


Voronoi mozaiklemesinin 3B grafik tasarımında görsel dil oluşturma potansiyeli

The potential of voronoi tessellation to generate visual language in 3D graphic design

İpek Fatma Ertan^{1*} 

¹ İstanbul Medipol Üniversitesi, İletifim Fakültesi, Medya ve Görsel Sanatlar Bölümü, İstanbul, Türkiye

Özet: Dijital üretim araçlarının ve algoritmik sistemlerin tasarım pratiğine eklenmesi, tasarımcıların hem üretim yöntemlerini hem de estetik değerlendirme süreçlerini köklü biçimde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm içinde öne çıkan tartışmalardan biri, kural tabanlı sistemler aracılığıyla üretilen biçimlerin özgün bir görsel dil kurup kuramayacağı sorusudur. Nitekim prosedürel tasarım yaklaşımları, tasarımcının doğrudan biçim üretiminden giderek uzaklaşıp yönlendirici ve yorumlayıcı bir konuma geçtiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda Voronoi mozaikleme, hem matematiksel bir bölüntüleme yöntemi hem de doğaya özgü bir örüntü sistemi olarak, tasarım pratiğinde derin estetik potansiyeller barındıran algoritmik bir biçim üretici olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada Voronoi geometrisinin 3B grafik tasarım bağlamında özgün bir görsel dil ve estetik söylem üretip üretemeyeceği araştırılmaktadır. Araştırmada yöntem olarak görsel analiz benimsenmiştir. Bu çerçevede biçim, ritim, hiyerarşi ve yüzey örgütlenmesi olmak üzere dört temel görsel ilke, afif tasarımı, ambalaj görselleştirmesi ve hareketli grafik alanlarında üretilen 3B tasarım uygulamalarına sistematik biçimde uygulanmıştır. Söz konusu görsel analiz, Voronoi mozaiklemesinin bir geometrik motif ya da yüzey süsleme aracı olarak kullanılmasının dışında; tutarlı, tekrarlanabilir ve anlamsal yoğunluğa sahip bir estetik dil kaynağı olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler: Voronoi diyagramı, algoritmik estetik, görsel dil, 3b grafik tasarım, prosedürel biçim üretimi, görsel iletişim tasarımı

Abstract: The integration of digital production tools and algorithmic systems into design practice has fundamentally transformed both the production methods of designers and their processes of aesthetic evaluation. One of the prominent debates within this transformation concerns whether forms generated through rule-based systems can establish an original visual language. Procedural design approaches reveal that designers are increasingly shifting away from direct form-making toward a more directive and interpretative role. In this context, Voronoi tessellation emerges as an algorithmic form generator that embodies significant aesthetic potential in design practice, functioning both as a mathematical partitioning method and as a pattern system inherent in nature. This study investigates whether Voronoi geometry can produce an original visual language and aesthetic discourse within the context of three-dimensional (3D) graphic design. The research adopts visual analysis as its primary methodological approach. Within this framework, four fundamental visual principles -form, rhythm, hierarchy, and surface organization- are systematically applied to 3D design applications produced in the fields of poster design, packaging visualization, and motion graphics. The findings of this visual analysis demonstrate that Voronoi tessellation functions not merely as a geometric motif or decorative surface element, but as a source of a consistent, repeatable, and semantically rich aesthetic language.

Keywords: Voronoi diagram, algorithmic aesthetics, visual language, 3d graphic design, procedural form generation, visual communication design

Citation: Ertan, İ. F. (2026). The potential of voronoi tessellation to generate visual language in 3d graphic design. *International Journal of Communication and Art*, 7(17), 37-56.

Extended Abstract

The integration of digital production tools and algorithmic systems into design practice has fundamentally transformed both the production methods and the aesthetic evaluation processes of designers. At the heart of this transformation lies the question of whether forms generated through rule-based systems can establish an original visual language. As procedural approaches have become increasingly prevalent, designers have progressively moved away from the direct production of form toward a role of designing, directing, and interpreting the systems through which form is generated. Among the most distinctive instruments that give concrete expression to this shift -at both a conceptual and an aesthetic level- is Voronoi tessellation. Functioning simultaneously as a mathematical partitioning method and as a pattern system inherent to nature's own internal logic, Voronoi geometry is examined in this study through the question of whether it can produce an original visual language and aesthetic discourse within the context of three-dimensional (3D) graphic design. Formally defined by the Russian mathematician Georgy Voronoy in 1908, this partitioning method divides a given space into cellular regions based on proximity relationships among a set of seed points. The hexagonal cell arrangement of honeycomb structures, the polygonal patches of giraffe skin, the venation systems of leaves, and the crack networks on dried mud surfaces all represent biological and physical manifestations of this pattern. This ubiquity in nature positions Voronoi geometry not merely as an incidental visual richness, but as a geometric reflection of the tendency to optimize the use of energy and space. Within graphic design practice, the transposition of Voronoi structures into three-dimensional space marks a qualitative departure from two-dimensional applications: whereas the geometry remains confined to surface patterning and area subdivision in two-dimensional design, it acquires the dimensions of volumetric structure, light-shadow interaction, material responsiveness, and dynamic appearance variation dependent on viewing angle in three-dimensional environments -thereby generating a multi-layered visual richness and aesthetic originality.

The research adopts a practice-based research approach rooted in the qualitative research tradition. Within this framework, visual analysis is employed as the primary data collection and analytical technique, and four fundamental visual criteria are identified: form, rhythm, hierarchy, and surface organization. These criteria are derived from Dondis's (1973) theory of visual literacy, Lupton and Phillips's (2015) study of graphic design syntax, adapted with due consideration of the dimensional affordances specific to 3D graphic design. The four criteria are applied systematically to Voronoi-based 3D design applications -poster design, packaging visualization, and motion graphics- produced by the researcher. The findings of the visual analysis converge around three principal conclusions. The first is that Voronoi tessellation satisfies the criteria for visual language formation -consistency, repeatability, capacity for hierarchical organization, and semantic density. The mathematical consistency of cellular geometry safeguards the syntactic dimension, while the biomimetic origins in nature and the organic-mechanical tension nourish semantic depth. This finding demonstrates that Voronoi functions in the designer's hands not as a tool for direct form production, but as a structural source that establishes a formal language system. The second conclusion is that the transposition of Voronoi tessellation into three-dimensional space does not represent a merely technical expansion, but rather a qualitative aesthetic leap. Form is enriched by the plasticity of the third dimension, rhythm deepened by the tonal variation of light, hierarchy multiplied by the depth of foreground-background relationships, and surface organization finds its most powerful expression through the integration of form and material within the same geometric language. This leap directly aligns with Woodbury's (2010) observation that parametric design opens up new formal possibilities, and with Galanter's (2003, 2016) theoretical framework concerning the capacity of generative art systems to produce unexpected aesthetic outcomes. The third conclusion is that Voronoi tessellation demonstrates a context-sensitive versatility. Geometry makes its strongest contribution in the criterion of hierarchy in poster design, in surface organization in packaging visualization, and in rhythm and form in motion graphics. The capacity of the same algorithm to produce such divergent aesthetic worlds through different parametric configurations concretely validates Boden's (2004) theoretical framework concerning the exploratory and transformational creativity capacities of generative systems.

In terms of theoretical contribution, the study constructs a bridge between algorithmic aesthetics and visual language theory that has not previously been established at an analytical level. The proposed four-criterion evaluation framework functions not as a tool exclusive to Voronoi, but as a generalizable research instrument applicable to other algorithmic form-generation systems -including fractals, L-systems, and cellular automata. In terms of practical contribution, concrete and context-specific models of use are offered to designers working in poster design, packaging, and motion graphics. This research demonstrates, through the method of visual analysis, that Voronoi tessellation can be integrated into graphic design practice not merely as a tool, but as an original source of visual discourse characterized

by consistency, repeatability, and semantic density. When this mathematical principle -which has persisted in nature's self-organizing logic for millions of years- converges with the formal and conceptual instruments of 3D graphic design, it opens a new aesthetic domain that grants designers the freedom not to produce form directly, but to design the system from which form itself emerges.

Giriş

Tasarım pratiğinin tarihsel sürecine bakıldığında, her dönemin teknolojik dönüşümünün dönemin estetik değerlerini ve biçim anlayışını doğrudan yeniden tanımladığı görülmektedir. Günümüzde algoritmik sistemlerin ve dijital üretim ortamlarının tasarım pratiğine eklenmesi, bu tarihsel sürecin en kapsamlı ve hız bakımından en yoğun halkasını oluşturmaktadır. Artık tasarımcılar yalnızca biçim üreten bireyler değil; biçimi üreten kuralları, parametreleri ve sistemleri tasarlayan, dolayısıyla süreci yönlendiren yorumlayıcılara dönüşmektedir (Woodbury, 2010). Bu dönüşüm, grafik tasarım pratiğinde de kendini belirgin biçimde göstermekte ve özellikle üç boyutlu (3B) tasarım alanında yeni estetik dillerin doğuşuna zemin hazırlamaktadır. Özellikle 1960'lı yıllardan itibaren bilgisayar destekli tasarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte biçim üretimi, sezgisel ve elle gerçekleştirilen işlemlerden kural tabanlı, parametrik ve otonom sistemlere doğru belirgin bir kayış sergilemiştir. Bu süreçte üretken sanat kavramı, sanat ve tasarım dünyasında önemli bir kuramsal çerçeve olarak öne çıkmaktadır. Philip Galanter (2003), üretken sanatı "sanatçının belirli bir özerklik derecesiyle devreye soktuğu bir süreci ya da sistemi tasarladığı ve bu sürecin tamamlanmış bir sanat eserine katkıda bulunduğu ya da onu ortaya çıkardığı her tür sanat pratiği" olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, tasarımcının doğrudan üretim eyleminden sistemin tasarımcısı konumuna geçişini kavramsal ve estetik bir konum kayması olarak çerçeveler. Galanter'in bu yaklaşımı, algoritmik biçim üretiminin özgün estetik değer taşıyıp taşıyamayacağı sorusunu doğrudan gündeme taşımaktadır (Galanter, 2016). Bu tartışmanın derinleştirilmesi için yöntemin kendisine, yani görsel çıktılarının sistematik biçimde okunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Görsel analiz yöntemi, grafik tasarımın temel değerlendirme araçlarından biri olarak bu boşluğu doldurmaktadır. Dondis'in (1973) seminal çalışmasından itibaren görsel okuryazarlık ve görsel sözdizimi üzerine geliştirilen kuramsal çerçeveler, biçim, ritim, hiyerarşi ve yüzey örgütlenmesi gibi görsel ilkelerin analitik değerlendirme ölçütleri olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada söz konusu dört ölçüt, Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarımıdaki uygulamalarını değerlendirmek için sistematik bir çözümleme çerçevesi oluşturmaktadır.

Grafik tasarım pratiğinde prosedürel yaklaşımların giderek yaygınlaşması, tasarımın biçimsel ve kavramsal boyutlarında köklü değişimlere yol açmaktadır. Prosedürel modelleme, belirli kurallar ve algoritmalar çerçevesinde 3B model ve doku üretimini otomatikleştiren bir bilgisayar grafikleri tekniği olarak tanımlanabilir. Maya, Blender, Houdini ve Cinema 4D gibi 3B modelleme yazılımları, bu teknik olanakları grafik tasarım pratiğiyle buluşturan başlıca üretim platformları haline gelmiştir. Özellikle Houdini'nin node tabanlı prosedürel iş akışı, Blender'ın Geometry Nodes sistemi ve Cinema 4D'nin MoGraph araç seti, algoritmik biçim üretimini hem esnek hem de görsel programlama mantığıyla erişilebilir kılmaktadır (Maxon, 2016; Blender Documentation, 2024). Bütün bu yazılımlarda Voronoi tabanlı biçim üretimi, teknik bir fonksiyon olmasının dışında estetik kararların parametrik düzeyde verildiği ve anlamlı biçimsel çıktılarının sistematik olarak üretildiği bir tasarım pratiği olarak konumlanmaktadır.

Voronoi mozaikleemesi matematiksel bir bölüntüleme yöntemi olmasının yanı sıra doğanın kendi içsel işleyişinde sıkça başvurduğu bir örüntü sistemi olarak dikkat çekmektedir. 1908 yılında Rus matematikçi Georgy Voronoy tarafından biçimsel olarak tanımlanan bu bölüntüleme yöntemi, bir düzlemdeki ya da uzaydaki noktalara göre en kısa mesafe ilişkisine dayanarak o uzayı hücresele bölgelere ayırmaktadır (Okabe vd., 2000). Arı peteklerinin altgen hücre düzeni, zürafa derisinin çokgen lekeleri, yaprak damarlanma sistemleri, kemik mikroyapısının trabeküler ağı, kurumuş çamur yüzeyindeki çatlak ağları ve soğuyan bazalt sütunları bu örüntünün biyolojik ve fiziksel tezahürleri arasında sayılabilir (Stevens, 1974).

Doğadaki bu yaygınlık, Voronoi geometrisinin rastlantısal bir görünüm zenginliği olmaktan öte, enerji ve alan kullanımını optimize etme eğiliminin geometrik bir yansıması olduğunu ortaya koymaktadır (Okabe vd., 2000; Bellelli, 2018). Tasarım ve mimarlık alanlarında Voronoi yapılarına duyulan ilgi, özellikle parametrik tasarım araçlarının yaygınlaşmasıyla birlikte belirgin biçimde artmıştır. Mimarlık alanındaki araştırmalar, Voronoi diyagramlarının “doğanın kendi içinde en az malzeme ve en az enerjiyle gerçekleştirdiği yapısal oluşumun stokastik bir örüntüsü” olduğunu ortaya koymakta ve bu nedenle biyomimetik bir tasarım kaynağı olarak giderek daha yaygın kullanıldığını vurgulamaktadır (Polat ve Polat, 2022). 3B grafik tasarım bağlamında Voronoi yapılarının kullanımı, iki boyutlu uygulamalardan niteliksel olarak ayrılmaktadır. İki boyutlu tasarımda yüzey deseni ve alan bölüntüleme işlevi gören Voronoi geometrisi, üç boyutlu uzaya taşındığında hacimsel yapı, derinlik ilişkisi, ışık-gölge etkileşimi ve dinamik görünüş açısı değişimi boyutlarını kazanmakta; bu da söz konusu yapıları çok katmanlı bir görsel zenginlik ve hareket duygusu katmaktadır. 3B ortamlarda Voronoi tabanlı yüzeyler, ışık kaynağına bağlı olarak hücre kenarlarında dramatik gölgeler ve yansımalar üretmekte; nesnenin iç yapısını ve dış görünüşünü aynı geometrik dil içinde bütünleştirmektedir. Bu özellik, Voronoi geometrisini grafik tasarımda yalnızca dekoratif bir katman olmaktan çıkararak biçimin kendisiyle organik biçimde bütünleşen, yapısal kimliği dönüştüren bir görsel dil sistemine dönüştürmektedir.

Boden’in (2004) yaratıcı zihin üzerine geliştirdiği kuramsal çerçeveden hareketle, algoritmik sistemlerin kavramsal uzayda yeni olanaklar açabildiği ileri sürülebilir. Bu bağlamda Voronoi mozaikleme hem üretken sanatın kuramsal zemininde hem de pratik grafik tasarım uygulamalarında özgün bir konum işgal etmektedir. Tasarımcının doğrudan biçim üreten konumdan sistem tasarlayan ve biçimi yorumlayan konuma geçişini somutlaştıran, bu geçişin estetik kazanımlarını üç boyutlu görsel dil düzeyinde ortaya koyan bir araştırma nesnesi sunmaktadır. Galanter (2003, 2016) ve Boden’in (2004) üretken yaratıcılık kuramları ile Woodbury’nin (2010) parametrik tasarım yaklaşımı, bu özgün konumu kuramsal olarak çerçevelemektedir.

Tasarımcının değişen rolü bu bağlamda salt bir iş akışı değişikliğini değil; grafik tasarım pratiğinin epistemolojik temellerindeki köklü bir dönüşümü yansıtmaktadır. Slanted Publishers’ın (2023) parametrik grafik tasarım üzerine hazırladığı kapsamlı derlemede de vurgulandığı gibi, dijital araçlar ve algoritmik sistemler artık tasarım sürecinin kendisini biçimlendirmektedir. Bu gelişme, tasarımcının rolünü her ayrıntıyı tek tek oluşturan bireyden, tasarımın içinden filizlendiği çerçeveyi tasarlayan bir sürece dönüştürmektedir. Bu bağlamda Voronoi mozaikleme, söz konusu dönüşümü metodolojik ve estetik açıdan somutlaştıran özgün bir örnek sunar. Grafik tasarım pratiğindeki bu dönüşümün nesnesini oluşturan Voronoi geometrisinin 3B uygulamalarına ilişkin görsel çözümleme, literatürde henüz sistematik biçimde ele alınmamıştır. Mimarların ve mühendislerin bu geometriyi yoğun biçimde araştırdığı, ancak görsel iletişim tasarımına özgü estetik ve söylemsel boyutlarının incelenmediği görülmektedir (Şenkal Sezer, 2016; Polat ve Polat, 2022; Okabe vd., 2000). Bu eksikliği gidermek üzere bu araştırmada, Voronoi mozaiklemeinin 3B grafik tasarım pratiğinde özgün bir görsel dil ve estetik söylem üretilip üretemeyeceği, görsel analiz yöntemiyle araştırılmaktadır. Bu amaçla araştırmanın devamında algoritmik estetik ve görsel dil kavramlarına ilişkin kuramsal çerçeve ele alınmakta; ardından Voronoi yapılarının doğadaki ve tasarım tarihindeki yeri değerlendirilmekte, son olarak afiş tasarımı, ambalaj görselleştirmesi ve hareketli grafik alanlarındaki özgün uygulamalar görsel analiz ölçütlerine göre çözümlenmektedir.

Literatür

Algoritmik Estetik ve Üretken Tasarım Kuramı

Algoritmik estetik, sanat ve tasarım üretiminde belirli kurallar, matematiksel formüller ve otonom sistemler aracılığıyla biçim üretme pratiğini ve bu pratiğin yarattığı estetik deneyimi konu alan bir araştırma alanı olarak, 1960’lı yıllarda bilgisayar destekli ilk sanat denemelerinin yaşandığı dönemden itibaren birikimli bir literatür oluşturmuştur. Bu literatürün temel taşlarından birini oluşturan Galanter (2003), üretken sanatın tarihinin

bilgisayarların icadından çok daha öncesine, İslam dünyasının döşeme sanatlarına ve M. C. Escher'in düzlemsel bölüntülemelerine dek uzandığını göstererek algoritmik düşüncenin evrensel ve tarihsel bir boyut taşıdığını ortaya koymuştur. Galanter'in karmaşıklık kuramını estetik bağlamda ele aldığı bu çerçevede, sistemler 'son derece düzenli' ve 'son derece düzensiz' arasında bir devamlılık üzerinde konumlanmakta; estetik açıdan en ilgi çekici üretimlerin bu spektrumun ortasında, yani hem düzen hem kaos içeren karmaşık sistemlerde ortaya çıktığı savunulmaktadır. Bu sav, Voronoi mozaiklemeinin estetik konumu açısından doğrudan bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Voronoi yapıları, tam anlamıyla düzenli de tam anlamıyla rastlantısal da olmayan, düzenin ve belirsizliğin bir arada yaşadığı karmaşık bir biçim sistemi olarak bu spektrumun estetik açıdan en verimli bölgesine denk düşmektedir. Galanter (2016) bu kuramsal çerçeveyi genişlettiği sonraki çalışmasında, üretken sanatın temel sorularını şöyle tanımlar: Özerklik ile tasarımcı kontrolü arasındaki denge nasıl kurulacaktır? Sistemin çıktısı özgün olarak değerlendirilebilir mi? Süreç mi yoksa ürün mü önem taşımaktadır? Bu sorular, Voronoi mozaiklemeinin 3B grafik tasarıma uygulanması bağlamında da doğrudan geçerliliğini korumakta; tasarımcının Voronoi parametrelerini belirlemesi ile sistemin bu parametreler çerçevesinde kendi kendine ürettiği biçimsel çeşitlilik arasındaki gerilim, tam da bu soruların pratik bir sınanma alanına dönüşmektedir.

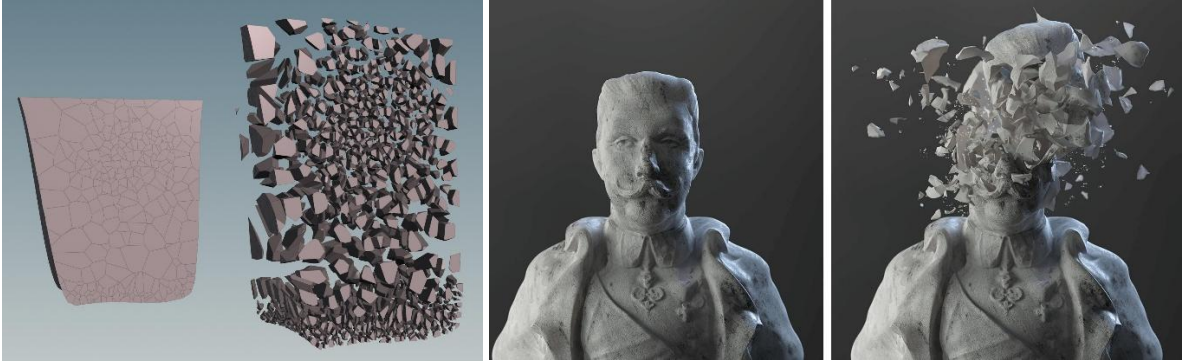
Margaret Boden (2004), yaratıcı zihin üzerine geliştirdiği kapsamlı kuramsal çalışmasında bilgisayar destekli üretimin birleştirici yaratıcılık (var olan kavramları yeni biçimlerde bir araya getirme), araştırmacı yaratıcılık (mevcut kavramsal uzayı sistematik biçimde keşfetme) ve dönüştürücü yaratıcılık (kavramsal uzayın sınırlarını genişletme) olarak üç tür yaratıcılık biçiminden birini ya da birkaçını destekleyebildiğini ileri sürmektedir. Voronoi mozaiklemeinin 3B grafik tasarımıdaki kullanımı, bu üç düzlem arasında zengin bir geçişkenlik sergilemektedir. Voronoi parametrelerinin farklı tasarım problemlerine uyarlanması araştırmacı yaratıcılığı, 3B uzayın yeni estetik boyutlarını açığa çıkarması ise dönüştürücü yaratıcılığı örneklemektedir. McCormack ve arkadaşları (2014), üretken bilgisayar sanatı üzerine yürüttükleri kapsamlı sorgulamada söz konusu alanın on temel sorusunu çerçevelerken, tasarımcının özerklik derecesinin belirlenmesi meselesi ile üretilen biçimlerin otantikliği sorununu öne çıkarmaktadır. Bu sorular, algoritmik biçim üretiminin özgün bir estetik söylem kaynağına dönüşüp dönüşmeyeceğini araştıran bu çalışmanın da temel konularını oluşturmaktadır. Nitekim üretken sanat, Galanter'in (2003, 2016) de altını çizdiği üzere, tasarımcının sistemi tasarlaması ile sistemin kendi işleyişinde ortaya çıkan beklenmedik güzellik arasındaki ilişkinin yarattığı üretici bir gerilimle var olmaktadır.

Prosedürel Modelleme ve 3B Tasarım Pratiği

Prosedürel modelleme, "belirli kural setleri aracılığıyla 3B model ve dokular oluşturmaya yönelik bilgisayar grafik tekniklerinin genel çatı kavramı" olarak tanımlanmakta; L-sistemleri, fraktallar ve generatif modellemeyi kapsayan geniş bir teknik alanı ifade etmektedir (Prusinkiewicz ve Lindenmayer, 1990). Bu teknik alanın 3B grafik tasarım pratiğiyle buluşması, son on yılda Blender, Houdini ve Cinema 4D gibi yazılımların sunduğu olanakların yaygınlaşmasıyla ivme kazanmıştır. Maxon'un (2016) Cinema 4D R18 sürümüyle tanıttığı Voronoi Fracture Object, bu geometriyi hareketli grafik ve 3B görselleştirme pratiğine sistematik biçimde taşıyan ilk endüstriyel araçlardan biri olmuştur. Kullanıcılara nesnelere Voronoi tabanlı parçalara bölme, bu parçalara ayrı malzeme özellikleri atama ve efektörlerin tam anlamıyla işlevsel olduğu dinamik bir animasyon ortamı sunmuştur. Blender'ın Geometry Nodes sistemi ise Voronoi tabanlı biçim üretimini görsel programlama mantığıyla hem daha erişilebilir hem de daha esnekletirmekte; kullanıcılar ağ tabanlı bir iş akışı aracılığıyla Voronoi hücre yoğunluğunu, boyutunu ve fraktal katmanlanmasını gerçek zamanlı olarak denetleyebilmektedir (Blender Documentation, 2024).

Woodbury (2010), parametrik tasarım üzerine kaleme aldığı kapsamlı çalışmasında tasarımcının parametrik sistemlerle ilişkisini yalnızca teknik bir beceri olarak değil; tasarımsal düşünme biçiminin köklü bir dönüşümü olarak ele almaktadır. Woodbury'ye göre parametrik modelleme, tasarımcının her ayrıntıyı elle biçimlendiren konumdan tasarım kararlarının arkasındaki mantığı ve ilişkileri kuran bir konuma geçmesini gerektirmekte; bu

geçif iŝe tasarım pratiğinin entelektüel kapsamını derinleştiren bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçeve, Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarımıdaki kullanımına doğrudan uygulanabilir niteliktedir.



Görsel 1. Voronoi Fracture (Cinema 4D-Motion Graphics)

Shiffman (2012), doğal sistemlerin kod aracılığıyla simüle edilmesine adanmış kitabında, programlama ile doğa arasındaki köprüyü estetik bir pratik olarak konumlandırmaktadır. Shiffman'ın çerçevesine göre, doğada gözlemlenen örüntülerin (fraktallar, hücresel otomatlar, sürü davranışları) algoritmik modellenmesinin doğal dünyanın matematiksel güzelliğini keşfetmenin ve yeniden üretmenin bir yoludur. Bu yaklaşım, Voronoi yapılarını 3B grafik tasarım pratiğine taşıma çabasıyla örtüşen 'doğadaki Voronoi örüntülerinin algoritmayla yeniden üretilmesi ve bu üretimin üç boyutlu uzayda estetik bir dile dönüştürülmesi' gibi bir felsefi zemin sunmaktadır. Doğadaki geometrik örüntülerin tasarıma aktarılması, biyomimikri kavramı çerçevesinde son yıllarda giderek büyüyen bir araştırma alanı oluşturmuştur. Stevens (1974), doğadaki örüntülerin matematiksel yapısını araştırdığı öncü çalışmasında, Voronoi benzeri hücresel yapıların doğada ne denli yaygın olduğunu göstermiş ve bu yapıların doğal sistemlerde alan ve enerji kullanımını optimize eden çözümler ürettiğini ortaya koymuştur.

Neri Oxman'ın MIT Mediated Matter Research Group bünyesinde yürüttüğü çalışmalar, biyomimetik tasarım ile hesaplamalı biçim üretiminin kesişiminde son derece özgün bir alan açmıştır. Oxman'ın geliştirdiği "Malzeme Ekolojisi" kavramı (Oxman ve Mediated Matter Group, 2014), doğal malzemelerin davranışından esinlenen hesaplamalı tasarım süreçlerini öne çıkarmakta ve biyomimetik yaklaşımı yüzeysel biçim taklitçiliğinden kurtararak doğanın üretim mantığını benimseme yönünde dönüştürmektedir. Biyomimetik tasarımın sanat ve tasarım alanındaki uygulamalarını konu alan güncel araştırmalar (Wang ve diğerleri, 2025), doğal geometrilerin tasarım pratiğine entegrasyonunun hem estetik hem de işlevsel kazanımlar sağladığını; biyolojik yapılardan esinlenen biçimlerin hem görsel zenginlik hem de yapısal verimlilik açısından özgün değerler ürettiğini ortaya koymaktadır.

Afiş Tasarımı, Ambalaj ve Hareketli Grafik Alanlarında 3B Yaklaşımlar

Afiş tasarımı, grafik tasarım tarihinin en köklü uygulama biçimlerinden biri olarak iletişimsel etkililik ile estetik değeri bütünleştirme zorunluluğu taşımaktadır. Bu alandaki güncel araştırmalar, üç boyutlu görselleştirme tekniklerinin afiş tasarımının anlatı kapasitesini ve görsel hiyerarşi kurma olanaklarını önemli ölçüde genişlettiğini göstermektedir. Huang ve arkadaşları tarafından yürütölen ve 3B bilgisayar grafiklerinde gerçekçilik ile dışavurumculuk arasındaki estetik gerilimi araştıran çalışmada (Huang ve diğerleri, 2023), 3B tasarım ortamının derinlik, ışık ve yüzey özelliklerinin etkileşimi aracılığıyla iletişimsel bir derinlik kattığı ve bu derinliğin izleyici deneyimini hem estetik hem de kavramsal açıdan zenginleştirdiği vurgulanmaktadır.

Ambalaj tasarımı alanında görsel unsurların tüketici algısı üzerindeki etkisini araştıran sistematik incelemeler, renk, grafik ve yüzey dokusunun tüketicilerin ürün kalitesi, marka kimliği ve satın alma niyeti üzerindeki belirleyici rolünü kapsamlı biçimde belgelemiştir

(Spence, 2022). Bu arastirmaların ortak bulgusu, ambalaj yüzeyinin bilgi taşıyıcısı olarak duysal ve duygusal bir deneyim alanı olarak işlev gördüğüdür. Silayoi ve Speece'in (2007) çalışmasında geliştirilen ve sonraki arastirmalarca geniş biçimde doğrulanan çerçeve, ambalaj tasarımının görsel unsurlarının tüketici değerlendirmeleri üzerinde güçlü bir ilk izlenim yarattığını ve satın alma olasılığını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda Voronoi tabanlı 3B ambalaj tasarımlarının hem estetik çekicilik hem de algılanan kalite açısından özgün bir konumlama olanağı sunduğu düşünülebilir.

Hareketli grafik, görsel dilin zaman boyutuna yayıldığı ve hareketin anlam üretiminin ayrılmaz bir parçasına dönüştüğü bir tasarım alanıdır. Krasner'ın (2008) hareketli grafik tasarımının tarihini ve estetiğini ele aldığı kapsamlı çalışması, bu alanı görsel iletişimin dinamik bir biçimi olarak konumlandırmakta ve temel estetik ölçütler olarak hareketi, ritmi, görsel koreografıyı ve ses-görüntü ilişkisini öne çıkarmaktadır. Fathi ve Shir'in Semantik Scholar'da erişilebilen çalışması (2014), motion grafiğın grafik tasarımın bir alt dalı olarak görsel iletişimdeki etkinliğini artıran yeni bir araç olarak ele alınması gerektiğini savunmakta ve hareketin izleyiciyle kurulan iletişimsel bağı derinleştirme kapasitesini vurgulamaktadır. Zhang ve arkadaşlarının (2025) araştırma ise 3B modelleme ve yapay zeka gibi dijital medya teknolojilerinin tasarımcılara hareket temelli görsel içerik üretiminde yeni olanaklar sunduğunu; bu teknolojilerin görsel etkiyi ve izleyici katılımını artıran araçlar olarak hızla tasarım pratiğine entegre olduğunu göstermektedir. Cook'un (2001) müzik ve görüntü arasındaki anlamsal ilişkileri araştırdığı çalışmasında öne sürüldüğü üzere, müzik hemen hemen her şeyle çağrışımsal bağlar kurabilmekte ve görüntüyle bir araya geldiğinde anlamı genişletme, dönüştürme ya da ona karşıt işlev görme kapasitesi taşımaktadır. Bu kuramsal çerçeve, Voronoi tabanlı Hareketli grafik uygulamalarında ses frekanslarına duyarlı parametrik animasyonların nasıl tasarlanabileceğini düşünmek için ilham verici bir zemin sunmaktadır.

Voronoi Mozaikleemesinin Tasarım Uygulamalarındaki Yeri

Voronoi diyagramlarının tasarım ve mimarlık pratiklerindeki kullanımına ilişkin literatür, özellikle son on yılda belirgin biçimde genişlemiştir. Ancak bu literatürün büyük bölümü mimarlık, yapı mühendisliği ve kentsel tasarım alanlarında yoğunlaşmış; grafik tasarım pratiğine özgü estetik boyutlar görece ihmal edilmiştir. Du ve arkadaşlarının (1999) yürüttüğü ve merkezsel Voronoi mozaikleemesinin uygulamalarını inceleyen çalışması, bu yapıların görüntü sıkıştırma, nicemleme (kuantizasyon) ve sayısal metodoloji gibi geniş bir alana uygulanabileceğini göstermektedir. Voronoi'nin salt geometrik bir araç olmaktan öte optimizasyon mantığını içselleştirmiş evrensel bir bölüntüleme yöntemi olduğunu ortaya koymaktadır. Okabe ve arkadaşlarının (2000) klasik başvuru kaynağı niteliğindeki çalışması ise Voronoi diyagramlarının matematiksel temellerini, uzamsal mozaikleme kavramlarını ve uygulama alanlarını kapsamlı biçimde ele almakta; bu geometrinin teorik derinliğini ve disiplinlerarası potansiyelini araştırmıştır. Wu ve arkadaşlarının (2016) görüntü güdümlü Voronoi estetik örüntülerini araştıran çalışması, hesaplamalı zekanın Voronoi sanatsal örüntü üretiminde etkili biçimde kullanılabileceğini göstermiş ve bu yaklaşımın mimarlık, mücevher tasarımı ve moda tasarımı gibi alanlarda yaygın uygulama olanaklarına sahip olduğunu vurgulamıştır. Bu kapsamlı literatür incelemesi, Voronoi mozaikleemesinin grafik tasarım pratiğine (özellikle 3B bağlamda) özgü estetik ve söylemsel boyutlarının araştırılmadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Yöntem

Araştırmanın Deseni ve Yaklaşımı

Bu çalışma, Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarım bağlamında özgün bir görsel dil ve estetik söylem üretip üretmeyeceği sorusuna yanıt aramaktadır. Bu soruya yanıt verebilmek için çalışmada nitel araştırma geleneğine dayanan ve sanat ile tasarım alanlarında giderek daha yaygın biçimde benimsenen uygulamalı araştırma (practice-based research) yaklaşımı benimsenmiştir. Uygulamalı araştırma, bilginin salt sözel ya da sayısal ifadenin ötesinde,

yapılan iş aracılığıyla üretildiğini kabul eden bir araştırma ontolojisidir. Bu yaklaşımda tasarım ürünleri araştırmanın hem yöntemi hem de bulgusu konumundadır (Sullivan, 2010). Uygulamalı araştırma yaklaşımı içinde birincil veri toplama ve çözümlene tekniği olarak görsel analiz yöntemi benimsenmiştir. Görsel analiz, belirli görsel ilkelerin ve ölçütlerin görsel çöktürlere sistematik biçimde uygulanmasını içeren nitel bir değerlendirme yöntemidir. Bu yöntem, grafik tasarım araştırmalarında biçimsel incelemenin temel aracı olarak yerleşik bir konuma sahiptir ve görsel dilin nasıl işlediğini anlamaya yönelik çalışmalarda tercih edilen analitik yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Dondis, 1973; Lupton ve Phillips, 2015).

Grafik tasarımın kuramsal temellerinde görsel dil kavramı, tasarımın iletişim kapasitesini belirleyen biçimsel unsurların ve ilkelerin sistematik olarak ele alınmasını ifade etmektedir. Bu alandaki en etkili çalışmalardan biri olan Dondis (1973), görsel okuryazarlık kavramını dil okuryazarlığına analoglamış ve görsel mesajların anlaşılması ile üretilmesinin de sözdizimsel ve anlamsal boyutları olan öğrenilebilir bir yetkinlik gerektirdiğini savunmuştur. Dondis'e göre biçim, ton, renk, yön, doku, ölçek, boyut ve hareket, görsel iletişimin temel sözdizimsel birimlerini oluşturmakta; bu birimlerin belirli ilkeler çerçevesinde bir araya gelmesi görsel bir mesaj oluşturmaktadır. Bu çerçeve, çalışmada benimsenen biçim, ritim, hiyerarşi ve yüzey örgütlenmesi olarak dört görsel analiz ölçütünün kuramsal zeminini doğrudan beslemektedir. Görsel analiz, bu çalışmada dört temel görsel ilke ekseninde yapılandırılmıştır. Bu ilkeler literatür taraması aşamasında Dondis'in (1973) görsel okuryazarlık kuramından, Lupton ve Phillips'in (2015) güncel grafik tasarım sözdizimi çalışmasından 3B grafik tasarımın kendine özgü boyutsal olanakları göz önüne alınarak uyarlanmıştır. Söz konusu dört ölçüt aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Biçim: Voronoi hücrelerinin bireysel ve bütünsel geometrik nitelikleri; hücre sınırlarının düzenlilik ya da düzensizlik derecesi, köşe geometrisi, kenar keskinliği ve hücre morfolojisinin genel karakteri bu ölçüt kapsamında değerlendirilmektedir. 3B bağlamda biçim, plan görünümünün yanı sıra üç boyutlu uzamda hacimsel yapıyı, çıkıntı ve girintilerin derinlik ilişkisini ve bakış açısına bağlı görünüş değişimlerini de kapsamaktadır. Bu boyut, Voronoi mozaikleemesinin 2B uygulamalarından niteliksel olarak ayrıldığı temel noktayı ve 3B grafik tasarıma özgü estetik kazanımların başlıca kaynağını oluşturmaktadır.

Ritim: Hücrelerin yüzey ya da hacim üzerindeki tekrar, değişim ve akış örüntüsü bu ölçüt çerçevesinde ele alınmaktadır. Voronoi yapılarında ritim, düzenli bir tekrara değil; biyolojik sistemlerdeki organik tekrara benzeyen, belirli bir beklenti kuran ancak bu beklentiyi hafifçe kıran bir düzensiz düzenliliğe karşılık gelmektedir. 3B görselleştirmede ritim, ayrıca ışık ve gölgenin hücre kenarlarında oluşturduğu dinamik ton değişimleri ve hareket ya da animasyon durumunda zaman içinde ortaya çıkan düzenli dönüşümler aracılığıyla da tezahür etmektedir.

Hiyerarşi: Görsel ağırlık, büyüklük, yoğunluk ve konum ilişkileri aracılığıyla oluşturulan odak noktaları ile ikincil alanlar arasındaki hiyerarşik düzenlenme bu ölçüt kapsamında değerlendirilmektedir. Voronoi hücrelerinin parametrik olarak boyutlandırılması ve yoğunlaştırılması, tasarımın görsel merkezini ve çevresel alanlarını organik biçimde kurgulamaya olanak tanımaktadır. Hiyerarşi ölçütü, özellikle afiş tasarımı ve ambalaj görselleştirmesi uygulamalarında iletişimsel öncelik sırasının nasıl oluşturulduğunu değerlendirmek açısından belirleyici bir işlev üstlenmektedir.

Yüzey örgütlenmesi: Voronoi yapısının tasarım yüzeyinde ya da hacimsel formunda alan bölüntülenme ve örgütlenme biçimi; yüzeyin aktif ile pasif alanlar, odak ile dinginlik bölgeleri arasındaki gerilim ve özellikle 3B render ortamında malzeme özellikleri, ışık-gölge etkileşimi ve doku görünümünün yüzey deneyimini nasıl biçimlendirdiği bu ölçüt çerçevesinde incelenmektedir. Yüzey örgütlenmesi, Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarıma en doğrudan katkı sunduğu alanlardan birini oluşturmakta; nesnenin dış görünüşü ile iç yapısını aynı geometrik dil içinde bütünlüştirme kapasitesi sayesinde form ile yüzey arasındaki geleneksel ayrımı ortadan kaldırmaktadır.

Tasarim Deneyi Sureci

Çalışmanın özgün katkısı, yukarıda tanımlanan dört ölçütün Voronoi tabanlı 3B tasarım uygulamalarına sistematik biçimde uygulandığı bir tasarım deneyi aracılığıyla somutlaştırılmıştır. Tasarım deneyi, araştırmacının hem tasarım problemini hem de bu probleme yönelik Voronoi tabanlı çözümü bizzat geliştirdiği ve ürettiği, ardından ortaya çıkan görsel çıktıları tanımlı ölçütler çerçevesinde çözümlediği uygulamalı bir süreç olarak kurgulanmıştır. Üretim süreci afiş tasarımı, ambalaj görselleştirmesi ve Hareketli grafik olarak üç uygulama alanını da kapsamaktadır. Bu çeşitlilik, Voronoi mozaikleemesinin görsel dil oluşturma kapasitesinin farklı bağlamsal koşullar altında sınanmasını ve elde edilen bulguların genellenebilirliğinin artırılmasını sağlamaktadır.

Her uygulama alanı için süreç şu aşamalar çerçevesinde yürütülmüştür:

- Tasarım probleminin ve kavramsal çerçevenin tanımlanması;
- Voronoi parametrelerinin -hücre yoğunluğu, boyut dağılımı, düzensizlik derecesi, fraktal Katmanlanma ve 3B derinlik ilişkisi- tasarım problemine uygun biçimde ayarlanması;
- 3B render ortamında üretim ve malzeme, ışık ile kamera değişkenlerinin belirlenmesi
- Elde edilen görsel çıktıların dört ölçüt ekseninde analiz edilmesi.

Analiz

Bu bölümde Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarım pratiğindeki görsel dil oluşturma kapasitesi, yöntem bölümünde tanımlanan biçim, ritim, hiyerarşi ve yüzey örgütlenmesi olacak şekilde dört ölçüt aracılığıyla sistematik biçimde çözümlenmektedir. Çözümleme üç katmanda ilerlemektedir. Önce her ölçütün uygulama öncesi kuramsal çerçevesi sunulmakta, ardından afiş tasarımı, ambalaj görselleştirmesi ve Hareketli grafik alanlarındaki tasarım deneyi çıktıları bu ölçütler ekseninde ayrıntılı biçimde incelenmekte, son olarak her ölçütün üç uygulama alanındaki görünümü karşılaştırmalı tablolar aracılığıyla bütünleştirici bir perspektife kavuşturulmaktadır. Bu yapı, hem tek tek uygulamaların derinlemesine anlaşılmasını hem de ölçütler arası ilişkilerin ve Voronoi'nin görsel dil oluşturma kapasitesinin bütüncül olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Görsel Analiz Ölçütleri: Kavramsal Çerçeve

Voronoi mozaikleemesinin görsel analizi, dört temel ölçüt etrafında yapılandırılmıştır. Bu ölçütler, Dondis'in (1973) görsel okuryazarlık kuramından, Lupton ve Phillips'in (2015) grafik tasarım sözdizimi çalışmasından 3B grafik tasarımın kendine özgü boyutsal olanakları gözetilerek uyarlanmıştır. Aşağıdaki tablo, her ölçütün tanımını, 3B bağlamda kazandığı özgün boyutu ve görsel çözümleme sürecinde yanıt aranacak temel soruyu bir arada sunmaktadır.

Tablo 1. Voronoi Mozaikleemesi İçin Görsel Analiz Ölçütleri Çerçevesi

Ölçüt	Tanım ve Kapsam	3B Bağlamda Özgün Boyutu	Değerlendirme Sorusu
Biçim	Voronoi hücrelerinin bireysel ve bütünsel geometrik nitelikleri; köşe geometrisi, kenar keskinliği, hücre sınırlarının düzenlilik/düzensizlik derecesi ve morfolojik karakter.	Yalnızca plan görünümü değil; hacimsel yapı, çıkıntı-girinti derinliği, bakış açısına bağlı görünüş değişimi ve ışıkla aktive olan yüzey profili.	Hücreler tanımlanabilir ve tutarlı bir biçim dili oluşturuyor mu? 3B derinlik biçimsel özgünlüğü artırıyor mu?
Ritim	Hücrelerin yüzey ya da hacim üzerindeki tekrar, değişim ve akış örüntüsü; düzenli olmayan ancak öngörülebilir bir ritmik ilişki.	Işık-gölge dinamiklerinin oluşturduğu tonal ritim; animasyon durumunda zamansal ritim; izleyici gözünün yüzey üzerindeki hareketini yönlendiren derinlik ritmi.	Voronoi hücreleri izleyicide tutarlı bir ritim duygusu yaratıyor mu? Bu ritim mekanik mi yoksa organik mi?
Hiyerarşi	Görsel ağırlık, büyüklük, yoğunluk ve konum ilişkileri aracılığıyla kurulan odak noktaları ile ikincil alanlar arasındaki düzenlenme.	Parametrik yoğunluk gradyanlarının üç boyutlu uzayda hacimsel bir odak hiyerarşisi oluşturması; ön plan-arka plan derinliğiyle kesişen hücre boyutu farklılaşması.	Tasarımda görsel merkez ve öncelik sırasını Voronoi geometrisi organik biçimde kurabiliyor mu?

Ölçüt	Tanım ve Kapsam	3B Bağlamda Özgün Boyutu	Değerlendirme Sorusu
Yüzey Örgütlenmesi	Voronoi yapısının tasarım yüzeyinde alan bölüntülenme ve örgütlenme biçimi; aktif ile pasif alanlar arasındaki gerilim.	Malzeme özellikleri (mat/parlak/metalik), fiziksel tabanlı render ve doku görünümünün yüzey deneyimini biçimlendirmesi; form ile yüzey kimliğinin aynı geometrik dilde bütünleşmesi.	Voronoi yüzeyi dekoratif bir katman mı yoksa formun yapısal kimliğinin ayrılmaz parçası mı?

Tablo 1.'de görüldüğü üzere, dört ölçüt birbirinden bağımsız kategoriler olarak değil; birbiriyle hiyerarşik ve dinamik ilişkiler kuran bir görsel dil sistemi olarak işlemektedir. Biçim, diğer tüm ölçütlerin üzerine inşa edildiği temel yapısal birimleri sağlarken; ritim bu birimlerin zaman içinde ve uzayda nasıl dağıldığını; hiyerarşi bu dağılımın iletişimsel bir öncelik düzeni oluşturup oluşturmadığını; yüzey örgütlenmesi ise biçim-doku-malzeme bütünleşmesinin derecesini ifade etmektedir. Voronoi'nin 3B bağlamdaki özgün katkısı, her ölçütte iki boyutlu karşılığının ötesine geçen hacimsel biçim, tonal ritim, derinlik hiyerarşisi ve form-yüzey bütünleşmesi gibi yeni estetik boyutlar açmasında yatmaktadır.

Uygulama Analizi I: Afiş Tasarımı

Afiş tasarımı, görsel hiyerarşi ve alan örgütlenmesinin kritik rol oynadığı en köklü grafik tasarım alanlarından biridir. Geleneksel afiş tasarımında bu örgütlenme genellikle ızgara sistemleri, tipografik hiyerarşi ve renk kontrastı üzerinden kurulmaktadır. Voronoi tabanlı 3B afiş tasarımı uygulamasında ise bu üç geleneksel araçtan vazgeçilmeksizin, ızgaranın yerini alan organik bir alan bölüntülenme mantığı devreye sokulmuştur.



Görsel 2. Voronoi Tabanlı 3B Afiş Tasarımı Örneği

Biçim Analizi

Afişteki Voronoi hücreleri ne tam düzenli ne de tamamen rastlantısaldır. Galanter'in (2003) karmaşık sistem estetiğindeki ara konumu somutlaştıran organik çokgenler olarak yüzeyi kaplamaktadır. Hücreler kapalı ve bütünlüklü birimler olarak algılanmakta, ancak koleksiyonun bütünü herhangi bir yapay döşeme örüntüsüne benzememekte; doğal bir hücrenel dokuya sahip özgün bir biçim dili kurmaktadır. Bununla birlikte tasarım 2B düzlemde kaldığından hücreler yalnızca düzlemsel çokgenler olarak işlev görmektedir. Makalenin analiz çerçevesinde vurgulandığı üzere, aynı geometri 3B render ortamına taşındığında -hücre

kenarlarındaki kabartma farkları, çıkıntı ve girintilerin derinlik ilişkisi, ışığın yüzey profilini aktive etmesiyle- biçim salt bir alan bölüntüleyiciden plastik ve hacimsel bir ifadeye dönüşecekti (Lupton ve Phillips, 2015). Bu afiş tam da bu dönüşümün eşiğini, yani 2B Voronoi biçiminin potansiyelini ve 3B'nin açacağı mesafeyi aynı anda görünür kılmaktadır.

Ritim Analizi

Afişteki ritim iki çatışan katmandan doğmaktadır. Turkuaz Voronoi hücreleri büyükten küçüğe değişen boyutlarıyla yavaşlayan ve hızlanan organik bir tempo kurmaktadır. Stevens'in (1974) doğadaki Voronoi yapıları için betimlediği düzensiz düzenliliğin görsel karşılığı olarak görülmektedir. Kırmızı çizgi ve yazılar ise bu tempoya karşı-ritim bindirerek gerilim yaratmakta, ancak hücrenel akışı bozmamaktadır. 2B düzlemde işlevsel olan bu ritim, 3B render ortamına taşındığında hücre kenarlarındaki ışık-gölge değişimleriyle hacimsel bir derinlik de kazanacak; yüzeysel değil forma içkin bir tempo üretecekti (Lupton ve Phillips, 2015). Bu fark, makalenin 3B bağlamın niteliksel estetik sıçramasına ilişkin temel tezini doğrulamaktadır.

Hiyerarşi Analizi

Afişte görsel hiyerarşi üç katmanda kendini göstermektedir. Birinci katmanda, koyu lacivert arka plan üzerinde büyük ve belirgin biçimde konumlanan turkuaz Voronoi hücreleri birincil görsel odağı oluşturmaktadır. Bu hücreler, Okabe ve arkadaşlarının (2000) tanımladığı Voronoi mantığını doğrular nitelikte; büyük hücreler yüzeyin sakin alanlarını işaret ederken merkezde yoğunlaşan daha küçük ve düzensiz hücreler gözü ie çekmektedir. İkinci katmanda kırmızı organik çizgiler ve metin unsurları yer almaktadır. Bu çizgiler hem anatomik bir referans hem de yazıyı taşıyan yüzey olarak çalışmakta; görsel ağırlığı hücrenel geometriden kopmadan yeniden dağıtmaktadır. Cyrilce yazılar ise hiyerarşide üçüncü sıraya konumlanmış; önce biçim, sonra yazı okunmaktadır. Voronoi geometrisi burada geleneksel tipografik araçlarla değil parametrik yoğunluk farkıyla hiyerarşi kurmaktadır. Ancak bu tasarım iki boyutlu kalmaktadır; makalenin savunduğu 3B bağlamda Blender ya da Cinema 4D ortamına taşınması, hücre derinliği ve ışık-gölge etkileşimiyle bu hiyerarşik katmanları çok daha güçlü ve ayrışık biçimde ortaya çıkarırdı (Lupton ve Phillips, 2015).

Yüzey Örgütlenmesi Analizi

Afişte yüzey üç katmanın üst üste binmesiyle örgütlenmektedir: lacivert zemin, turkuaz Voronoi hücreleri ve kırmızı çizgi-yazı katmanı. Voronoi hücreleri yüzeyi edilgen bir arka plan olarak değil; alanı aktif ve pasif bölgelere bölen yapısal bir dil olarak işletmektedir. Büyük hücreler görsel nefes alanı, küçük ve sıkışık olanlar ise yoğunluk odakları işlevi görmektedir. Ancak bu örgütlenme 2B düzlemde kaldığı için yüzey ile form arasındaki ayırım korunmaktadır. Voronoi bir doku olarak uygulanmış, nesnenin kimliğiyle bütünleşmemiştir. Bu afiş, söz konusu bütünleşmenin henüz gerçekleşmediği ama potansiyelinin okunabildiği bir eşiık örneği olarak makalenin karşılaştırmalı analiz zeminini güçlendirmektedir.

Uygulama Analizi II: Ambalaj Görselleştirmesi

Ambalaj tasarımı, ürünü fiziksel olarak koruyan ve aynı zamanda marka kimliğini görsel düzeyde ileten çok katmanlı bir grafik tasarım alanıdır. Voronoi tabanlı 3B ambalaj görselleştirmesi uygulamasında bu çok katmanlı iletişim kapasitesi, geometrinin özün estetik olanakları aracılığıyla yeniden kurgulanmıştır.

Biçim Analizi

Ambalajın altıgen formu, Voronoi mozaikleemesinin doğadaki en bilinen tezahürü olan arı peteklerinin doğrudan biçimsel karşılığıdır. Okabe ve arkadaşlarının (2000) tanımladığı üzere, düzenli nokta dağılımından üretilen Voronoi hücreleri altıgen geometriye yakınsama eğilimi göstermektedir — bu ambalaj tam da o geometriyi biçimin kendisi olarak benimsemektedir. Hücre formu burada dekoratif bir tercih değil; yapısal bir karardır. Ambalajlar yan yana dizildiğinde aralarında boşluk bırakmadan birbirini tamamlamakta, yani Voronoi'nin alan optimizasyonu ilkesini işlevsel düzeyde de karşılamaktadır. Tek bir kutu olarak

incelendiğinde ise köşe açıları ve düzgün yüzeyler üç boyutlu bir hacim duygusu üretmekte; ışık altında her yüzey farklı bir tonal değer kazanarak biçime plastik bir derinlik katmaktadır. Makalenin analiz çerçevesinden bakıldığında bu ambalaj, Voronoi biçiminin form ile yüzey kimliğini tek bir kararda bütünleştirebildiğini somutlaştırmaktadır. Ancak geometri burada parametrik değil sabit ve tekrarlayan bir şablon olarak kullanılmıştır. 3B render ortamında Voronoi parametrelerinin dinamik biçimde ayarlanması, bu bütünleşmeyi çok daha zengin ve bağlama duyarlı bir estetik dile taşıyacaktı (Lupton ve Phillips, 2015).



Görsel 3. Voronoi Tabanlı
Ambalaj Görselleştirmesi.
Erdal, G. (2020)

Ritim Analizi

Ambalajın ritmi iki düzeyde işlemektedir. Tekil kutuda altıgen yüzeylerin köşeden köşeye geçişi düzenli ve öngörülebilir bir tempo kurmaktadır; izleyicinin gözü yüzey boyunca kesintisiz akar. Bu mekanik ve tutarlı ritim, arı peteklerinin işlevsel tekrarından miras alınan geometrik bir zorunluluktur. Çoklu dizilimde ise ritim farklı bir karakter kazanmaktadır. Sarı, kırmızı ve turuncu renk alternasyonu, aynı biçimin tekrarı üzerine renk temposunu bindirmekte; böylece tek düze olmayan, dinamik bir görsel akış üretmektedir. Ambalajlar yan yana geldiğinde her kutu hem bağımsız bir birim hem de büyük örüntünün parçası olarak eş zamanlı algılanmaktadır. Voronoi perspektifinden değerlendirildiğinde bu ritim, parametrik bir sistemden değil sabit bir şablondan üretildiği için öngörülebilirlik sınırını aşmamaktadır. Hücre boyutu ve yoğunluğunun değiştiği dinamik bir Voronoi uygulaması, bu düzenli tempoyu organik bir ritme — büyüyen, seyrelleyen, izleyiciyi yönlendiren bir akışa — dönüştürebilirdi.

Hiyerarşı Analizi

Ambalajda görsel hiyerarşı biçim değil renk ve ölçek üzerinden kurulmaktadır. Öne çıkan kırmızı ve sarı kutular arka plandakilere kıyasla daha baskın bir görsel ağırlık taşımakta; izleyicinin bakışı önce en parlak renkli kutuya, ardından diğerlerine sırayla geçmektedir. Ancak altıgen geometrinin tekdüze yapısı hiyerarşiyi zayıflatmaktadır. Tüm yüzeyler eşit büyüklükte ve aynı formda olduğundan biçim odak yaratmak yerine onu dağıtmaktadır. Logo ve ürün bilgisi küçük ve merkezi konumda kalmakta; yüzey geometrisiyle bütünleşmek yerine onun üzerine yapıştırılmış bir katman olarak durmaktadır. Makalenin analiz çerçevesinden bakıldığında bu, Voronoi'nin en güçlü katkı sunduğu noktadır. Parametrik bir Voronoi uygulamasında hücre boyutu ve yoğunluğu, marka kimliği unsurlarının konumlandığı alanlarda bilinçli biçimde değiştirilerek görsel hiyerarşı geometrinin kendi içsel mantığından üretilebilir; renk ve ölçek müdahalesine gerek kalmadan biçim kendi başına odak yaratabilirdi.

Yüzey Örgütlenmesi Analizi

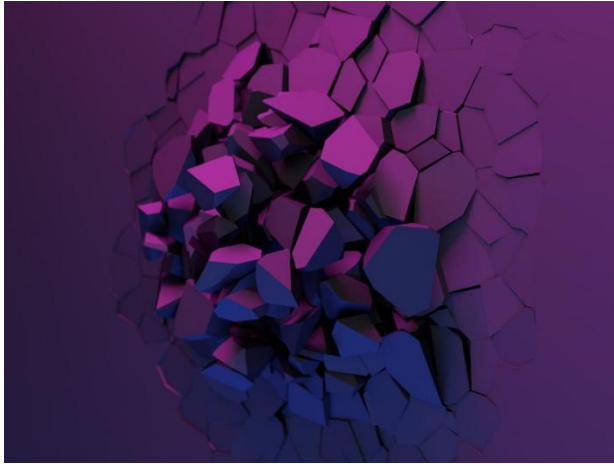
Ambalajın yüzeyi düz ve bölüntülenmemiş tek bir plan olarak işlemektedir. Altıgen form yapısal bir karar olarak güçlü dursa da yüzey bu kararın derinleştiği bir alan değil; üzerine logo ve etiket yerleştirilen nötr bir zemin olarak kalmaktadır. Voronoi'nin alan optimizasyonu

mantığı forma yansımış, ancak yüzeye taşınmamıştır. Aktif ve pasif alanlar arasındaki gerilim yalnızca renk aracılığıyla sağlanmaktadır. Şeffaf kırmızı yüzey ışığı geçirerek derinlik hissi yaratmakta, bu da yüzeye tek başına geometrinin sunamayacağı bir canlılık katmaktadır. Bununla birlikte form ile yüzey kimliği hâlâ birbirinden ayrı kalmaktadır.

Makalenin temel bulgusuna göre 3B render ortamında Voronoi hücre yapısının ambalaj yüzeyine işlenmesi yüzeyi formun kimliğinden bağımsız bir katman olmaktan çıkarır; form ve yüzey aynı geometrik dilde bütünleşir (Lupton ve Phillips, 2015). Bu ambalaj, söz konusu bütünleşmenin potansiyelini taşıdığı ancak henüz gerçekleşmediği bir örnek olarak makalenin karşılaştırmalı analiz zeminini güçlendirmektedir.

Uygulama Analizi III: Hareketli Grafik

Krasner'ın (2008) tanımladığı biçimiyle hareketli grafik, görsel iletişimi sinema estetiğiyle buluşturan ve görsel koreografinin en temel ifade aracı olduğu disiplindir. Bu bağlamda Voronoi mozaiklemesinin Hareketli grafik uygulaması, diğer iki uygulama alanına kıyasla hem en karmaşık hem de en özgün estetik olanakları barındıran deneyim alanını oluşturmuştur.



Görsel 4. Voronoi Tabanlı
Ambalaj Görselleştirme.
Erdal, G. (2020)

Biçim Analizi

Hareketli grafik uygulamasında Cinema 4D'nin Voronoi Fracture Object'i kullanılarak küresel bir formun Voronoi hücrelerine ayrılarak parçalandığı ve bu parçaların yeniden bir araya gelerek özgün formu oluşturduğu bir animasyon dizisi üretilmiştir. Parçalanma sürecinde her Voronoi hücresinin bağımsız bir fiziksel nesne olarak uzayda kendi yörüngesinde hareket etmesi, biçimsel analizin en can alıcı boyutunu gündeme getirmiştir: Parçalar hem bağımsız geometrik birimler hem de ait oldukları bütünü parçaları olarak eş zamanlı biçimde algılanmaktadır. Bu çift kimlik, Galanter'in (2003) karmaşık sistem estetiğinde tanımladığı — sistemin hem öğelerinin hem de bütünü aynı anda algılanabildiği — deneyimle örtüşen güçlü bir biçimsel sonuç üretmiştir.

Ritim Analizi

Hareketli grafik uygulamasında ritim, yalnızca görsel değil; zamansal ve işitsel bir boyut da kazanmıştır. Ses frekanslarına yanıt verecek biçimde programlanan parametrik animasyonda müziksel ritmin doruk noktalarında Voronoi hücrelerinin parçalanma yoğunluğunun artması ve sessizlik bölgelerinde hücrelerin yavaşça yeniden bütünleşmesi, görsel-işitsel bir senkronizasyon deneyimi üretmiştir. Bu deneyim, Cook'un (2001) müzik-görüntü ilişkisine dair kuramıyla doğrudan örtüşmektedir: Ses ile Voronoi animasyonu bir arada çağrışımsal bir bütün oluşturmuş ve anlam ne yalnızca görüntüden ne de yalnızca sestenden değil; ikisinin birleşiminden filizlenmiştir. Hareketli grafik uygulamasının ritim boyutu, diğer iki uygulama alanından niteliksel olarak ayrılan ve yalnızca zamansal ortamda mümkün olan özgün bir estetik katman eklemiştir.

Hiyerarfi Analizi

Hareketli grafik uygulamasında hiyerarfi, zaman boyutuna yayılan dinamik bir yapıya kavuşmuştur. Animasyon dizisinin başlangıcında bütünlüklü bir form olarak algılanan nesne, parçalanma sürecinde hücre yoğunluklarının farklı anlarda farklı bölgelerde oluşturduğu odak noktaları aracılığıyla izleyicinin dikkatini anlatının belirli evresine yönlendirmiştir. Yüksek parçalanma yoğunluğunun yaşandığı anlarda nesnenin merkezine yakın bölgeler görsel ağırlık kazanmış; yeniden bütünleşme sürecinde ise bu ağırlık dağılmış ve bütünlüklü formun kendisi görsel odak haline gelmiştir. Bu akışkan ve zaman bağımlı hiyerarfi yapısı, statik afiş tasarımı ve ambalaj uygulamalarındaki sabit hiyerarşiden köklü biçimde ayrılmakta; Voronoi'nin farklı medya bağlamlarında birbirinden bağımsız estetik diller üretme kapasitesini güçlü biçimde ortaya koymaktadır.

Yüzey Örgütlenmesi Analizi

Hareketli grafik uygulamasında yüzey örgütlenmesi ölçütü, hareket ve zamanın değişkenleriyle birlikte en karmaşık çözümleme alanını oluşturmuştur. Parçalanma sürecinde nesnenin yüzeyi ile iç hacmi arasındaki geleneksel sınır ortadan kalkmış; daha önce yalnızca dış görünüşte var olan Voronoi hücreleri, nesnenin parçalanmasıyla birlikte iç yüzeylerini de açığa çıkarmıştır. Dış ve iç yüzeyler için ayrı malzeme atamaları sayesinde — dış yüzey mat, iç yüzey metalik olarak tanımlanmıştır — parçalanma anında her Voronoi parçası iki farklı malzeme kimliğini eş zamanlı sergilemiştir. Bu tasarım kararı, yüzey örgütlenmesi ölçütünün en derin potansiyelini gün yüzüne çıkarmıştır: Voronoi mozaikleme, form ile yüzeyi yalnızca görsel değil; kavramsal düzeyde de bütünleştiren bir yapısal dile dönüşmüştür.

Karşılaştırmalı Analiz: Üç Uygulama Alanında Dört Ölçüt

Üç uygulama alanında yürütülen tek tek çözümler, birikimli olarak değerlendirildiğinde Voronoi mozaiklemeinin 3B grafik tasarımı nasıl bir görsel dil sistemine dönüştüğüne ilişkin kapsamlı bir tablo sunmaktadır. Aşağıdaki karşılaştırmalı tablo, dört ölçütün her bir uygulama alanındaki tezahürünü ve genel değerlendirmeyi yan yana getirmekte; hem benzerlikler hem de bağlama özgü farklılıklar bütünleşik bir perspektiften okunabilmektedir.

Tablo 2. Üç Uygulama Alanında Görsel Analiz Ölçütleri Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Ölçüt	Afiş Tasarımı	Ambalaj Görselleştirmesi	Hareketli Grafik	Genel Değerlendirme
Biçim	Hücre yoğunluğunun mesaj önceliğine göre farklılaşması; büyük hücreler görsel nefes alanı, küçük hücreler yoğun bilgi bölgesi işlevi görür.	Silindirik/prizmatik form üzerinde Voronoi'nin eğrilik takibi; köşe ve kenar geçişlerinde biçimsel süreklilik; form-doku bütünleşmesi.	Parçalanma ve yeniden bütünleşme sürecinde hücre morfolojisinin dramatik dönüşümü; statik biçimin hareketle zenginleşmesi.	Voronoi biçimi üç alanda da tanınabilir ve tutarlı; ancak her bağlamda bağımsız bir estetik karakter kazanmaktadır.
Ritim	Hücre boyutu değişiminin oluşturduğu görsel akış; izleyici gözünü merkezden kenara ya da aşağıdan yukarıya yönlendiren organik ritim.	Yüzey üzerindeki hücre tekrarının oluşturduğu sürekli ritim; ışık altında hücre kenarlarının tonal değişimi ile zenginleşen dinamik ritim.	Zamansal ritim boyutu: hücrelerin animasyon hızı, ses frekanslarına yanıt veren parametrik ritim; stroboskopik etki olanağı.	Ritim üç alanda da güçlü; Hareketli grafikte zamansal boyut ritmi en karmaşık ve özgün düzeye taşımaktadır.
Hiyerarfi	Parametrik yoğunlaşma ile afiş odak noktasının organik biçimde kurulması; başlık, görsel ve dipnot bölgelerinin Voronoi diliyle tanımlanması.	Hücre büyüklüğünün ön yüzde bilgi hiyerarşisiyle örtüşmesi; logo ve ürün adı alanının daha büyük, daha az kalabalık hücrelerle vurgulanması.	Zaman içindeki hücre dağılımının yeniden yapılanması; anlatının doruk anını işaret eden parçalanma yoğunluğu aracılığıyla oluşturulan dinamik hiyerarfi.	Hiyerarfi Voronoi'nin en güçlü katma değer sunduğu ölçüt; geleneksel izgara sistemlerinden farklı ve daha organik bir örgütlenme olanağı sağlamaktadır.
Yüzey Örgütlenmesi	Afiş yüzeyinin dekoratif değil yapısal bir mantıkla bölüntülenmesi; Voronoi'nin hem arka plan	Form kimliğini yüzeyden bağımsız kılmayan bütünleşik tasarım; fiziksel tabanlı render ile malzeme-	Yüzeyin zaman içindeki parçalanma ve yeniden bütünleşmesi ile formun yüzey kimliğinin süreç boyunca dönüşmesi; nesne	Yüzey örgütlenmesi ölçütünde Voronoi mozaikleme 3B ortama özgü en belirgin katkısını sergilemekte; form-

Ölçüt	Afiş Tasarımı	Ambalaj Görselleştirme	Hareketli Grafik	Genel Değerlendirme
	dokusu hem de alan belirleyici işlevi üstlenmesi.	doku-form üçlüsünün aynı Voronoi dilinde ifadesi.	sınırlarının geçici olarak çözülmesi.	yüzey-malzeme bütünleşmesi en güçlü bulgudur.

Tablonun gösterdiği üzere, dört ölçütün en güçlü ve en çok katmanlı ifadesini Hareketli grafik uygulamasında bulduğu görülmektedir. Bu bulgu, zamanın ve hareketin görsel dili derinleştirdiğini, dolayısıyla Voronoi'nin 3B ortama taşınmasının estetik kazanımını zamansal boyutla en tam biçimde ortaya çıkardığını düşündürmektedir. Bununla birlikte afiş tasarımı uygulaması, hiyerarşi ölçütünde en doğrudan ve en pratik sonuçları üretmiş; ambalaj uygulaması ise yüzey örgütlenmesi ölçütünde en bütünleşik form-yüzey-malzeme birlikteliğini sergilemiştir. Bu çeşitlilik, Voronoi mozaikleemesinin tek bir estetik işleve indirgenemeyecek kadar çok yönlü bir görsel dil kaynağı olduğuna işaret etmektedir.

Voronoi Mozaikleemesi: Görsel Dil Değerlendirme Matrisi

Görsel bir sistemin gerçek anlamda bir dil oluşturup oluşturmadığı sorusu, yalnızca biçimsel unsurların varlığına değil; bu unsurların tutarlılık, tekrarlanabilirlik, hiyerarşik örgütlenme kapasitesi ve anlamsal yoğunluk gibi özelliklere sahip olup olmadığına bağlıdır (Dondis, 1973; Lupton ve Phillips, 2015). Bu dört kriter, literatür bölümünde kurulduğu üzere, algoritmik biçim üretiminin özgün bir görsel söylem kaynağına dönüşüp dönüşemeyeceğini değerlendirmek için anahtar ölçütler olarak tanımlanmıştır. Aşağıdaki matris, yürütülen görsel analiz bulgularını bu dört kritere göre sistemleştirmektedir.

Tablo 3. Voronoi Mozaikleemesinin Görsel Dil Ölçütlerine Göre Değerlendirme Matrisi

Görsel Dil Ölçütü	Voronoi'de Karşılık	3B Bağlamda Güçlenme	Genel Kanı
Tutarlılık	Geometrik kural setinin her uygulamada değişmezliği; hücrel örüntünün farklı ölçek ve bağlamlarda tanınabilir kalması.	Hacim, ışık ve malzeme değişkenlerine karşın geometrik tutarlılığın korunması; 3B render ortamında formla bütünleşen yüzey kimliği.	Güçlü- Voronoi parametreleri değişse de sistematik kural tutarlılığı korunmaktadır.
Tekrarlanabilirlik	Aynı kural setinin farklı tasarım problemlerine uygulanabilmesi; parametrik esneklik sayesinde bağlamla örtüşen çeşitlilik.	3B ortamda prosedürel iş akışının farklı form geometrilerine adapte edilebilmesi; Blender ve C4D'de parametrik şablonların yeniden kullanılabilirliği.	Güçlü- Prosedürel yapı tekrarlanabilirliği doğası gereği güvence altına almaktadır.
Hiyerarşik Örgütlenme	Parametrik yoğunluk gradyanları aracılığıyla görsel odak ve ikincil alanların organik biçimde tanımlanması.	Derinlik ve hacimsel farklılaşmanın hiyerarşik bilgiyi desteklemesi; ön plan/arka plan kesişiminin ek bir hiyerarşi katmanı yaratması.	Orta-güçlü- Parametrik kontrolle sağlanabilmekte, ancak bilinçli tasarım müdahalesi gerektirmektedir.
Anlamsal Yoğunluk	Doğadaki köklerin tetiklediği bilinçdışı tanıma; organik ile mekanik arasındaki gerilimin çok katmanlı anlam üretmesi.	3B render ortamının biyomorfik çağrışımları güçlendirmesi; yüzey dokusu, ışık ve malzemenin kavramsal anlam üretimini derinleştirmesi.	Güçlü Doğal kökenler ve geometrik karmaşıklık birlikte özgün bir anlam yoğunluğu üretmektedir.

Matris bütünlüklü biçimde değerlendirildiğinde, Voronoi mozaikleemesinin görsel dil oluşturma ölçütlerini karşıladığı açıkça görülmektedir. Tutarlılık ve tekrarlanabilirlik, prosedürel yapının doğası gereği güvence altında olan ölçütler olarak en güçlü sonuçları üretmiştir. Hiyerarşik örgütlenme, parametrik tasarım kararlarına bağımlı olmakla birlikte sağlandığında geleneksel araçların ötesinde organik ve bütünleşik bir görsel öncelik düzeni kurabilmektedir. Anlamsal yoğunluk ise Voronoi'nin doğadaki biyomimetik kökleri ve organik-mekanik gerilimi nedeniyle salt geometrik biçimlerin ötesine geçen çok katmanlı anlamlar üretmesini mümkün kılmaktadır. Bu dört ölçütün bütüncül olarak karşılanıyor olması, Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarımıda özgün bir görsel söylem kaynağı işlevi gördüğü tezini güçlü biçimde desteklemektedir.

Geleneksel Yaklaşımlarla Karşılaştırmalı Bağlam

Voronoi mozaikleemesinin görsel dil oluşturma kapasitesini bütüncül olarak değerlendirmek için, bu yapının geleneksel grafik tasarım yaklaşımlarına — ızgara sistemleri, modüler tasarım, fraktal geometri — kıyasla hangi açılardan özgün ve hangi açılardan tamamlayıcı nitelikler taşıdığını ele almak gerekmektedir. Izgara sistemleri, grafik tasarımıda düzen, tutarlılık ve hiyerarşi kurmanın en köklü yöntemidir. Voronoi mozaikleemesi bu işlevlerin bir kısmını üstlenebilmekte; ancak bunu matematiksel kesinlik yerine organik bir geometrik mantıkla gerçekleştirmektedir. Bu fark, sonuçların görsel niteliğini derinden etkilemektedir: Izgara sistemi, formel ve planlı bir düzen duygusu üretirken; Voronoi, doğal sistemlerin kendiliğinden örgütlenme mantığına yakın, daha akışkan ve daha az öngörülebilir bir düzen üretmektedir. Bu iki yaklaşım, birbirinin alternatifi olmaktan çok birbirini tamamlayan araçlar olarak kullanılabilir: Voronoi, ızgara sisteminin sunduğu yapısal tutarlılığı organik bir estetikle birleştirme ihtiyacı duyulan tasarım bağlamları için güçlü bir seçenek sunmaktadır.

Fraktal geometriyle karşılaştırıldığında ise Voronoi'nin önemli bir ayrışma noktası öne çıkmaktadır: Fraktallar, Galanter'in (2003) de vurguladığı üzere öz-benzerlik ilkesiyle her ölçekte aynı görsel yapıyı tekrar eden bir biçim sistemi sunarken; Voronoi, ölçek bağımsızlığı yerine kaynak noktalarının konumuna duyarlı, bağlam ile girdiyi hesaba katan esnek bir bölüntüleme sistemi sunmaktadır. Bu esneklik, Voronoi'yi fraktalların üretmeyeceği bir tasarımsal duyarlılık ve adaptasyon kapasitesiyle donatmaktadır. Analiz bulguları Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarım pratiğinde biçim, ritim, hiyerarşi ve yüzey örgütlenmesi boyutlarında özgün ve tekrarlanabilir bir estetik dil ürettiğini; bu dilin her uygulama bağlamında ayrı bir ifade zenginliği kazandığını ve bu nedenle söz konusu geometrinin grafik tasarım disiplinine salt bir araç olarak değil, özgün bir görsel söylem kaynağı olarak eklenebileceği tezini güçlü biçimde desteklediğini ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, Voronoi mozaikleemesinin 3B grafik tasarım bağlamında özgün bir görsel dil ve estetik söylem üretip üretmeyeceği sorusunu, görsel analiz yöntemi aracılığıyla sistematik biçimde araştırmıştır. Özet ve giriş bölümlerinde kurulan temel tez — algoritmik geometrinin grafik tasarım disiplinine bir araç olarak değil, özgün bir görsel söylem kaynağı olarak eklenebileceği iddiası — analiz bulgularıyla güçlü biçimde desteklenmiştir. Bu son bölümde, çalışmanın temel bulguları sentezlenmekte, kuramsal ve pratik düzeydeki katkılar değerlendirilmekte ve gelecek araştırmalar için yönelimler ortaya konmaktadır. Görsel analiz, afiş tasarımı, ambalaj görselleştirmesi ve hareketli grafik olmak üzere üç farklı uygulama alanında ve biçim, ritim, hiyerarşi ile yüzey örgütlenmesi olmak üzere dört görsel ölçüt ekseninde yürütülmüştür. Analiz sürecinde elde edilen bulgular, birbirini karşılıklı olarak besleyen üç temel sonuca işaret etmektedir.

Birinci temel sonuç, Voronoi mozaikleemesinin görsel dil oluşturma ölçütlerini — tutarlılık, tekrarlanabilirlik, hiyerarşik örgütlenme kapasitesi ve anlamsal yoğunluk — karşıladığının teyit edilmesidir. Dondis'in (1973) görsel dilin sözdizimsel ve anlamsal boyutları arasında kurduğu denge, Voronoi'nin 3B grafik tasarımıdaki uygulamalarında açık bir karşılık bulmaktadır: Hücresel geometrinin matematiksel tutarlılığı sözdizimsel boyutu güvence altına alırken, doğadaki biyomimetik kökler ve organik-mekanik gerilim anlamsal derinliği beslemektedir. Lupton ve Phillips'in (2015) görsel dilin biçim, doku, ritim ve hiyerarşiyi kapsayan kapsamlı çerçevesi aracılığıyla değerlendirildiğinde de Voronoi yapıları, tasarımcının elinde doğrudan biçim üreten bir araçtan ziyade biçimsel bir dil sistemi kuran yapısal bir kaynak olarak işlev gördüğü görülmektedir. Bu bulgu, makalenin temel tezini doğrulayan en güçlü sonuç olarak öne çıkmaktadır.

İkinci temel sonuç, Voronoi mozaikleemesinin 3B uzaya taşınmasının salt teknik bir genişleme olmadığı; aksine niteliksel bir estetik sıçramayı temsil ettiğidir. İki boyutlu uygulamalarda yüzey deseni ve alan bölüntüleme işleviyle sınırlı kalan Voronoi geometrisi, 3B render ortamında hacimsel yapı, ışık-gölge etkileşimi, malzeme duyarlılığı ve görünüş açısına bağlı dinamik görünüm değişimi boyutlarını kazanmaktadır. Bu boyutların her biri, dört görsel

analiz ölçütünün 2B karşılığının ötesine geçen yeni estetik katmanlar açmaktadır: Biçim üçüncü boyutun plastisitesiyle zenginleşmekte, ritim ışığın ton değişimiyle derinleşmekte, hiyerarşi ön plan-arka plan derinliğiyle çoğalmakta, yüzey örgütlenmesi ise form ile malzemenin aynı geometrik dilde bütünleşmesiyle en güçlü ifadesini bulmaktadır. Bu niteliksel sıçrama, Woodbury'nin (2010) parametrik tasarımın yeni biçimsel olanaklar açtığı saptamasıyla ve Galanter'in (2003, 2016) üretken sanat sistemlerinin beklenmedik estetik sonuçlar üretme kapasitesiyle birleştiğinde, Voronoi'nin 3B grafik tasarımı bir araç sınırını aşmış özgün bir estetik söylem kaynağına dönüşebilmesi için gerekli koşulların sağlandığı anlaşılmaktadır.

Üçüncü temel sonuç, Voronoi mozaikleemesinin uygulama bağlamına duyarlı birçok yönlülük sergilediğidir. Afiş tasarımında en güçlü katkısını hiyerarşi ölçütünde, ambalaj görselleştirmesinde yüzey örgütlenmesi ölçütünde, Hareketli grafikte ise ritim ve biçim ölçütlerinde ortaya koyan Voronoi geometrisi, tek bir estetik işleve indirgenemez; aksine farklı tasarımsal gereksinimlere farklı düzeylerde yanıt veren, bağlam duyarlı bir görsel dil sistemi oluşturmaktadır. Bu çok yönlülük, Boden'in (2004) yaratıcı sistemlerin araştırmacı ve dönüştürücü yaratıcılık kapasitelerine sahip olduğunu ileri sürdüğü kuramsal çerçeveye örtüşmekte; aynı algoritmanın farklı parametrik konfigürasyonlarla son derece ayrışik estetik dünyalar üretebilmesi, üretken tasarım kuramının en güçlü iddialarından birini somut biçimde teyit etmektedir.

Yazar Katkısı / Author Contribution

Yazar çalışmanın tamamından sorumludur / The author is responsible for the entire work.

Finansman ve Teşekkür / Funding and Acknowledgements

Uygulanamaz / Not applicable.

Çıkar çatışması / Disclosure statement

Yazar çıkar çatışması olmadığını belirtmiştir / The author report there are no competing interests to declare.

Etik kurul beyanı / Ethics committee declaration

Uygulanamaz / Ethics committee declaration not applicable


Yapay zeka beyanı / Artificial intelligence declaration

Üretken yapay zekâ desteği yoktur/kullanılmamıştır / No generative artificial intelligence support was used.

Veri erişilebilirliği / Availability of data

Uygulanamaz / Data sharing not applicable.

Orcid

İpek Fatma Ertan  <https://orcid.org/0000-0003-4917-6675>

Kaynakça

- Bellelli, F. (2018). *The fascinating world of Voronoi diagrams*. Medium / Towards Data Science. <https://medium.com/data-science/the-fascinating-world-of-voronoi-diagrams-da8fc700fa1b>
- Blender Documentation. (2024). *Voronoi texture node*. Blender 5.1 Manual. https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/shader_nodes/textures/voronoi.html
- Boden, M. A. (2004). *The creative mind: Myths and mechanisms* (2nd ed.). Routledge.

- Cook, N. (2001). Theorizing musical meaning. *Music Theory Spectrum*, 23(2), 170–195.
<https://doi.org/10.1525/mts.2001.23.2.170>
- Dondis, D. A. (1973). *A primer of visual literacy*. MIT Press.
- Du, Q., Faber, V. ve Gunzburger, M. (1999). Centroidal Voronoi tessellations: Applications and algorithms. *SIAM Review*, 41(4), 637–676. <https://doi.org/10.1137/S003614459935283>
- Erdal, G. (2020). Ambalaj tasarımında gestalt prensibi. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 32-39.
- Fathi M., Dare Shir, & Asadollahi M. (2014). The role of motion graphics in visual communication. *Indian Journal of Scientific Research*, 7(1), 820-824.
- Galanter, P. (2003). *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory*. Proceedings of the International Conference on Generative Art. Generative Design Lab, Milan Polytechnic. https://www.philipgalanter.com/downloads/ga2003_paper.pdf
- Galanter, P. (2016). *Generative art theory*. In C. Paul (Ed.), *A companion to digital art* (pp. 146–180). John Wiley & Sons.
- Huang, S., Cheng, S. W., Hsiu, P. C. et al. (2023). Visual aesthetics of narrative animation of 3D computer graphics: From both realist and expressive points of view. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, 23(2), 241–260. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/hasss/article/view/260646>
- Krasner, J. (2008). *Motion graphic design: Applied history and aesthetics*. Focal Press.
- Lupton, E. ve Phillips, J. C. (2015). *Graphic design: The new basics* (2nd ed.). Princeton Architectural Press.
- Maxon. (2016). *Cinema 4D R18: Voronoi fracturing* [Yazılım özellik sayfası]. <https://www.maxon.net/en/cinema-4d/features/voronoi-fracturing>
- McCormack, J., Bown, O., Dorin, A., McCabe, J., Monro, G. ve Whitelaw, M. (2014). Ten questions concerning generative computer art. *Leonardo*, 47(2), 135–141.
https://doi.org/10.1162/LEON_a_00533
- Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K. & Chiu, S. N. (2000). *Spatial tessellations: Concepts and applications of Voronoi diagrams* (2nd ed.). Wiley.
- Oxman, N. ve Mediated Matter Group. (2014). *Silk pavilion: A case study in fiber-based digital fabrication*. In Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA) (pp. 248–255).
- Polat, N. ve Polat, A. T. (2022). Voronoi diyagram uygulamaları yeni sürdürülebilir mimari dile doğru. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/367352718>
- Prusinkiewicz, P. & Lindenmayer, A. (1990). *The algorithmic beauty of plants*. Springer-Verlag.
- Shiffman, D. (2012). *The nature of code: Simulating natural systems with processing*. Self-published.
- Silayoi, P. v& Speece, M. (2007). The importance of packaging attributes: A conjoint analysis approach. *European Journal of Marketing*, 41(11–12), 1495–1517.
<https://doi.org/10.1108/03090560710821279>
- Spence, C. (2022). Visual communication via the design of food and beverage packaging. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 7, Article 42. <https://doi.org/10.1186/s41235-022-00391-9>
- Stevens, P. S. (1974). *Patterns in nature*. Little, Brown and Company.
- Slanted Publishers. (2023). *Play the system: Parametric- approaches in graphic design*. Slanted Publishers.

- Sullivan, G. (2010). *Art practice as research: Inquiry in visual arts* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Wu, X., Zhang, Q. ve Wang, Y. (2016). Image-guided Voronoi aesthetic patterns with an uncertainty algorithm based on cloud model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, Article 9837123. <https://doi.org/10.1155/2016/9837123>
- Wang, Z., Liu, H. ve diğerleri. (2025). Research on the application of biomimetic design in art and design. *Biomimetics*, 10(8), 541. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10080541>
- Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.
- Zhang, Z., Gong, Z. ve diğerleri. (2025). Visual communication design of dynamic images using digital media technology. *Heliyon*, 11(2), e41807. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41807>

Görsel Kaynakça

- Görsel 1. *Voronoi Fracture* (Cinema 4D- Motion Graphics)
- Görsel 2. *Voronoi Tabanlı 3B Afif Tasarımı Örneği*. Retrieved from <https://www.behance.net/gallery/156118663>
- Görsel 3. *Voronoi Tabanlı Ambalaj Görselleştirmesi*. Erdal, G. (2020). Ambalaj tasarımında gestalt prensibi. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 32-39.
- Görsel 4. *Voronoi Tabanlı Ambalaj Görselleştirmesi*. Erdal, G. (2020). Ambalaj tasarımında gestalt prensibi. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 32-39.