



ZBrush ve 3D Baskı Teknolojilerinin Heykel Sanatının Ontolojisi Üzerindeki Etkileri ve Eğitim Entegrasyonu *

The Effects of ZBrush and 3D Printing Technologies on the Ontology of Sculptural Art and Their
Integration into Education

Öğr. Gör. Dr. Mahmut ERZİNCAN

ORCID: 0000-0001-5424-3954 ♦ Bingöl Üniversitesi, Kurumsal İletişim Koordinatörlüğü, Öğretim
Görevlisi ♦ mahmuterzincan25@gmail.com

Doç. Zafer LEHİMLER

ORCID: 0000-0002-8016-0607 ♦ Atatürk Üniversitesi, Grafik Sanatlar Bölümü, Öğretim Üyesi ♦
zafer.lehimler@atauni.edu.tr

Özet



Yirmi birinci yüzyılda bilgisayar destekli üretim ortamlarının yaygınlaşması, heykel sanatını yalnızca teknik olanaklar açısından değil, aynı zamanda kütle, maddesellik, geri dönülemezlik ve mekânsal mevcudiyet gibi tarihsel ontolojik parametreler üzerinden yeniden düşünmeyi gerekli kılmaktadır. Bu çalışma, ZBrush yazılımının “dijital kil” paradigması ve katmanlı üretim teknolojilerinin (3D baskı) heykelin varlık koşullarında oluşturduğu dönüşümü, sanatçı pratikleri ve kuramsal tartışmalar ekseninde incelemeyi amaçlamaktadır. Nitel araştırma deseninde kurgulanan araştırmada doküman incelemesi ve sistematik literatür taraması yöntemleri kullanılmış; amaçlı örnekleme kapsamında Scott Eaton, Mariano Steiner, Keith Brown, Kevin Mack, Adam Martinakis ve Paul Higham’ın üretimleri betimsel ve tematik analizle değerlendirilmiştir. Bulgular, dijital heykelin, geleneksel heykelin basit bir simülasyonu olmaktan ziyade, Pixel tabanlı yüzey veri yoğunluğu, geri alınabilir süreçler (undo), hızlandırılmış varyasyon üretimi ve algoritmik/formal manipülasyon olanakları sayesinde “malzemesiz ama hacimsel” bir deneyim alanı sunduğunu göstermektedir. 3D baskı aracılığıyla bu dijital formların fiziksel dünyada nesneleşmesi, dijital-fiziksel geçişte yüzey, katman izi, malzeme davranışı ve sergileme rejimleri üzerinden yeni bir maddeleşme mantığını görünür kılmaktadır. Bununla birlikte, yazılımın hazır estetikleri ve arayüz sınırları nedeniyle üslup tek tipleşmesi ve teknolojik belirlenimcilik (determinizm) risklerinin ortaya çıkabileceği de tartışılmaktadır.

Çalışma, bu gerilimleri yalnızca teorik düzeyde saptamakla sınırlı kalmayarak, heykel eğitiminde dijital kil ve katmanlı üretimin entegrasyonuna yönelik aşamalı bir pedagojik model önermektedir. Model; (1) temel plastik formasyon, (2) dijital kil

* Bu çalışma Doç. Zafer LEHİMLER danışmanlığında 2018 tarihinde tamamladığımız “3D Programlarının Heykel Sanatına Etkisi Bağlamında Z-Brush Uygulama Örnekleri” başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2018].

ile form araştırması, (3) dijital–fiziksel geçiş (3D baskı), (4) fiziksel müdahale ve sergileme, (5) süreç odaklı değerlendirme basamaklarından oluşmakta; teknik yeterlilik kadar eleştirel farkındalık, süreç kaydı ve karar gerekçelendirmesini de öğrenme çıktısı olarak konumlandırmaktadır. Sonuç olarak, araştırmanın dijital heykelin “veri–madde” ekseninde hibrit bir ontoloji kurduğunu ve bu alanın akademik meşruiyetinin eleştirel temelli eğitim modelleriyle güçlendirilebileceğini düşündüğü değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital heykel, ZBrush, heykel ontolojisi, 3D baskı, heykel eğitimi.

Extended Abstract



The rapid expansion of computer-based production environments in the twenty-first century has necessitated a fundamental rethinking of sculpture not only in terms of technical possibilities but also of its historical-ontological parameters, such as mass, materiality, irreversibility, and spatial presence. Traditionally defined by physical engagement with stone, wood, or metal, sculpture has increasingly shifted toward immaterial yet volumetric modes of existence through digital sculpting software such as ZBrush and additive manufacturing technologies, commonly known as 3D printing. While a substantial body of literature exists on computer-aided design and digital art, studies that directly interrogate the ontological implications of sculpting-oriented software and layered production technologies on sculpture remain limited. In this context, the present study approaches digital sculpture as an ontological rupture rather than a mere technical extension, aiming to situate ZBrush and 3D printing within a broader historical, theoretical, and educational framework.

The theoretical foundation of the study is grounded in new media theory, digital aesthetics, and critical cultural theory. Concepts such as numerical representation, modularity, and variability, articulated by Lev Manovich, are employed to explain how digital forms differ fundamentally from traditional sculptural objects by remaining open to continuous revision and reconfiguration. Christiane Paul’s understanding of digital art as a process- and system-oriented practice further supports the argument that digital sculpture cannot be reduced to its final output but must be understood through its production logic and decision-making structures. At the same time, Bruce Wands’ discussion of technological determinism and aesthetic standardization problematizes the risks inherent in software-driven production environments, particularly the tendency toward stylistic uniformity through predefined tools and procedural aesthetics. These perspectives are complemented by Theodor W. Adorno’s critique of cultural standardization and Boris Groys’ analysis of visibility regimes in contemporary art, which together frame digital sculpture within broader systems of reproduction, circulation, and symbolic economy.

The primary aim of the study is to analyze how ZBrush’s “digital clay” paradigm and additive manufacturing technologies transform the ontological conditions of sculpture and to examine how these transformations can be critically integrated into contemporary sculpture education. In line with this aim, the study seeks to answer four main research questions: how digital sculpting software reshapes traditional sculptural concepts such as mass and material resistance; how 3D printing redefines the materialization of digital forms; how aesthetic opportunities and risks associated with digital tools align with or challenge existing theoretical frameworks; and how an integrated pedagogical model can be developed for sculpture education that balances technological proficiency with critical awareness.

The research is designed as a qualitative study based on document analysis and systematic literature review. Purposeful criterion sampling was employed to select representative artistic practices that reflect distinct ontological positions within digital sculpture. Data were collected from academic publications, artist statements, exhibition catalogs, and visual analyses of artworks. The selected sample includes works by Scott Eaton, Mariano Steiner, Keith Brown, and Kevin Mack as typical cases illustrating the physical materialization of digitally generated, mathematically complex forms through 3D printing, as well as practices by Adam Martinakis and Paul Higham as extreme cases in which sculpture exists entirely as data, rendering, or virtual presence. The collected data were analyzed using descriptive and thematic analysis, with coding categories focusing on ontological transformation, software-based production logic, and pedagogical implications.

The findings indicate that digital sculpture operates across multiple modes of existence, including physical objects produced through additive manufacturing, hybrid artifacts combining digital design and manual intervention, and purely virtual entities sustained through rendering and interface-based perception. ZBrush’s Pixol technology, which embeds depth, orientation, and material information at every surface point, enables sculptors to bypass polygonal constraints and engage in an intuitive, tactile form of digital sculpting. This process replaces irreversible material decisions with iterative, reversible workflows characterized by continuous experimentation. However, the study also reveals that reliance on predefined digital tools and procedural aesthetics can lead to stylistic homogenization and diminished artistic agency if not approached critically.

In response to these findings, the study proposes an applied pedagogical model for integrating digital sculpting and additive manufacturing into sculpture education. Structured as a multi-stage framework encompassing foundational plastic formation, digital form exploration, digital–physical translation, material intervention, and process-based evaluation, the model emphasizes reflective practice and critical decision-making alongside technical skill development. Ultimately, the study concludes that digital sculpture represents a hybrid ontological condition situated between data and matter, process and object.

Its academic and artistic legitimacy depends not on the uncritical adoption of digital tools but on educational models that synthesize traditional sculptural discipline with digitally informed, critically grounded practices.

Keywords: Digital sculpture, ZBrush, sculpture ontology, 3D printing, sculpture education.

Giriş

İnsanın malzemeyi dönüştürme pratiği, sanat ve teknoloji ilişkisinin tarihsel temelini oluşturmaktadır. Taş, kil, ahşap ve metal gibi malzemelerle kurulan fiziksel ilişki, heykel sanatının kütle, hacim, yüzey ve mekân gibi temel kavramlarını belirlemiştir. Bu nedenle teknolojik gelişmeler yalnızca üretim araçlarını değil, sanat nesnesinin varlık koşullarını da dönüştüren bir etki alanı yaratmaktadır. Uygarlığın ilk dönemlerinde kullanılan malzeme o çağa ismini vermiş; taşın yontulmasıyla başlayan serüven, yerleşik hayata geçişle birlikte kilin pişirilmesi, seramik üretimi ve madenlerin işlenmesiyle katmanlaşarak devam etmiştir (Şen, 1996, s.5). Bilhassa tekerleğin icadı, ateşin denetim altına alınması ve nihayetinde matbaanın keşfi, bilgi ve tekniğin kümülatif artışına zemin hazırlamıştır.

On sekizinci yüzyılda ortaya çıkan Sanayi Devrimi, insanlık tarihinde benzeri görülmemiş bir kırılma yaratmıştır. Kas gücünün yerini buhar makinelerine ve mekanik enerjiye bırakması, üretim süreçlerini kitlesel bir boyuta taşırken sanatın üretim ve tüketim pratiklerini de kökten sarsmıştır. Teknolojik birikimin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan bu devrim, artan talep ve işgücü yetersizliği gibi iktisadi zorunluluklarla şekillenmiştir (Başer, 2011, s.291-292). Walter Gropius'un vurguladığı gibi, el işçiliğinden endüstriyel üretime geçiş, kişisel tecrübeden kolektif deneyime doğru bir evrilmeyi beraberinde getirmiştir (Elitsoy, 2008, s.10). Ne var ki 20. yüzyılın son çeyreği ile 21. yüzyılın şafağı, sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçişin yaşandığı, bilgisayar ve internet teknolojilerinin başrolü üstlendiği Dijital Çağ olarak adlandırılan dönemi başlatmıştır.

Dijital çağ, sanatın sınırlarını, malzemesini ve mekân algısını yeniden tanımlamaktadır. Tolstoy'un 19. yüzyılın sonunda dile getirdiği "sanatsal etkinliğin tüm insanlığa ulaşacağı" kehaneti bugün dijital iletişim ağları sayesinde doğrulanmış görünmektedir (Atmaca, 2011, s.293). Dijital sanat, geleneksel sanat eserlerine göre daha kolay erişilebilir ve korunabilir bir yapıya sahiptir (Özdal, 2023, s.11). Gelişen teknoloji sanatçıya yeni ifade olanakları sunarken, izleyicinin algı ve beklenti dünyasını da dönüştürmektedir. Bilgisayarın icadı, sanatçılar için teknik kısıtlamaları ortadan kaldıran, video, ışık, ses ve yazılımı sanatın yeni hammaddesi haline getiren yeni bir dönemin kapılarını aralamıştır (Bulut, 2014, s.117).

Bu dönüşümün en çarpıcı yansımaları şüphesiz heykel sanatında izlenmektedir. Geleneksel olarak kütle, hacim ve boşluk gibi fiziksel parametrelerle tanımlanan heykel, dijital teknolojilerle birlikte "sanal" bir boyuta taşınmıştır. Heykeltıraşlar "ekleme yapanlar" (modelciler) ve "çıkarma yapanlar" (yontucular) olarak sınıflandırılrsa da, dijital heykel yazılımları bu iki zıt süreci sanal düzlemde birleştirmiştir (Alberti, 2015, s.75-76). Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve özellikle heykel sanatına özgü geliştirilen ZBrush gibi yazılımlar, sanatçıya yerçekimsiz bir evrende, maddesiz bir heykel inşa etme imkânı tanır. İfo-heykel, robo-heykel veya veri heykeli olarak kavramsallaşan bu yeni formlar, tasarım ve üretim safhalarında bilgisayar teknolojisinin belirleyici olduğu hibrit bir sanat pratiğini temsil etmektedir (Turhan, 2006, s.3-5).

Amaç

Bu araştırma, dijital heykelin ontolojik dönüşümünü ve bu dönüşümün eğitim alanına yansımalarını çok katmanlı bir perspektifle incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışma, aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

Araştırma Sorusu- 1: ZBrush yazılımının "dijital kil" (digital sculpting) mantığı, heykelin geleneksel ontolojik niteliklerini (kütle, maddesellik, geri dönülemezlik ve mekânsal mevcudiyet) hangi eksenlerde dönüştürmektedir?

Araştırma Sorusu- 2: 3D baskı teknolojileri, dijital ortamda üretilen heykel formlarının fiziksel dünyada nesneleşme biçimlerini ve maddileşme rejimlerini nasıl yeniden tanımlamaktadır?

Araştırma Sorusu- 3: Dijital heykel pratikleri bağlamında ortaya çıkan estetik olanaklar ve riskler (özgünlük, üslup tek tipleşmesi, teknolojik belirlenimcilik), literatürdeki kuramsal yaklaşımlarla nasıl örtüşmekte ya da çatışmaktadır?

Araştırma Sorusu- 4: Geleneksel heykel eğitimi ile dijital üretim teknolojilerinin entegrasyonu için geliştirilen aşamalı pedagojik model, sanat eğitimi açısından hangi öğrenme kazanımları ve dönüşüm alanlarıyla ilişkilendirilebilir?

Literatürdeki mevcut boşluklar mercek altına alındığında; dijital heykelin kavramsal sınırlarının, teknolojik omurgasının ve estetik kıymetinin yeterli derinlikte incelenmediği dikkat çekmektedir. Her ne kadar Christiane Paul, Lev Manovich ve Bruce Wands gibi dijital sanat kuramcıları verinin estetiği, yeni medyanın dili ve dijitalin küratöryel süreçleri üzerine kapsamlı teorik çerçeveler sunmuş olsalar da, bu çalışmalar ekseriyetle "yeni medya" disiplininin genel şemsiyesi altında toplanmaktadır. Manovich'in "veri tabanı estetiği" veya Paul'un "süreç odaklı dijital sanat" tanımlamaları, dijitalin sunduğu geniş imkânları kavramsal düzlemde başarıyla temellendirmekte; ancak heykel sanatının binlerce yıllık "kütle", "mekân" ve "fiziksel direnç" disipliniyle girdiği ontolojik çatışmayı ve ZBrush gibi spesifik yazılımların heykeltıraşın el-göz koordinasyonundaki radikal değişimini odak noktasına almamaktadır.

Alan yazındaki çalışmaların ekseriyetle teknik kılavuz düzeyinde kalması veya genel sanat tarihi anlatılarına sıkışması, bilhassa ZBrush gibi özelleşmiş araçların heykelin ontolojisine olan etkisini çözümlemekte yetersiz kalmaktadır. Bu noktada araştırma, mevcut dijital sanat kuramcılarının genel yaklaşımlarını bir adım ileriye taşıyarak; dijitalin sadece bir ortam (medium) değil, heykelin üç boyutlu varlık koşullarını kökten değiştiren bir "biçim bozucu" gücü olduğunu tartışmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda araştırma, teknolojinin sanatla kurduğu tarihsel diyalogu referans alarak; 3D yazılımlar ve baskı teknolojilerinin heykel sanatında tetiklediği dönüşümü, sanatçı pratikleri ve teorik tartışmalar ekseninde detaylandırmayı gaye edinmiştir. Çalışmanın temel iddiası, dijital araçların geleneksel heykeltıraşlık disipliniyi yok etmediği, aksine Manovich ve Wands'ın işaret ettiği dijital olanakları heykelin hacimsel disipliniyle sentezleyerek "hibrit bir heykel ontolojisi" inşa ettiğidir.

Yöntem

Bu çalışma, nitel araştırma deseninde yapılandırılmıştır. Araştırmada doküman incelemesi ve sistematik literatür taraması birlikte kullanılmış; elde edilen veriler betimsel analiz ve tematik kodlama yoluyla çözümlenmiştir. Sanatçı ve eser seçiminde amaçlı örnekleme kapsamında ölçüt örnekleme stratejisi benimsenmiştir. Ölçütler; dijital üretim teknolojilerinin eserin biçimsel/kavramsal yapısındaki belirleyici rolü, dijital heykelin farklı ontolojik konumlarını temsil etme kapasitesi ve sanatçı pratiklerinin uluslararası sanat ortamındaki görünürlüğü olarak belirlenmiştir.

Araştırmanın örneklem grubu, nitel araştırma geleneğinde derinlemesine analiz yapmaya olanak tanıyan "Amaçlı Örnekleme" (Purposive Sampling) yöntemlerinden biri olan "Ölçüt Örnekleme" (Criterion Sampling) stratejisi ile belirlenmiştir. Patton (2015) tarafından tanımlandığı üzere amaçlı örnekleme, zengin bilgiye sahip durumların seçilerek araştırma odağının derinleştirilmesine hizmet eder (s.264–269). Bu bağlamda kullanılan ölçüt örnekleme ise, önceden belirlenmiş bir dizi kriteri karşılayan durumların çalışmaya dahil edilmesini öngörür (Creswell ve Poth, 2018, s.158–160).

Bu araştırmada sanatçı ve eser seçiminde kullanılan temel ölçütler, rastlantısal tercihlerden ziyade, fenomenin ontolojik boyutlarını görünür kılmayı amaçlayan şu standartlara dayandırılmıştır:

1. Teknolojik Kullanım Yoğunluğu: Sanatçının üretim pratiğinde ZBrush ve 3D baskı teknolojilerinin eserin formel ve kavramsal yapısını inşa eden birincil unsurlar olması (Yıldırım ve Şimşek, 2016).
2. Kavramsal Temsiliyet: İncelenen eserlerin dijital heykelin küresel literatürdeki farklı uçlarını (soyut-geometrik, figüratif-anatomik, hipergerçekçi) temsil etme kapasitesi.
3. Akademik Meşruiyet: Sanatçıların eserlerinin uluslararası prestije sahip küratöryel süreçlerden (Bienaller, SIGGRAPH vb.) geçmiş olması.

Literatür Tarama Süreci ve Dahil Etme Ölçütleri

Araştırmada kullanılan literatür, sistematik nitel tarama yaklaşımı benimsenerek yapılandırılmıştır.

Literatür taraması: Scopus, Web of Science, Google Scholar, DergiPark ve Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veritabanları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler birlikte kullanılmıştır.

Dahil etme ölçütleri:

- Dijital sanat, dijital heykel veya 3D üretim teknolojilerini konu alan akademik yayınlar
- Hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler, kitaplar ve tezler
- Kuramsal temel kaynaklar için tarih sınırlaması uygulanmamıştır
- Dijital üretim araçlarının sanatsal, estetik veya pedagojik etkilerini tartışan kaynaklar

Dışlama ölçütleri:

- Salt teknik kullanım kılavuzları
- Endüstriyel tasarım veya mühendislik odaklı, sanatsal bağlam içermeyen çalışmalar
- Akademik niteliği bulunmayan blog yazıları ve popüler içerikler

Tarama sonucunda elde edilen kaynaklar içerik açısından ön değerlendirmeye tabi tutulmuş; tekrar eden, bağlam dışı veya yüzeysel çalışmalar elenerek analiz sürecine dahil edilmiştir.

Veri Analizi ve Kodlama Süreci

Toplanan veriler betimsel analizle çözümlenmiş, tematik kodlama destekleyici olarak kullanılmıştır. Literatür kaynakları, sanatçı beyanları ve eser incelemeleri önceden belirlenmiş tematik kodlar çerçevesinde çözümlenmiştir. Kodlama süreci, araştırma sorularına dayalı olarak oluşturulan üç ana tema altında yürütülmüştür:

1. Ontolojik Dönüşüm Kodları: Kütle, maddesizlik, geri alınabilirlik (undo), süreçsellik, aura, çoğaltılabilirlik, mekânsal mevcudiyet

2. Yazılım ve Teknoloji Kodları: Dijital kil, Pixol teknolojisi, poligon mantığı, yazılım arayüzü, teknolojik belirlenimcilik, hazır estetikler

3. Eğitim ve Pedagoji Kodları: Temel plastik formasyon, dijital form araştırması, dijital-fiziksel geçiş, yüzey müdahalesi, süreç odaklı değerlendirme

Kodlama sürecinde, metinler bu temalar doğrultusunda tekrar tekrar okunmuş; anlamlı ifade birimleri ilgili kodlarla eşleştirilmiştir. Kodlar arası ilişkiler karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek temalar arası kavramsal geçişler analiz edilmiştir.

Bu ölçütler doğrultusunda Keith Brown ve Kevin Mack, dijital ortamın sunduğu "imkânsız geometrileri" fiziksel dünyaya taşıyan "tipik durum örnekleme" (typical case sampling) olarak seçilmiştir. Brown'un siberrealizm üzerine kuramsal yaklaşımları ve Mack'in psikoaktif sanat disiplini, dijital heykelin geleneksel heykelden koptuğu en belirgin noktaları temsil etmektedir. Adam Martinakis ve Paul Higham ise heykelin fiziksel kütleden tamamen bağımsızlaşarak saf veri ve render seviyesine ulaştığı "aykırı durum örnekleme" (extreme case sampling) kategorisinde değerlendirilmiştir.

Veri toplama safhasında, sanat tarihi, bilgisayar grafikleri teknolojisi ve dijital estetik literatürüne ait birincil ve ikincil kaynaklar kapsamlı bir süzgeçten geçirilmiştir. Akademik tezler, makaleler, sanatçı biyografileri, sergi katalogları ve teknoloji tarihi üzerine kaleme alınmış eserler bu havuzun temel bileşenleridir. Bilhassa 3D baskı teknolojisinin tarihsel seyri, bilgisayar grafiklerinin (CGI) evrimi bağlamında geleneksel yazılımlardan olan 3ds Max, Maya gibi yazılımların yanında heykel sanatı özelleştirilmiş olma özelliğinden dolayı ZBrush yazılımı ve yazılımın teknik yetkinlikleri mercek altına alınmıştır.

Doküman incelemesi sürecinde veriler; içerik analizi tekniklerine uygun olarak taranmış, özellikle sanatçıların "artist statement" metinleri ile eserlerinin görsel çıktıları arasındaki tutarlılık çapraz okumaya tabi tutulmuştur. Verilerin analizi aşamasında ise betimsel analiz yaklaşımı benimsenmiştir. Toplanan veriler, "Dijital Heykelin Tarihsel ve Teknolojik Temelleri", "Yazılım Ekosistemi ve ZBrush Devrimi" ile "Sanatsal Pratikler ve Ontolojik Dönüşüm" temaları altında tasnif edilerek yorumlanmıştır. Analiz sürecinde, geleneksel heykelin hacim, doku ve malzeme gibi yapı taşları ile dijital sanatın poligon, Pixol ve render gibi kavramları karşılaştırmalı olarak ele alınmış; teknolojinin sanatçı üzerindeki dönüştürücü etkisi saptanmaya çalışılmıştır.

Araştırmanın iç geçerliğini artırmak amacıyla veri kaynaklarında üçgenleme yöntemi benimsenmiştir. Kuramsal literatür, sanatçı beyanları ve görsel eser analizleri bir arada değerlendirilerek bulguların tutarlılığı test edilmiştir. Kodlama süreci, temalar arası karşılaştırmalarla sürekli olarak gözden geçirilmiş; yorumların yalnızca bireysel değerlendirmelere dayanmaması için kuramsal referanslarla desteklenmesine özen gösterilmiştir.

Araştırmanın güvenilirliği, kullanılan yöntemlerin ve analiz sürecinin ayrıntılı biçimde raporlanmasıyla sağlanmıştır. Kodlama şeması ve dahil etme ölçütleri açıkça tanımlanarak, çalışmanın benzer araştırmalar tarafından tekrarlanabilirliği hedeflenmiştir.

Bulgular

Dijital Heykelin Kavramsal Çerçevesi ve Teknolojik Altyapı

Tarihsel perspektifte heykel sanatı, teknolojik ilerlemelerin ritmine ayak uyduran ve onlarla eşzamanlı şekillenen bir dönüşüm hattı izler. Bu evrimsel süreci çözümleyebilmek, öncelikle "teknoloji" ve "sanat" mefhumlarının etimolojik ve tarihsel kader birliğini irdelemeyi gerektirir. Nitekim teknoloji sözcüğü; Yunanca sanat ve zanaat anlamına gelen "tekhne" ile bilgi veya söz manasındaki "logos" köklerinin birleşiminden neşet ederek, bu iki alanın arasındaki organik bağı dilbilimsel düzlemde de gösterir niteliktedir (Elitsoy, 2008, s.7). Bu köken birliği, sanat ve tekniğin birbirinden yalıtılmış olgular olmadığını; aksine sanatçının malzemeye hükmetmek ve formu inşa etmek için başvurduğu araçların, eserin niteliğini doğrudan tayin ettiğini gösterir. Tarihsel perspektifte teknoloji ve sanat iç içe geçmiş iki fenomendir; teknoloji, sanatın icrası için gerekli araç-gereç desteğini sağlayarak eserin varoluşuna doğrudan katkı sunar (Sağlamtimur, 2010, s.215).

Sanayi Devrimi (1750-1900), bu ilişkinin mekanikleştiği ilk büyük kırılma noktasıdır. Buhar makinesinin icadı ve mekanik enerji kaynaklarının devreye girmesiyle üretimde insan kas gücünün yerini makineler almıştır (Şen, 1996, s.6). 20. yüzyıla gelindiğinde ise teknoloji adeta kabuk değiştirerek

mekanik süreçlerden elektronik ve dijital süreçlere evrilmiştir. Bilgisayarın sanat alanına nüfuz etmesi "dijital sanat" kavramının doğuşuna zemin hazırlarken, heykel sanatı da bu yeni mecrada "dijital heykel", "sanal heykel", "info-heykel" veya "tele-heykel" gibi tanımlamalarla literatürdeki yerini almıştır (Turhan, 2006, s.3-5). Dijital heykel, klasik heykelin aksine maddeyle fiziksel teması zorunlu kılmaz; ancak form, hacim, doku ve ışık gibi plastik değerlerin tamamını sanal bir uzayda simüle eder. Bu simülasyonun temeli ise iki ana teknolojik sütuna dayanır: 3D baskı teknolojileri ve bilgisayar grafikleri (CGI).

Dijital ortamda kurgulanan sanal nesnelerin fiziksel gerçekliğe aktarımını sağlayan 3D baskı (katmanlı üretim) teknolojisi, dijital heykelin "somutlaşma" evresini temsil eder. Bu teknoloji, geleneksel heykeldeki "yontma" (eksiltme) yönteminin aksine, malzemenin katman katman yığılması (ekleme) prensibiyle çalışır. Günümüzde otomotivden tıbbı, modadan inşaata dek geniş bir yelpazede kullanılan bu teknolojinin kökenleri, sanılanın aksine 1980'lerin başına uzanmaktadır. Literatürde 3D yazıcı teknolojisinin mucidi olarak genellikle Charles Hull anılsa da, fikri temeller 1981 yılında Nagoya Belediyesi Endüstriyel Araştırma Enstitüsü'nden Hideo Kodama tarafından atılmıştır. Kodama, fotopolimerleri kullanarak işlevsel bir hızlı prototipleme sistemi geliştirmiş; ancak bürokratik engeller nedeniyle patent süreci tamamlanamamış ve bu devrimsel fikir ticarileşememiştir (Abar vd., 2024, s.1-5). Daha sonra, 1984 yılında Charles Hull, dijital verilerden somut bir 3D nesne üreten (Görsel 1) "Stereolitografi" (SLA) tekniğini icat ederek 3D baskının resmi miladını başlatmıştır. Hull'ın sistemi, sıvı fotopolimer reçinenin ultraviyole (UV) lazer ile katman bazlı fotopolimerizasyon yoluyla sertleştirilmesi esasına dayanır (Lipson & Kurman, 2013, s.8).



Görsel 1. Charles Hull tarafından geliştirilen ilk Stereolitografi (SLA) makinesi ve çalışma prensibi

Teknolojinin kronolojik akışı izlendiğinde, gelişimin baş döndürücü bir ivme kazandığı açıkça görülmektedir. 1992 yılında 3D Systems tarafından piyasaya sürülen ilk ticari SLA cihazı, teknik kusurlarına rağmen karmaşık parça üretimindeki potansiyeli kanıtlar niteliktedir. Milenyumun eşiğinde, bilhassa 1999 yılında tıp dünyasında kaydedilen ilerlemelerle, hastanın kendi hücrelerinden elde edilen sentetik iskeleler aracılığıyla laboratuvar ortamında ilk yapay organ üretilmiştir (Pincock, 2011). Bu gelişme, teknolojinin salt sert polimerlerle değil, biyolojik materyallerle de entegre olabileceğini doğrulamıştır. Takvimler 2002'yi gösterdiğinde kanı filtreleyebilen işlevsel bir mini böbrek üretilmiştir (Lanza vd., 2002). 2005 yılında ise Dr. Adrian Bowyer, teknolojinin demokratikleşmesi gayesiyle "RepRap" projesini hayata geçirmiştir. Açık kaynak felsefesiyle temellenen bu girişim, donanımın kendi kendini üretebilmesi (self-replicating) vizyonu ile teknolojinin tabana yayılmasını sağlamış; böylece bireysel kullanıcılar ve sanatçılar nezdinde üretim araçlarına erişimi kayda değer ölçüde kolaylaştırmıştır. 2006 yılına gelindiğinde ise Seçici Lazer Sinterleme (SLS) teknolojisinin entegrasyonu ile lazer kullanımı standartlaşmış, bu sayede destek malzemesine gereksinim

duyulmaksızın en girift geometrik yapıların dahi inşası mümkün hale gelmiştir (Jones vd., 2011, s.177-191). Tüm bu teknolojik sıçramalar, heykel sanatçıları nezdinde malzeme kısıtlamalarının ortadan kalkması anlamına gelmektedir. Nitekim 2010 yılında dünyanın ilk 3D basılı uçağının ve 2011 yılında "Urbee" isimli otomobilin üretilmesi, gelinen noktayı özetler mahiyettedir. Geleneksel döküm teknikleriyle aylar süren meşakkatli süreçler saatlere indirgenmiş, sanatçılar "imkânsız formları" fiziksel gerçekliğe aktarma olanağına kavuşmuştur.

Bilgisayar Grafiklerinin (CGI) Tarihsel Gelişimi ve 3D Modelleme

Dijital heykelin var olduğu sanal uzayın inşası, bilgisayar teknolojisinin salt hesaplama (computation) yeteneğinden görselleştirme (visualization) yeteneğine geçişiyle mümkün olmuştur. Bilgisayarın sanata girişi, işlemci gücünün artışıdan öte yeni bir estetik dilin inşasıdır. II. Dünya Savaşı atmosferinde geliştirilen ENIAC ve türevi erken dönem örnekleri, görselleştirme yetisinden mahrum, devasa hacimli hesap makineleri hüviyetindeydi. Ne var ki 1951 yılında MIT tarafından geliştirilen "Whirlwind" (Görsel 2) gerçek zamanlı grafik sunabilme kapasitesiyle bu gidişatı değiştirmiş ve alanında bir milat olarak tarih sahnesindeki yerini almıştır (Carlson, 2017, s.26). Operatörlerin "ışık kalemi" (light pen) ile ekrandaki verilerle etkileşime girmesini sağlayan bu sistem, günümüz dijital heykeltıraşlarının kullandığı tablet kalemli (stylus) atası kabul edilmektedir.



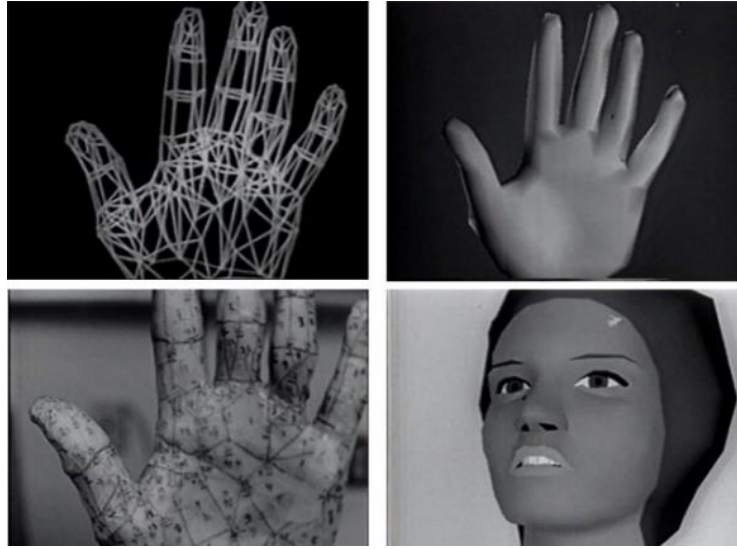
Görsel 2. Whirlwind bilgisayarı ve operatörün ışık tabancası ile ekran etkileşimi

Bilgisayar grafiklerinin sanatsal bir forma dönüşmesinde 1960'lar kritik bir eşiktir. MIT araştırmacısı Steve Russell'ın 1961 yılında geliştirdiği "Spacewar", ekran yüzeyindeki nesnelerin manevra kabiliyetini görünür kılması nedeniyle görsel etkileşimin milatlarından biri sayılmaktadır. Bu gelişimi takiben 1963 yılında Ivan Sutherland, "Sketchpad" (Görsel 3) başlıklı doktora çalışmasıyla doğrudan CRT ekran üzerinde çizim yapılmasına, nesnelerin kopyalanıp ölçeklendirilmesine olanak tanıyan bir sistem kurgulamış; böylece modern CAD ve 3D modelleme yazılımlarının teorik ve pratik temellerini atmıştır (Carlson, 2017, s.41).



Görsel 3. Ivan Sutherland'in Sketchpad yazılımı ile grafiksel çizim yaparken görüntüsü

3D modelleme ve dijital form algısının gelişiminde Utah Üniversitesi, adeta bir ekol işlevi görmüştür. 1975 yılında Martin Newell'in ikonik "Utah Demliği" (Utah Teapot) çalışması, kavisli yüzeylerin ve gölgelendirmelerin test edilmesi adına dijital heykelin referans nesnesine dönüşmüştür. Newell, çaydanlığın yüzey koordinatlarını elle kâğıda döküp sonrasında tel kafes (wireframe) modele çevirerek bu süreci başlatmıştır. Benzer dönemde Ivan Sutherland'in öğrencileri, bir Volkswagen Beetle'ın yüzeyine poligonlar çizerek fiziksel bir nesnenin dijital ikizini oluşturmuşlardır. 1972'de ise Ed Catmull ve Fred Parke, Catmull'un sol elini modelleyerek (Görsel 4) ilk 3D el animasyonunu yaratmış; elin üzerine çizilen çokgen ağı (mesh) bilgisayara aktarılarak dijital bir uzvun hareket kabiliyeti simüle edilmiştir. Bu çalışmalar, Pixar'a uzanan yolun taşlarını döşemiştir (Carlson, 2017, s.92).



Görsel 4. Ed Catmull'in 1972 yılında modellediği ve canlandırdığı dijital el çalışması

Sanatçılar da bu teknolojik dalgaya kayıtsız kalmamıştır. Ben Laposky'nin 1950'de osiloskopa ürettiği "Oscillons" adlı elektronik soyutlamaları ve Charles Csuri'nin 1968 tarihli "Hummingbird" animasyonu, bilgisayarın sadece bir hesap makinesi değil; görsel bir üretim aracı, yeni bir tuval ve heykel malzemesi olduğunu kanıtlamıştır. AutoCAD, 3ds Max, Maya ve nihayetinde ZBrush gibi yazılımlar, bu tarihsel birikimin üzerine inşa edilerek sanatçılara sınırsız bir yaratım evreni sunmuştur.

3D Programlarının Evrimi ve ZBrush'ın Sanatsal Arayüzü

Dijital heykelin teknik altyapısı incelendiğinde, yazılım evriminin sanatsal ifade biçimlerini doğrudan şekillendirdiği görülür. Kökeni mühendislik ve mimari disiplinlerin pragmatik gereksinimlerine dayanan genel amaçlı 3D yazılımlar, zamanla ihtisaslaşarak heykeltıraşların plastik duyarlılıklarına yanıt veren "dijital atölyeler" hüviyetine bürünmüştür. Sanat ve tasarım ekosisteminde konumlanan bu yazılımlar, sanatçının imgeleminde beliren formu sanal uzayda inşa etmesine olanak tanıyan birer kurucu aracı niteliğindedir. 1980'lerden itibaren ivme kazanan bu teknoloji; Google SketchUp, AutoCAD, 3D Max ve Maya gibi programlarla farklı çözümler sunmuştur. Özellikle AutoCAD programından önce mimari projelerin zorluğu (Görsel 5), bu programın geliştirilmesinde en önemli faktörlerden ve motivasyonlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dijital tasarımın "kalemi" olarak nitelenen Google SketchUp, konsept aşamasında hızlı hacim etütlerine olanak tanısa da organik formların inşasında ve detaylı yüzey dokularında kısıtlı bir yapıya sahiptir. Benzer şekilde, mimari ve mühendislik disiplinlerinin standart aracı olan AutoCAD, serbest formlu modellemekten ziyade matematiksel kesinliğe odaklandığından, heykelsi plastik etkiyi yakalamakta zorlanır (Carlson, 2017, s.41).



Görsel 5. AutoCAD programından önce mimari projelerin çizim aşaması

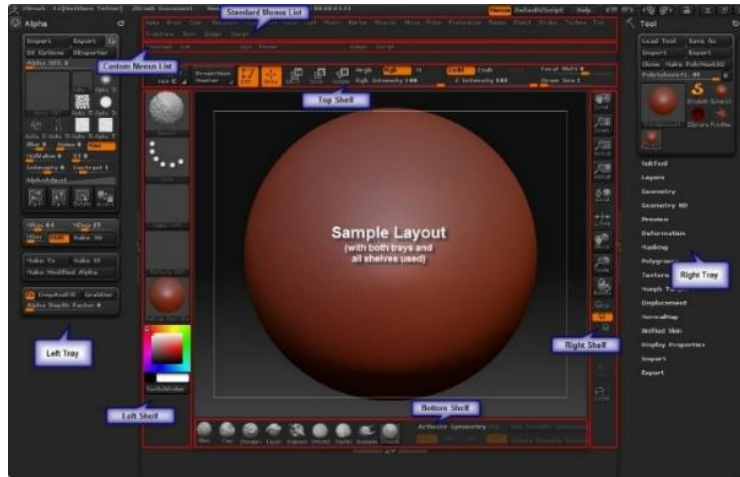
Autodesk çatısı altındaki 3ds Max ve Maya ise film efektleri, animasyon ve oyun geliştirme sektörlerinin belkemiğidir. Poligon modelleme, doku kaplama ve karakter animasyon araçları sayesinde gelişmiş imkânlar sunsalar da çalışma mantıkları genellikle "nokta (vertex)- kenar (edge)- yüzey (face)" manipülasyonuna dayanır. Bu teknik yapı, sanatçının kütleye bir çamur gibi müdahale etmesini zorlaştırarak süreci sanatsal bir yaratımdan çok teknik bir inşaya dönüştürür. Bu yazılımların üretimdeki yeri yadsınamaz olsa da heykeltıraşın aradığı "malzemeye temas etme" hissini simüle etmekte yetersiz kaldıkları bir gerçektir. İşte bu boşluk, ZBrush programının getirdiği devrimsel yaklaşımla doldurulmuştur.

ZBrush Programı ve Dijital Heykelin Teknik Altyapısı

Geleneksel 3D modelleme paradigmalarından radikal bir kopuşu temsil eden ZBrush; heykeltıraşların el alışkanlıklarını ve plastik hassasiyetlerini merkeze alan, özelleşmiş bir "dijital yontma" (digital sculpting) aracıdır. Yazılımın mimarisi, sanatçıyı poligon hesaplamalarının teknik yükünden özgürleştirerek, üretim sürecini doğrudan formun inşasına ve yüzey detaylarının işlenmesine odaklayacak bir felsefe üzerine kurgulanmıştır. İnan, ZBrush'ı dijital bir evrende, dijital bir malzemeyi somut bir kil gibi itip çeken, bükten ve yontan bir simülasyon olarak tanımlar (İnan, 2010, s.45-47). ZBrush'ı rakiplerinden ayıran en temel özellik, görüntüleme ve modelleme teknolojisinin altyapısını oluşturan "Pixol" kavramıdır. ZBrush'ın çalışma sahası, konvansiyonel anlamda saf bir üç boyutlu uzaydan ziyade, iki boyut ile üç boyut arasında konumlanan melez bir yapı arz eder. Photoshop gibi geleneksel görüntü işleme yazılımlarında kullanılan standart "piksel" birimi, yalnızca yatay (X) ve dikey (Y) koordinatlar ile renk bilgisini tanımlarken; ZBrush'ın mimarisini oluşturan "Pixol" teknolojisi, yüzeydeki her bir noktada şu verileri barındırır:

1. X ve Y Koordinatları: Piksel düzlemindeki kartezyen koordinat verileri
2. Z Derinliği (Depth): Noktanın ekrandan ne kadar içeride veya dışarıda olduğu.
3. Oryantasyon (Orientation): Yüzeyin baktığı yön ve eğim bilgisi.
4. Materyal (Material): Yüzeyin ışığı nasıl yansıtacağı (mat, parlak, metalik vb.).

Bu teknoloji, sanatçının milyonlarca poligonla çalışırken bilgisayar performansının düşmesini engeller ve yüzeye mikroskobik detayların (deri gözenekleri, kumaş dokusu vb.) işlenmesine olanak tanır (Yıkaroğlu, 2010, s.154).



Görsel 6. ZBrush arayüzü

ZBrush arayüzü (Görsel 6), yeni başlayanlar için karmaşık görünse de aslında bir heykeltıraşın atölye düzenini simüle eden, esnetilebilir ve özelleştirilebilir bir yapıya sahiptir. Programın arayüz bileşenleri, sanatçının iş akışını hızlandırmak üzere ekranın dört bir yanına (Left, Right, Top, Bottom) ve açılır-kapanır tepsilere (Trays) yerleştirilmiştir. Kaynak metinden hareketle bu menülerin işlevleri şu şekilde analiz edilebilir:

Standard Menus List (Standart Menü Listesi): Ekranın en üst kısmında yer alan bu bölüm, dosya işlemleri, kaydetme ve genel program ayarlarının bulunduğu, hemen her yazılımda aşına olunan ana komuta merkezidir.

Left Shelf (Sol Raf): Sanatçının en sık başvurduğu araç kutusudur. Burada modeli şekillendirmek için kullanılan "firçalar" (brushes), yüzeye desen vermek için kullanılan "Alpha" haritaları, malzeme dokusunu belirleyen "Material" seçenekleri ve renk paleti bulunur. Geleneksel bir heykeltıraşın tezgahının solunda duran spatula, sistre ve kil kalemlerinin dijital karşılığı bu raftır.

Right Shelf (Sağ Raf): Bu bölüm, sanatçının modelle kurduğu mekânsal ilişkiyi yönetir. Modeli sahnede döndürme (rotate), yaklaşma-uzaklaşma (zoom/scale) ve taşıma (move) gibi navigasyon araçları burada yer alır. Sanatçı, eserine farklı açılardan bakmak için sürekli bu paneli kullanır.

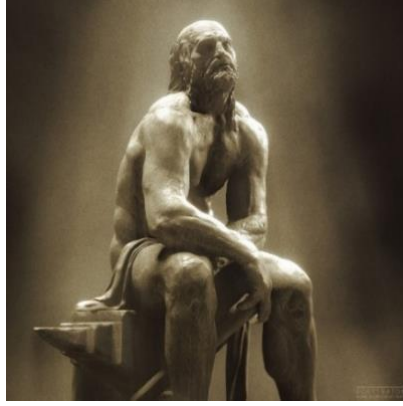
Left & Right Tray (Sol ve Sağ Tepsiler): Bu bölümler, ekran alanını verimli kullanmak adına açılıp kapanabilen dinamik panellerdir. "Left Tray" genellikle fırça ayarlarının detaylandırıldığı, "Right Tray" ise sahnedeki modellerin (SubTools) yönetildiği "Tool" menüsünü barındırır. "Tool" menüsü, heykeli oluşturan parçaların eklendiği, çıkarıldığı veya birleştirildiği bölümdür.

Bu arayüz düzeni, sanatçının teknik detaylarda kaybolmadan, sağ elindeki tablet kalemle modele odaklanmasını ve sol eliyle hızlıca araç değiştirmesini sağlayan ergonomik bir akış sunar.

ZBrush ile Dijital Heykel Uygulama Örnekleri ve Sanatçı Pratikleri

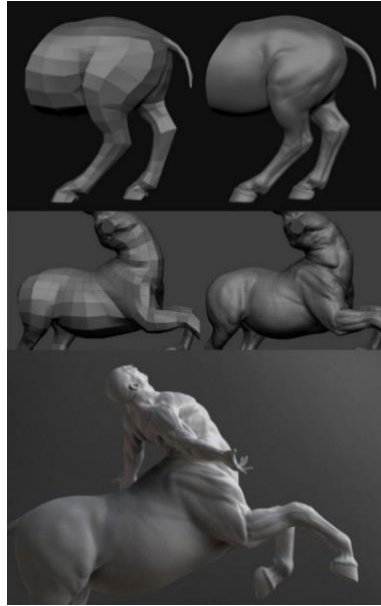
Geleneksel heykel sanatı, tarihsel olarak maddenin fiziksel varlığı, kütle çekimi ve boşlukla kurduğu ilişki üzerinden tanımlanmıştır. Ancak 21.yüzyılın dijital araçları, bu tanımlı kökten sarsarak heykeli fiziksel zorunluluklardan arındırmış ve onu "veri", "ışık" ve "algoritma" tabanlı yeni bir varoluş düzlemine taşımıştır. Bu bölümde, dijital heykelin ontolojik yapısını dönüştüren sanatçıların yaklaşımları; "Siberrealizm", "Veri Heykeli" ve "Sanal Estetik" kavramları ekseninde irdelenecektir. ZBrush programının sağladığı teknik imkânlar sanatçıların üretim süreçlerinde devrimsel değişikliklere yol açmıştır. Aşağıda, programın potansiyelini sergileyen önemli sanatçıların eserleri ve üretim teknikleri incelenmiştir.

Scott Eaton. Fotoğrafçı, tasarımcı ve heykeltıraş kimliklerini bünyesinde barındıran Scott Eaton, dijital heykelde anatomik gerçekçiliğin ve klasik sanat bilgisinin önemini vurgulayan öncü bir isimdir. Floransa'da aldığı klasik çizim ve heykel eğitimi ile MIT Media Lab'deki teknolojik donanımını birleştiren Eaton, eserlerinde "dijital" olanın soğukluğunu kırarak insani bir doku yakalamayı hedefler (Eaton, 2025).



Görsel 7. Hephaestus II, Scott Eaton

"Hephaestus II": Yunan mitolojisinde demircilik ve ateş tanrısı olan Hephaistos'u konu alan bu eser (Görsel 7), ZBrush programının anatomik detaylandırma gücünü gösterir niteliktedir. Eaton, figürün yüzündeki yorgun ve hüzünlü ifadeyi, kaslardaki gerilimi ve deri altındaki kemik yapısını dijital fırçalarla işlemiştir. Eserin, mitolojik bir anlatıyı dijital araçlarla yeniden yorumlayarak, izleyiciye figürün yalnızlığını ve mesleki yorgunluğunu hissettirmeyi başardığı söylenebilir.



Görsel 8. Death of the Centaur, Scott Eaton

"Death of the Centaur" (Centaur'un Ölümü): Heykeltıraş Émile-Antoine Bourdelle'in eserinden esinlenerek üretilen bu çalışma, sanatçının dijital ortamda bir "röprodüksiyon" veya "yeniden yorumlama" sürecini nasıl yönettiğini gösterir. Eaton, eserin yapım aşamalarını (work in progress) paylaşarak, dijital kilin kaba formdan (bloklama) en ince detaya (polishing) kadar nasıl işlendiğini eğitici bir dille sunmuştur. Görsel 8'de yer alan bu süreç, dijital heykelin katmanlı yapısını anlamak adına kritik bir örnek olarak okunabilir.

Mariano Steiner. Brezilyalı sanatçı Mariano Steiner, karakter modelleme ve dijital heykel alanında, özellikle malzeme bilgisinin simülasyonu konusundaki ustalığıyla tanınır. Steiner'in çalışmaları, ZBrush'ın render (görselleştirme) motorunun ve doku fırçalarının sınırlarını zorlar niteliktedir.



Görsel 9. Yerli Ahşap Heykel, ZBrush heykel doku denemeleri, Mariano Steiner

"Yerli Ahşap Heykel" (Indigenous Wood Sculpture): Steiner'in bu çalışması (Görsel 9), dijital heykelin malzeme taklidi (mimesis) konusundaki başarısını kanıtlayan niteliktedir. Sanatçı, eseri oluştururken ZBrush'ın katmanlı boyama özelliklerini kullanmıştır. Steiner, eserde üç farklı doku aşaması uyguladığı görülmektedir.

Outer Wood (Dış Ağaç): Heykelin dış yüzeyindeki yıpranmış, kabuklu ve sert ahşap dokusunun işlendiği aşama.

Inner Wood (İç Ağaç): Ahşabın iç kısmındaki daha taze, damarlı ve yumuşak dokunun simüle edildiği aşama.

Backlight (Ters Işık): Ahşabın inceldiği noktalarda ışığı geçirmesi (sub-surface scattering) etkisinin test edildiği aşama.

Bu süreçler, dijital bir dosyanın, izleyicide "dokunma isteği" uyandıran fiziksel bir ahşap hissiyatı yaratabileceğini göstermektedir.



Görsel 10. Chimp Kavgası, ZBrush heykel, Mariano Steiner

"Chimp Kavgası!" (Chimp Fight!): Şempanzelerin kendi türlerine karşı uyguladığı şiddeti konu alan bu eserin (Görsel 10), ZBrush programının dinamik kompozisyon ve kürk/tüy (fur) detaylandırma yeteneğini sergilemek amacıyla üretildiği söylenebilir. Sanatçı, figürlerin hareketli yapısını, kasların kasılmasını ve yüz ifadelerindeki vahşeti dijital ortamda dondurarak, anlık bir eylemi heykel formuna dönüştürmüştür. Çalışmanın ışık, renk ve malzeme kullanımındaki ustalığıyla yazılımın olanaklarını görünür kılar.

Keith Brown ve Siberrealizm (Cyberrealism). Dijital heykelin teorik altyapısını oluşturan önemli düşünür-sanatçılardan biri olarak öne çıkan Keith Brown, sanat pratiğini "Sanal Gerçeklik" (Virtual Reality) kavramının tersyüz edilmesi olarak gördüğünü ifade etmektedir. Brown'a göre amaç, fiziksel gerçekliği sanal ortamda taklit etmek (mimesis) değil; sanal ortamın sunduğu sınırsız olanakları kullanarak, fiziksel dünyada var olmayan yeni bir nesne düzeni yaratmaktır. Sanatçı bu yaklaşımı "Gerçek Sanallık" (Real Virtuality) veya "Siberealizm" (Cyberrealism) olarak tanımlamaktadır (Brown, 2018).

Brown'un eserleri, bilgisayarın hesaplama gücüyle üretilen ancak insan zihninin ve elinin doğrudan müdahalesiyle oluşturulması görece imkânsız olan geometrik formları kapsamaktadır. Bu formların, "ekleme" veya "çıkarma" mantığıyla değil, matematiksel düğümlerin ve topolojilerin manipülasyonu ile doğduğu söylenebilir.



Görsel 11. Arabuluculu Estetik, SIGGRAPH Asia Sanat Galerisi, Makao, Çin. 1 3D mono baskı; FDM, ABS- Brown, JK, 2017

Arabulucu Estetik (Mediated Aesthetic): Brown'un bu eseri (Görsel 11), siber uzaydaki form arayışının en somut örneği olarak okunabilir. Eser, var olan ile var olmayan arasında kurulan estetik bir köprü olarak betimlenebilir. 3D baskı teknolojisi (FDM) kullanılarak ABS malzeme ile somutlaştırılan bu çalışmanın sanal ortamda doğan bir "varlığın" fiziksel dünyaya transfer edilmesini temsil ettiği düşünülebilir. Burada 3D yazıcının sadece bir üretim aracı değil, sanal evrenden fiziksel evrene geçişi sağlayan bir "portal" işlevi gördüğü söylenebilir.



Görsel 12. 3D Glitch, Uluslararası Dijital Sanat Sergisi, Priestman Galerisi, Sunderland Üniversitesi, İngiltere- Brown, JK, 2015

3D Glitch (Görsel 12): Sunderland Üniversitesi Priestman Galerisi'nde sergilenen bu eser, dijital hatanın (glitch) estetik bir forma dönüştürülmesini işaret eder. Bilgisayar sistemlerinde bir "arıza" veya "bozulma" olarak algılanan glitch'in Brown'un elinde bilinmeyen, alışılmadık ve kaotik bir heykel

formuna evrildiği söylenebilir. Sanatçının dijital dünyanın kusurlarını fiziksel dünyanın malzemesiyle (polimerler) dondurarak kalıcı hale getirmeyi amaçladığını işaret eder.

Kevin Mack ve Psikoaktif Sanat. Görsel efekt kökenli bir sanatçı olan Kevin Mack, dijital heykeli nörobilim, yapay yaşam ve mistisizm ile harmanlayarak "psikoaktif sanat" olarak adlandırdığı bir disiplin geliştirmiştir. Mack'in çalışmaları, izleyicinin algı kapılarını aralamayı, hayal gücünü tetiklemeyi ve meditatif bir deneyim sunmayı amaçlar. Sanatçı, 3D baskının (özellikle lazer sinterleme-SLS) yeteneklerini kullanarak, geleneksel yöntemlerle üretilmesi çok zor olan iç içe geçmiş paradoksal yapıları fizikselleştirir (Molitch-Hou, 2013).



Görsel 13. *Kapalı Fonksiyonun Loopy Topolojisi, 4.4 x6.4 x3.3- Lazerle sinterlenmiş naylon 3D baskı, Kevin Mack*

Kapalı Fonksiyonun Loopy Topolojisi (Loopy Topology of Closed Function): Matematiksel fonksiyonların estetik karşılığını arayan bu eserin (Görsel 13), "döngü-ağ topolojisi" kavramına dayandığı düşünülmektedir. Mack kapalı bir fonksiyonun sürekliliğini, başlangıcı ve sonu olmayan, kendi içine dönen karmaşık bir ağ yapısı olarak görselleştirmiştir. Eser, zihnin rasyonel algısını zorlayan, çözümsüz bir bulmaca gibi okunabilir.

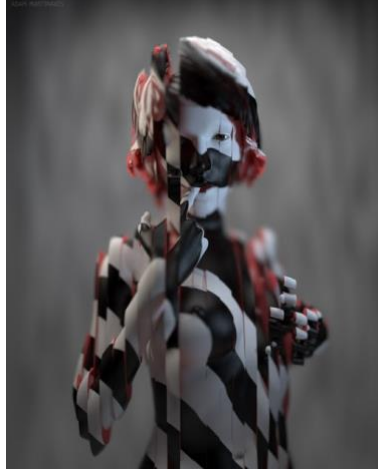


Görsel 14. *Yapısal Dolaşıklık Paradoksu, 9 x8 x7.5- Siyanoakrilat infiltre edilmiş alçı, Kevin Mack*

Yapısal Dolaşıklık Paradoksu (Paradox of Structural Entanglement): Aynı formdan türeyen iki yapının aynı uzayı işgal etmesi paradoksu üzerine kuruludur (Görsel 14). Sanatçının burada kuantum fiziğindeki "dolaşıklık" (entanglement) ilkesine görsel bir atıfta bulunduğu belirtilebilir. Yapılar eşzamanlı olarak birbirinin içinde ve dışındadır; bu durum rasyonel bir tasarımdan ziyade, çözümsüz bir illüzyonu andırır.

Mack'in yaklaşımında teknoloji, insanı hayal gücünün ötesine taşıyan bir araçtır. Sanal Gerçeklik (VR), onun için sanatın doğal ortamıdır ve izleyiciye "mekânsal mevcudiyet" (spatial presence) hissi vererek eserin içine girme imkânı tanır (Molitch-Hou, 2013).

Adam Martinakis ve Sanalın Hiper-Gerçekçiliği. Dijital heykeli fiziksel bir çıktıya (baskıya) ihtiyaç duymadan, tamamen sanal ortamda ve ekran düzleminde var eden Adam Martinakis, dijital estetiğin en saf halini temsil eder. Martinakis'in eserleri, 3D render teknolojisinin ulaştığı fotorealistik (foto-gerçekçi) seviyeyi kullanarak, izleyicide güçlü bir duygu uyandıran sahneler yaratmayı amaçlar.



Görsel 15. Kanama Masumiyet- Adam Martinakis, 2017

Kanama Masumiyet (Bleeding Innocence): Martinakis'in erotizm ve kırılganlık temalarını işlediği bu eser (Görsel 15), dijital ortamda cam, kan ve et dokusunun ustaca kullanımıyla dikkat çeker. Parçalara ayrılmış kadın figürü, siyah, beyaz ve kırmızı renklerin dramatik kullanımıyla birleştirilmiştir. Martinakis'in bu eseri dijital ortamda üretilmiş olmasına rağmen ışık, yüzey, geçirgenlik ve parçalanmış figür kullanımı aracılığıyla hacimsel bir etki yaratmaktadır. Bu yönüyle eser, fiziksel kütleye sahip olmayan dijital imgenin heykelsi algı üretme kapasitesini tartışmaya açmaktadır.



Görsel 16. 21. Yüzyıl Dilencileri- Adam Martinakis, 2011

21. Yüzyıl Dilencileri (21st Century Beggars): Sanatçının toplumsal eleştiriye yönelik olan bu eseri, modern kent yaşamının duyarsızlığına ve kaotik yapısına gönderme yaptığı şeklinde okunabilir (Görsel 16). Kinetik (hareketli) figürler kullanılarak oluşturulan kompozisyon, parçalanmış bedenler ve

boşlukta süzülen uzuvlarla, 21. yüzyıl insanının ruhsal parçalanmışlığını betimlediği söylenebilir. Eserin, dijital ortamda üretilip 2 boyutlu baskı (fine art print) olarak sergilenmesine rağmen, derinlik algısıyla üç boyutlu bir heykel etkisine sahip olduğu ifade edilebilir.

Paul Higham ve Veri Heykeli (Data Sculpture). Paul Higham'ın heykeli bir form verme sanatı olmaktan çıkıp bir "bilgi görselleştirme" (data visualization) pratiğine dönüştüren öncü isimlerden biri olduğu söylenebilir. Higham, "Veri Heykeli" kavramıyla borsa hareketleri, nüfus verileri veya dijital akışlar gibi soyut bilgileri 3D formlara dönüştürür (Higham, 2015).



Görsel 17. Küresel Konumlama Sistemi, Rodeo Galeri Sanat Merkezi, CA, Sausalito, 21 Haziran 2006, Paul Higham

Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System): Higham'ın bu eseri (Görsel 17), gerçek zamanlı veri akışlarının (dolar dalgalanmaları, borsa çöküşleri vb.) heykel formuna bürünmüş halidir. Sanatçı kültürdeki organikliği, histerezisi (gecikme etkisi) ve türbülansı dijital grafiklerden elde ettiği verilerle şekillendirir. Burada sanatçının estetik bir karar verici olmaktan ziyade, verinin kendi formunu bulmasına aracılık eden bir operatör konumunda olduğu söylenebilir. Eser, bilginin metalaşmasını ve toplumsal dönüşümlerin akışkanlığını somut bir nesneye (3D baskı) hapseder niteliktedir (Higham, 2015).

Dijital heykel pratiğine ilişkin bulgular bütüncül biçimde değerlendirildiğinde, dönüşümün yalnızca üretim araçlarının değişimiyle sınırlı olmadığı; aynı zamanda heykelin düşünülme, tasarlanma ve deneyimlenme biçimlerini de yeniden yapılandığı görülmektedir. İncelenen sanatçı pratikleri, dijital ortamın sunduğu geri alınabilir süreçler, varyasyon üretimi, katmanlı çalışma mantığı ve fiziksel gerçeklikten bağımsız form arayışları sayesinde heykelin klasik atölye disiplininin farklı bir üretim ontolojisine yöneldiğini göstermektedir. Özellikle ZBrush'ın "dijital kil" yaklaşımı ile 3D baskının veri ile madde arasında kurduğu hibrit ilişki, sanatçının yalnızca nihai nesneye değil, sürecin kendisine odaklanan yeni bir çalışma rejimi geliştirdiğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, araştırma bulguları dijital üretim ortamlarının sunduğu özgürleşme potansiyeline rağmen, yazılım arayüzlerinin yönlendirici estetikleri ve teknolojik belirlenimcilik riskleri nedeniyle eleştirel farkındalık temelli bir eğitim yaklaşımını zorunlu kıldığını da işaret etmektedir. Bu bağlamda, dijital araçların heykel eğitimine entegrasyonunun salt teknik beceri aktarımı düzeyinde ele alınmasının yetersiz kalacağı; aksine geleneksel plastik formasyon ile dijital üretim süreçlerini birlikte düşünen aşamalı ve eleştirel bir pedagojik modelin gereklilik hâline geldiği değerlendirilmektedir.

Heykel Eğitiminde Dijital Kil ve Katmanlı Üretimin Pedagojik Entegrasyonu: Uygulanabilir Bir Model Önerisi

Dijital teknolojilerin heykel üretim süreçlerine nüfuz etmesi, yalnızca yeni araçların atölyeye eklenmesiyle sınırlı bir dönüşüm olarak değerlendirilmemelidir. Aksine, bu süreç, heykelin üretim ontolojisiyle birlikte öğrenme biçimlerini, pedagojik yaklaşımları ve sanat eğitiminin temel varsayımlarını da dönüştürmektedir. Lev Manovich'in dijital nesnenin değişkenlik (variability) ve süreçsellik özelliklerine yaptığı vurgu, dijital ortamda üretilen formun “tamamlanmış bir sonuç”tan ziyade “sürekli revizyona açık bir yapı” olarak ele alınabileceğini göstermektedir (Manovich, 2001, s.64–66). Bu durum, heykel eğitiminde geleneksel olarak merkeze alınan geri dönülmez üretim kararlarının, dijital araçlar aracılığıyla farklı bir öğrenme zamansallığına taşındığını düşündürmektedir.

Christiane Paul'un dijital sanatı süreç ve sistem tasarımı üzerinden ele alan yaklaşımı, pedagojik bağlamda önemli bir açılım sunar. Paul'a göre dijital sanat, yalnızca teknik bir çıktı değil; sanatçının kararları, denemeleri ve varyasyonları içeren bir öğrenme ve üretme sistemidir (Paul, 2003, s.21–23). Bu perspektiften bakıldığında, ZBrush gibi dijital kil yazılımlarının sunduğu “geri alınabilirlik” (undo), katmanlı çalışma ve versiyonlama olanakları, öğrencinin deneme–yanılma yoluyla düşünmesini teşvik eden güçlü pedagojik araçlar olarak değerlendirilebilir. Ancak bu olanaklar, Bruce Wands'ın işaret ettiği teknolojik belirlenimcilik (teknolojinin toplumun yapısını, kültürel değerlerini ve tarihsel gelişimini şekillendiren temel güç olduğunu savunan görüş) riskiyle birlikte ele alınmadığı sürece, üretimin yazılımın estetik sınırları içinde tek tipleşmesi tehlikesini de beraberinde getirmektedir (Wands, 2006, s.163–166).

Bu noktadan hareketle, heykel eğitiminde dijital kil ve katmanlı üretim teknolojilerinin pedagojik entegrasyonunun, rastlantısal araç kullanımının ötesine geçerek, bilinçli ve aşamalı bir model çerçevesinde yapılandırılması gerektiği düşünülmektedir. Önerilen model, geleneksel atölye disiplini dışlamadan; dijital üretim süreçlerini bu disiplinle eleştirel bir ilişki içinde yeniden konumlandırmayı amaçlamaktadır.



Görsel 18. Temel plastik formasyon

Modelin ilk aşamasını temel plastik formasyon oluşturmaktadır. Bu aşamada öğrencinin kütle–boşluk ilişkisi, oran–orantı, yüzey, denge ve malzeme direnci gibi heykelin tarihsel bilgi alanlarıyla tanışması hedeflenir. Bu aşama, dijital araçlardan bağımsız olarak, beden–malzeme ilişkisini ve sezgisel üretimi merkeze alan geleneksel atölye pratiğini içerir. Sanat eğitimi literatüründe, bu tür bedensel ve sezgisel deneyimlerin üst düzey sanatsal düşünmenin temelini oluşturduğu vurgulanmaktadır (Winner, Goldstein & Vincent-Lancrin, 2013, s.45–48).



Görsel 19. Dijital kil ile form, araştırma ve üretim

İkinci aşamada, dijital kil ile form araştırması süreci başlatılır. ZBrush gibi yazılımlar, bu aşamada nihai üretim aracı olarak değil; form düşüncesini genişleten bir araştırma alanı olarak konumlandırılır. Öğrencinin dijital ortamda hızlı varyasyonlar üretmesi, farklı form olasılıklarını denemesi ve bu süreçleri kayıt altına alması teşvik edilir. Donald Schön'ün "eylem içinde düşünme" (reflection-in-action) kavramı, dijital ortamda yapılan bu tür denemelerin pedagojik değerini açıklamak açısından işlevseldir; zira öğrenci, üretim sırasında aldığı kararları anında gözden geçirme ve yeniden yapılandırma imkânına sahip olur (Schön, 1983, s.68–72).



Görsel 20. Dijital-fiziksel geçiş (3D baskı)

Üçüncü aşama, dijital-fiziksel geçiş olarak tanımlanabilir. Bu aşamada dijital ortamda üretilen form, 3D baskı teknolojileri aracılığıyla maddileştirilir. Katmanlı üretim süreci, dijital formun fiziksel dünyadaki karşılığını sorgulama imkânı sunar; yüzey kalitesi, katman izleri ve malzeme özellikleri, dijital ortamda öngörülen formun fiziksel gerçeklikle nasıl müzakere ettiğini görünür kılar. Bruce Wands'ın dijital formun fiziksel mekânda meşruiyet kazanmasına ilişkin vurgusu, bu aşamanın pedagojik önemini desteklemektedir (Wands, 2006, s.210–212).



Görsel 21. Fiziksel müdahale ve sergileme

Dördüncü aşamada, fiziksel müdahale, yüzey ve sergileme süreçleri devreye girer. 3D baskı çıktısı, nihai bir sonuç olarak değil; yeniden işlenebilir bir ara form olarak ele alınır. Öğrencinin yüzey müdahaleleri, ekleme-çıkarma işlemleri ve sergileme senaryoları üzerinden dijital ve fiziksel üretim arasındaki sınırları eleştirel biçimde değerlendirmesi amaçlanır. Bu aşama, dijital üretimin “maddesizlik” algısını kırarak, heykelin mekânla kurduğu ilişkiyi yeniden gündeme taşır.

Son aşamada ise süreç odaklı değerlendirme ve eleştiri yer alır. Bu modelde değerlendirme, yalnızca ortaya çıkan nesne üzerinden değil; öğrencinin üretim sürecinde aldığı kararlar, denemeler ve eleştirel farkındalık düzeyi üzerinden yapılır. Süreç kayıtlarının (ekran görüntüleri, versiyonlar, süreç defterleri) jüri ve eleştiri ortamlarına dâhil edilmesi, sanatsal düşünmenin görünür kılınmasını sağlar. Bu yaklaşım, sanat eğitiminin yalnızca beceri kazandıran değil, eleştirel düşünme geliştiren bir alan olduğunu vurgulayan çağdaş pedagojik yaklaşımlarla örtüşmektedir (Sullivan, 2010, s.97–101).



Görsel 22. Süreç odaklı değerlendirme

Önerilen bu pedagojik modelin uygulanması durumunda, öğrencinin dijital araçlara yönelik yaklaşımının salt teknik yeterlilik düzeyinde kalmayacağı; aksine yazılımın estetik belirleyiciliğini sorgulayan, tek tipleşme risklerinin farkında olan ve üretim sürecini bilinçli biçimde yöneten bir sanatçı profiline evrileceği düşünülmektedir. Böylece dijital heykel eğitimi, teknolojik olanakları eleştirel farkındalıkla bütünleştiren, geleneksel atölye disiplini ile dijital yetkinlikleri sentezleyen bir formasyon alanı olarak yeniden tanımlanabilir.

Sonuç ve Tartışma

Araştırma kapsamında derinleştirilen çok katmanlı incelemenin, teknoloji ve sanat arasındaki ilişkinin salt araçsal bir kolaylaştırıcılıktan ibaret olmadığı; aksine heykelin ontolojik sınırlarını, üretim metodolojisini ve estetik algısını dönüştüren köklü bir paradigma değişimine işaret ettiği görülmektedir. Heykelin tarihsel gelişiminde maddenin fiziksel direncine karşı verilen kadim mücadele, dijital çağda yerini "veri manipülasyonu" ve "algoritmik tasarım" düzlemine bırakmış; böylece heykel, yerçekiminin ve maddesel zorunlulukların hegemonyasından özgürleşmiştir. Bulgular bütüncül bir perspektifle okunduğunda, bu dönüşüm sürecinde üç kritik kırılma noktası belirginleşir. Bunlardan ilki, bilgisayarın salt matematiksel hesaplama yapan bir işlemci olmaktan sıyrılıp, bilhassa Ivan Sutherland'ın "Sketchpad"i ve Utah Üniversitesi'nin öncü çalışmalarıyla görsel bir üretim mecrasına evrilmesidir. İkincisi, 3D baskı teknolojilerinin gelişimiyle (SLA, SLS, FDM) dijital verinin fiziksel maddeye dönüşebilir hale gelmesi ve "hızlı prototipleme" kavramının sanatsal üretimde "hızlı heykeltıraşlık" pratiğine evrilmesidir. Üçüncü ve belki de en kritik kırılma noktası ise ZBrush yazılımının geliştirdiği "Pixol" teknolojisidir. Bu teknoloji, geleneksel CAD programlarının mühendislik odaklı katı geometrik yapısını (poligon) kırarak, sanatçıya derinlik, doku ve oryantasyon bilgisi içeren "dijital kil" ile çalışma imkânı sunmuştur. Böylece, heykeltıraşın atölyedeki dokunsal deneyimi ile dijitalin geri alınabilir (undo) esnekliği arasında hibrit bir üretim alanı doğmuştur. Bu dönüşümün tek yönlü bir "ilerleme" anlatısı içinde ele alınması, dijitalleşmenin açtığı olanaklarla birlikte ortaya çıkan riskleri görünmez kılma tehlikesi taşımaktadır. Bu nedenle tartışmanın ZBrush ve 3D baskı teknolojilerinin sunduğu teknik avantajları vurgulamanın yanı sıra, sanatsal özgünlük, üslup çeşitliliği ve heykelin tarihsel "nihai form" ideali açısından doğurabileceği gerilimleri de kapsayacak biçimde çift yönlü kurulması gerekmektedir.

Bu bağlamda literatürde iki temel yaklaşımın öne çıktığı söylenebilir. İlk yaklaşım, dijital teknolojilerin sanatsal ifade alanını genişleterek yeni biçim repertuvarları ürettiğini savunurken; ikinci yaklaşım, aynı teknolojilerin üretimi belirli yazılım arayüzleri ve teknik parametreler içine hapsederek estetik standardizasyon riskini artırabileceğini ileri sürmektedir. Lev Manovich'in *The Language of New Media* adlı çalışmasında ortaya koyduğu "sayısal temsil" ve "modülerlik" ilkeleri, dijital nesnenin parçalı ve yeniden düzenlenebilir bir veri tabanı mantığıyla işlediğini göstermektedir (Manovich, 2001, s.27–30). Manovich'in "değişkenlik" (variability) kavramı ise, dijital formun tekil ve kapanmış bir nihai biçimden ziyade, sürekli güncellenebilir ve yeniden yapılandırılabilir bir karaktere sahip olduğunu vurgular (Manovich, 2001, s.64–66). Bu perspektiften bakıldığında, geleneksel heykel pratiğinde malzemenin direnci karşısında verilen ve geri dönüşü olmayan karar anının, ZBrush gibi yazılımların "geri al" (undo) esnekliğiyle farklı bir zamansallığa taşındığı görülmektedir. Böylece heykel, tamamlanmış bir kütle olmaktan ziyade, sürdürülür bir deneme ve revizyon süreci olarak yeniden tanımlanmaktadır (Manovich, 2001, s.218–222).

Ancak süreç lehine açılan bu alanın sanatsal özgünlük bakımından otomatik olarak olumlu sonuçlar doğuracağını varsaymak da sorunludur. ZBrush yazılımının sunduğu "dijital kil" yaklaşımı, heykeltıraşın dokunsal deneyimini sanal uzama taşısa da, hazır fırçalar (alpha brushes), prosedürel doku üretim araçları ve ön tanımlı yüzey estetikleri üzerinden üretimin yazılımın teknik çerçevesine bağımlı hâle gelmesi ihtimali bulunmaktadır. Bruce Wands, dijital sanat bağlamında teknolojik belirlenimcilik kavramını tartışırken, dijital araçların sanatçıya yeni olanaklar sunduğunu kabul etmekle birlikte, bu araçların estetik kararları görünmez biçimde yönlendirme potansiyeline dikkat çekmektedir (Wands, 2006, s.163–166). Sanatçının yazılımın sunduğu hazır estetik çözümlere teslim olması durumunda, yaratıcı eylemin form inşasından çok mevcut yazılım çıktıları arasından seçim yapma sürecine indirgenebileceği; bunun da dijital heykelde üslup tek tipleşmesi (aesthetic uniformity) riskini artırabileceği ileri sürülebilir (Wands, 2006, s.12–15).

Bu tek tipleşme riski, yalnızca yazılım kullanım pratikleriyle sınırlı değildir; daha geniş bir kültürel üretim mantığı içinde ele alındığında daha görünür hâle gelmektedir. Theodor W. Adorno'nun kültür endüstrisi bağlamında geliştirdiği standardizasyon ve tekrar eleştirisi, estetik üretimin endüstriyel mantıklar içinde biçimsel benzeşmeye sürüklenebileceğini ortaya koymaktadır (Adorno, 1991, s.85–92). Dijital heykelin dolaşım koşulları düşünüldüğünde, hazır estetiklerin hızla çoğaltılabilir olması ve küresel platformlar üzerinden yayılması, benzer bir standardizasyon riskini gündeme getirmektedir. Bu bağlamda Boris Groys'un çağdaş sanatta yenilik ve görünürlük rejimlerine ilişkin tartışmaları, dijital heykelin yalnızca atölye içi üretimle değil, aynı zamanda dolaşım, sergileme ve görünürlük ekonomileriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir (Groys, 2010, s.28–32).

İncelenen sanatçı pratikleri, bu risklerin nasıl aşılabileceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır. Keith Brown ve Kevin Mack gibi sanatçıların “Siberrealizm” olarak tanımlanan yaklaşımları, Christiane Paul'un dijital sanatı süreç ve sistem tasarımı olarak ele alan kuramsal çerçevesiyle örtüşmektedir. Paul, dijital sanatın yalnızca nihai bir çıktı değil, aynı zamanda bir sistem kurgusu ve süreç tasarımı olduğunu; sanatçının bu sistem içinde yapı kurucu bir rol üstlendiğini vurgulamaktadır (Paul, 2003, s.21–23). Brown'un matematiksel ve topolojik formları 3D baskı aracılığıyla fiziksel dünyaya taşınması, dijital formun nesneleşmesi ve yeni bir maddileşme rejimi üretmesi bakımından dikkat çekicidir. Bu noktada 3D baskı, yalnızca bir üretim tekniği değil; dijital formun izleyiciyle kurduğu ilişkide algısal ağırlık ve mekânsal mevcudiyet sağlayan bir arayüz olarak da değerlendirilebilir (Wands, 2006, s.210–212).

Walter Benjamin'in “aura” kavramı üzerinden yürütülen tartışmalar, dijital heykelde yeni bir boyut kazanmaktadır. Benjamin, mekanik yeniden üretimin sanat eserinin biricikliğini aşındırdığını ileri sürerken, dijital dosyaların (STL, OBJ vb.) doğası gereği sınırsız kopyalanabilirliği bu sorunu daha da keskinleştirmektedir (Benjamin, 2008, s.19–23). Bununla birlikte, Manovich'in arayüz estetiği ve değişkenlik kavramları, dijital üretimde biricikliğin maddede değil, sanatçının kurduğu veri mimarisinde ve sistem tasarımında aranabileceğini düşündürmektedir (Manovich, 2001, s.65). Bu yaklaşım, Benjaminici aura kavramını tamamen geçersiz kılmak yerine, aurayı maddesel özgünlükten kopararak kod, süreç ve ilişkisel yapı üzerinden yeniden yorumlamayı mümkün kılmaktadır.

Adam Martinakis gibi sanatçıların fiziksel nesneyi tamamen dışlayan sanal üretimleri ise, heykelin binlerce yıllık “boşlukta yer kaplayan kütle” tanımını geçersiz kılarak onu Christiane Paul'un “sanal mevcudiyet” (virtual presence) olarak adlandırdığı yeni bir kategoriye taşımaktadır (Paul, 2003, s.124–126). Bu tür pratikler, heykelin ontolojisinin yalnızca nesne üzerinden değil, deneyim, algı ve etkileşim üzerinden de kurulabileceğini göstermektedir. Ancak bu dönüşüm, heykelin zaman, emek ve yüzey gibi tarihsel değerlerinin nasıl yeniden üretileceği sorusunu da beraberinde getirmektedir.

Sonuç olarak 21. yüzyıl heykel sanatı, fiziksel ve dijital üretim biçimlerinin hibrit bir sentezi olarak değerlendirilebilir. Sanal Gerçeklik (VR), Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Yapay Zekâ (AI) gibi teknolojilerin yaratıcı süreçlere köklü entegrasyonu, heykelin varoluşsal sınırlarını yeniden çizmektedir. Bu teknolojik kırılma, heykeli statik bir “nesne” olmaktan çıkarıp, içine girilebilen, etkileşime açık ve dinamik bir “deneyim” uzamına dönüştürme potansiyeli taşır. Dijital araçlar üretim hızını ve biçimsel çeşitliliği artırırken, aynı zamanda özgünlük, üslup tek tipleşmesi ve yazılımın estetik belirleyiciliği gibi yeni risk alanları da yaratmaktadır. Bu nedenle dijital heykelin geleceği, teknolojik araçların benimsenmesinden çok, bu araçların eleştirel farkındalıkla ve sanatsal karar alanını genişletecek biçimde kullanılmasına bağlı görünmektedir. Bu bağlamda geleneksel atölye disiplini ile dijital yetkinliklerin sentezlendiği hibrit bir eğitim modelinin heykelin ontolojik dönüşümünü kavramsal düzeyde daha görünür kılacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Abar, B. M., Kelly, C., Allen, N. B., & Gall, K. (2024). 1—Historical perspectives on 3D printing. İçinde P. D. Highlander (Ed.), *Clinical Applications of 3D Printing in Foot and Ankle Surgery (First Edition)* (First Edition, ss. 1-16). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-82565-8.00010-X>
- Adorno, T. W. (1991). *The culture industry: Selected essays on mass culture* (J. M. Bernstein, Ed.). Routledge. https://irp.cdn-website.com/e401e78b/files/uploaded/adorno_culture_industry.pdf
- Alberti, L. B. (2015). *De pictura / de statua: Resim üzerine ve heykel üzerine* (A. Erol, Çev.). Janus Yayınları.
- Atmaca, A. (2011). Modern sanat ve bilgisayar destekli sanat çalışmaları (Dijital Art). *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(37), 293-302.
- Başer, N. E. (2011). *I. Sanayi devriminde teknolojik gelişmenin rolü* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 298144).
- Benjamin, W. (2008). *The work of art in the age of its technological reproducibility* (2. baskı). Harvard University Press. <https://antilogicalism.com/wp-content/uploads/2021/12/walter-benjamin.pdf>
- Brown, K. (2015). *3D glitch* [3D baskı heykel fotoğrafı]. <http://www.art.mmu.ac.uk/profile/kbrown/image/15340>
- Brown, K. (2017). *Arabuluculu estetik* [3D baskı heykel fotoğrafı]. <http://www.art.mmu.ac.uk/profile/kbrown/image/16128>
- Brown, K. (2018). *Artist statement – Professor Keith Brown*. <http://www.art.mmu.ac.uk/profile/kbrown/projectdetails/1>
- Bulut, İ. (2014). 21. yüzyılda yeni teknolojilerin yarattığı sanat anlayışları ve görsel sanatlar öğretmeni yetiştiren kurumların eğitim programlarındaki yeri. *Eğitim Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 117-127.
- Carlson, W. (2017). *Computer graphics and computer animation: A retrospective overview* [Elektronik sürüm]. Ohio State University Press.
- Catmull, E. (1972). *Ed Catmull'ın modellediği dijital el* [Animasyon karesi]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=PjL5Cmdsc1E>
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4. baskı). SAGE Publications.
- Eaton, S. (2017). *Hephaestus II* [Dijital heykel render]. <http://www.scott-eaton.com/>
- Eaton, S. (2025, 9 Kasım). *Winter sessions*. <https://www.scott-eaton.com/>
- Eaton, S. (t.y.). *Death of the centaur (yapım aşamaları)* [Dijital heykel render serisi]. <http://www.scott-eaton.com/>
- Elitsoy, Z. A. (2008). *Toplumsal dönüşümler bağlamında teknoloji-sanat ilişkisi ve (bilişim teknolojilerinin sanatta estetik ve yaratıcılığa etkilerinin algılanışı üzerine bir araştırma)* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 221160).
- Groys, B. (2010). *Going public*. Sternberg Press.

- Higham, P. (2006). *Global positioning system* [Veri heykeli fotoğrafı]. <http://www.datasculpture.net/>
- Higham, P. (2015). *Thought form: Flaming descent into manifold lies*. In M. H. Visser & C. Lavigne (Eds.), *What things may come: The third international digital sculpture art exhibition* (p. 11). Ars Mathematica. <http://christianlavigne.free.fr/presse/2015-BS2015-exhibition-book.pdf>
- Hull, C. (1983). *İlk stereolitografi (SLA) makinesi* [Fotoğraf]. 3D Insider. <http://3dinsider.com/3d-printing-history/>
- İnan, N. K. (2010). *Dijital ortamda heykel tasarımı ve uygulamalar* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 253308).
- Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P., Olliver, V., Palmer, C., & Bowyer, A. (2011). RepRap – çoğaltılabilir hızlı prototipleyci. *Robotica*, 29(1), 177–191. <https://doi.org/10.1017/S026357471000069X>
- Lanza, R. P., Chung, H. Y., Yoo, J. J., Wettstein, P. J., Blackwell, C., Borson, N., Hofmeister, E., Schuch, G., Soker, S., Moraes, C. T., West, M. D., & Atala, A. (2002). Generation of histocompatible tissues using nuclear transplantation. *Nature Biotechnology*, 20(7), 689-696. <https://doi.org/10.1038/nbt703>
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.
- Mack, K. (t.y.). *Loopy topology of closed function* [3D baskı heykel fotoğrafı]. <http://www.kevinmackart.com/>
- Mack, K. (t.y.). *Paradox of structural entanglement* [3D baskı heykel fotoğrafı]. <http://www.kevinmackart.com/>
- Manovich, L. (2001). *The language of new media*. MIT Press. <https://www.alice.id.tue.nl/references/manovich-2001.pdf>
- Martinakis, A. (2011). *21st century beggars* [Dijital sanat çalışması]. <http://www.martinakis.com>
- Martinakis, A. (2017). *Bleeding innocence* [Dijital sanat çalışması]. <http://www.martinakis.com>
- Massachusetts Institute of Technology. (1951). *Whirlwind bilgisayarı ve ışık tabancası kullanan operatör* [Fotoğraf]. Ohio State University Graphics History. <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/>
- Mimari çizim atölyesi [Fotoğraf]. (t.y.). Presstletter. <https://presstletter.com/wp-content/uploads/2015/02/fabbrica.jpg>
- Molitch-Hou, M. (2013, 10 Mayıs). *Zen surrealism — 3D printed art by Kevin Mack*. 3D Printing Industry. 3dprintingindustry.com
- Özdal, M. A. (2023). Dijital sanatta gerçekliğin yeri. *Uluslararası Sanat Tasarım ve Eğitim Dergisi*, 4(2), 11-21. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10282109>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods* (4. baskı). SAGE Publications.
- Paul, C. (2003). *Digital art*. Thames & Hudson.
- Pincock, S. (2011). Anthony Atala: At the cutting edge of regenerative surgery. *The Lancet*, 378(9800), 1371. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)61600-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61600-0)
- Pixologic. (2018). *ZBrush arayüzü* [Yazılım ekran görüntüsü]. Pixologic Kullanıcı Kılavuzu. <http://docs.Pixologic.com/user-guide/customizing-zbrush/interface-layout/custom-interface/>

- Sağlamtimur, Z. Ö. (2010). Dijital sanat. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(3), 213-238. <https://www.acarindex.com/pdfs/509073>
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Steiner, M. (t.y.). *Chimp fight!* [Dijital heykel render]. ArtStation. <https://www.artstation.com/artwork/0e6LY>
- Steiner, M. (t.y.). *Indigenous wood sculpture (doku denemeleri)* [Dijital heykel render]. ArtStation. <https://www.artstation.com/artwork/vRabA>
- Sullivan, G. (2010). *Art practice as research: Inquiry in visual arts* (2. baskı). SAGE Publications.
- Sutherland, I. (1963). *Ivan Sutherland Sketchpad yazılımı ile çalışırken* [Fotoğraf]. I Programmer. <https://www.i-programmer.info/history/people/329-ivan-sutherland.html>
- Şen, A. (1996). *Teknolojinin çağdaş heykel sanatına etkileri* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. (Libra Kayıt No: 35998).
- Turhan, Ö. (2006). *Bilgisayar teknolojilerinin heykel sanatına sağladığı yeni olanaklar: Dijital heykel* [Yayımlanmamış yüksek lisans eser metni]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 204442).
- Wands, B. (2006). *Art of the digital age*. Thames & Hudson.
- Winner, E., Goldstein, T., & Vincent-Lancrin, S. (2013). *Art for Art's Sake?: The Impact of Arts Education, Educational Research and Innovation*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264180789-en>
- Yıkaroğlu, N. (2010). *Maya ZBrush karakter modelleme*. Kodlab.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (10. baskı). Seçkin Yayıncılık.

*** Önerilen Atıf

- Erzincan, M. & Lehimler, Z. (2026). ZBrush ve 3D Baskı Teknolojilerinin Heykel Sanatının Ontolojisi Üzerindeki Etkileri ve Eğitim Entegrasyonu. *Uluslararası Sanat Tasarım ve Eğitim Dergisi*, 7(1), 28-52. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20125393>

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Katkı Oranı Dağılımı:

Birinci Yazar %50

İkinci Yazar %50

Yayın Etiği Beyanı

Bu makalenin planlanmasından, uygulanmasına, verilerin toplanmasından verilerin analizine kadar olan tüm süreçte “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin ikinci bölümü olan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirisi gerçekleştirilmemiştir. Bu araştırmanın yazım sürecinde bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamıştır. Bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir.