Council, 2010, s.3). Bu nedenle, sorunların tanımlanarak çözülebilmesi için araçlar sunmakta ve karmaşık ya da kolay anlaşılır bilgileri, işlenebilir hale getirmektedir (Gurari, 1989). Dolayısıyla, zorlu ve karmaşık sorunlara karşı farklı yol haritalarını izleyerek çözümleri keşfetmek için düşüncenin bilişsel beceri setine dönüştürüldüğü bir süreçtir. Bu yetenekleriyle kendisine birçok farklı disiplinde kullanım alanı oluşturabilmektedir (Neuman ve Dion, 2021, s. 1-5).

Bilgisayımsal düşüncenin çözüm sürecinin dört farklı aşamada gerçekleştiğini ifade eden Anderson'a (2016, s. 2) göre, ilk adım ayrıştırılmayı içerir; bu adımda, genel problem ele alınır ve yönetilebilir parçalara bölünür. İkinci adım ise desen tanımadır ve bu aşamada problem çözücü, tekrarlayan desenleri daha verimli bir çözüm tasarlamak için aramaktadır. Bu desenler, üçüncü adımda soyutlanır ve genelleştirilmiş bir biçimde temsil edilir. Dördüncü adım ise algoritma tasarımını içerir; bu aşamada, problem çözücü çözümü sistematik bir şekilde tasarlamaktadır. Bu adımlar Denning ve Tedre göre (2022), çeşitli bilişsel olguların açıklanması ve öngörülmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Furber'e göre yaklaşım, kullanıldığı araştırmada anlama ya da çıkarım yapmayı, bilgisayar bilimindeki araçları ve teknikleri kullanarak sağlamaktadır (Furber, 2012, s.29). Bu nedenle bilgisayarlı düşünceyle yürütülen çözüm süreci, en basit haliyle bir bilgisayarın işleyiş prensipleriyle örtüşmektedir. Bilgisayarlar, dışardan gelen komutları analiz ederek, yönetilebilir küçük parçalar haline getirmektedir ve kullanıcının yüklemiş olduğu görevlere özgü, gerekli olan dijital araçları sırasıyla yürüterek, çeşitli görevleri ve işlemleri yapabilmektedir. Dijital araçlar, dışardan gelen girdileri işleyerek anlamlı bilgilere dönüştürdükten sonra, nihai sonuçları kullanıcıya geri sunmaktadır. Bu süreç, bilgi-işlem hızına bağlı olarak, bir saniyeden daha kısa bir zamanda gerçekleşmektedir. Bilgisayarların bu süreçte oldukça hızlı ve etkili olmasının temeli sebebi, çözümün önceden sistematik şekilde planlı hale getirilmesindedir. Çözüm, dijital araçların işleyişine göre uygun planlandığı için uygulama da oldukça hızlı gerçekleşmektedir. Bilgisayım sal düşünceyi, bir tasarım yaklaşımı olarak tercih etmekte, tasarımda uygulama sürecini hızlandırabilir.

Her iki süreçte yürütülen çözüme yönelik adımlar benzer niteliktedir. Öyle ki Aho'ya göre, bilgisayarın ne olduğu ve ne yaptığıyla ilgili sorular da bilgisayar biliminin özünde yer almakta, temel yetenekleri ve sınırları bu bilimsel alan içerisinde araştırılmaktadır (Aho, 2012, s. 833). Dolayısıyla, bilgisayarlı düşünce ve bilgisayar bilimi arasında teknik ve teorik bir bağ olduğunu söylemek mümkündür. Yaklaşımın modern öncüsü Wing'e göre (2017, s.1), çözümün bilgisayarla ya da insan zihninde çözülmesinin önemi yoktur. Önemli olan, problemlerin formüle edilerek çözüm sürecinin planlanabilmesidir. Beecher'a göre (2017), "çözüm sürecinin bilgisayarlar tarafından sonuçlandırılacağı varsayımı, bilgisayarlı düşüncenin diğer problem çözme araçlarından ayran en büyük özelliğidir." Bu nedenle, çözümün bilgisayarda sonuca ulaşacak şekilde planlandığı süreçlerde, bilgisayarlı düşünce önemli bir rol oynamaktadır.

Bu düşünce yöntemi, çoğu bilimsel alanda yapılan araştırmaları etkileyebilen evrensel bir uygulanabilirliğe sahiptir (Bundy, 2007). Her türlü akıl yürütebilmeye uygulanabilmesi, onu güçlü kılmaktadır (Barr ve Stepherson, 2011, s. 51). Bu yaklaşımı aktif olarak kullanan alanlar arasında algoritmik tıp, ekonomi, finans, hukuk, sosyal bilimler, dijital arkeoloji, beşeri

bilimler ve gazetecilik yer almaktadır. Ayrıca sanat alanında kullanılabilirken, bilim ve mühendislik disiplinlerinin dışındaki uygulama alanlarını ve meslekleri de etkilemeye başlamıştır (Wing, 2014).

Görsel tasarım süreçlerinde de bilgi ve görsel çözümlerin bilgisayardaki uygulamalara yönelik anlamlı bir şekilde organize edilmesi ve tasarımcı odaklı çözümlere dönüştürülmesi için bilgisayarlı düşünce, tasarımcılara sistematik bir yaklaşım sunabilir. Dolayısıyla, görsel tasarım alanında da karmaşık tasarım problemlerinin çözümü için etkili bir araç olarak kullanılabilir veya belirli özellikleriyle bir tasarım yaklaşımı olabilir. Bu sayede, uygulama süreçleri geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha yenilikçi süreçlere dönüşerek, bilgisayarın işleme prensiplerine yakınlaşacaktır. Sonuç olarak, dijital araçların uygulama sürecinde yer alacağı yöntemlerin bilgisayarlı düşünceyle planlanması, görsel tasarımın potansiyelini oldukça yükseltebilir. Böylece geleneksel yöntemlerle zaman ve maliyet yönünden tasarlanmanın mümkün olmadığı karmaşık görsel formlar, kolay şekilde oluşturulabilir (Şekil 1).

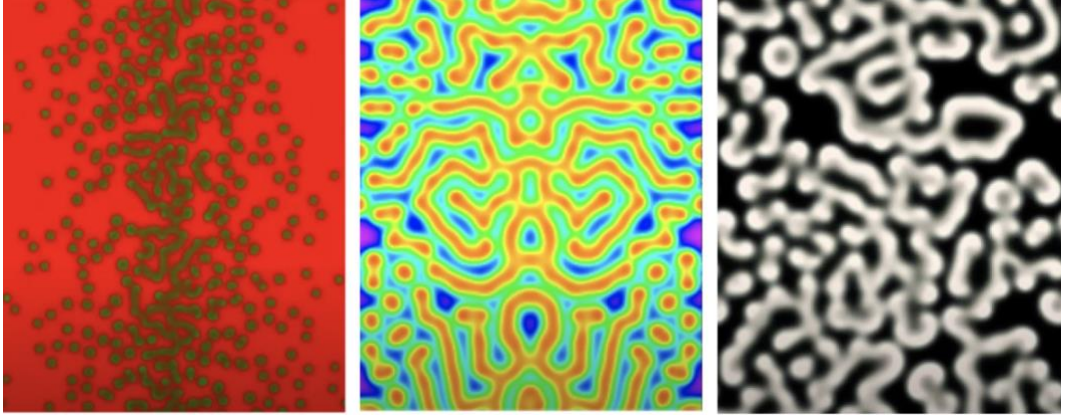


Şekil 1: Dijital araçlar ve reaksiyon difüzyon (Reaction-Diffusion) modeli ile insan yüzü referans alınarak tasarlanmış, karmaşık görsel form.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=iuCg-WI8YeQ&t=6s>

Görsellerde yer alan desenleri veya türevlerini hızlı ve kolay tasarlamak için, dijital araçlarla süreç odaklı bir yaklaşım kullanılmalıdır. Uygulama sürecinde algoritma, kod ve yazılım gibi dijital araçların sağladığı işlevsel ortam sayesinde, bilgisayara reaksiyon difüzyon modeli ifade edilerek, görsel tasarım problemi hızlı şekilde çözülecektir. Bütün süreç, bilgisayarlı yaklaşım ile hatasız şekilde planlanabilir. Bilgisayarlı düşüncenin tasarım sürecinde nasıl bir yaklaşımla kullanılabileceğini anlamak için dijital araçlarla bu karmaşık yapıların yeniden tasarlandığı süreçleri incelemek yeterli olacaktır.

Örnek süreçte tasarımcı, ilk olarak reaksiyon difüzyon modeliyle, tasarlamak istediği görsel formların neye benzeyeceğini, seçmiş olduğu görseller üzerinden incelemiştir (Şekil 2-3-4). Seçilen desenler, tasarım sürecindeki amacın, görsel formları tıpkı doğal örneklerinde olduğu gibi tasarlanacağını ifade etmektedir.



Şekil 2-3-4: Reaksiyon difüzyon modelleriyle hazırlanmış, tasarım süreci öncesi sunulan desenler.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=COMvgTLTw6g>

Sonraki aşamada uygulamanın yapısını belirleyecek olan “Gray-Scott” alt modelinin nasıl işlediğini anlamaya ve açıklamaya çalışmıştır (Şekil 5-6).

Gray Scott Model of Reaction-Diffusion:

$$A_{t+1} = A_t + D_A \nabla^2 A_t - A_t B_t^2 + f(1-A_t)$$

$$B_{t+1} = B_t + D_B \nabla^2 B_t + A_t B_t^2 - (f+k)B_t$$

A: Concentration of Chemical A (or prey)
B: Concentration of Chemical B (or predator)

$D_A \nabla^2 A$: Diffusion of A

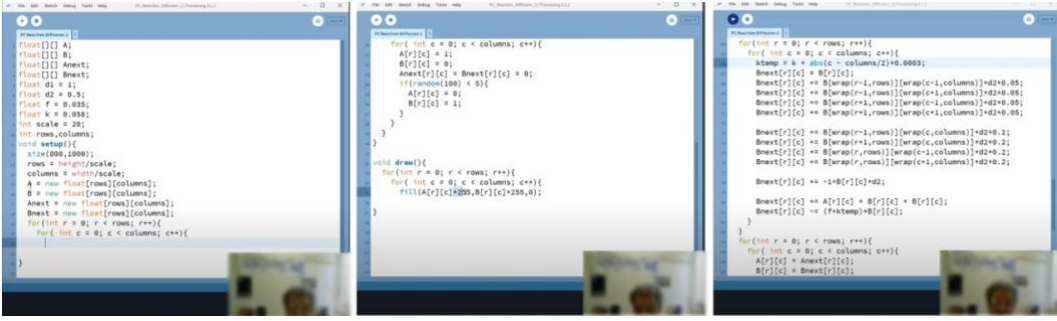
0.05	0.2	0.05
0.2	-1	0.2
0.05	0.2	0.05

(Kernal, Convolutional matrix, mask)

Şekil 5-6: Görsel formların yazılımla ifade edileceği, Gray Scott modelinin, nasıl çalıştığına dair belirlemenin yapıldığı süreç.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=COMvgTLTw6g>

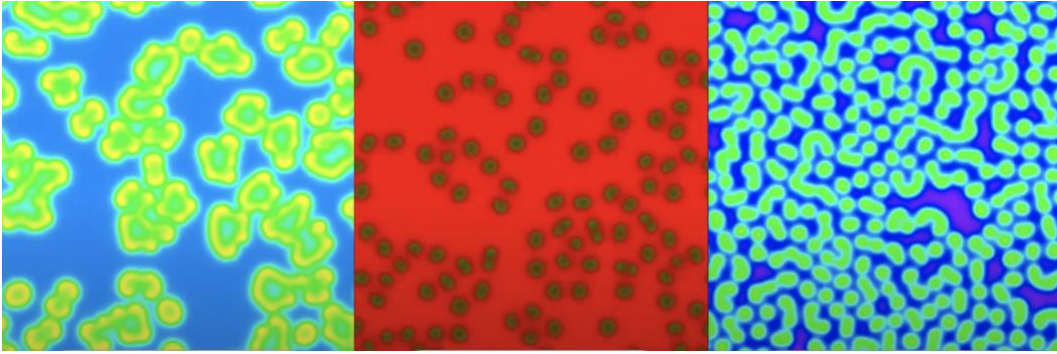
Uygulamaya geçen tasarımcı, açıklamış olduğu matematiksel modeli Java dilindeki kodlarla, bilgisayara anlatabilmek için yazmaya başlamıştır. Yazılım sürecinde ilk olarak, float, integer türlerindeki ilkel veri tiplerini, yani tasarım probleminin çözüm aşamasındaki en küçük parçalarını belirlemiştir. Bu belirlemeler içerisindeki değerler, tasarım sürecinin ilerleyen aşamalarındaki benzer durumlara ve görevlere yönelik tekrar tekrar kullanılmıştır (Şekil 7-8). Kodların son halini aldığı bütün yazılım incelendiğinde küçük parçaların ve belirli görevlerin farklı satırlar içerisinde yeniden kullanıldığı, kısaca çözümün sistematik şekilde bilgisayarın en iyi anlayabileceği haliyle planlandığı görülebilir.



Şekil 7-8-9: Processing programı içerisinde, Java dilinde kodların yazıldığı süreç.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=COMvgTLTw6g>

Tasarım sürecinde yaygın olarak kullanılan tasarım programlarının hiçbir araç direktmesi veya yöntem kısıtlaması olmadan, bilgisayarın çalışma mantığına oldukça uygun bir çözüm süreci planlanmıştır. Görsel sonuçlar, bilgisayarın ve dijital araçların etkin kullanımıyla oluşturulmuştur (Şekil 10).



Şekil 10: Tasarım süreci sonunda çeşitlendirilen görsel formlar.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=COMvgTLTw6g>

Bu bölümdeki kavramsal bilgilere göre, örnek tasarım sürecindeki çözüme yönelik oluşturulan bütün planlar, bilgisayarlı düşünce kapsamındadır. Görsel tasarım sürecinde, bilgisayarlı düşünce ve dijital araçlar uygulama potansiyelini arttırdığı için doğadaki karmaşık formların dahi kısa zamanda yeniden tasarlanması mümkün olmuştur (Şekil 11-12).



Şekil 11-12: Bilgisayar, matematik ve kimya gibi bilimsel alanlarda kullanılan Reaksiyon Difüzyon (Reaction-Diffusion) modeline sahip desenlerin, organik formlar üzerindeki karmaşık yapısı.

Kaynak: <https://www.steakunderwater.com/wesuckless/viewtopic.php?t=4972>,

<https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Ffraflar/labirent-beyin-mercan%C4%B1>

Tasarımcı, görsel tasarım sürecinde geleneksel yöntemlerde olduğu gibi formları adım adım inşa etmek yerine, matematiksel bir model belirlemiş ve süreç odaklı başlangıç yapmıştır. Bu yaklaşım, tasarım sürecine daha sistematik hale getirerek bilgisayarın işleme prensiplerine yakınlaştırmıştır. Matematiksel model, tasarım sürecinde bilgisayara ifade edilerek çözümün, yani tasarım sürecinin temel yapısını belirleyeceği için nasıl çalıştığıyla ilgili çıkarımlar ve açıklamalar yapılmıştır. Tasarımcı, bu temel yapının yazılımla uygulanacağını farkında olduğu için model yazımına uygun bir program olan Processing'i seçmiştir. Bu seçim, tasarım sürecinin dijital araçlarla etkin bir şekilde yürütülebilmesini sağlamış ve matematiksel modelin ihtiyaç duyacağı algoritmik işlemleri, kolayca uygulanabilmesine imkan vermiştir. Böylece, tasarım sürecinde kullanılan matematiksel modelin, yazılım ortamında doğru ve verimli bir şekilde hayata geçirilmesi mümkün olmuştur.

Uygulamada, çözüm süreci yönetilebilir parçalara bölünerek ele alınmıştır. Bu yaklaşım, süreçteki verimliliği arttırırken, tasarım sürecine esneklik kazandırmıştır. Bütünü oluşturan çözüm planı, yazılımda parçalara bölünmüş ve en küçük kod parçaları belirlenerek, sonraki görevler için tekrar tekrar kullanılmıştır. Tasarımcı bu kararlarla, görsel tasarım problemine en verimli çözüm yöntemlerinden birini uygulayıp, görsel formların şekillenmesini sağlamıştır. Tasarım sürecinde alınan tüm kararlar ve sürecin gözlemlenen uygulama yapısı, bilgisayarlı düşünce kullanım amaçları ve yöntemleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. Bu uyum, tasarım problemlerinin ayrıştırılması, tekrarlayan desenlerin tanımlanması ve soyutlama gibi bilgisayarlı düşünce aşamalarının süreç boyunca etkin bir şekilde uygulanmasıyla sağlanmıştır. Bu tasarım uygulaması örneği, bilgisayarlı düşünce sürecindeki potansiyelini ve etkilerini ortaya koymuş, dijital araçlarla birlikte kullanıldığı zaman görsel tasarımı çarpıcı şekilde etkilediği göstermiştir.

4. JENERATİF SANAT

Jeneratif sanat, tasarım sürecinde kullanılan bir sisteme bağlam kuran bir terimdir. Sanatçının kullandığı bu sistem, tasarım sürecinde kontrolleri kısmen veya tamamen üstlenmektedir. Bu durum, jeneratif sanattaki temel unsurdur ve üretim sürecinde belirleyici odağın otomatik bir sistemin kullanılması olduğu tanımlanmaktadır. Bilgisayar programı, doğal dil kuralları, bir makine veya çeşitli prosedürel adımlarda olduğu gibi bu sistem belirli bir otonom seviyede sürece dahil edilir ve eserin tamamlanmasına katkıda bulunur veya sonuçlanmasını sağlar (Şekil 13) (Galanter, 2013).

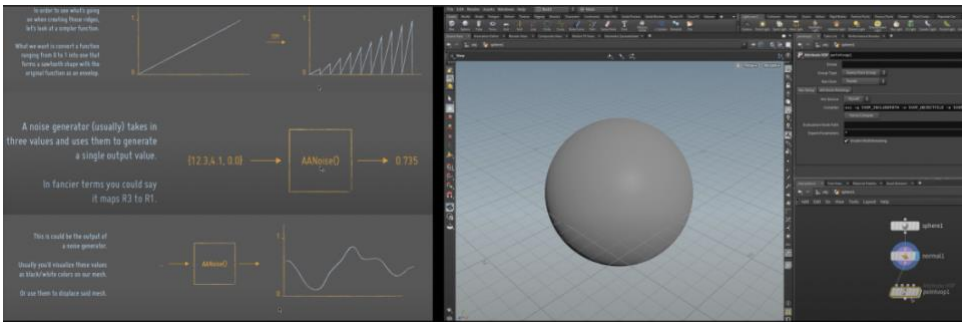


Şekil 13: Tasarım sürecinin belirli bir aşamasında sürece dahil edilen Jeneratif sistemin, tasarlanmış görsel formlar üzerindeki katkıları.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=eMfkA9I08rA>

Bu sistemin kullanımı, jeneratif sanat uygulamalarını diğer görsel tasarım uygulamalarından ayırıştıran en temel özelliğidir. Tasarımcının hiçbir müdahalesi olmadan görsel formlar, zamanla dijital araçlarla inşa edilen sistem sayesinde gelişmeye devam edebilir ve kompozisyonun daha çok detay kazanmasına katkıda bulunur. Böylece görsel sonuçlar yeni fikirlere ilham olabilecek görsel formlar içerebilir. Geleneksel yöntemlerle, süreçte alınan kararların görsel sonuçları oluşturduğu bir tasarım uygulamasında bu durumun yaşanması mümkün olmayabilir. Dolayısıyla jeneratif sanat, üretim süreci ve görsel sonuçları açısından oldukça verimli bir alandır.

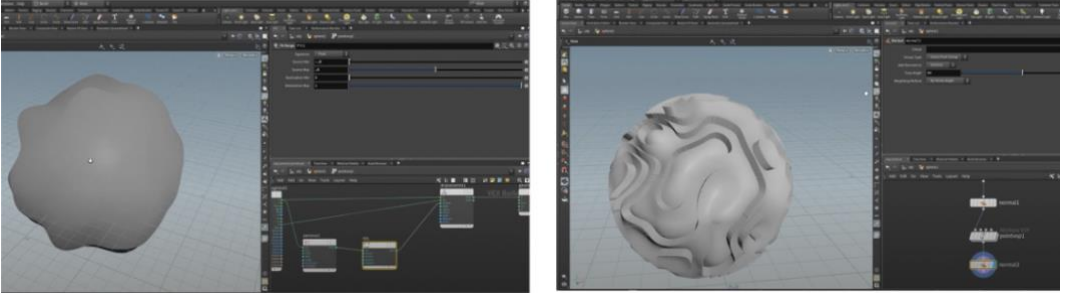
Tempel'e göre (2017, s. 1) sanatçı, tüm sistemini inşa edebilir veya sonuçları etkileyen bazı parametreleri belirleyebilir. Ortaya çıkacak olan sonucu sanatçının belirlediği parametreler kısmen etkilemektedir ancak, doğrudan şekillendirmesi söz konusu değildir. Bu durum, örnek olarak verilmiş dairesel görsel formların tasarım sürecinden daha iyi anlaşılabilir (Şekil 14-15).



Şekil 14-15: Görsel formların nasıl bir şekil alacağı tasarımcının kullandığı dairesel form ile sınırlandırılmıştır.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=eMfkA9I08rA>

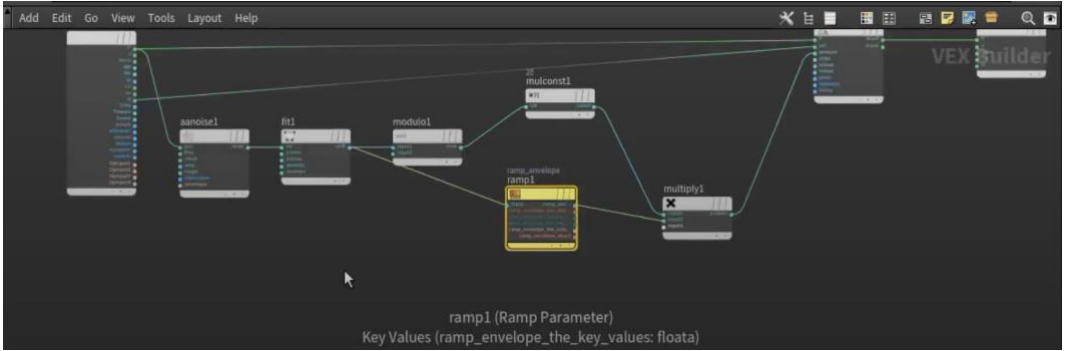
Tasarımcı ilk olarak nasıl bir sistem inşa edeceği hakkında açıklamalar yapmış, ardından formların ana gövdesi olarak dairesel form üzerinde çalışmaya başlamıştır. Kullandığı dijital araçlarla tasarım sürecini inşa ederek, yüzey üzerinde yer değiştirme haritalaması uygulamıştır (Şekil 16-17).



Şekil 16-17: Dairesel form yüzeyinin prosedürlerle manipüle edilmesi ve yeni yüzeye yer değiştirme haritasının uygulanması.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=eMfkA9I08rA>

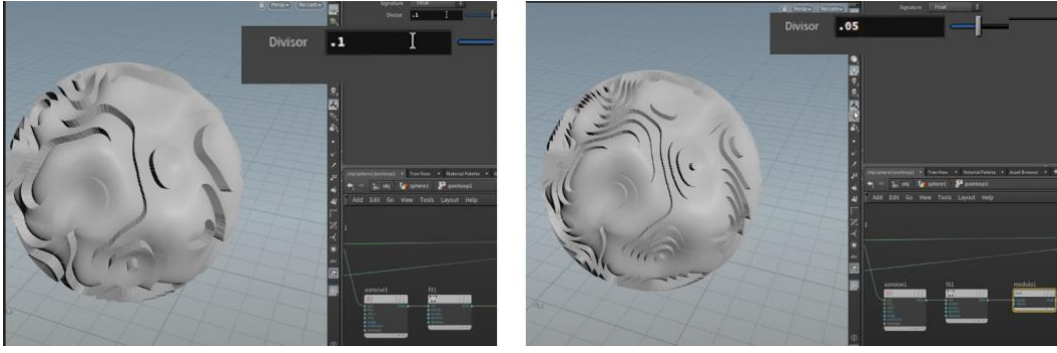
Görsel formların son halini verdikten sonra tasarım sürecinin belirli bir bölümü mekanize edilerek, jeneratif bir sisteme dönüştürülmüştür (Şekil 18-19). Bu sistem içerisinde süreci mekanize eden bir ya da birkaç önemli nokta olabilir, ancak en küçük kararlar bile görsel formlarda büyük değişimlerin yaşanmasına sebep olabilir.



Şekil 18-19: Dairesel formun yüzeyini sürekli şekilde yeniden inşa eden sistemin, prosedür içerikli düğüm (Node) tasarımı.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=eMfkA9I08rA>

Dairesel yüzeylerdeki bölünme sayılarının kontrol edildiği “modulo” düğümü, bu sistemin mekanize edildiği kilit noktalardan biridir. Modulo düğümü, içerisine atanan her değer formların yenido bölerek yüzeyin yeni şeklini almasını sağlamaktadır (Şekil 20-21). Tasarım Houdini programı içerisinde gerçekleştirildiğinden, divisor parametre değerine yazılan “\$F” kod parçacığı, bölünme sayısını zaman akışı içerisindeki kare sayısına eşitleyerek her bir kare de farklı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Bu yöntem, tasarım programı içerisinde sistemi mekanize eden farklı bir teknik olarak kullanılabilir.



Şekil 20-21: Modulo düğümü içerisindeki parametrelerin yüzeye etkisi.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=eMfkA9I08rA>

Herhangi bir algoritma, matematiksel, mekanik veya biyolojik bir yapı jeneratif sanat olarak tanımlanabilir. Ayrıca, terim daha geniş bir bağlamda, sanatçının doğrudan karar vermesini gerektiren bir eserdeki bazı yönleri, bağımsız olarak seçebilen herhangi bir insan dışı varlık için de kullanılmıştır (Hencs, 2023). Genel olarak bilgisayar programı, makine veya prosedürlerden oluşmuş yapılarda iyi tanımlanmış bir sistem olarak kabul edilebilir (Galanter, 2013) (Şekil 22). Dehlinger'e (2020, s. 33) göre, jeneratif sistemlerle tasarım yapmak, fikre veya konseptte özel bir üretim sisteminin tasarlandığı bir odak noktasıdır ve bu sistem estetik bir etkinlik ortaya çıkarmaktadır.



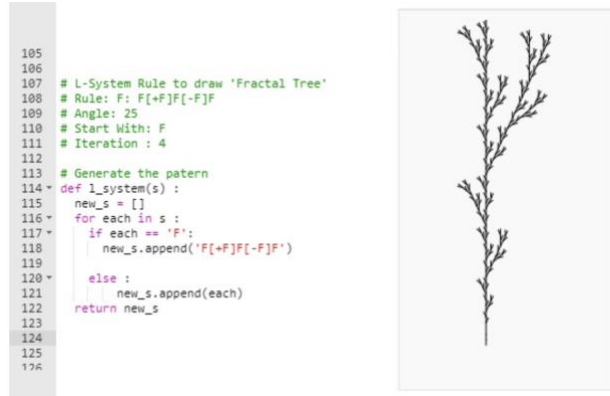
Şekil 22: P. Pedferri tarafından kimyasal üretim sistemi ile tasarlanmış jeneratif eser.

Kaynak: <https://generativeart.com/GenerativeArtItems.htm>

Jeneratif sanat pratikleriyle uygulama yapılırken, tasarım sürecine odaklanılır ve bu sürecin, onu inşa eden sanatçıdan belirli bir seviyeye kadar bağımsız ve özerkliğe sahip olması beklenir. Bilgisayar üzerinden tanımlanan bağımsızlık ve özerklik seviyesi farklı ölçülerde

değişiklik gösterebilir (McCormack, Brown, Dorin, McCave ve Monroe, 2014, s. 135). Herhangi bir sanat pratiğini bu alana taşıyan bir sistemin, içerikle ilgili olarak otonom kararlar verebilecek kadar iyi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Jeneratif sanat terimi, sadece uygulamanın nasıl yapıldığına bir atıftır ve neden bu sistemde uygulandığı veya içerikte ne olması gerektiğiyle ilgili çeşitli iddiaları içermemektedir (Galanter, 2013). Dolayısıyla, üretim sistemini etkileyen küçük bir kod parçasının, birçok dijital aracın kullanılarak hazırlandığı binlerce satırdan oluşan yazılımdan pek bir farkı yoktur. Bu nedenle pratikte önemli olan üretim sisteminin çalışıyor olmasıdır. Sistem içeriğiyle ilgili belirgin bir yapı gerekmesede üretim sürecinin tanımlanabilmesi, özellikle inşa edildiği dijital araçların doğru bir şekilde işleyip, işlemediğiyle ilgilidir. Aksi takdirde, çalışmayan bir sistemin içeriğinde yer alan karmaşık bir dijital aracın, üretim süreci için bir değeri olmayacaktır. Ayrıca bilgisayara bir çözümü ifade edebilmek için kullanılan algoritma, yazılım, kod, prosedür ve veri gibi dijital araçlar bu sistemlerin tanımlanması potansiyel olarak kullanılmalıdır.

Günümüz teknolojisinde ve sayısal ortamlarında kullanılan çoğu ürün, bu araçların katkısıyla var olmaktadır ve bu ürünlerin süreçteki doğruluğunun değerlendirilmesi uzun yıllar boyunca edinilmiş bir deneyimdir. Örneğin, Lindenmayer sistemi, botanik alanındaki doğal büyüme evrelerinin anlaşılması için kullanılan ve süreci sayısal olarak yeniden formüle edebilen bir sistemdir (Prusinkiewicz ve Lindenmayer, 2004, s. 1). Botanik formların tasarımı için dijital alanda kullanışlı bir araca dönüşmüş durumdadır (Şekil 23).

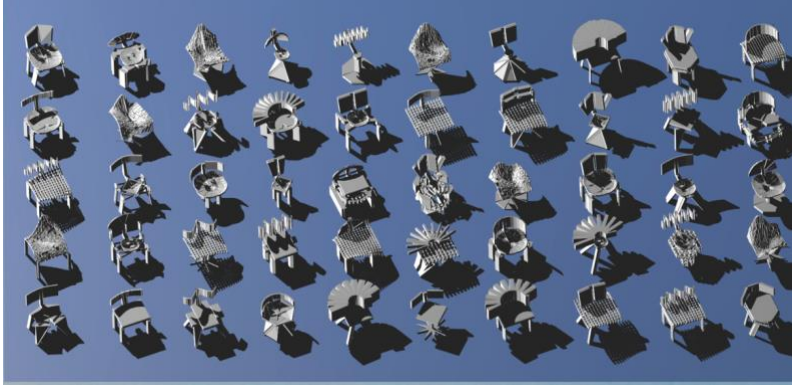


Şekil 23: Lindenmayer sistemi ile botanik formun dijital ortamda yeniden yazılarak görsel olarak tasarlanması.

Kaynak: <https://ahradwani.com/2019/11/05/python-and-lindenmayer-system-p3/>

Bu tasarım yaklaşımını Leach, “morfogenez” olarak isimlendirmiştir. Biyoloji bilimlerinde ilk olarak kullanılan bu terim, bir organizmanın büyümesi ve farklılaşma süreçleriyle form ve desen oluşturma mantığına atıfta bulunmaktadır. Bu tasarım süreci, formların oluşturulması yerine form bulma mantığıyla işleyen bir tasarım yaklaşımıdır (Leach, 2009, s. 36). Dolayısıyla, jeneratif bir üretim için görsel form arayışının gerçekleştirildiği süreçler uygulama için

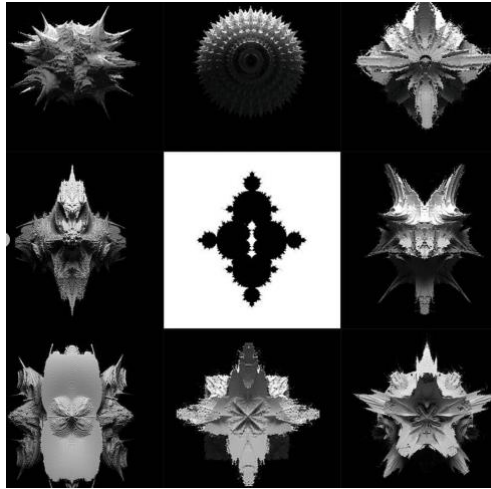
öncelikli kabul edilebilir. Bu süreçte tasarımcı, birçok formu sunum için değerlendirebilir veya öngördüğü sonuçlara yakın bir tercih yapabilir (Şekil 24).



Şekil 24: Caestino Soddu, Endless variation of Chairs, Jeneratif sistemle tasarlanmış eser ve görsel form çeşitliliği.

Kaynak: <https://www.soddu.it>

Bu tür uygulamaların motivasyonlarından biri, umut edilenin ötesinde, sisteme eklenmiş olandan daha fazlasının ortaya çıkması, yani ilginç ve öngörülemeyen bir şeyin meydana gelmesidir (Monro, 2009, s. 476). Uygulamanın süreç odaklı bir yaklaşımla gerçekleştirileceği ve bu süreçte planlı küçük parçaların bütüne hizmet eden ön sonuçları düşünülürken, öngörülemeyen görsel bir keşif süreci başlamaktadır. Bilgisayar biliminden alınan araçların tasarım sonuçlarına etkisi, bu noktada, yani öngörülemeyen bir şeyleri başlatmasıyla asıl rolünü oynamaktadır. Sistem, her ne kadar inşa edilme amacına uygun davranışlar sergilese de görsel form biçimine göre tamamen kontrol altında tutulması yapısı gereği mümkün olmayacağından, bu araçların süreçteki işlevleri öngörülmez formların oluşmasını sağlayacaktır (Şekil 25).



Şekil 25: Tasarım sürecindeki küçük parametrik değişikliklerin görsel formlar üzerindeki öngörülmez etkileri. Fractal yapılar referans alınarak, jeneratif sistem içerisinde hazırlanmıştır.

Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

Jeneratif sanat alanındaki tasarım süreci aşağıdan yukarıya değil, yukarıdan aşağıya bir yaklaşım benimseyerek önceden belirlenmiş kavramlarına uymakta ve bunları ortaya çıkaracak sistemleri oluşturmaktadır (Galanter, 2016, s.173-174). Yukarıdan aşağı tasarım, genellikle gerçekleştirilmesi gereken görevleri tanımlayan bir hiyerarşi şeması ile kurgulanmaktadır. Her belirlenmiş görev, genellikle bir işlev kullanılarak uygulanmış bir modüldür (Txstate, 2023). Tasarımın çözümü, en yüksek işlevsellik seviyesinde tanımlanarak ve onu kolayca belgelenebilen ve kodlanabilen küçük rutinlere bölerek başladığı prosedürel programlama stilidir (Igbe ve Florence, 2013, s. 17).

Bu yöntem, doğal sistemlerde var olmayan bir teleolojiyi dayatır ve bunu yaparken sanatın doğal sistemlerden esinlendiği düşünülür. Bir sonuca varılabilir ki, bu yukarıdan aşağı teleolojinin türün doğasına bir tür kavramsal tutarsızlık getirdiğidir. Saf bir süreç gerçekliği yaklaşımı, radikal bir şekilde alttan yukarıya olmaktadır. Sistem, dijital olsun veya olmasın, düşük seviyeli fonksiyonlarla başlamakta ve bunlar etkileşime girecek şekilde bir araya getirilerek karmaşıklaşma sürecine başlanmaktadır. Böylece birden çok ölçek ve seviyenin ortaya çıkması sağlanmış olmaktadır (Galanter, 2016, s.173-174). Bu durum, jeneratif tasarımın geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen tasarımlardan birçok yönüyle ayırtmaktadır. Tasarım kararları, küçük parçaların bütüne hizmet eden gelişimleriyle uygulandığı için süreci, keşfe dayalı görsel bir arayışa dönüşmektedir. Sonuçları oluşturan birçok görsel form, bu süreçte sürpriz şekilde var olabilir veya yeni projeler için ilham verebilir; bu durum, yaratıcı bir tasarım süreci olarak nitelendirilebilir. Sanat ve tasarım alanında yeni ifade biçimlerinin geliştirilmesi için bu süreçler büyük bir önem taşımaktadır.

5. BULGULAR: JENERATİF SANAT VE BİLGİSAYIMSAL DÜŞÜNCE YÖNTEMLERİYLE YAYGIN OLARAK KULLANILAN ORTAK ARAÇLAR VE GÖRSEL TASARIMA ETKİLERİ

Araştırmada, görsel tasarımda alanında yaygın olarak kullanılan dijital araçların algoritma, yazılım, kodlar, prosedürler ve çeşitli veri yapıları, olduğu tespit edilmiştir. Bu araçların bilgisayar bilimindeki görevlerini aynı şekilde, her iki alan içerisinde de sürdürdüğü belirlenmiş ve bu durum üzerine çeşitli bulgulara ulaşılmıştır.

Algoritma, belirli bir işin veya problemin sonucuna ulaşmak için art arda uygulanması gereken adımları ve koşulları kesin olarak içermektedir (Çölkesen, 2017, s. 26). Hesaplamanın kesin olarak belirtilmiş bir yöntemi olan algoritma, bilgisayar biliminin merkezi kavramıdır (Russel, 2019, s. 26). Bilgisayarın, ne yapacağıyla ilgili görevlerin en açık şekilde adım adım ifade edilmesini içermektedir. Görsel tasarım sürecinde de tanımındaki amaçlarla, kullanıldığı tespit edilmiştir. Örneğin, Kaplan'a göre (2021) Kabarcık Sıralaması (Bubble Sort), basit bir sıralama algoritmasıdır. Çalışma prensipleri, listelenen her bir elemanın yanındaki eleman ile

karşılaştırılması ve ilk elemanın değeri, ikinci elemanın değerinden büyükse iki elemanın yer değiştirmesine dayalıdır (Şekil 26).

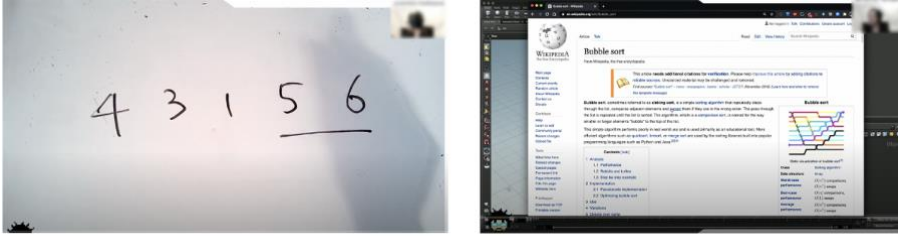


Şekil 26: Kabarcık Sıralaması temel çalışma prensipleri.

Kaynak: <https://www.ritambhara.in/optimized-bubble-sort-algorithm/>

Bu algoritma çalışma prensibinin, eğitici bir malzemeye dönüştürülmesine yönelik hareketlendirilmesi veya sanatsal amaçlarla görsel bir içeriğin oluşturulması için kullanılacak olursa, algoritmanın kendisini tasarım sürecinde inşa ederek görsel içeriği oluşturmak, geleneksel olan anahtar kare yöntemleriyle içeriği oluşturmaktan çok daha hızlı şekilde sonuç vermektedir.

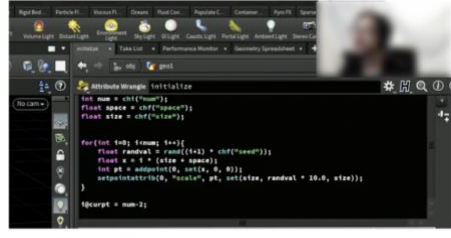
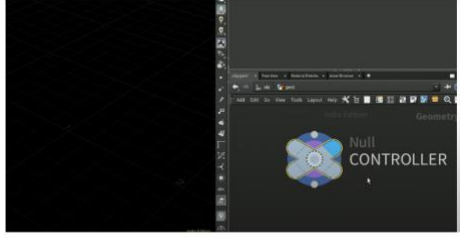
Bir algoritmanın tasarım sürecinde nasıl kullanıldığı, örnek kabarcık sıralama algoritması eğitici içeriği ile anlaşılabilir. Tasarım sürecinde sanatçı, ilk olarak algoritma işleyişini paylaşmış, ardından wikipedia.com adresinden gerekli formülleri ve açıklamaları inceleyerek, tasarımı kontrol edebileceği parametrelerin, ne olacağına karar vermiştir (Şekil 27-28).



Şekil 27-28: Algoritma işleyişinin tanıtımı ve kontrolleriyle ilgili prosedür tasarımına yönelik içeriğin belirlenmesi.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=XN2nmMyO6c4&list=PLzRzqTjuGIDjWpD9fi6QM84uK9IS1Bvle>

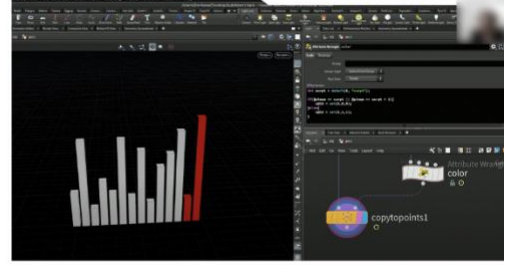
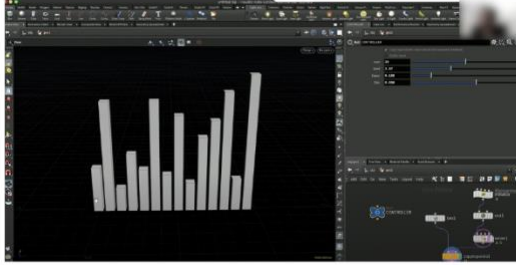
Sanatçı, algoritmanın nasıl işleyeceğini önden araştırdığı ve işlemesi için neye ihtiyacı olduğunu belirlediği için tasarım sürecinin ilk aşamasında, sonuçların kontrol edilmesiyle ilgili prosedür içeriğini hazırlamaya başlamıştır (Şekil 29-30).



Şekil 29-30: Kontrol düğümü içerisine işleyecek prosedürlerin belirlenmesi ve algoritmanın yazılımla bilgisayara ifade edilmesi.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=XN2nmMyO6c4&list=PLzRzqTjuGIDjWpD9fi6QM84uK9IS1Bvle>

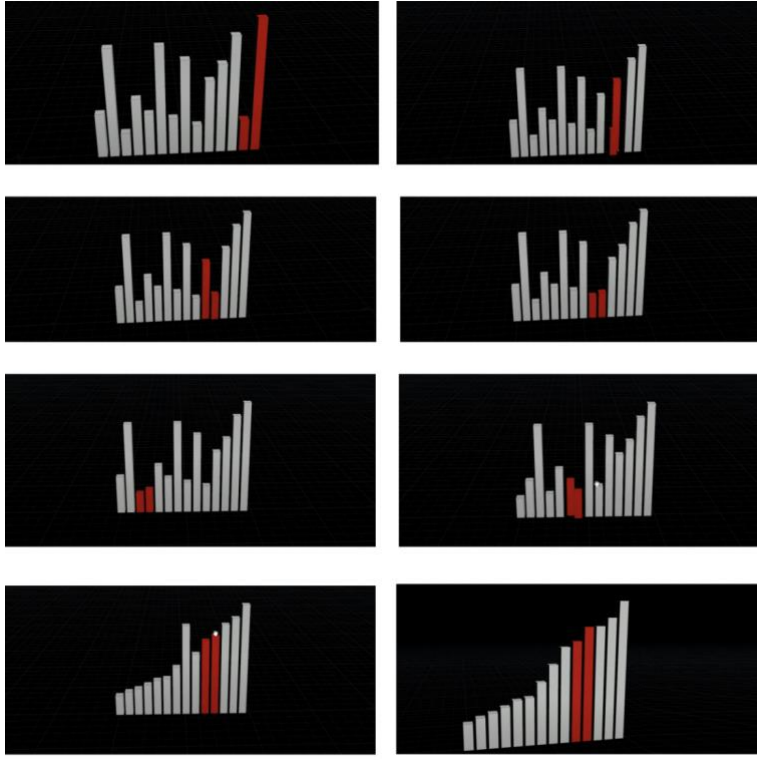
Sonraki aşama olarak kullanmış olduğu tasarım programı içerisinde, algoritma prensiplerini VEX yazılım dili ile kodlayıp, prosedürel node (düğüm) desteğiyle, bilgisayara ifade ettiği süreci tamamlamıştır (Şekil 31-32).



Şekil 31-32: Kontrol düğümü içerisine işleyecek prosedürlerin belirlenmesi ve algoritmanın yazılımla bilgisayara ifade edilmesi.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=XN2nmMyO6c4&list=PLzRzqTjuGIDjWpD9fi6QM84uK9IS1Bvle>

Tasarım süreci, bilgisayar bilimine ait araçların yoğun şekilde kullanılmasıyla inşa edilmiş ve görsel sonuçlardaki dikdörtgen çubuklar bu algoritma prensiplerine göre doğru konumlarına yerleşmek için kırmızı renkli olanların değer kontrol ettiği bir hareket kazanmıştır (Şekil 33-34-35-36-37-38-39).

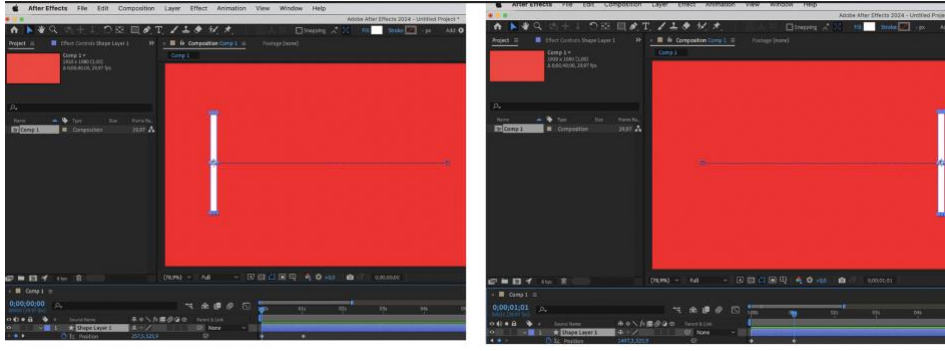


Şekil 33-34-35-36-37-38-39: Değerlerin karşılaştırılarak yer değiştirdiği Algoritma çalışma prensibinin hareketli grafiksel sonuçları.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=XN2nmMyO6c4&list=PLzRzqTjuGIDjWpD9fi6QM84uK9IS1Bvle>

Örnek uygulamada algoritma, tıpkı bilgisayar biliminde olduğu gibi kodlama ve yazılım aracılığıyla hazırlanarak görsel tasarım sürecinde kullanılmıştır. Süreç, sonuçları oluşturması için jeneratif bir sistem olarak programlanmıştır. Sistem, dikdörtgen çubukların taşıdığı değeri geri planda tasarımcısından bağımsız şekilde hesaplayıp, görselleri doğru konuma yeniden yerleştirmekte ve bunu otonom şekilde yapmaktadır. Bu yaklaşım, tasarım potansiyelini artırarak uygulama sürecini hızlandırmış, görsel formları kontrol edebilen parametreler, olası değişikliklerin hızla yapılmasına olanak sağlarken, görsel sonuçların kolay şekilde çeşitlenmesine imkan verip, görsel tasarımı daha verimli hale getirmiştir. Tasarım dijital ortamda gerçekleştirildiği süreç sonrası çıktılar, grafik tasarım alanında uygulanabileceği gibi mimari veya endüstriyel tasarımla ilişkili uygulama alanlarında da kullanılabilir. Ayrıca, üç boyutlu ortamda hazırlandığı için gerekli süreçlerden sonra fiziksel bir çıktıya dönüştürmekte mümkündür. Nihai olarak görsel tasarımda algoritma kullanımı tasarımı sürecinin potansiyelini önemli ölçüde arttırmıştır.

Algoritma çalışma prensibini anlatabilmek için geleneksel bir yöntemle algoritma kullanılmadan içerik hazırlanmış olsaydı, değer taşıyan bir dikdörtgen çubuğun, doğru konumlanması için iki pozisyon arasında tek bir hareket verilmesi gerekecek ve bu hareket için iki tane anahtar kare kullanılacaktı (Şekil 40).

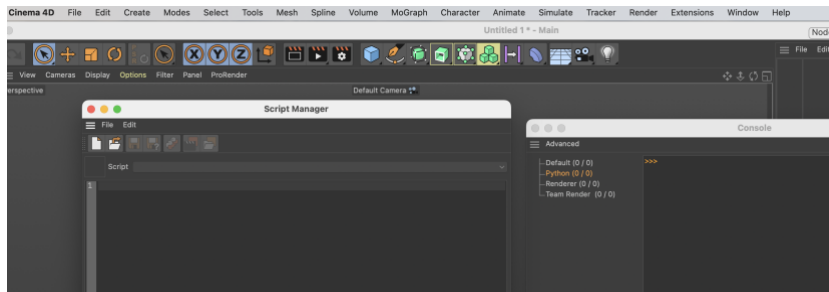


Şekil 40: After Effects programı içerisinde bir görselin iki farklı pozisyon değeri arandaki hareket için kullanılan anahtar kare.

Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

Hareketlendirilmesi gereken 14 adet dikdörtgen görseli, doğru konumları kesin olarak biliniyorsa eğer, iki farklı konum arasında tek bir hareket için toplam 28 adet anahtar kare oluşturulmasını gerektirecektir. Ancak bu durum algoritmanın karşılaştırmalı içeriğine aykırı olacağından, algoritmanın kullanıldığı örnekte olduğu gibi doğru değeri göstereceği konuma hareket etmesi için sürekli pozisyonu değiştirilmesi gerekmektedir. 14 dikdörtgen çubuğun, 14 farklı konuma hareket edebileceği düşünüldüğünde, doğru konumla ilgili toplam olasılık sayısı geleneksel yöntemler için uygulanması mümkün olmayan rakama ulaşacaktır. Bir hareket için 2 anahtar kare verilmesi gerektiği göz önüne alınırsa, konum olasılığın 2 katı anahtar kare oluşturulması gerekecektir. Bu durumda geleneksel yöntemlerle tasarım sürecindeki uygulama ve zamanın maliyeti çok ağırlaşacağı için görsel bir sonuç beklenmesi mümkün olmayacaktır.

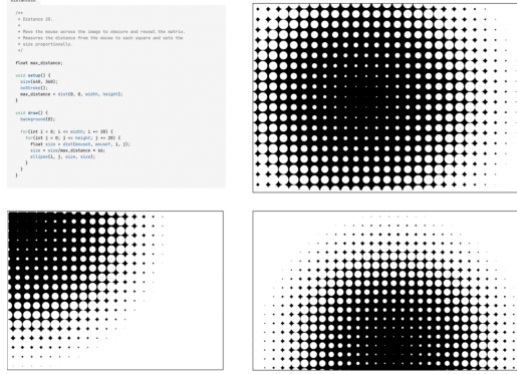
Bilgisayar bilimine ait bir araç olarak yazılım, bilgisayara yapması gerekeni anlatan talimatlardır ve bilgisayardaki sistemin çalışmasıyla ilgili programların, prosedürlerin ve sürekli yapılan eylemlerin tümüdür (Britannica, 2023). Sanat ve tasarım alanında birçok program içeriğinde aynı amaçla kullanıldığı tespit edilmiş ve bilgisayarlara tasarım problemlerinin ifadesine yönelik aracılık ettiği belirlenmiştir. Görsel tasarım alanındaki birçok uygulama aracında da yazılımın tasarım sürecinde kullanılması için özel alanlar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 41).



Şekil 41: Üç boyutlu grafik tasarım programı Cinema 4D'nin Python yazılımına özel içerdiği paneller.

Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

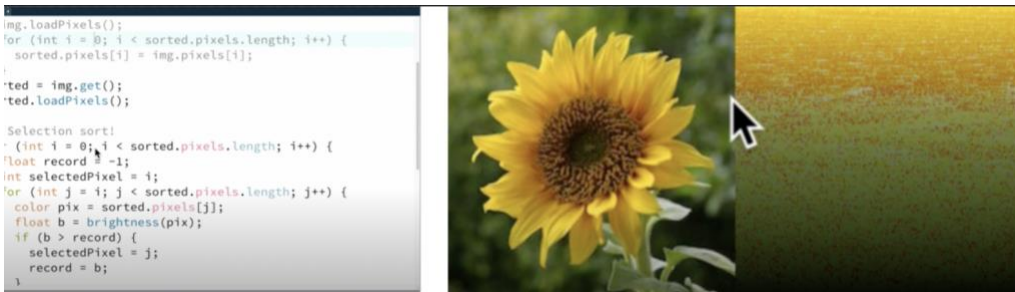
Ayrıca, tamamen yazılımla tasarım yapılmasına imkan sağlayan Processing gibi görsel tasarım programlarının olduğu ve hazır sunulan tasarım programlarının aksine, içerisindeki tüm görsel formların yazılımla inşa edildiği ve hazır araçların kullanılmadığı tespit edilmiştir. Görsel tasarımda, etkileşimli tasarımlar yapılabilmesi için güçlü ve esnek bir ortam sunduğu gözlemlenmiştir (Şekil 42-43-44-45). Bu tür programlarla hazırlanan görsel tasarımlar, hedef kitleye veya proje amaçlarına göre, grafik tasarımla ilişkili herhangi bir uygulama alanında kullanılabilirliği gibi endüstriye tasarıma veya mimarlık gibi görsel tasarıma yönelik alanlarda da işlevsel olarak kullanılabilirlerdir.



Şekil 42-43-44-45: Processing programı içerisinde, Mouse hareketlerine tepki verebilen görsel tasarım sürecinin yazılımla gerçekleştirilmesi.

Kaynak: <https://processing.org/examples/distance2d.html>

Yazılım aracılığıyla görsel form detaylarının tasarlanabildiği gibi algoritma veya prosedür gibi dijital araçta görsel tasarım sürecinde yazılımla inşa edilerek kullanılabileceği belirlenmiştir (Şekil 46-47).

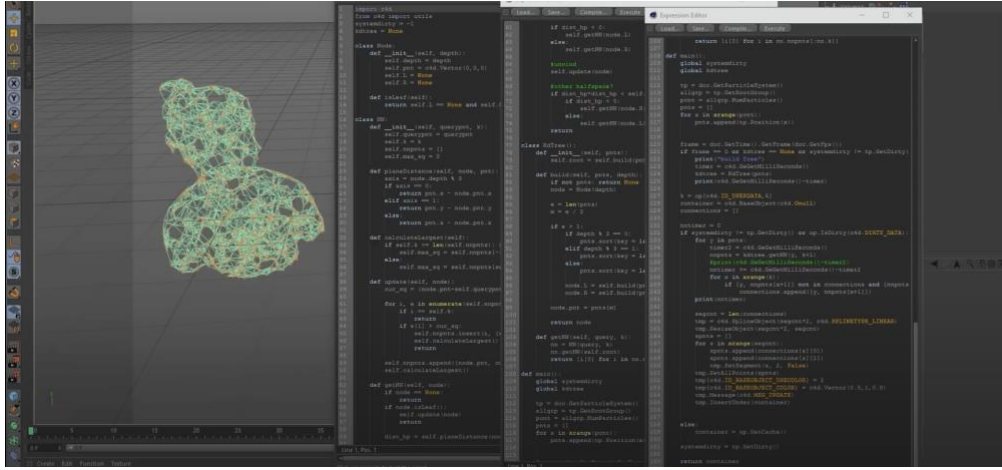


Şekil 46-47: Pixel Sorting Algoritmasının yazılımla hazırlanarak, fotoğraf üzerinde uygulanması.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=JUDYkxU6J0o>

Kod, bilgisayara talimatlar verebilmek için kullanılan semboller ve kurallardan oluşmaktadır. Bir görevin veya mesajın iletilmesinde harf veya rakamları temsil etmek için kullanılan işaret sistemi olarak tanımlanmaktadır (Atwood, 2004, s. 6). Tasarım sürecinde alınan kararların özellikle bilgisayara iletilmesi görevinde yoğun olarak kullanıldığı tespit edilmiştir (Şekil 48).

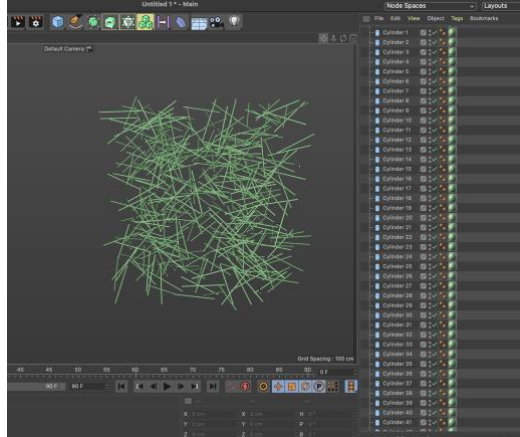
Kodlamanın görsel tasarım sürecine katkısı, özellikle küçük parçacıkların bir bütün gibi davranış göstermesini amacıyla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 48: Üç boyutlu tasarım aracı olan Cinema 4D içerisinde, sahnede yer alan tasarımı hazırlamak için yazılmış Python kodları.

Kaynak: <https://www.youtube.com/watch?v=DtFXdJ8Gjwg>

Kodlamanın görsel tasarımdaki etkileri olmadan, örnek görseldeki gibi geleneksel yöntemlerin kullanıldığı bir tasarım sürecinde benzer bir formu yakalamak, uygulamadaki artan işçilik ve zaman maliyetleri açısından mümkün olmayacağı görülmüştür (Şekil 49).

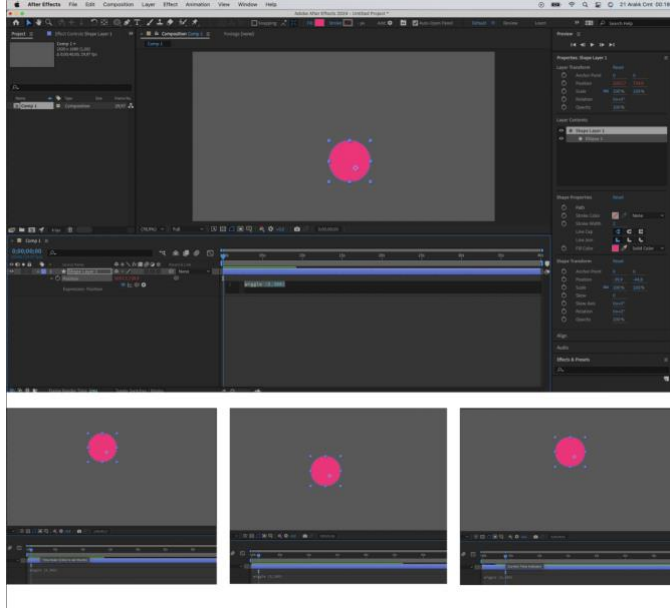


Şekil 49: Üç boyutlu tasarım aracı olan Cinema 4D içerisinde, geleneksel yöntemlerle 437 adet silindirik kullanılarak hazırlanmış görsel form.

Kaynak: Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

En küçük kod parçasının bile görsel tasarımda büyük ölçekli değişikliklere sebep olabileceği tespit edilmiştir. Hareketli grafik tasarımların uygulandığı After Effects programı içerisinde görsel öğeler ve kompozisyonlar üzerinde kullanılabilen “wobble” kod parçası bu duruma iyi bir örnek olabilir. Örneğin dairesel bir öğenin pozisyon değerine yazılan “wobble (5,50)” kod parçası, dairenin rastgele konumlar arasında sürekli hareket halinde olmasını sağlamıştır

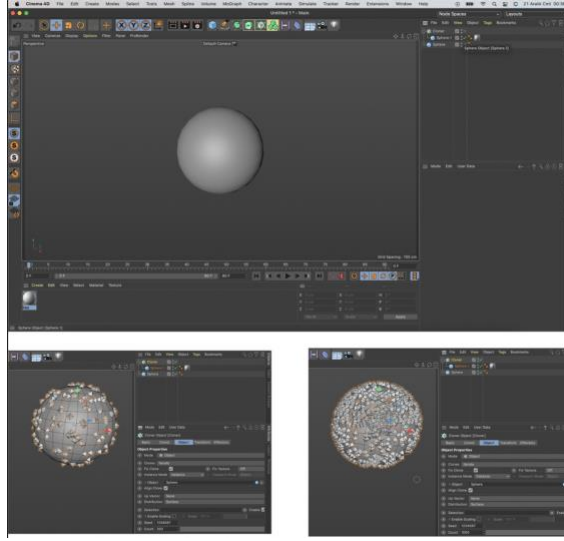
(Şekil 53-54-55-56). Bu kod parçasısüreç içerisindeki uygulama maliyetleri azaltmış ve süreci hızlandırmıştır. Bu yöntem, yağmur ve kar gibi simülasyona yönelik efektlerin hızlı şekilde tasarlanabilmesini katkı sunabilir. Ancak bu pozisyon değerlerinin geleneksel yöntemlerle tek tek anahtar kare olarak verilmesi, bir tane öge için mümkün olsa da karmaşık sahnelerdeki çok fazla öge için oldukça maliyetli bir işçiliğe dönüşecektir.



Şekil 53-54-55-56: After Effects programında kod parçacıklarının tasarım sürecinde kullanımı ve etkisi.

Kaynak: Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

Prosedür, işlem veya yöntem olarak tanımlanabilir. Algoritma tanımlarında yer alan ve art arda uygulanarak algoritmayı amacına ulaştıran görev parçacıklarıdır (TDK, 2023). Tasarım sürecinde birçok küçük işlemi bir arada tutarak, tek bir görevi yapabilmek için tekrar tekrar kullanıldığı tespit edilmiştir. Uygulama sürecinde alınan kararların sürekli tekrarlanmasının önüne geçtiği görülmüştür. Böylece görsel formların şekillendirilmesindeki benzer süreçleri hızlandırdığı için tasarım sürecindeki uygulama yükünü hafifleterek, sürecin daha verimli sürdürülmesini sağlamıştır. Örneğin, Cinema 4D içerisinde yer alan “çoğaltma (cloner)” aracı prosedürel tabanlı bir araç olarak, binlerce küçük parçanın, saniyeler içerisinde kolay şekilde yüzeyler üzerine uygulanabilmesini sağlamıştır (Şekil 50-51-52).



Şekil 50-51-52: Prosedür tabanlı Cloner aracıyla 1000 adet küçük parçanın farklı bir hedef yüzey üzerine uygulanması.

Kaynak: Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

Veri, anlam taşıma kapasitesi olan yapılandırılmış bilgidir ve potansiyel olarak dijital olan her bir bit ve bayt parçacığı veri olarak düşünülebilir (Murray, 2013, s. 63). Görsel tasarım sürecinde verinin birçok kullanımı olduğu gözlemlenmiştir ayrıca, sanatçı için bir ilham kaynağına da dönüşebilir (Şekil 57).

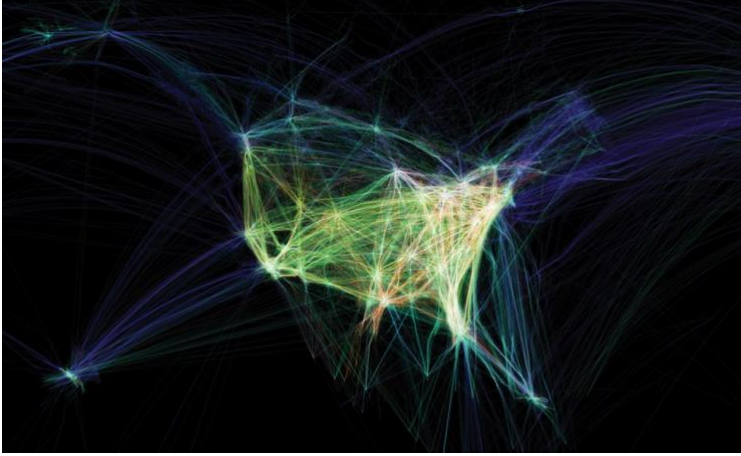


Şekil 57: Refik Anadol, California landscapes, 2023, Ai data painting.

Kaynak: <https://www.pilevneli.com/tr/exhibitions/75-refik-anadol-yasayan-tablolar-pilevneli-yalikavak/overview/>

Bu çalışmada sanatçı ve ekibi, verileri ekranlar, binalar, heykeller ve sürükleyici odalar gibi ifade biçimlerine dönüştürerek unutulmaz deneyimler yaratmak için bilgisayarlar tarafından üretilen dijital algoritmaları kullanmıştır (Plevneli, 2024). Ancak Anadol, çalışmalarında hangi veriyi işlediğini açıklasa da bu çalışmada olduğu gibi tasarım sürecinde veriyi nasıl görsel tasarıma dönüştürdüğüyle ilgili teknik anlaşılır bilgilere yer vermediği için hangi algoritmaları, nasıl bir teknikle kullandığı belirlenememiştir.

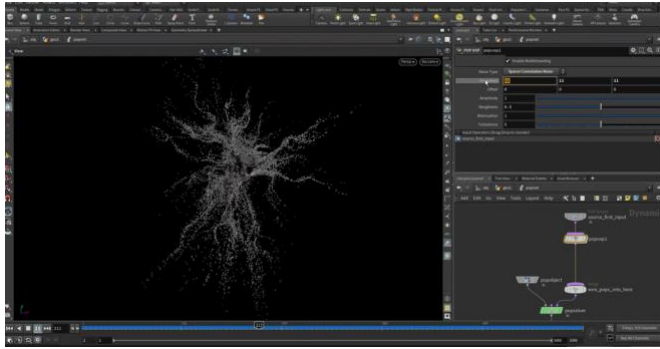
Veri, bilimsel amaçlarla çeşitli tasarım alanlarındaki ürün geliştirme, fikir oluşturma veya kullanıcı deneyimi iyileştirmelerine yönelikte kullanılabilirliği tespit edilmiştir (Şekil 58).



Şekil 58: Aaron Koblin, Flight Patterns, 2005, ABD Federal Havaçılık İdaresi tarafından kayıt edilmiş verilerin, uçakların havadaki hareketlerinin görselleştirilmesi için kullanılması.

Kaynak: <https://www.artsy.net/artwork/aaron-koblin-flight-patterns-1>

Veri, izleyicinin anlam katmanlarını keşfedeceği bir deneyim oluşturmaya yönelik görsel tasarım sürecinde işlenerek, sanatsal amaçlarla kullanılabilir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu kullanımda, verideki herhangi bir değer alınarak, anlamı temsil edeceği görselle bağlantı kurması için ilgili bir parametreyle ilişkilendirilmektedir (Şekil 59).



Şekil 59: Nörobilimsel veri içerisinde alınan sayısal değerlerin, görsel formların oluşumu ve hareketlendirilmesiyle ilgili parametrelere atanarak görsel tasarım sürecinde kullanılması.

Kaynak: Tasarımı yazar tarafından gerçekleştirilmiş görsel.

Görsel tasarım sürecinde kullanılan dijital araçların birbiriyle bağlantılı olduğu ve bir diğerinin varlığını desteklemek için kullanıldığı belirlenmiştir. Özel bir kullanım amacı olmadığı sürece, tümleşik bir yapıda işledikleri için farklı alanlardaki kullanımlarında da benzer prensiplerle yürütülebileceği söylenebilir. Jeneratif sanat ve bilgisayarlı düşünce alanları, bilgisayar bilimi ile teknik ve teorik olarak yoğun bir temas halinde olduğu için alanların birlikte çalışmasının tasarım sürecini daha işlevsel hale getirdiği görülmüştür.

Birlikte kullanıldığı durumda, problem çözümü ve uygulama aşamalarında bilgi-işlem gücünün en etkili şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

Araştırmayla belirlenen dijital araçların, verinin işlenerek kullanılabilmesini sağlayacak birçok önemli özellik barındırdığı gözlemlenmiştir. Verinin etkili şekilde kullanımı, tasarım alanında yenilik arayışına yönelik bir yol olabileceği düşünülmektedir. Öyle ki metin tabanlı veri görselleştirme aracı olarak yapay zeka, görsel tasarım alanında kendi sınırlarını zorlamaya başlamış ve bu zengin maddenin etkilerini ortaya koymuştur. Bu açıdan, alanda yeni bir teknik, bir eser, farklı bir bakış açısı veya yeni olan herhangi bir şeyi aramak için veriyi kullanmak, akılcıca bir yaklaşım olacaktır. Bu durumda bilgisayarlı düşünce ile ele alınan veri, jeneratif sanat pratikleriyle görselleştirilerek sanat alanında yeni ifade biçimlerinin keşfine öncülük edebilir. Ancak verinin nasıl görselleştirildiği ve hangi tekniklerin tasarım sürecinde kullanıldığına dair uygulama ile özümsemiş bilgiye literatürde ulaşılamamıştır. Bu durumun, sanat ve tasarım alanında ele alınması gereken önemli bir problem olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ

Bilgisayarlı düşünce ve jeneratif sanat pratiklerinin bitlikte kullanılması, görsel tasarımda dijital araçların oldukça etkili kullanılmasını sağlamıştır. Dijital araçların bu kullanımı, görsel tasarım sürecindeki üretim potansiyelini çoğu yönden önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır. Bilgisayarlı düşüncenin üretim sürecindeki ilk etkileri, tasarım problemlerinde çözüme yönelik planları, bilgisayarın işleyiş prensiplerine yakınlaştırdığı için uygulamaların oldukça hızlı gerçekleşmesini üzerinedir. Bu durum kritik bir unsur olan zamanın, süreç içerisinde daha etkili bir şekilde kontrol edilebilmesine katkı yapmıştır. Bu açıdan dijital araçlarla çözümü planlamak, geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen deneysel süreçlere göre çok daha kolay şekilde sonuca ulaşmayı sağlamıştır. Ayrıca dijital araçların olduğu süreç planı, bilgisayarlı düşünce yöntemlerine uygun olduğu için tasarım süreci parçalara bölünmüş ve yönetimi de kolaylaşmıştır.

Dijital araçların görsel tasarım sürecindeki önemli etkisi, uygulama tekniklerini geliştirerek daha işlevsel hale getirmesi üzerine olduğu sonucuna varılmıştır. Örneğin uygulama tekniği olarak bir algoritmanın yazılımla bilgisayara ifade edilerek, görsel formların üretimi için kullanılması, uygulama ve işçilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Geleneksel yöntemlerle yapılması mümkün olmayan karmaşık sahneler ve yorucu kompozisyonlar hızlı şekilde tasarlanabilir olmuştur. Sonuç olarak uygulama sürecinde işçilik maliyetleri azalmıştır. Uygulama tekniklerinin gelişmesi aynı zamanda görsel sonuçlarında verimliliğini arttırmıştır. Böylece, bir tasarım süreci, diğer bir tasarım sürecine ilham olabilecek sonuçların oluşmasını sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Tekniklerin işlevsel durumunun iyileşmesi,

tasarım süreci sonrası yapılacak değişikliklerin ve farklı görsel türevlerin de parametreler üzerinden hızlıca gerçekleştirilebilmesini sağlamıştır. Ayrıca, dijital araçların bir teknik olarak kullanılması, sanat ve tasarım alanına yeni teknolojilerin daha hızlı uyum sağlamasını kolaylaştırabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bilgisaymsal düşünce yöntemleri ve jeneratif sanat pratiklerinin birlikteliği, tasarım problemlerinin çözümünden, görsel form olarak temsil edilmesine kadar tüm sürecin bir bütün halinde yürütülmesi ve tasarım potansiyelinin artırılması için görsel tasarımda oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, dijital araçların her iki alan içerisinde farklı kullanım amaçları olduğu da gözlemlenmiştir. Her iki alan içerisinde, algoritmik süreçler olduğu tespit edilmiştir. Jeneratif sanat pratiklerinde algoritmalar sanatsal üretim sürecinde değerlendirilirken, bilgisayarlı düşünce alanında problemlerin çözümüne yönelik farklı bir amaçlara hizmet edebildiği görülmüştür.

Her iki alanın ortak şekilde kullandığı bir diğer araç ise yazılımdır. Yazılım dilleri, bilgisayarlı düşünce alanında, problemlerin adım adım çözümlenmesi ve algoritmaların yürütülmesi için kullanıldığı gözlemlenmiştir. Jeneratif sanat pratiklerinde ise üretime katkı sağlayacak sistemin tanımlanması için kullanılmaktadır. Her iki alan için de sistematik bir yürütme gerçekleştirmek amacıyla kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Yazılımın bir alt parçacıkları olan kodlar, her iki alan içerisinde, dijital araçların var edilmesi ve etkin kullanımıyla ilgili önemli rolleri üstlenmekte olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin tasarım sürecinde hazır sunulan uygulama araçlarıyla, yazılım ve prosedürler gibi dijital araçlar arasında bağlantı kurabilmektedir. Aynı şekilde, bilgisayarlı düşünce alanında da probleme çözüm üretirken sürecin küçük parçalara bölünmesi ve yönetilmesinde, bütüne hizmet edebilecek görevleri üstlendiği tespit edilmiştir.

Prosedür, belirli işleri yürütebilmek için planlanmış hazır işlev blokları olarak her iki alanda önemli görevleri yürütmektedir. Jeneratif sistemlerin tanımlanmasında, belirli aynı görevlerin farklı durumlara özgü gerçekleştirilmesi amacıyla süreç yönetimini hızlandırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bilgisayarlı düşünce alanında özellikle çözümün planlanması sürecinde, aynı görevleri yürütmek için verimli bir şekilde kullanılabilen diğer düşünölmektedir.

Veri, dijital bir bilgi kaynağı olarak bilgisayarlı düşünce alanında teorik olarak kullanılırken, jeneratif sanat içerisinde aynı amaçla kullanılabilen diğer, görsel tasarım sürecinde bir malzeme olarak işlenebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Süreçte kullanılan diğer dijital araçlarla işlenebileceği ve görsel tasarım alanında sanatsal deneyimlere yönelik kullanılabilen diğer tespit edilmiştir. Ancak, verinin sanatsal olarak görselleştirilmesiyle ilgili çeşitli görsel kaynaklara ulaşılsa da nasıl bir teknikle uygulandığı, hangi algoritmaların ne amaçla kullanılabilen diğer ve

görsel temsilin neye göre gerçekleştiği gibi detaylara literatürdeki Türkçe kaynaklarda ulaşamamıştır.

Tasarım sürecine birçok olumlu etikleri olan bilgisayarlı yaklaşım ve jeneratif sanat pratiklerinin olumsuz yönleri de görsel tasarımı etkileyebilmektedir. Bu alanların etkin kullanımında, süreçteki bazı sorumluluklar donanıma kaydırıldığı için bilgisayar parçaları belirli bir bilgi-işlem gücü gerektirmektedir. Bu güç, performansı yüksek parçalarla açığa çıkacağından, tasarımcıyı finansal olarak zorlayabilecek durumlar oluşturabilir. Özellikle güçlü grafik kartları, işlemciler ve bellek gibi parçalar, görsel tasarım projelerini bütçe yönünden zorlayacak yüksek maliyetlere sahiptir. Ayrıca dijital araçlar yoğun olarak bilgisayar bilimlerine ait yöntemler olduğu için tasarımcının bu araçlar üzerinde gerekli becerilere ulaşabilmesi de farklı bir uzmanlık alanlarından eğitim almasını gerektirecektir. Ancak bir tasarımcı için günümüzde bu eğitim içeriğine ulaşabilmek zor olmayacaktır. Çevrimiçi kaynaklar ve platformlar sayesinde, bu tür beceriler daha erişilebilir hale gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Aho, V. A. (2012). What is computation? Computation and computational thinking, *The Computer Journal*, 55(7), 832-835. doi.org//:10.1145/1895419.1922682
- Anderson, N. D. (2016). A Call for Computational Thinking in Undergraduate Psychology. *Psychology Learning & Teaching*, 15(3), 226-234. doi:10.1177/1475725716659252
- Atwood, J. (2012). *Effective programming: more than writing code*. CreateSpace Independent Publishing Platform
- Barr, V. ve Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12. *ACM Inroads*, 2(1), 48-54. doi:10.1145/1929887.1929905
- Beecher, K. (2017). *Computational Thinking, a beginner's guide to problem solving and programming*. England: BCS Learning & Development Ltd
- Britannica. (2023). *Software*. Erişim Tarihi: 03.02.2024, <https://www.britannica.com/technology/software>
- Bundy, A. (2007). *Computational Thinking is pervasive*. Erişim Tarihi: 22.5.2023, <https://www.inf.ed.ac.uk/publications/online/1245.pdf>
- Curzon, P. ve McOwan P. W. (2018). *Computational Thinking*. Germany: Springer
- Çölkesen, R. (2017). *Veri yapıları ve algoritmalar*. Ankara: Papatya Yayıncılık Eğitim A.Ş.
- Dehlinger, H. (2020). Generative Art. *Journal of Mathematics and the Arts*, 14(1-2), 33-36. doi:10.1080/17513472.2020.1729058
- Denning, P. J. ve Tedre, M. (2019). *Computational Thinking*. London: MIT Press.
- Dion, L., Neumann, D. M. (2021). *Teaching Computational Thinking, An integrative approach for middle and high school learning*. Cambridge: MIT Press.
- Furber, S. (2012). *Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools*. London: The Royal Society.
- Galanter, P. (2016). Generative art theory. Paul, C. (Ed.) *A companion to digital art*. 181-202. West Sussex: Willey Blackwell.
- Galanter, P. (2013). *What is Generative Art? Complexity Theory as a Context for Art Theory*. Erişim Tarihi:12. 10.2023. https://www.philipgalanter.com/downloads/ga2003_paper.pdf.
- Gurari, E. (1989). *An introduction to the theory of computation*. Ohio: Computer Science Press
- Hencs, A. (2023). *What is Generative Art? From Seminal Experiences to New Frontiers*. Magazin.eartland.com, Erişim Tarihi: 22.4.2024. <https://magazine.artland.com/generative-art/#:~:text=Defined%20as%20art%20that%20was,biological%2C%20can%20describe%20this%20system>.
- Karasar, N. (2017). Bilimsel araştırma yöntemi. İstanbul, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Leach, N. (2009). Digital Morphogenesis. *Architectural Design*, 79(1), 32-37. doi:10.1002/ad.806

McCormack, J., Bown, O., Dorin, A., McCabe, J., Monroe, G., ve Whitelaw, M. (2014). Ten questions concerning generative computer art. *Leonardo*, 47(2), 135–141. doi.org/10.1162/LEON_a_00533

Monro, G. (2009). Emergence and Generative Art. *Leonardo*, 42(5), 476–477. doi:10.1162/leon.2009.42.5.476

Murray, S. (2013). *Interactive data visualization for the web*. California: O'REILLY Media.

National Research Council. (2010). *Report of a workshop on the scope and nature of computational thinking*. Erişim Adresi: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/12840/report-of-a-workshop-on-the-scope-and-nature-of-computational-thinking>

Prusinkiewicz, P. and Lindenmayer, A. (2004). *The Algorithmic Beauty of Plants*. Erişim Tarihi: 11.2.2024, <https://algorithmicbotany.org/papers/abop/abop.pdf>

Pilevneli, (2023). *Refik Anadol, Yaşayan Tablolar*, Erişim Tarihi: 22.09.2023, <https://www.pilevneli.com/tr/exhibitions/75-refik-anadol-yasayan-tablolar-pilevneli-yalikavak/overview/>

Russel, S. (2019). *Human compatible artificial intelligence and the problem of control*. Penguin Random House LLC

Soddu, C. (1998, Aralık). *Argenia, a generative natural design. Jeneratif sanat konferansında sunulan bildiri*, Milan Polytechnic Üniversitesi, İtalya. Erişim Adresi: <https://www.generativeart.com/on/cic/ga98/book/0.pdf>

TDK (2023). Prosedür. Erişim Tarihi: 13.10.2023, <https://sozluk.gov.tr/>

Tempel, M. (2017). Generative art for all. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 6(1), 1-14. doi:10.1186/s13731-017-0072-1

Txstate, (2023). *Top down design*. Erişim Tarihi: 22.09.2023, <https://userweb.cs.txstate.edu/~js236/201712/cs1428/topdowndesign.pdf>

Wing, J. M. (2014). *Computational thinking benefits society*. Erişim Tarihi: 13.10.2023, <http://socialissues.cs.toronto.edu/index.html%3Fp=279.html>

Wing, J.M. (2017). *Computational thinking's influence on research and education for all*. Italian Journal of Educational Technology, 25(2), 7-14. doi: 10.17471/2499-4324/922