

Nanoteknoloji ve Heykelde Yeni Üretim Paradigması

Nanotechnology and The New Production Paradigm in Sculpture

Ergin KAYA¹

Geliş Tarihi: 22 Mayıs 2026
Kabul Tarihi: 07 Temmuz 2026

Anahtar kelimeler:

Nanoteknoloji, Modern Heykel,
Sanatsal Yaratıcılık

ÖZET

Sanat, tarihsel süreç boyunca bilimsel gelişmeler ve teknolojik yeniliklerle birlikte sürekli bir dönüşüm içinde olmuştur. Bu dönüşüm, kullanılan malzemelerden üretim tekniklerine ve estetik anlayışa kadar sanatın tüm bileşenlerini yeniden şekillendirmiştir. Modern sanatla birlikte sanatçılar geleneksel üretim biçimlerinden uzaklaşarak yeni ifade olanakları aramış ve teknolojiyi yaratıcı sürecin önemli bir parçası hâline getirmiştir. Bu bağlamda heykel sanatı da yalnızca fiziksel form üretimine dayalı bir alan olmaktan çıkarak bilim, mühendislik ve dijital teknolojilerle etkileşim kuran disiplinlerarası bir yapıya dönüşmüştür. 21. yüzyılda gelişen nanoteknoloji, sanat alanında yeni estetik ve teknik olanaklar sunarak heykel sanatının üretim süreçlerini farklı bir boyuta taşımaktadır. Maddenin atomik ve moleküler düzeyde kontrol edilmesine imkân tanıyan bu teknoloji, sanatçılara geleneksel yöntemlerle üretilemeyecek kadar hassas ve karmaşık yapılar oluşturma olanağı sağlar. Böylece heykel, sabit bir form olmaktan çıkarak ışık, renk, yüzey ve hareketin moleküler düzeyde yeniden kurgulandığı dinamik ve etkileşimli bir alan hâline gelir. Nanoteknoloji, sanatçılara üretim süreçlerinde daha fazla özgürlük sağlarken izleyiciye de çok katmanlı deneyimler sunar. Bu araştırmada literatür tarama yöntemi kullanılarak nanoteknolojinin modern heykeldeki yeri incelenmiş; bilim-sanat ilişkisi disiplinlerarası bir perspektifle ele alınmıştır. Ayrıca nanoteknolojiyi sanat üretimine dahil eden çağdaş sanatçılar analiz edilmiştir. Özellikle Neri Oxman ve Diemut Strebe örnekleri, bu teknolojinin hem teknik hem de kavramsal dönüşüm sağladığını göstermektedir. Nihayi olarak, nanoteknoloji, modern heykel sanatında yeni üretim biçimleri oluşturmuş; malzeme anlayışını değiştirerek sanatçı, eser ve izleyici ilişkisini yeniden tanımlayan çok boyutlu bir estetik yapı ortaya çıkarmıştır.

© UGSEAD All rights reserved

Received: 22 May 2026
Accepted: 07 June 2026

Keywords:

Nanotechnology, Modern Sculpture,
Artistic Creativity

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Art has continuously transformed throughout history alongside scientific developments, technological innovations, and changes in social structure. Every technological advancement has influenced artistic production processes, the materials used, and aesthetic understanding, directing artists toward the search for new forms of expression. Especially with modernism, artists began to move away from traditional production methods and to use technology as a fundamental component of the creative process. In this context, sculpture has evolved from a field in which only static physical forms are produced into an interdisciplinary structure that interacts with science, engineering, architecture, biology, and digital technologies.

Therefore, the rapid technological developments of the XXI century have led to significant changes in contemporary sculptural practice. In this sense, nanotechnology can be regarded as one of the innovative and experimental fields influencing artistic production. Because nanotechnology enables the control of matter at atomic and molecular levels, it offers artists the possibility of creating structures and surfaces that cannot be produced through traditional methods. Thus, sculpture is redefined not only as a solid and static object but also as a dynamic, interactive, and experimental field in which light, movement, texture, color, and biological systems are reconstructed at a microscopic scale.

The Purpose of the Study

The aim of this study is to examine the role of nanotechnology in contemporary sculpture and to evaluate how this technology transforms artistic production processes, material understanding, and conceptual approaches. The research aims to reveal the aesthetic, technical, and conceptual possibilities offered by nanotechnology and to analyze the new production paradigms emerging in contemporary sculptural practice. Another aim of the study is to reveal the contribution of interdisciplinary interaction between art and science to artistic creativity. In this regard, the study addresses how

¹ MEM, Diyarbakır.

nanotechnology enables artists to manipulate matter at molecular and microscopic levels, allowing them to produce innovative forms, textures, and interactive structures. In addition, the innovations brought by these technological developments to the relationship between artist, artwork, and viewer are also examined.

Within this scope, the works of contemporary artists who combine artistic and scientific processes are analyzed. In particular, Neri Oxman, who integrates biological systems, digital production processes, and material experimentation, and Diemut Strebe, whose works question the boundaries of art, science, and technology, are taken as examples. These cases demonstrate that nanotechnology is not only a technical tool but also a conceptual force that transforms artistic thinking.

Method

This study is based on a qualitative research approach and uses a literature review model. Academic books, scientific articles, exhibition catalogues, and digital sources on nanotechnology, modern sculpture, contemporary art, and science-art relations were examined. The collected data were analyzed using descriptive and interpretive methods. In addition to the literature review, selected artworks produced through nanotechnological and scientific processes were evaluated using visual and conceptual analysis methods. In this analysis, the formal, material, and conceptual characteristics of the works were examined, and the contribution of technological innovation to sculptural expression was investigated. Furthermore, the impact of nanotechnology on contemporary sculptural practice was assessed from an interdisciplinary perspective, including art theory, material science, and digital production technologies.

The study also discusses how nanotechnology transforms artistic materials and how this transformation affects contemporary aesthetic understanding. Interactive surfaces, biomaterials, responsive materials, microscopic production techniques, and technologically enhanced artistic experiences are addressed within this framework.

Findings

According to the findings of the study, nanotechnology significantly transforms both the technical and conceptual dimensions of sculpture. One of the most important findings is that nanotechnological applications allow artists to manipulate matter at microscopic and molecular levels. This expands the physical and aesthetic boundaries of sculpture. As a result, artists are able to produce highly detailed surfaces, dynamic textures, responsive materials, and interactive structures.

Another important finding is that nanotechnology transforms sculpture from a static object into a dynamic and process-oriented experience. Materials that respond to environmental factors such as light, heat, humidity, or movement create an interactive relationship between the artwork and the viewer. Thus, sculpture becomes not only a visual object but a multisensory experience.

The research also shows that interdisciplinary collaboration between art and science plays a critical role in contemporary artistic production. Artists working with nanotechnology frequently collaborate with scientists, engineers, and digital designers. This situation both expands technical possibilities and transforms conceptual production. The examples of Neri Oxman and Diemut Strebe demonstrate that nanotechnology is used in contemporary art both as a material and conceptual tool. These artists reinterpret the relationships between nature, technology, biology, and artificial systems, producing experimental works that challenge traditional artistic boundaries.

Results

It is observed that nanotechnology creates a new production paradigm in contemporary sculpture. The integration of scientific and technological developments into artistic production processes enables artists to go beyond the limits of traditional materials and methods. Through molecular-level interventions, sculpture gains new possibilities in terms of form, texture, movement, interaction, and conceptual depth.

Nanotechnology has also introduced new media into art and, by transforming material conditions, has strengthened experimental production forms and interdisciplinary collaborations. This change contributes to the emergence of innovative artistic expressions in which science and art come together within the same creative framework. Thus, sculpture forms an interdisciplinary intersection involving biological systems, digital technologies, and microscopic structures.

In addition, nanotechnology transforms the interaction between artist, artwork, and viewer into a multi-layered perceptual aesthetic experience, also changing the viewer's position from a passive receiver. Finally, it is predicted that the use of nanotechnology in art will continue to increase in the future and contribute to the formation of new artistic languages. This interdisciplinary structure will continue to support innovative developments in contemporary sculptural practice.

Giriş

Sanat, tarih boyunca bilimsel ve teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli dönüşen dinamik bir üretim alanı olmuştur. Her yeni teknoloji, sanatçıların kullandığı malzemeleri, üretim tekniklerini ve ifade biçimlerini yeniden şekillendirirken aynı zamanda sanatın kavramsal sınırlarını da genişletmiştir. Bu nedenle teknolojinin sanat üzerindeki etkisi yalnızca yeni araçların kullanımından ibaret olmayıp sanatın estetik dili, üretim süreçleri ve izleyiciyle kurduğu ilişkinin yeniden tanımlanmasına da katkı sağlamaktadır. Günümüzde bu dönüşümün en dikkat çekici örneklerinden biri nanoteknolojidir. Atomik ve moleküler ölçekte maddenin kontrol edilebilmesine olanak sağlayan bu teknoloji, yalnızca bilimsel ve endüstriyel alanlarda değil, sanat üretiminde de yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Özellikle kontrol edilebilir nano yapılar ve yarı akıllı malzemeler, sanatçılara geleneksel üretim anlayışının ötesine geçen yeni tasarım, biçim ve malzeme olanakları sunarak sanatsal üretim süreçlerinin yeniden düşünülmesini mümkün kılmaktadır.

Nanoteknolojinin kuramsal temelleri, Richard Feynman'ın 1959 yılında gerçekleştirdiği 'There's Plenty of Room at the Bottom' başlıklı konuşmasına dayanmaktadır. Feynman (1959), atomların tek tek düzenlenebilmesi olasılığını tartışarak gelecekte maddenin en temel yapı taşlarının kontrol altına alınabileceğine ilişkin çığır açıcı bir yaklaşım ortaya koymuştur. Söz konusu konuşmada Feynman şu ifadeleri kullanmaktadır, "...günün birinde atomları istediğimiz şekilde düzenleyip düzenleyemeyeceğimiz sorusunu düşünmekten korkmuyorum... atomları tek tek istediğimiz şekilde düzenleyebilseydik ne olurdu?" (1959, s. 8).

Feynman'ın bu sözleri, sonraki yıllarda nanoteknoloji araştırmalarının kuramsal temelini oluşturmuştur. Günümüzde atomik ölçekte malzeme tasarımı yalnızca bilimsel bir öngörü olmaktan çıkmış; mimarlık, savunma sanayii, elektronik, tekstil, tıp ve malzeme mühendisliği gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuştur. Benzer biçimde sanat alanında da nanoteknoloji, malzemelerin moleküler düzeyde dönüştürülmesine, yüzey özelliklerinin kontrol edilmesine ve geleneksel üretim yöntemlerinin ötesine geçen yeni uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece sanat üretiminde kullanılan malzemelerin fiziksel, kimyasal ve estetik özellikleri daha hassas biçimde tasarlanabilir hâle gelmiştir.

Nanoteknolojinin gelecekte oluşturabileceği dönüşümü ele alan araştırmacılardan biri olan Drexler (2006), bu teknolojinin yalnızca üretim süreçlerini değil, insanın görsel ve duyuşal deneyimini de köklü biçimde değiştireceğini ileri sürmektedir. Drexler'e göre;

Nanoteknoloji, her göze farklı görüntüler yansıtan yüksek çözünürlüklü ekranları mümkün kılacak; bunun sonucu olarak üç boyutlu televizyon o kadar gerçekçi olacak ki ekran, başka bir dünyaya açılan bir pencere gibi görünecek. Bu tür ekranlar, uzay giysisine benzer bir giysinin kaskını kaplayabilir. Giysi, dışarıdan gelen kuvvetleri ve dokuları iletmek yerine, karmaşık ve etkileşimli bir program tarafından tanımlanan kuvvetleri ve dokuları cilde uygulayabilir. Bu tür bir giysi ve kask kombinasyonu, gerçek ya da hayali bir ortamın çoğu görüntü ve hissini simüle edebilir. Nanoteknoloji, herhangi bir kitap, oyun ya da filmde çok daha sürükleyici sanat formları ve fantastik dünyaları mümkün kılacaktır (s. 465-466).

Drexler'in değerlendirmeleri baz alındığında nanoteknolojinin yalnızca üretim süreçlerini dönüştüren bir teknoloji olmadığını, aynı zamanda sanatın ifade olanaklarını da genişletebilecek önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Atomik ve moleküler ölçekte gerçekleştirilebilen müdahaleler sayesinde malzemelerin optik, mekanik ve fiziksel özellikleri yeniden tasarlanabilmekte; bu durum sanatçılara geleneksel üretim yöntemleriyle elde edilmesi güç olan yeni yüzeyler, dokular ve biçimsel olanaklar sunmaktadır. Dolayısıyla nanoteknoloji, sanat eserinin yalnızca üretim aşamasını değil, malzemenin estetik niteliğini ve algılanma biçimini de etkileyebilecek yeni üretim yaklaşımlarının gelişmesine katkı sağlamaya namzettir.

Nanoteknolojinin sanat üretimindeki etkisini malzeme ekseninde değerlendiren Thomas ise (2013), bu teknolojinin geleneksel sanat materyallerini yeniden bağlamsallaştırdığını ve sanatçının malzemeyle kurduğu ilişkiyi dönüştürdüğünü belirtmektedir. O'na göre; "Nanoteknoloji, sanatsal üretim süreçlerinde

kullanılan geleneksel materyalleri yeniden bağlamsallaştırarak sanatta yeni üretim biçimlerine olanak tanır. Böylelikle sanatçının kullandığı araçların ve malzemelerin anlam ve etkilerini yeniden değerlendirmesine ve sanatın maddesel temelini yeniden düşünmesine yol açar” (2013, s. 23).

Thomas’ın değerlendirmesi, nanoteknolojinin yalnızca teknik bir yenilik olmadığını; aynı zamanda sanat üretiminin maddesel ve kavramsal boyutunu evrimleştirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle heykel sanatı bağlamında düşünüldüğünde nano ölçekteki malzemeler, akıllı yüzeyler, dayanıklılığı yüksek olan hafif yapılar ve kontrol edilebilir yüzey kaplamaları, sanatçıların biçim oluşturma süreçlerini muazzam bir şekilde çeşitlendirmektedir. Bunun yanında yüzeyin ışığı yansıtma biçimi, renk değişimi, aşınma direnci ve çevresel etkilere verdiği tepkiler gibi özellikler de nano ölçekte kontrol edilebildiğinden, heykel yalnızca biçimsel bir nesne olmaktan çıkarak malzemenin davranışını estetik anlatımın aktif bir bileşeni hâline getirebilmektedir. Böylelikle nanoteknoloji, heykel sanatında kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerini geliştiren bir teknoloji olmanın ötesinde, üretim mantığını, biçim anlayışını ve sanatçının maddeyle kurduğu ilişkiyi yeniden tanımlayan güncel bir üretim paradigmasının oluşmasına katkı sağlayabilme kapasitesine sahiptir.

Nanoteknolojinin sanat üzerindeki etkisi yalnızca teknik yeniliklerle sınırlı değildir. Bu teknoloji aynı zamanda sanat eserinin üretim sürecini, maddesel yapısını ve izleyiciyle kurduğu ilişkiyi yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir. Atomik ve moleküler ölçekte gerçekleştirilebilen müdahaleler sayesinde malzemelerin optik, mekanik ve kimyasal özellikleri kontrol edilebilmekte; böylece sanatçılar geleneksel üretim yöntemleriyle elde edilmesi güç olan yüzeyler, dokular ve biçimsel özellikler geliştirebilmektedir. Özellikle nano ölçekli kaplamalar, akıllı malzemeler ve işlevsel yüzey teknolojileri, heykel sanatında kullanılan malzemelerin yalnızca dayanıklılığını artırmakla kalmamakta; aynı zamanda ışık, renk, yansıma ve çevresel etkilere verdikleri tepkiler bakımından yeni estetik olanaklar da sunmaktadır.

Bu gelişmeler doğrultusunda heykel, yalnızca durağan bir sanat nesnesi olmaktan çıkarak çevresiyle farklı düzeylerde etkileşim kurabilen dinamik bir yapıya dönüşme potansiyeli taşımaktadır. Nano ölçekli yüzey teknolojileri kullanılarak geliştirilen malzemeler, ışığın geliş açısına bağlı olarak farklı görsel etkiler oluşturabilmekte, yüzey özelliklerini çevresel koşullara göre değiştirebilmekte ve malzemenin estetik niteliğini yeniden tanımlayabilmektedir. Bu tür uygulamalar heykelin görsel algısını zenginleştirirken, sanatçılara da geleneksel malzemelerle gerçekleştirilmesi güç olan yeni ifade olanakları sunmaktadır. Bunun yanında nanoteknolojinin artırılmış gerçeklik, holografik görüntüleme sistemleri ve diğer dijital teknolojilerle birlikte değerlendirilmesi, gelecekte heykelin sergilenme ve deneyimlenme biçimlerine ilişkin yeni uygulama alanları oluşturabilecek bir potansiyel taşımaktadır. Her ne kadar bu tür uygulamaların önemli bir bölümü günümüzde deneysel nitelikte olsa da, nanoteknolojinin sunduğu olanaklar heykel sanatının üretim süreçlerini, malzeme anlayışını ve izleyiciyle kurduğu etkileşimi yeniden tanımlayabilecek yeni yaklaşımlara yol açabilmektedir.

Söz konusu yeni yaklaşımlar vasıtasıyla nanoteknoloji, heykel sanatında yalnızca yeni malzemelerin kullanımına olanak sağlayan bir teknoloji olarak değil, üretim süreçlerini, biçim anlayışını ve sanatçının maddeyle kurduğu ilişkiyi dönüştüren disiplinlerarası bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Nanoteknolojiye ilişkin araştırma kapsamında ele alınmış literatür incelendiğinde çalışmaların büyük ölçüde malzeme bilimi, mühendislik, biyoteknoloji ve endüstriyel uygulamalar üzerinde odaklandığı ve sanat alanındaki araştırmalarda ise dijital sanat, yeni medya veya disiplinlerarası sanat pratiklerine ağırlık verilmiştir. Buna karşın nanoteknolojinin heykel sanatında malzeme seçimi, üretim yöntemleri, biçimsel dönüşüm ve estetik yaklaşımlar üzerindeki etkisini bütüncül bir çerçevede değerlendiren çalışmaların görece sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, nanoteknolojinin heykel sanatında ortaya çıkardığı yeni üretim anlayışının kuramsal ve uygulamalı boyutlarıyla yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu tespitlerden hareketle nanoteknolojinin heykel sanatında oluşturduğu yeni üretim yaklaşımlarını malzeme teknolojileri, üretim süreçleri, biçimsel dönüşüm ve estetik bağlamında incelemek; bu teknolojinin çağdaş heykel pratiğine sunduğu olanakları ve gelecekte oluşturabileceği potansiyelleri sanat kuramı perspektifinden değerlendirme temelinde araştırma şekillendirilmiştir. Bu durum, nanoteknolojinin heykel sanatına etkilerinin kuramsal ve uygulamalı boyutlarıyla yeniden değerlendirilmesini gerekli kıldığı düşüncesi meydana gelmiştir.

Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu araştırmanın amacı, nanoteknolojinin modern heykel sanatında nasıl kullanıldığını ve bu kullanımın sanatsal bağlamda estetik, teknik ve kavramsal bakımdan sağladığı değişimler ile olası yenilikleri irdelemektir. Nanoteknoloji, maddenin atomik ve moleküler düzeyde kontrol edilmesine olanak tanıyan bir disiplindir. Dolayısıyla, bu teknolojinin sanatsal üretimlerde uygulanması, sanatçılara yeni ifade biçimleri çok yönlü materyalleri sunabilmektedir. Ayrıca araştırmada söz konusu teknolojinin sağladığı bu yeni metotların ve malzemelerin heykel formlarının oluşturulması sürecine etkileri üzerine odaklanılması da hedeflenmiştir.

Feynman (1959), çok küçük ölçeklerde atomların kuantum mekaniği yasalarına göre davrandığını ve bu sayede farklı üretim ve tasarım yöntemlerinin geliştirilebileceğini ileri sürmüştür. Böylelikle küçük ölçeklerde cihazların kitlesel olarak üretilip birbirinin mükemmel kopyaları olabileceğini ve yeni tür kuvvetlerin ve olasılıkların keşfedilebileceğini vurgulamıştır. Bu tür yeniliklerin, kimya ve biyoloji gibi alanlarda büyük ilerlemelere yol açabileceğini de belirtmiştir. Bu bağlamda, Feynman'ın vizyonuna paralel olarak, nanoteknoloji ve atom seviyesindeki bilimsel ve teknolojik çalışmaların genel anlamda diğer disiplinleri etkilediği gibi özelde heykel sanatı alanında da köklü değişimlere yol açtığı düşünülmektedir. Çünkü nanoteknolojinin sağladığı yeni olanaklar, sanatçılara heykel formu üretme aşamasında kullanılmaya uygun yeni elemanları kazandırmıştır. Böylelikle estetik ve teknik anlamda devrim niteliğinde eserleri meydana getirme potansiyeli doğurmuştur. Heykel sanatında atom seviyesinde yapılacak düzenlemeler, sanatçılara daha önce mümkün olmayan detaylar ve yapılar oluşturma olanağı tanıyacak, böylece sanatsal ifadede yeni ufuklar açılacaktır.

Nanoteknolojinin sanatla birleşimi, sadece estetik yenilikler sunmakla kalmaz, aynı zamanda sanatın kavramsal derinliğini de artırır. Sanatçılar, nanoteknolojiyi kullanarak eserlerinde doğa, bilim ve teknoloji arasındaki ilişkiyi sorgulayan ve bu ilişkileri yeniden tanımlayan formlar oluşturabilirler. Böylelikle izleyicilere hem görsel hem de entelektüel olarak zengin bir deneyim sunulabilir. Ayrıca, nanoteknolojinin sanata entegrasyonu, sanatçılara çevresel ve sürdürülebilirlik konularında da yeni ifade biçimleri üretme imkânı sağlayabilir. Oxman da (2010) nanomalzemelerin çevre dostu ve sürdürülebilir yapılarından kaynaklı olarak, bunun ekolojik tasarımlar üretmeye olanak tanıdığını ifade etmiştir. Bu doğrultuda akıllı materyallerin heykel sanatına uyarlanması önem arz ettiği fikri ön plana çıkmıştır.

Yöntem

“Nanoteknoloji ve Heykelde Yeni Üretim Paradigması” isimli araştırmanın yöntemi, Creswell'in nitel araştırma ilkelerinden ve Silverman'ın nitel veri analizi modelleri üzerine inşa edilmiştir. Bu nitel araştırma modelleri doğrultusunda yapılan konu ile alakalı literatür taraması yapılmış ve bu bağlamda nanoteknoloji ürünü malzemelerin heykel sanatıyla kesişim noktaları üzerine çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur.

Nitel araştırma ilkelerinin dayandığı bazı unsurlar vardır, Creswell (2009), nitel araştırma yöntemleri ile ilgili şunları belirtmektedir:

Nitel yöntemler, nicel araştırma yöntemlerinden farklı bir bilimsel inceleme yaklaşımını göstermektedir. Süreçler benzer olsa da nitel yöntemler metin ve görsel veri kullanır, veri analizinde benzersiz adımlara sahiptir ve çeşitli tasarımlara dayanır. Bir öneri veya çalışma için bir yöntem bölümünü yazmak, kısmen okuyucuları nitel araştırmanın amacına dair bilgilendirmeyi, belirli tasarımları belirtmeyi, araştırmacının çalışmadaki rolünü dikkatlice yansıtmayı, sürekli genişleyen veri kaynakları listesinden yararlanmayı, verileri kaydetmek için özel protokoller kullanmayı, bilgiyi analiz etmede birden fazla analiz adımı uygulamayı ve toplanan verilerin metodolojik bütünlüğünü veya doğruluğunu ya da geçerliliğini belgelemek için yaklaşımlar belirtmeyi gerektirir (s. 235).

Araştırmanın Modeli

Ayrıca çalışmada veri analizleri yapılırken Silverman'nın metodu üzerinde durulmuştur. Silverman (2017) veri analizini temel ilkelerini şu şekilde ifade etmiştir:

Kapsamlı veri işleme, anormallikleri veya sapkın durumları aktif bir şekilde aramayı ve ele almayı gerektirir. Yöntem, küçük bir veri kümesiyle başlar. Geçici bir analiz şeması oluşturulur. Bu şema daha sonra diğer verilerle karşılaştırılır ve gerektiğinde değişiklikler yapılır. Geçici analiz şeması, tüm verileri analize dahil eden küçük bir yineleyici kurallar seti türetilene kadar sürekli olarak 'negatif' veya 'uyumsuz' durumlarla karşı karşıya bırakılır (s. 288).

Bu modeller doğrultusunda araştırmanın literatür taraması bölümünde, mevcut teorik ve ampirik olmayan araştırmalardan elde edilen veriler doğrultusunda kapsamlı varsayımlar oluşturulmuştur. Bunların yanında araştırma, verilerin harmanlanması esasına dayanıp taranmış kaynakların özeti niteliğindedir. Bu noktada öncelikle nanoteknolojinin temel prensipleri ve bilimsel arka planı hakkında yapılan çalışmalar referans alınarak, nanoteknolojinin heykel sanatı ile kesişim noktaları hakkında tespitlerde bulunulmuş ve bu analizlerde, nanoteknolojik materyallerin heykel sanatına sağladığı estetik ve teknik yenilikler ile bu yeniliklerin heykel sanatının gelişimine katkıları, sanatçıların bu materyalleri eserlerinde nasıl ele aldığı, sağladığı estetik boyutları ve avantajları konusunda bazı incelemeler de yapılmıştır.

Kuramsal Çerçeve

Nanoteknoloji'nin Heykel Sanatıyla Kesişimi

Nanoteknolojinin çok yönlü doğasını ve diğer alanları nasıl etkilediği düşünüldüğünde, aynı etkileşimin sanat için de geçerli olduğu düşünülebilir. Zira sanatçılar bu teknolojik imkanlar temelinde doğayı, bilimi ve sanatı harmanlayarak kendi iç ve dış evrenini yeniden tanımlamaya dair oldukça farklı formlar üretebilirler. Nanoteknolojinin, çok yönlü yapısını ve sanat dahil birçok alana sunduğu bu geniş yelpazeyi Bhushan (2004), "Nanoskopik ölçekte mühendislik yapmanın tüm teknoloji alanlarında ve çoğu bilim dalında çok geniş uygulamalara sahip olacağına inanmak için iyi bir neden var. Bu nedenle, diğer teknolojilerin etkilerini güçlendirici veya kolaylaştırıcı bir etken olacaktır" (s. 1136) sözleriyle desteklemektedir.

Nanoteknoloji ve sanat arasındaki ilişki, sanatın bilimsel ve teknolojik gelişmelerle olan kesişimini yansıtan bariz bir örnektir. Nanoteknolojinin temel prensipleri ve bu teknolojinin sanat alanında nasıl kullanılabileceği hususlarında bazı saptamalar yapılır ise Nanoteknoloji, maddeyi atomik ve moleküler düzeyde kontrol etmeyi mümkün kılan ve sanatçılara daha önce mümkün olmayan detay ve hassasiyete sahip biçimler oluşturma imkânı sunabilen bir teknoloji olduğunu düşünmek yanlış sayılmaz.

El Sayegh'e (2022) göre;

NanoArt, sanat, bilim ve teknoloji kesişim noktalarında gelişen yeni bir sanat biçimidir. Özellikleri arasında nano manzaralar (moleküler ve atomik manzaralar) ve moleküler düzeydeki doğal malzeme yapıları bulunur; ayrıca, yapı moleküler ve atomik ölçekleri manipüle edebilir. Bu yapılar, taramalı elektron mikroskopları ve atomik kuvvet mikroskopları gibi güçlü araştırma araçlarıyla görselleştirilebilir. Bilimsel görüntüler, sanatsal eserlere dönüştürülmek üzere farklı sanatsal teknikler kullanılarak yakalanır ve işlenir (s. 38).

Bu görüş doğrultusunda söz konusu teknolojinin sanatta kullanımı, özellikle malzeme bilimindeki gelişmelerle mümkün hale gelmiştir. Sanatçılar, akıllı ve yarı robotik sayılabilecek malzemeleri kullanarak yeni türde yüzeyler, dokular ve formlar oluşturabilirler. Bu teknoloji ile yapılan üç boyutlu özel nesnelerin yapısal olarak ışık, renk ve formları sürekli ve otomat bir döngüyle değişebilir. Böylelikle heykellere dinamik ve değişken bir görünüm kazandırabilir. Bunların dışında nano-karbon materyallerin yüksek mukavemet ve hafiflikleri sayesinde heykelleri kütleli olarak oldukça farklı boyutlara ulaştırmak mümkün olabilir.

Nanoteknolojinin sanatta kullanımı, sadece estetik yenilikler sunmakla kalmaz, aynı zamanda sanatçıların yaratıcı süreçlerini de destekleyebilir. Sanatçılar, nanoteknolojiyi kullanarak daha önce mümkün olmayan detay seviyelerine ulaşabilir ve eserlerinde yeni kavramsal derinlikler keşfedebilirler. Bu durum sanatçılara eserlerinde daha büyük özgürlük ve esneklik sağlar. Bu özgürlük sadece sanatçı için değil aynı zamanda izleyicinin de sanat eserleriyle olan etkileşimini de değiştirir. Bu bağlamda Thomas (2013), 'Nanoart' vasıtasıyla seyircilerin deneyimleyebileceği etkileşimi şu şekilde örneklendirmiştir: "Vesna ve Gimzewski'nin Zero@wavefunction projesi, merkezi motif olarak karbon molekülü C60 buckyball'ünü kullanan önemli bir Nanoart enstalasyonudur. Enstalasyonda, makineler tarafından üretilen buckyball'ların görüntüleri, John Curtin Galerisi'ndeki büyük bir duvara yansıtıldı. Galeri içindeki izleyiciler, bir protez cihazı kullanarak buckyball'ların şekillerini ve hareketlerini manipüle edip onlarla etkileşimde bulundular" (s., 19).

Örnekten yola çıkılarak nanoteknoloji alt yapıli sanat yapıtlarının, izleyici ile daha dinamik bir etkileşime girebildiği çıkarımı yapılabilir. Ayrıca nanoteknolojinin bu geniş seçenekli imkanları heykel sanatına da dinamik özellikler katarak izleyicinin bu teknoloji ile üretilmiş heykeller ile kurduğu etkileşimini zenginleştirebilir. Bu etkileşim, izleyiciye sadece algısal değil, aynı zamanda duygusal ve entelektüel bir deneyim de sağlayıp sanatçıların izleyici ile daha derin ve çok katmanlı bir bağlantı kurabilmesine olanak tanıyabilir.

Bulgular ve Yorum

Nanoteknolojik heykellerin oluşturulması, ileri düzey teknolojilerin sanat dünyasına entegrasyonu ile mümkün olabilmektedir. Bu atomik görüntüler, maddelerin grafik temsillerini, ölçümleri ve fiziksel özellikleri analiz etmek için kullanılan görüntülerdir. Ancak, nanoteknoloji sanatla buluştuğunda, bu teknik veriler estetik bir unsura dönüşerek sanatsal üretim sürecinin bir parçası haline bürünebilir. Örneğin, nanoteknolojik yapıların ileri düzey araçlar vasıtasıyla elde edilen görüntülerini, 3D yazıcılar aracılığıyla üç boyutlu fiziksel nesnelere dönüştürülebilir. Bu noktada renk seçimi veya form haritaları gibi unsurlar sanatçı tarafından estetik bir değerlendirme sürecine tabi tutularak sanatsal bir yorumlamayla manipüle edilebilir. Böylelikle teknik bilgiler sanatın bir ifade aracı haline gelir. Dolayısıyla bu tür üç boyutlu formlar, klasik heykel yapım süreçlerinden farklı olarak, atomik düzeyde bir malzeme kullanımına evrilerek Tatlin'in malzeme formu belirlediğine dair söyleminin adeta vücut bulmuş örnekleri gibidir. Çünkü bu tür formlar atomik parçacıkların fiziksel yapısı doğrultusunda bir araya getirilerek oluşturulan formlardır. Ritim, desen, denge ve vurgu gibi sanatın elemanları ve tasarım ilkeleri sürecinden geçirilen teknik veriler eşsiz görünümlere sahip heykel sanatı örneklerine dönüşerek bu alanı yeni bir boyuta taşımıştır. Bu bağlamda nanoteknolojik malzemeler kullanılarak üretilen heykelleri, bilimin ve sanatın kesişim noktasında yer alan ve maddenin varoluşunu atomik düzeyde dert edinen ve bu olguyu sorgulayan estetik bir ifade biçimi olarak görmek mümkündür. Bu düşünceler, Thomas'ın 2013 yılında yayınladığı Nanoart' isimli kitabında söz konusu teknoloji ve nanotüpler kullanılarak elde edilen formların oluşum sürecini aktardığı ifadelerle desteklemek mümkündür. Zira Tothomas (2013) bu aşamaları şu şekilde izah etmiştir:

Nanoteknolojinin ana aracı olan AFM tarafından oluşturulan veri görüntüleri, bilgisayar bilimcileri tarafından yazılmış yazılım paketlerinden üretilir. Bilim insanlarının ihtiyaçları, maddenin güzel grafik görüntülerini oluşturmak değil, yakınlık ve ölçüm yapabilmektir. Teknoloji, maddenin 'makinemsi' görüntülerini oluştururken, AFM'nin görüntüleri genellikle bir elektron mikroskopunun sonuçlarıyla karşılaştırıldığında etkileyici değildir. AFM görüntüleri, bir nokta bulutu sistemi tarafından oluşturulur. Bilim insanları, yükseklik haritalarını temsil etmek ve görsel referanslar oluşturmak için bir dizi seçenekten renkler seçer. Bu referanslar, yeni kodlar tarafından üretilen ve asimile edilen referanslardır. Görüntüler, önceden sindirilmiş insan algısının bir parçası haline gelir; yani, dünyayı zaten görme şeklimize uygun hale gelirler. Görüntüler hayalet gibidir, dokunsal bir görselleştirme sistemi oluşturur, tıpkı bir kalem ovma işleminin oluşturulduğu gibi. Veriler, x, y ve z koordinatlarına dayalı olarak, hızlı prototipleme yoluyla basılabilecek 3D görüntüler oluşturur ve nesnelerin tezahürlerine dönüşür. Böylece, herhangi bir nesnenin fiziksel bütünlüğü artık nanoteknolojik retorik tarafından karıştırılabilir. Alt-üst teknolojiler, atom atomuna dayalı tasarım ve bir nesnenin kimyasal yapısının atomik parçacık yapısını asimile eden nesneler yaratmayı sağlar. Bu bağlamda, nanoteknoloji ile bir artefakt, ritim, desen ve titreşim kuvvetleri ile bir arada tutulan taklitçi bir makinemsi yapıya indirgenir. (s.21)

Nanoteknolojik materyaller ile üç boyutlu sanatsal formlar üreten önemli bir başka sanatçı ise Neri Oxman'dır. Sanatçı 2010 yılında nanoteknoloji ürünü akıllı malzemelerin tasarım ve mimari uygulamalardaki önemi, ve bu yeni materyallerle yapılabilecek potansiyelleri ve akıllı malzemelerin, geleneksel malzemelere kıyasla sunduğu yenilikleri ile avantajlarına dair Oxman (2010) şu ifadelerle aktarmıştır:

Yeni araştırma alanları tasarım ve mimari uygulamalarda pratik ifade buldukça, daha iyi, daha hafif, daha güçlü, daha etkili ve verimli malzemelerin tasarımının endüstriyi ileriye taşıyacağı açıktır. Bir malzemenin mikroyapısının tasarımı ve kontrolü, işlevsel portresine dahil edilebilecek olası gerçek zamanlı davranışlarla görünüşte bağlantılıdır. Akıllı malzemeler alanında meydana gelen ilerleme o kadar önemli ve geniş kapsamlıdır ki, bu bağlamdaki önemini ve katkısını ele almaktan kaçınmak zordur. Akıllı bir malzemeyi geleneksel bir malzemeden ayıran şey hem geleneksel hem de yüksek performanslı malzemeler için dış uyarıcılara çoğunlukla sabit bir yanıt verilmesidir. Başka bir deyişle, geleneksel bir malzeme için, standart koşullar altında özellikler sabit kalır. Diğer yandan, akıllı malzemeler ya özellik değiştiren ya da enerji alışverişi yapan veya her ikisini de yapan malzemelerdir. Özellik değiştiren malzemeler, belirli bir iç veya dış uyarıcıya özgü olan içsel yanıt varyasyonlarını tetikler. Enerji alışverişi yapan yanıtlar, hesaplamalı olarak kontrol edilebilen veya geliştirilebilen dışsal yanıt varyasyonlarını tetikler. Ayrıca, akıllı cihazlar ve sistemlerde gömülü olan bu tür malzemelerin kombinasyonları da vardır; bu sistemler, çoklu iç veya dış uyarıcılara veya kontrollere içsel yanıt varyasyonları ve ilgili hesaplamalı geliştirmelerle donatılmıştır. Son olarak, akıllı çevreler, akıllı cihazlar ve sistemlerden oluşan bütün ortamların içsel ve bilişsel olarak yönlendirilmiş yanıt varyasyonlarını, koşulları ve iç veya dış uyarıcıları kullanarak birleştirir (s. 83).

Neri Oxman'nın yukardaki alıntısının yapıldığı ve 2010 yılında "Material-based Design Computation" başlığıyla yayımladığı doktora tezi, tasarım sürecinde malzeme bilimi ile hesaplamalı yöntemlerin bütünleşmesi (entegrasyonu) gerektiği üzerine inşa edilmiştir. Oxman, geleneksel tasarım yaklaşımlarının genellikle formu malzemenin önüne koyduğunu, ancak daha sürdürülebilir ve işlevsel tasarımlar için malzemelerin mikroyapısının ve özelliklerinin dikkate alınması zaruri olduğunu savunmaktadır. Bu bağlamda doğadan ilham alarak malzeme özellikleri doğrultusunda hesaplanan form oluşturma yöntemlerinin kullanılmasını da öne sürmüştür. Ayrıca tezinde, akıllı malzeme tabanlı hesaplanabilir tasarımların çeşitli disiplinlere getirebileceği potansiyel faydaları aktarmış ve bu doğrultuda bazı deneysel üretimleri pratiğe dönüştürmüştür. Böylelikle bu yeni materyallerin pratikte nasıl uygulanabileceğini göstermiş ve bu yöntemlerin gelecekte varabileceği noktaya ışık tutmuştur. Çünkü Oxman'nın bu üretimleri sürdürülebilirlik ve çevre bilinci konularında da önemli katkılar sunmaktadır. Sanatçılar, bu yöntemle eserler üretirken yöntemin doğası gereği çevre dostu nanomalzemeler kullanırlar. Böylelikle sanatçıların çevresel sorunlara dikkat çekmelerini ve izleyicileri bu konular hakkında düşünmeye teşvik etmelerinde eserin kendisi doğal bir örnek teşkil etmektedir.



Görsel 1. Neri Oxman, Silk Pavilion II, (2019)

(<https://www.behance.net/gallery/100474999/Silk-Pavilion-II>)

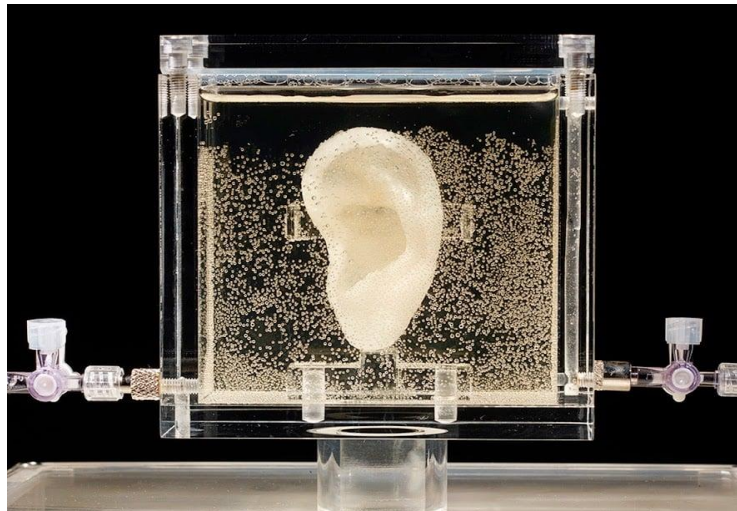
Oxman'nın üretimlerinde diikat çeken unsurlar, biyolojik malzemeler ve nanoteknoloji kullanarak heykel ve mimari alanında çığır açan yapılar inşa etmesi olmuştur. Eserleri, tasarım olarak doğanın yapılarını taklit ederek yeni estetik formlar üretmek üzerinedir. Bu eserler, nanoteknolojinin sanat ve doğa arasındaki ilişkiyi nasıl yeniden tanımlayabileceğini de yansıtan eserler olarak değerlendirilebilir. Örneğin Oxman'ın Görsel 1'de mevcut olan eseri, The Mediated Matter Group tarafından üretilmiştir. 17,532 ipek böceğinin yardımıyla oluşturulan bu yapı, dijital ve biyolojik üretim süreçlerini birleşimi bağlamında önemli bir örnek teşkil etmektedir. Bu eser, MoMA'daki "Material Ecology" sergisinde de sergilenmiştir. Neri Oxman'ın nanoteknoloji ve ileri malzeme teknolojilerini kullanarak ürettiği çeşitli enstalasyon ve üç boyutlu işler de bulunmaktadır. Özellikle, "Beast" (canavar) isimli enstalasyonu, çoklu malzeme jet teknolojisi kullanılarak üretilmiş bir çalışmadır. Bu çalışmada, malzemelerin özellikleri ve çevresel koşulları dikkate alınarak, form ve yapının nasıl uyarlanabileceği araştırılmıştır. "Beast, çoklu malzeme jet teknolojisi kullanılarak üretilmiş bir performatif şezlongdur. Bu çalışmada, malzeme özellikleri ve çevresel koşullar dikkate alınarak, form ve yapının nasıl optimize edilebileceği araştırılmıştır. Şezlong, baskı sırasında farklı malzeme özelliklerine sahip alanları aynı anda yerleştiren yeni bir çoklu jet matris teknolojisi kullanılarak üç boyutlu olarak basılmıştır" (Oxman, 2010, s. 204).



Görsel 2 Neri Oxman, *Beast*, Nano Materyal. (Oxman, 2010)

Oxman, Görsel 2’de görülen türdeki nanoteknolojik çalışmalarında “Malzeme Tabanlı Tasarım Hesaplaması Yöntemi”ni kullanmış ve bu yöntemin aşamalarını tanımlamıştır. Oxman’a (2010) göre;

Malzeme Tabanlı Tasarım Hesaplaması, Doğal Tasarımı mümkün kılan ve destekleyen teorik, metodolojik ve teknik katkılardan oluşan bir bilgi bütünüdür. Bu bilgi bütünü, doğal olarak tasarlanmış nesnelerin ve binaların özelliklerini kapsar ve deneysel araştırmalarla gösterilen avantajları göz önüne alındığında, bunların geleneksel uygulamalara göre potansiyel performans üstünlüğü göz önüne alındığında, bunları elde etmenin yöntemlerini önerir. Sadece geometrik şekle dayalı tasarımın genellikle sürdürülebilir tasarımı teşvik etmediği genel tezi doğrultusunda; Malzeme Tabanlı Tasarım Hesaplaması, tasarımın çeşitli aşamalarında tanıtılan ve nihai tasarım çıktısı oluşturulmadan önce fiziksel özellikleri entegre eden belirli form oluşturma süreçleri sunar. Bu şekilde, tasarımcı, tasarım ortamının gerektirdiği çoklu performans türlerine yanıt verebilir ve bunlar arasında bir denge kurabilir. Bu performans sınıfları, bu tezde iki ayrı parametre sınıfı olarak ayrılan mühendislik ve mimari performansı içerir. Malzeme özellikleri, genellikle işlevsel ve estetik hedefleri yerine getirmek ve belirlenen yapı kodlarını karşılamak için 3D form oluşturulduktan sonra atanır. Sonuç olarak, form, yapı ve malzeme, tasarım nesnesinin birbirinden kopuk bileşenleri olarak ele alınır. Malzeme Tabanlı Tasarım Hesaplaması, belirli performans kısıtlamalarına yanıt veren malzeme özellikleri ve davranışlarına dayalı yaratıcı tasarım süreçlerini teşvik eder. Bu nedenle, oluşturma süreci, çoklu performans kriterlerinin dikkate alınmasını ve tasarım sürecinin çeşitli aşamalarında form ile malzeme bileşenleri arasındaki entegrasyonun sağlanmasını mümkün kılar. Tasarım sürecinin başlarında performans kriterlerinin ele alınmasının ötesinde, bu yöntemler, modelleme, analiz ve üretim ortamlarının entegrasyonuna izin verir ve çevre tarafından tanımlanan dereceli malzeme özelliklerine sahip parçaların eş zamanlı olarak haritalanması, form oluşturulması ve 3D baskısının yapılmasına olanak tanıyan yeni bir üretim buluşu ile sonuçlanır. Bu şekilde tasarım, sanal olarak bir 'ikinci doğa' olarak algılanır. (s. 294)



Görsel 3 Diemut Strebe, *Sugababe*, 2014.

(<http://www.diemutstrebe.com/sugababe>)

Nanoteknolojik ifade yöntemlerini baz alarak üretim yapan önemli sanatçılardan bir diğeri ise Diemut Strebe'dir. O'nun 'Sugababe' eseri, sanat ve bilim arasındaki sınırları zorlayan yenilikçi bir çalışmadır. Bu eser, Vincent van Gogh'un ünlü kesik kulağını biyoteknoloji kullanarak yeniden üretme maksadıyla yola çıkan bir çalışma olmuştur. Bu süreçte, van Gogh'un bir erkek akrabasından alınan DNA kullanılmış ve biyo-mühendislik teknikleriyle bir kopyası oluşturulmuştur. Strebe, "Sugababe" ile sanatın anlamı, kimlik ve yeniden üretim gibi derin kavramları sorgular. Eser, bir tarihi figürün biyolojik olarak yeniden yaratılmasının ne anlama geldiğini ve bu tür bir replikasyonun orijinalle aynı değere sahip olup olmadığını tartışmaya açmıştır. Ayrıca, nanoteknolojinin sanatsal amaçlarla kullanımının etik boyutlarına dikkat çeker. Strebe, sanatın sınırlarını ve sanatçının rolünü sorgularken, izleyicileri bilim ve sanatın kesişiminde ortaya çıkan yeni sorular sormasına sevk edebilir. Bu noktada "Sugababe" izleyicilere sanat ve bilimin birbirine nasıl entegre olabileceğini ve bu birleşimin sanatsal ve etik açıdan ne tür etkiler yaratabileceğini düşündüren güçlü bir örnektir. Bu eser hem estetik hem de felsefi derinliği olan, dikkat çekici bir sanatsal ifade biçimi olarak öne çıkmaktadır.

Tartışma, Sonuçlar ve Öneriler

Tartışma

Araştırmanın bulguları, nanoteknolojinin çağdaş heykel sanatında sadece yeni malzemelerin kullanımına olanak sağlayan teknik bir gelişme olmadığını, aynı zamanda sanat üretiminin kuramsal ve uygulamalı boyutlarını dönüştüren yeni bir üretim paradigması oluşturduğunu ortaya koymaktadır. İncelenen eserler birlikte değerlendirildiğinde, nanoteknolojinin malzemenin fiziksel özelliklerini değiştirmekten öte, sanatçının üretim anlayışını, biçim oluşturma süreçlerini ve sanat eserinin yapısını yeniden tanımladığı görülmektedir. Bu sonuç, Thomas'ın (2013) nanoteknolojinin sanatsal üretimde kullanılan geleneksel malzemeleri yeniden bağlamsallaştırdığı ve sanatçının malzemeyle kurduğu ilişkiyi dönüştürdüğü yönündeki görüşleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. Thomas (2013), "Nanoteknoloji, sanatsal üretim süreçlerinde kullanılan geleneksel materyalleri yeniden bağlamsallaştırarak sanatta yeni üretim biçimlerine olanak tanır." ifadesiyle, nanoteknolojinin yalnızca teknik bir yenilik olmadığını, aynı zamanda sanat üretiminin düşünsel altyapısını değiştirdiğini vurgulamaktadır. Araştırma kapsamında incelenen Oxman ve Strebe'nin eserleri de bu yaklaşımı desteklemektedir. Bununla birlikte araştırmanın ulaştığı sonuçlar, söz konusu dönüşümün yalnızca malzeme kullanımına ilişkin olmadığını; sanatçının üretim sürecindeki konumunu, üretimin organizasyon biçimini ve sanat eserinin oluşum mantığını da kapsayan daha geniş bir paradigma değişimine işaret ettiğini göstermektedir. Bu yönüyle araştırma, Thomas'ın kuramsal yaklaşımını çağdaş heykel örnekleri üzerinden somutlaştırırken, nanoteknolojinin heykel sanatındaki etkisini yalnızca malzeme ekseninde değil, üretim sistemi bağlamında da değerlendirmesi bakımından literatüre katkı sunmaktadır.

Araştırmanın dikkat çekici bulgularından biri de çağdaş heykel sanatında sanatçının rolünün yeniden tanımlanmasıdır. Geleneksel heykel üretiminde sanatçı, malzemeyi doğrudan biçimlendiren temel aktör olarak kabul edilirken, araştırma kapsamında incelenen eserlerde sanatçının daha çok üretim sürecini planlayan, farklı disiplinleri bir araya getiren ve biyolojik ya da teknolojik sistemleri yöneten bir tasarımcı kimliği kazandığı görülmektedir. Bu durum özellikle Neri Oxman'ın Silk Pavilion II çalışmasında açık biçimde gözlemlenmektedir. Eserde yaklaşık on yedi bin ipek böceğinin üretim sürecine dâhil edilmesi, biçimin yalnızca sanatçının fiziksel müdahalesiyle oluşmadığını; biyolojik organizmalar, hesaplamalı tasarım ve malzeme teknolojilerinin ortak üretimiyle ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgu, Oxman'ın (2010) geliştirdiği Material-based Design Computation yaklaşımıyla paralellik göstermektedir. Oxman (2010), tasarım sürecinde malzemenin yalnızca biçimi taşıyan edilgen bir unsur olmadığını, aksine tasarım kararlarını belirleyen temel bileşenlerden biri olduğunu savunmaktadır. Araştırmanın ulaştığı sonuçlar bu görüşü desteklemekle birlikte, çağdaş heykel sanatında sanatçının rolünün yalnızca malzemeyi yöneten kişi olmaktan öteye geçtiğini de ortaya koymaktadır. Buna göre sanatçı artık biyoloji, malzeme bilimi, mühendislik ve dijital tasarım gibi farklı disiplinlerin ortak üretim süreçlerini yöneten bir koordinatör

konumuna gelmektedir. Dolayısıyla araştırma bulguları, çağdaş heykel sanatında üretimin bireysel beceriye dayalı bir süreç olmaktan uzaklaşarak kolektif bilgi üretimine dayalı disiplinlerarası bir modele dönüştüğünü göstermektedir.

Araştırmının diğer önemli görülen bir tespitide, nanoteknolojik malzemelerin çağdaş heykel sanatında biçim ve yüzey anlayışını yeniden tanımlamasıdır. İncelenen eserlerde malzeme yalnızca sanatçının belirlediği biçimi taşıyan pasif bir araç olarak değil, fiziksel özellikleri sayesinde tasarım sürecine yön veren aktif bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle Oxman'ın 'Beast' adlı çalışması, malzemenin dayanıklılık, esneklik ve çevresel tepkiler gibi özelliklerinin biçim oluşumunda belirleyici rol üstlendiğini göstermektedir. Bu sonuç, Feynman'ın (1959) atomik ölçekte gerçekleştirilecek müdahalelerin gelecekte yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesini mümkün kılacağı yönündeki öngörüsüyle ilişkilendirilebilir. Feynman'ın "Atomları tek tek istediğimiz şekilde düzenleyebilseydik ne olurdu?" sorusu, günümüzde nanomalzemelerin geliştirilmesiyle yalnızca mühendislik ve malzeme biliminde değil, sanat üretiminde de karşılık bulmaktadır. Bunun yanında Thomas'ın (2013) nanoteknolojinin sanatın maddesel temelini yeniden düşünmeye olanak sağladığı yönündeki değerlendirmesi de araştırma bulgularını desteklemektedir. Ancak bu araştırma, mevcut literatürden farklı olarak nanoteknolojik malzemelerin yalnızca yeni yüzey özellikleri kazandırmadığını, aynı zamanda biçimsel kararların alınmasında etkin rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle çağdaş heykelde malzeme artık salt estetik bir taşıyıcı değil, sanat eserinin biçimsel kimliğini belirleyen aktif bir üretim bileşeni olarak değerlendirilebilir. Araştırmının bir diğer önemli bulgusu, nanoteknolojinin çağdaş heykel sanatında yalnızca biçimsel ve teknik dönüşümler oluşturmadığı, bunların yanısıra sanat eserinin anlamına ve ontolojik yapısına ilişkin yeni tartışmalar ortaya çıkardığıdır. Bu durum özellikle Diemut Strebe'nin 'Sugababe' adlı eserinde belirgin biçimde gözlemlenmektedir. Eserde biyoteknolojik yöntemlerle Van Gogh'un kulağının yeniden üretilmesi, sanat eserinin özgünlüğü, yeniden üretimi ve sanatçı kimliği gibi kavramların yeniden değerlendirilmesine neden olmaktadır. Bu yönüyle Strebe'nin yaklaşımı, Oxman'ın daha çok malzeme ve üretim süreçlerine odaklanan çalışmalarından ayrılmaktadır. Oxman'ın eserlerinde nanoteknoloji yeni üretim yöntemleri geliştiren bir araç olarak öne çıkarken, Strebe'nin çalışmasında teknoloji, sanatın kavramsal sınırlarını sorgulayan düşünsel bir araç hâline gelmektedir. Dolayısıyla araştırma bulguları, nanoteknolojinin çağdaş heykel sanatındaki etkisinin yalnızca malzeme ve üretim teknikleriyle açıklanamayacağını; etik, kimlik, özgünlük ve yeniden üretim gibi kavramlar üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sonuç, nanoteknolojinin heykel sanatında çok katmanlı bir dönüşüm meydana getirdiğini ortaya koyması bakımından önemlidir.

Tüm bunlara ek olarak çağdaş heykel üretiminde disiplinlerarası iş birliklerinin belirleyici bir unsur hâline gelmesi, incelenen eserler, sanat üretiminin sanatçının bireysel yaratıcılığına dayanan bir süreçten ibaret olmadığını; biyoloji, malzeme bilimi, mühendislik, hesaplamalı tasarım ve dijital üretim teknolojileri gibi farklı disiplinlerin ortak katkısıyla şekillendiğini göstermektedir. Bu durum, Oxman'ın (2010), "tasarımın biyolojik sistemler ve gelişmiş malzeme teknolojileriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiği" yönündeki yaklaşımını desteklemektedir. Bununla birlikte araştırma bulguları, disiplinlerarasılığın yalnızca teknik bir iş birliği olarak değerlendirilmemesi gerektiğini de ortaya koymaktadır. Çünkü incelenen eserlerde bilimsel bilgi, estetik kararların belirlenmesinde doğrudan etkili olmakta; sanatçı ise farklı uzmanlık alanlarını ortak bir üretim sürecinde buluşturan koordinatör bir rol üstlenmektedir. Bu yönüyle günümüzün heykel formu, yeni teknolojilerden yararlanan bir disiplin değil; bilimsel bilgi ile sanatsal yaratıcılığı bütünleştiren yeni bir üretim modeli geliştirmektedir. Araştırmının ulaştığı bu çıktı, nanoteknolojinin sanat ile bilim arasındaki sınırları giderek geçirgen hâle getirdiğini ve çağdaş heykel pratiğini disiplinlerarası üretim ekseninde yeniden şekillendirdiğini göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada nanoteknolojinin çağdaş heykel sanatında oluşturduğu yeni üretim paradigmaları incelenmiş ve söz konusu teknolojinin estetik, teknik ve kavramsal boyutlarda önemli dönüşümler meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma kapsamında değerlendirilen kuramsal kaynaklar ve sanatçı örnekleri, nanoteknolojinin heykel sanatında yalnızca yeni malzemelerin kullanımını sağlayan bir

araç olmadığını, aynı zamanda sanatın üretim mantığını ve düşünsel çerçevesini yeniden şekillendiren dönüştürücü bir unsur hâline geldiğini göstermektedir.

Araştırmamanın önemli sonuçlarından biri, nanoteknolojinin sanatçıya maddenin atomik ve moleküler düzeylerine kadar müdahale edebilme imkânı sunmasıdır. Bu durum, geleneksel üretim yöntemleriyle elde edilmesi mümkün olmayan yüzeylerin, dokuların ve biçimsel yapıların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Böylece heykel sanatı, yalnızca fiziksel hacim ve kütle ilişkileri üzerinden değerlendirilen bir alan olmaktan uzaklaşarak malzemenin iç yapısına kadar nüfuz eden yeni bir üretim anlayışına yönelmektedir. Özellikle akıllı malzemeler, biyomalzemeler ve nano ölçekli üretim teknikleri sayesinde heykel üretiminde daha hassas, daha karmaşık ve daha deneysel uygulamaların mümkün hâle geldiği görülmektedir.

Araştırma kapsamında incelenen Neri Oxman'ın "Silk Pavilion II" ve "Beast" adlı çalışmaları, nanoteknolojinin ve ileri malzeme teknolojilerinin biçim üretim süreçlerinde nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Bu eserlerde biyolojik sistemler, hesaplamalı tasarım yöntemleri ve yeni nesil malzemeler bir araya gelerek geleneksel heykel üretiminin sınırlarını aşan yeni estetik yaklaşımlar ortaya koymaktadır. Özellikle malzemenin yalnızca biçim verilen pasif bir unsur olmaktan çıkarak formun oluşumuna doğrudan katılan aktif bir bileşene dönüşmesi, çağdaş heykelde malzeme-form ilişkisinin yeniden tanımlandığını göstermektedir.

Diemut Strebe'nin "Sugababe" adlı çalışması ise nanoteknolojinin ve biyoteknolojik yöntemlerin sanatın kavramsal boyutunda yarattığı dönüşümü görünür kılmaktadır. Eser, sanat yapıtının özgünlüğü, kimlik kavramı, biyolojik yeniden üretim ve temsil gibi meseleleri yeniden tartışmaya açmaktadır. Bu durum, nanoteknolojinin yalnızca teknik yenilikler sunmadığını, aynı zamanda sanat kuramları açısından yeni düşünsel ve etik tartışma alanları oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla araştırma, çağdaş heykelde teknolojik dönüşümün yalnızca estetik düzeyde gerçekleşmediğini; aynı zamanda sanatın anlamı, işlevi ve üretim süreçleri üzerine yeni sorgulamalar geliştirdiğini göstermektedir.

Araştırmamanın ortaya koyduğu bir diğer önemli sonuç, nanoteknolojinin heykeli statik ve değişmez bir nesne olmaktan uzaklaştırarak süreç temelli ve etkileşimli bir yapıya dönüştürmesidir. Çevresel verilere tepki verebilen malzemeler, duyarlı yüzeyler ve programlanabilir yapılar sayesinde sanat eseri zaman içerisinde değişebilen, çevresiyle etkileşime girebilen ve izleyicinin katılımıyla farklı deneyimler üretebilen dinamik bir yapıya kavuşmaktadır. Böylelikle izleyici yalnızca sanat eserini gözlemleyen bir konumda kalmamakta, eserle kurduğu ilişki aracılığıyla üretim ve anlamlandırma sürecinin aktif bir bileşeni hâline gelmektedir.

Tüm bunların yanında heykel sanatında disiplinlerarası üretim modellerinin giderek daha fazla önem kazandığını da göstermektedir. İncelenen örneklerin tamamında sanatçıların mühendisler, biyologlar, malzeme bilimciler ve yazılım geliştiricilerle birlikte çalıştıkları görülmektedir. Bu durum sanatçının rolünü de dönüştürmekte ve sanatçıyı yalnızca estetik nesneler üreten bir kişi olmaktan çıkararak farklı bilgi alanlarını bir araya getiren araştırmacı ve tasarımcı bir aktöre dönüştürmektedir. Böylelikle heykel sanatı ile bilim arasındaki sınırların giderek kaybolduğu disiplinlerarası bir araştırma alanı niteliği kazanmaktadır. Sonuç olarak nanoteknoloji, heykel sanatında hem malzeme hem üretim yöntemi hem de düşünsel yaklaşım düzeyinde radikal değişimler meydana getirebilir. Araştırma doğrultusunda ele alınan eserler, nanoteknolojinin yalnızca yeni teknik olanaklar sunan bir araç olmadığını; sanatçı, eser, malzeme ve izleyici arasındaki ilişkileri yeniden tanımlayan kapsamlı bir dönüşüm alanı oluşturduğu fikri ağır basmaktadır. Bu bağlamda nanoteknolojinin gelecekte heykel sanatında daha yaygın biçimde kullanılacağı ve yeni estetik anlayışların, yeni üretim yöntemlerinin ve yeni kavramsal yaklaşımların ortaya çıkmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Öneriler

Nanoteknolojinin sanat alanındaki kullanımının giderek artacağı öngörüldüğünden, bu alanda disiplinlerarası eğitim programlarının geliştirilmesi önerilmektedir. Sanat, mühendislik ve malzeme bilimi

arasındaki iş birliğini destekleyen akademik yapılar, gelecekteki üretim süreçleri açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

Ayrıca sanatçıların nanoteknolojik süreçlere erişimini kolaylaştıracak araştırma laboratuvarlarının ve üretim merkezlerinin artırılması gerekmektedir. Bu tür yapılar, deneysel sanat üretimini destekleyerek yeni estetik formların ortaya çıkmasına olanak tanıyacaktır.

Etik tartışmaların da bu süreçte dikkate alınması önemlidir. Özellikle biyolojik materyallerin kullanımı, yeniden üretim ve kimlik gibi konuların sanatsal bağlamda daha derinlemesine ele alınması gerekmektedir.

Son olarak, izleyici deneyimini merkeze alan interaktif ve katılımcı sanat uygulamalarının geliştirilmesi, nanoteknolojinin sanatsal potansiyelini daha görünür kılacaktır.

Kaynakça

- Bhushan, B. (2004). *Springer handbook of nanotechnology*. Springer.
- Chapple, B. (2015). Art and biorobotics: A symbiotic relationship. *Art & Science Journal*.
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed.). Sage Publications.
- Drexler, K. E. (2006). *Engines of creation 2.0: The coming era of nanotechnology*. WOWIO.
- El Sayegh, A. M. (2022). The impact of nanotechnology on nano art to create artwork: An analytical study. *International Journal of Education, Learning and Development*, 10(10), 29–47.
- Feynman, R. P. (1959). There's plenty of room at the bottom. *American Physical Society, California Institute of Technology*. <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- Oxman, N. (2010). *Material-based design computation* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology). <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/58308>
- Silverman, D. (2017). *Doing qualitative research* (5th ed.). Sage Publications.
- Strebe, D. (2023). *Sugababe*. Diemut Strebe. Retrieved August 18, 2024, from <https://diemut.net/sugababe/>
- Thomas, P. (2013). *Nanoart: The immateriality of art*. Intellect Ltd.