

Simetri Kavramı ve Periyodik Yüzey Tasarımları Üzerine Geçmişten Günümüze Bir Araştırma

Korcan GÜLFİDAN^{1*}, İpek FİTOZ²

Öz

Simetri çeşitli uğraşı alanları için birleştirici bir kavram, nitel ve nicel değerlere bağlı disiplinlerarası bir bağlantı yoludur. Simetri tasarlama eylemine binlerce yıldır dahildir. Geçmişte tasarımcılar simetri kullanımında astronomi, fizik, biyoloji gibi doğa bilimlerinden, matematiksel keşiflerden, felsefi metinlerden ve teolojik unsurlardan sıklıkla beslenmiştir. Bugün de pek çok çalışma alanının kesişiminde bulunan simetri kavramı, çeşitli bilim alanlarında birbirlerine paralel fakat anlam olarak özgün tanımlamalara sahiptir. Çalışmanın amacı tanımlar, teknik ifadeler ve bulguları kronolojik sırada takip ederek simetrinin periyodik yüzey tasarımı için günümüzdeki teknolojik araçlarla kullanım sınırlarını değerlendirmektir. Çalışmada simetriye ve periyodik yüzeylere dair nitel ve nicel bilgiler sunmuş bilim insanları ve düşünürlerin fikirleri değerlendirilmiş, bu düşüncelere paralel olarak mimarlık ve sanat tarihi açısından önem atfedilen döşeme örüntülerine ve simetrik yüzey konusunda örnek teşkil edebilecek eserlere yer verilmiştir. Simetrinin ve periyodikliğin tasarım kurgusunda ve üretim aşamalarında sağladığı olanaklar nedeniyle tasarruflu bir yol olduğu söylenebilir. Bu verim etkeni, algoritma destekli tasarım sürecinde simetrik dönüşümlerin hazır yöntem paketleri halinde kaydedilmesi sürecinde de görünür olmaktadır. Günümüzde geçerli olan ve matematiksel doğruluğu yakın bir dönemde ispatlanmış iki boyutlu simetri grup) çalışmada bağlayıcı bir öge olmuştur. Kesin kuramsal sınırlar belirtmesi, hem yeni örüntülerin üretilmesi sürecinde, hem de mevcut periyodik örüntüleri kimliklendirme fırsatları nedeniyle mekânsal anlamda faydalı görülmelidir. Bu kuram bilgisayar destekli tasarım ve üretken tasarım araçlarıyla kullanıma oldukça uygundur. Sayısal tasarım yoluyla birden fazla sonuç üretecek grup algoritmaları yapılandırılabilir, tarihsel simetrik döşeme örüntüleri sınıflandırılabilir ve yeni sonuç verecek farklı yöntem dizinleri geliştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Simetri, Yüzey Tasarımı, Döşeme Örüntüleri

A Research from the Past to Present On the Concept of Symmetry and Periodic Surface Design

Abstract

Symmetry is a unifying concept for various fields of interest, an interdisciplinary link based on both qualitative and quantitative values. The act of designing symmetry has been involved for thousands of years. The designer was often fed by natural sciences such as astronomy, physics, biology, mathematical discoveries, philosophical texts and theological elements while using symmetry. Today, the concept of symmetry, which is at the intersection of many fields of study, has parallel but unique definitions in various

¹ Dr, İç Mimar, İstanbul, Türkiye

*İlgili Yazar/Corresponding author: korcangulfidan@gmail.com

² Prof. Dr., Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

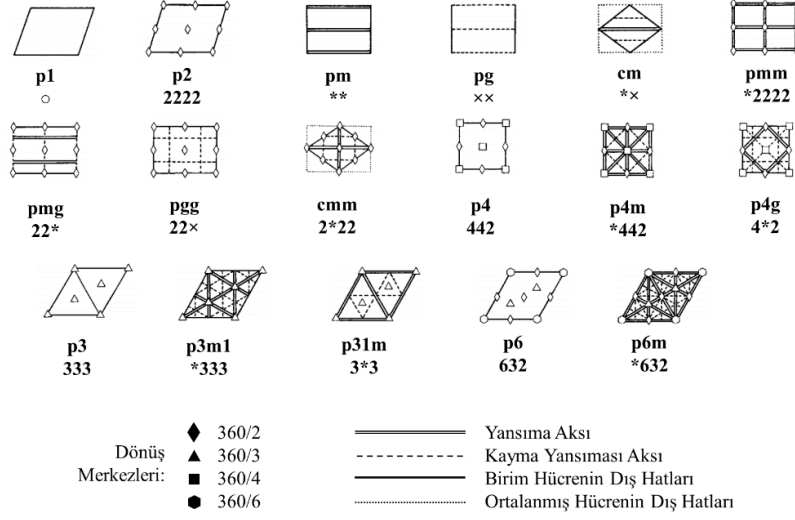
fields of science. By following definitions, technical expressions and chronological findings, the study reaches the current meaning and importance of periodic surface design. In the study, the ideas of scientists and thinkers who put forward qualitative and quantitative information on symmetry were evaluated in chronological order, and following this, floor patterns, which are important in terms of architecture and art history, and works that can set an example on symmetrical surface are included in the study.

It can be said that symmetry is a cost-effective way due to the possibilities it provides in the design setup and production stages. This efficiency factor is also visible in the process of recording symmetric transformations as ready-made method packages in the algorithm-aided design process. Two-dimensional symmetry group theory, which is valid today and has been proved mathematically recently, has been a binding element in the study. This theory is well suited for use with computer-aided design and generative design tools, because of its precise theoretical boundaries, both in the process of generating new patterns, and opportunities to identify existing periodic patterns. By means of numerical design, group algorithms that will produce more than one result can be configured, historical symmetrical tiling patterns can be classified and different method sequences can be developed to produce new results.

Keywords: Symmetry, Surface Design, Tessellations

1. Giriş

Türkçe'ye Fransızca üzerinden geçen "simetri" sözcüğü Klasik Antik Yunanca'da değerler arası ölçülebilirliğin ortak bir ifadesi olarak "summetria" ismi ve "summetrion" sıfatı şeklinde kullanılmış; Mimar Marcus Vitruvius Pollio tarafından "bir bütünün parçalarıyla ve parçaların birbirleriyle uyumu" anlamına gelen "symmetria" formatıyla Latinceleştirilmiştir (Hon & Goldstein, 2008, s.28). Tüm formatlarıyla simetri sözcüğü, Yunanca kökenli "işteşlik; ortak olma" anlamındaki bir ön ek olan "sym" ve "ölçü" anlamına gelen "metron" sözcüklerinin birleşimidir (Symmetry, 2021a). Çevrimiçi Merriam-Webster sözlüğünde simetrinin ilk tanımı "dengeli oranlar ya da dengeli oranlardan kaynaklı güzellik" şeklindedir. Üçüncü tanım için "geometrik bir figürün kendisiyle birebir örtüşmesini sağlayan dönüşümü"; dördüncü tanım için ise "belirli değişiklikler sonucu aynı kalabilme özelliği" ifadesine yer verilmiştir (Symmetry, 2021b). Sözlük tanımlarında yer aldığı ve sözcük kökeninde ima edildiği gibi simetri hem geometrik bir olgu, hem de estetik uyum ve oranla ilgili bir kavram, bir ifadedir (Hargittai ve Hargittai, 2009, s.1). Simetri terimi bir bütünün bir kısmının diğer kısımlarına ya da biçimin kendisine benzemesi durumunu tanımlar. Bir bütünlüğe ait parçaların bir ölçüde birbirini tutması ya da dengelemesi gibi sezgisel olarak kavranabilir ve ölçülebilir durumlarla ilgili kıyas belirtir. Fiziksel çevremiz çeşitli şekillerde simetri işlemleri içeren ve temas halini bırakmadığımız yapısal bir ağıdır. Simetri, tüm bir nesnenin nitel bir dengeden kaynaklanan armonik durumunu tanımlamakta ve yaygın anlamıyla, bir nesnenin çeşitli parçaları arasındaki birbirine eş olma, birbirine benzeme ve birbirini tutma durumları için kullanılmaktadır. Bununla birlikte simetri, bir nesne ya da sistemin dönüşümler karşısında gösterdiği değişmezlik ile de ilgilidir (Lederman ve Hill, 2004, s.15).



Şekil 1: Düzlemsel Gruplarda Birim Hücre Strüktürü (Liu Ve Diğ., 2010, s.27)

Şekil 1’de simetri kullanılarak düzlemsel periyodikliğin sağlanma biçimleri görülmektedir. Simetrinin türünü tanımlamak için kristalografik notasyonlar tanımlanmıştır. Birim hücre strüktürü gösteren her geometrik şablonun altında o şablonu tanımlayan iki farklı notasyon bulunmaktadır. Çalışmada ağırlıklı olarak 2008 yılında Conway ve arkadaşları tarafından tanımlanan ikinci notasyon kullanılmıştır.

Doğada bazı kristalografik sınırlar mevcuttur. İki boyutlu düzlemde simetri; ya kendi halinde bulunma durumudur ya da öteleme, yansıma, dönüş ve kayma yansıması adı verilen dönüşümlerle gerçekleşen bir hareket, bir eylemdir. Bir nokta için dönüş ve yansıma sonsuzdur. Bu dönüşümlerin simetrinin doğrultusal hareketleriyle oluşturabileceği örüntü tiplerinin sayısı ise yedi tanedir. Bunlara friz adı verilir. Düzlemsel etkinlikte ise bu dönüşümler on yedi farklı grup oluşturabilirler. Conway ve diğerlerinin (2008, s.29) “*Sihirli Kuram*” olarak da adlandırdığı duvar kâğıdı grubu, ya da diğer adlarıyla “düzlemsel simetri grubu” ya da “düzlemsel kristalografik grup”, bir takım kristalografik kısıtlamalar nedeniyle 17 adettir ve 19. yüzyılın ikinci yarısında yapılmış kapsamlı bilimsel çalışmalardan bugüne dek yeni bir grup tanımlanmamıştır. Bu 17 gruba ek olarak bir yeni grup daha tanımlamanın neden mümkün olmadığına dayalı ispatlar (Conway ve diğ., 2008, s.29) adlı çalışmada mevcuttur.

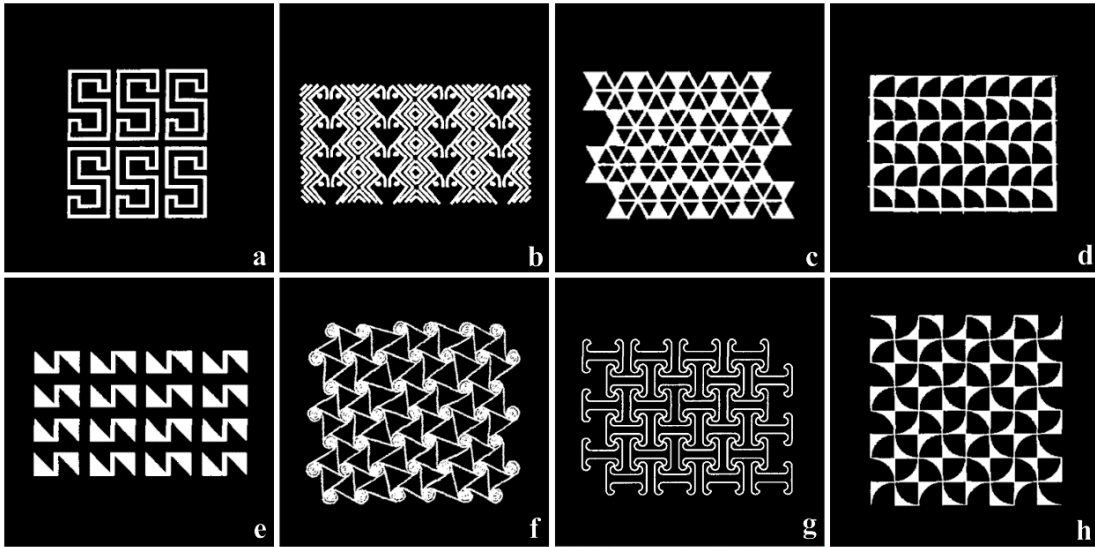
2. Simetrinin Yüzey Tasarımında Kullanımı ve Arketipler

Doğanın sayısal ve estetik istikrarını binlerce yıldır takip eden insanlar evrenin simetrisine dair gözlem ve ölçümlerini ortaya koydukları tasarımlarda Paleolitik Çağ’dan beri taklit etmiş (Jablan, 2002, s.45-50); Neolitik Çağ ile birlikte simetrinin estetik unsurlarıyla birlikte mekânsal getirilerinden de yararlanmaya başlamıştır (Hahn, 2012, s.3). Paleolitik Çağ’dan itibaren basit simetrik kombinasyonlar içeren ve arketip olarak kabul edilecek kimi tasarımsal unsurlar günümüze dek gelebilmiştir. Rozet biçimli mağara resimleri, figüratif yarı düzenli simetrik süslemeler, ilkel “*meander*” (“menderes”) figürleri, çift spiraller ve çeşitli geometrik tekrarlılıklar içeren tasarımlara Paleolitik Çağ

Avrupa, Asya ve Afrika kültürlerinde rastlanabilmektedir. Dönüş, öteleme ve yansımayı birlikte içeren “22* (pmg)” dalga formları günümüze kadar gelebilmiş en eski insan yapısı simetrik örüntü örneklerindedir (Jablan, 2002, s.105, s.296).

Yaklaşık 10000 yıl önce Tarım Devrimi ve hayvanların evcilleştirilmesi ile yerleşim yerleri kurmaya başlayan insanlar Neolitik Çağı başlatmış; doğayı gözlem yeteneklerinin ve üretim sonucu gelişmeye başlayan ticaret hareketlerinin de etkisiyle hem konuşma dilini hem de sayma ve ölçme yöntemlerini zenginleştirmeye başlamıştır. Bu gelişmeler insanlığın doğaya dair izlenimlerden estetik ve sayısal bilgiler devşirebilmesine ve doğada gözlemediği formları mekânlarında kendi mekânsal ihtiyaçları doğrultusunda daha çok yararlı kullanabilmesine olanak tanımıştır (Hahn, 2012, s.34).

Ticaret ve kozmoloji gibi etkenler nedeniyle gelişme gösteren sayma ve ölçme yöntemleri ışığında Neolitik Çağ'da yüzey örüntü tasarımları karmaşıklaşmış ve çeşitlenmiştir. Bu dönemde rozet tipi örüntülerin bugün kabul edilen tüm olasılıklarına yaklaşık olarak ulaşılmış; kayma yansıması dönüşümü hem bir boyutlu “ $\infty \times (p11g)$ ” hem de iki boyutlu “ $\times \times (pg)$ ” ve “22* (pmg)” olarak öğrenilmiştir. Neolitik Çağ'da benzerlik simetrisi içeren spiral örüntülerde gelişme görülmüş; iki boyutlu dönüşüm kullanma teknikleri “o (p1)”, “2222 (p2)”, “ $\times \times (pg)$ ”, “** (pm)”, “22* (pmg)”, “* $\times (cm)$ ”, “2*22 (cmm)”, “*442 (p4m)”, “*632 (p6m)” olmak üzere çeşitlenmiştir (Jablan, 2002, s.69).



Şekil 2 : Tarih Öncesi Dönemden Simetrik Örüntü Rekonstrüksiyonları: (A) Neolitik Dönem'den P2 (2222) Türü Tasarım, M.Ö. 6000, Dimini, Yunanistan. (B) Neolitik Dönem'den Pm (**) Türü Tasarım, M.Ö. 5700, Hacılar, Türkiye. (C) Neolitik Dönem'den P6m (*632) Türü Tasarım, M.Ö. 5000, Samara, Irak. (D) Eridu Kültürü'ne Ait Pg (** \times) Türü Tasarım, M.Ö. 4500-4200. (E) Lendel Kültürü'ne Ait P2 (2222) Türü Tasarım, M.Ö. 2900, Macaristan. (F) Kiklad Uygarlığı Döneminden P6 (632) Türü Tasarım, M.Ö. 2500. (G) Mısır Erken Hanedan Dönemi'nden P4g (4*2) Türü Tasarım. (H) Girit Minos Uygarlığı Dönemi'nden P4g (4*2) Türü Tasarım, M.Ö. 1500 (Jablan, 2002)

Estetik ve kültik amaçlarının dışında bu dönemde simetrinin mimarlık, sanat ve zanaat ile uğraşan çevrelerce estetik cazipliği dışında farklı getirilerinin de olduğu farkedilmiştir. Modülerlik getirisini ürünlerin üretimini daha kolay ve ekonomik kılmış, mali ve yapısal

yararlarıyla da simetri yüzey tasarımında önem teşkil etmiştir. Eşbiçimliliğe olanak tanıyan geometri bilgisi ve malzeme işleme becerileri büyük yapıların inşa edilebilmesini sağlamış, bozuk yüzeylerin parça malzemelerle kaplanabilme olasılıklarını çeşitlendirmiştir. Mısır, Babil ve sonrasında Antik Yunan düşün dünyasındaki gelişmelerle birlikte simetri; doğanın, sanatın ve mimarlığın hem estetik hem de nicel ifade biçimlerine sahip bir değeri haline gelmiştir (Mainzer, 1996, s.25).

3. Klasik Antik Görüş, Simetri ve Biçim

Kavram olarak binlerce yıldır farkında olursa da hem estetik hem de geometri ile ilişkili anlamıyla “simetri” terimi ve bu kavramla ilişkili görüş Klasik Antik Çağ’da şekillenmeye başlamıştır. Coğrafi olarak Akdeniz’i merkez almak üzere M.Ö. 8. yüzyıl ve M.S. 6. yüzyıl arasındaki dönemi kapsayan Klasik Antik Çağ’da simetri, “nicelikler arası matematiksel oran” ve “oransal olarak düzgün dağıtılmış parçalardan oluşan sanatsal bütünlüğe ilgili bir ifade” olarak iki ayrı tanıma sahip olmuştur (Hon ve Goldstein, 2008). Sanat, tasarım ve mimarlık bağlamlarında her iki anlam da sayısal bir etkiyi gerekli kılmış; bütünlüğe dair parçaların birbirleriyle ve bütünün parçayla olan uyumunu daima gözetmiştir (Hahn, 2012, s.98).

Dönemin düşün dünyasını çoğunlukla idealizm fikri beslemiştir. Pisagorcü düşünce ve idealizm fikrinin plastik bir izdüşümü olan, heykeltıraş Polykleitos’un (M.Ö. 5. yüzyıl) kanonundaki “düzen ya da kural” fikri Klasik Antik Çağ’da sanatsal anlayışa getirilen idealist yeniliklerin bir örneğidir. Bu kanon, insan vücudundaki parçalara ait oransal ilişkilerin ideal ölçüsel standartlardaki sayısal ifadelerini içerir. Düşüncenin temelinde biçimlerde mutlak güzelliğe ulaşmak için sayısal unsurların kullanılmasının gerekliliğine dair bir inanç yatar. Parçaların birbirleriyle ve bütünün kendisiyle olan ideal sayısal ilişkisi (Weyl, 1989, s.3) yaklaşık yüzyıl kadar sonra Platon tarafından Eski Yunanca “*summetron*” terimiyle, yaklaşık yedi yüz yıl sonra Bergamalı tıp doktoru Galen tarafından “*summetrian*” terimiyle anılmıştır. Hem estetik hem de nicel anlamlar barındıran bu terimler hassas ve hatasız bir oransal düzenin vurgusunu yapmakta ve günümüzdeki “simetri” sözcüğünün kökenini oluşturmaktadır (Hon ve Goldstein, 2008, s.70, s.98).

Platon’un görüşüne göre doğada simetri, eşitliğin eşdeğeri değil; ölçsüzlüğün ya da kusurluluğun bir karşıtıdır ve evrenin mantığının (“*logos*”) altında oranların doktrini yatar (Mainzer, 2005, s.360). Platon’a göre güzel olan şey “*ametron*”, yani ölçsüz olamaz. Canlıların güzel olma niteliğine sahip olması, onların “*summetron*”, yani o zamanki anlamıyla simetrik olmalarına bağlıdır (Hon ve Goldstein, 2008, s.94).

Simetri ile ilgili görüşleri çoğunlukla canlıların dünyasına ait örnekler taşıyan ve terimi estetik bağlamlarında değerlendiren Platon’a karşın Aristo, terime uzunluk, alan, hacim gibi ortak bir ölçüm yöntemi ile kıyaslanabilen (“*summetra*”) ve kıyaslanamayan (“*assummetra*”) değerleri tanımlamak için başvurmuş; terimi matematiksel bir anlayışta ele almıştır (Hon ve Goldstein, 2008, s.70-71).

Tales geometrisi üzerine Hipokrat tarafından yapılan tanımlar, varsayımlar ve Pisagorcü düşünce üzerine inşa edilen “Elementler” (M.Ö. 300) adlı kapsamlı çalışmasında Öklid ise simetriye ulaşmanın matematiksel prosedürlerini sunmuştur (Coxeter, 1998, s.1-4). Yapıt, düzlemsel geometri ve sayı kuramlarına dair yüzlerce önerme ve çok eksenli simetrilere sahip beş adet düzgün çok yüzlü içerir. platonik cisim olarak anılan bu üç boyutlu simetrik biçimler dört yüzlü tetrahedron, altı yüzlü küp, sekiz yüzlü oktahedron, on iki yüzlü dodekahedron ve yirmi yüzlü ikosahedron olmak üzere beş tanedir (Hahn, 2012, s.13, s.132). Platon’a olan ithaf, Platon’un bu simetrik biçimleri evrenin strüktürel esasıyla ilişkilendirilmesidir.

Platonik cisimler simetrik ilkelere uyacak biçimde, kendi merkezleri ekseninde uygun açılarda döndürüldüklerinde ilk durumlarıyla aynı pozisyona gelebilme özelliği taşırlar. Beş Platonik katı da düzgün çokgenlerden oluşur ve yüzey alanları birbirine eşittir. Dolayısıyla “ortak ölçü ve orana sahip olma” olma ve simetrinin değişmez tanımlarına uzaysal olarak uyma özelliği gösterirler (Mainzer, 1996, s.134).

Öklid, M. Ö. 300 yılında açılı ve kenarları birbirine eşit düzgün çokgenlerin eşleşmesinden oluşabilecek ancak beş düzgün çok yüzlü tasarlanabileceğini kanıtlamıştır ve bu biçimler simetrinin temel dönüşümleri kullanılarak tanımlanabilir (Baglivo ve Graver, 1983, s.203-204). Bu beş form, bir kürenin topolojisine projekte edilebilecek düzgün simetrik örüntüler olarak düşünülebilir. Dolayısıyla, Klasik Antik Dönem Mimarisi iki doğrultuda tekrarlılık içeren simetrik örüntülere dair çeşitlilik barındırmasa da tekrarlılığın üç boyutlu görünüşleri konusunda bilimsel alt yapı sağlamıştır (Washburn ve Crowe, 1988, s.3).

Dönüşsel simetrilere ek olarak yansıma ve kayma yansıması dönüşümlerinin doğrusal olarak gerçekleştiği friz adı verilen yüzey örüntü tipi ve aynı isimdeki mimari bileşenler de antik dönem Yunan ve Roma mimarisinde yaygındır. Frizler, hem Yunan ve Roma mimarisinde giriş ve çatı arasında kalan düz şeritlerin, hem de doğrultusal tekrarlılığa sahip simetriklerin ortak adıdır. Klasik antik dönemde süsleme amacıyla kullanılan ve formların doğrusal tekrarlılığına dayanan kısmen daha soyut geometriler içeren “meander” ve “lebriz” adı verilen doğrusal örüntülerin yanı sıra (Jablan, 2002, s.83); yapı frizlerinde şerit olarak tekrar eden kargı, asker, savaş arabası ya da bitkisel formlar gerçek dünyadakine benzer görünüşleriyle yapının simetrisine kendi yerel simetrikleriyle katılır (Stamper, 2005, s.31).

Yunan filozofları kusursuz bir matematiksel kesinliğin bu dünyaya ait olmadığını bilseler de fiziksel gerçekliğin temelinde matematiksel bir duruş atfetmişlerdir. Bu durum, mekânsallaşma aşamalarında çok iyi hesaplanmış geometrik ifadeler olarak görünür olmuştur. Örneğin “opus reticulatum” adı verilen mimari örgü tekniği, simetri ile ilişkili eşbiçimlilik etkenini estetik öneminden çok strüktürel önemiyle gündeme getirir. Vitruvius’un “birbirine eş ölçülerde kesilmiş taş bloklarla örülen duvarlar” olarak tanımladığı bu örneklere ek olarak simetrinin dönüş transformasyonunun strüktürel anlamda ideal bir forma ulaşma amacıyla kullanıldığı Roma kemerleri de biçimsel denklili yapısal amaçlarla kullanılır. Bu bağlamda köprü, su kemeri, arena, tapınak ve konutlarda sıklıkla kullanılan kilit taşlı kemer tekniği döneme ait olan simetri ile ilişkili önemli bir yeniliktir. Ortada kilit taşı olmak üzere yarım dairesel düzende sıralanan

eşbiçimli taşlar yapı yükünün ve çevresel yükün zemine aktarımını sorunsuz sağlar (Hahn, 2012, s.30-32).

Bununla birlikte daha eski dönemlerde çeşitli Yakın Doğu ve Ege uygarlıklarında yapı yüzeylerinde uygulanan mozaik teknikleri de Roma Dönemi'nde eşbiçimli parçalardan yüzey kurgulamaya yarayan yeni bir stile dönüşmüştür. Yüzeylerin parçalı bileşenlerle kaplanması geleneği bir hayli eski olsa da "*opus tessellatum*", doğal taş, sedef ve cam malzemelerden 4 mm'den biraz daha büyük kenar uzunluklarında kesilerek üretilen ve "küp", "zar" anlamlarına gelen "*tessera*" isimli taşların dizilmesiyle üretilen ve simetrik örüntü türetebilmeye yarayan yeni özgün bir yapım tekniği olarak kabul edilir. Roma Mimarisi'nde sıklıkla kullanılan bu yöntem tasarımın ekonomik ve mekanik kaygılarına doğrudan bağlıdır (Acocella, 2006).



Şekil 3: Geç Roma Dönemi Mozaiklerinde Opus Yöntemi ve Simetri, Nibu, Madaba, Ürdün : (a) "P112" Grubu Dairesel Friz. (b) Dolaşık Frizlerde Köşe Detayı. (c) Beş Dairesel Katın "C4" Ve "C2" Düzenlerine Göre Tasarlandığı Bir Rozet. (d) "422" Grubu Bir Zemin Mozaığı (Makovicky, 2019, s.7-8).

Günümüzde simetrik örüntülerle eş anlamlı olarak kullanılabilen ve çok boyutlu matematiksel topolojilerle de ilgili olabilecek "tesselasyon" teriminin kökeni Klasik Antik Çağ'ın ortalarında şekillenmiş olan "*opus tessellatum*" yöntemidir. Bu yöntemde simetrinin kullanımı kimi örneklerde bitkisel stilizasyonları temel alan ve kompozisyonu bordür olarak dolaşan tek doğrultulu friz tipi örüntülere, kimi örneklerde dairesel geometrik tekrarlılıklara, kimi örneklerde de üçgen, kare, altıgen gibi çokgenlerin periyodik tekrarlılığına dayanır (Grünbaum ve Shephard, 1987, s.1).

Geç Antik Dönem'e ait Roma yapılarının zemin yüzeylerinde, tesseralardan imal edilmiş yarım dairelerden oluşan katmanlarla simetrik düğümler tasarlandığı görülmektedir. İkinci boyutta olup yanlısamalı olarak üç boyutlu olarak görünen girişik ifadeler simetrik ifadenin kuvvetlendirilmesine yöneliktir ve Hristiyanlığın ilk yüzyıllarındaki yapılarda da çeşitli malzeme ve tekniklerle sürdürülmüştür (Makovicky, 2016). Kordon biçimlerinde birbirine bükülerek bağlanan, çoğunlukla kare ve dairesel hatları takip eden yerel mermerlerden imal edilmiş bu girişik desenli zemin mozaikleri İtalya'dan Doğu Akdeniz'deki Levant bölgesine kadar yaygınlık göstermektedir. Biçimsel, dokusal ve renksel türdeşlik barındıran bu simetrik yüzey tasarımları daha sonrasında hem İtalya'daki Kosmetesk üslubu (Makovicky, 2019, s. 18), hem de Emevi dönemindeki mimari yüzey uygulamalarını etkileyecektir.

4. Poligonal Teknik ve İslam Mimarisi

YüzeY tasarımında Klasik Antik Çağ'ın geometrik kodlarını bir gelenek olarak sürdüren Doğu Roma'nın ve yapılarında özgün pergel teknikleri kullanan Sasaniler'in kültür ve sanat alanlarını da kapsayacak şekilde İslam, 8. yüzyılın ortalarından itibaren kısa bir süre içinde batıda İspanya'dan doğuda Hindistan'a dek yayılmış; bu durum oldukça geniş bir alanda gerçekleşecek bir dizi sanatsal ve bilimsel yeniliği beraberinde getirmiştir (Blake, 2016, s.vii; Bonner ve Kaplan, 2017, s.70). Bu yayılmanın öncesinde Emevilerin tasarım dili Geç Klasik Antik Dönem ve Levant bölgesindeki Doğu Roma tasarım üslupların Paganizm'e ait unsurlarla meydana getirdiği bir bileşke olarak göze çarpar ve bu dönemin yüzeY tasarımları sıklıkla bitkisel ve antropomorfik ifadelerden oluşan, yerel ve kısmi geometrik tekrarlılıklar içeren karma bir stil olarak değerlendirilir (Necipoğlu, 1995, s.93-95).

8. yüzyıl sonlarından itibaren söz konusu üslup büyük ölçüde değişmiştir. Abbasilerin yönetimi devralmasıyla başkent Bağdat'a taşınmış, uzak bölgelerden alanlarında yetkin mimar, sanatçı, zanaatkar, felsefeci ve mühendisler kente çağrılmış; kent bu dönemde sanat, bilim ve kültürel zenginliğin merkezi olmuştur (Bonner ve Kaplan, 2017, s.16). 9. yüzyıldan itibaren pek çok Yunan ve Hint kaynaklı bilim ve felsefe eserleri tercüme edilmiş; aynı dönemde Yakın Doğu'nun çeşitli bölgelerinde küçük taşınabilir kuadranlarla astronomi ve astroloji çalışmaları başlamıştır (Blake, 2016, s.38). Antik dönem eserlerinin tetiklediği felsefe ve teoloji tartışmalarının etkisiyle madde, evren ve zaman kavramları hakkında, temel bölünemez parçalar ve olaylar arasındaki dualist ilişkiyi konu alan Atomcu Görüş yaygınlaşmıştır. Düşünsel temelleri İslam Teolojisi ve Yeni Platoncu evren fikirlerinin bir bağlamda buluşmasıyla oluşan yeni evren ve madde görüşleri dünyaya dair gerçek imgelerin sanatsal içeriklerde kullanımını bir ölçüde reddetmiştir. Emevilerin bitkisel ve antropomorfik çağrışımlar kuran yüzeY tasarımlarının bu düşünceden hareketle artık kabul görmemesi, yeni soyut ve geometrik yöntemler için arayışlara neden olmuştur (Necipoğlu, 1995, s.95-96).

"Algoritma" terimine adını veren; 9. yüzyılda Hârizmî'nin yazdığı "Parçaların Birleşmesi Üzerine Hesaplamalar", özgün adıyla "*Fi Hisab el-Cebr*" adlı yapıt; ya da Latince'deki adıyla "*Algoritmi de Numero Indorum*" ("El Hârizmî'nin Hint Rakamları"), dönemin bilimsel hareketliliğini tetikleyen ilk akademik unsurlardan biri olmuştur (Hahn, 2012, s.105-106). Aynı yüzyılda Kosta ben Luka tarafından yazılan çoğu pratik geometri ile ilgilenen mimar ve zanaatkarların üretme ve uygulama süreçlerine dair teknik terimlerin derlendiği "*Esnaf el-Sina'at*" ("Zanaat Sınıfları") ve sonrasında astronom Ebü'l Vefa Buzcânî tarafından yazılan geometrik ifadelerin pratik uygulamalarına dayalı "*A'mel el-Hendese*" ("Geometrik Konstrüksiyonlar") isimli kitaplar ise yüzeY tasarlama etkinliklerinde ortaya çıkacak yeniliklere akademik bir zemin oluşturmuştur (Necipoğlu ve diğ., 2017,s.79-81).

9. yüzyılda söz konusu sanatsal etkileşim ve bilimsel gelişmeler mimari ve sanatsal izdüşümler elde etmiş, yüzeY tasarımlarında düzgün çokgen tabanlı geometrik örüntü anlayışı şekillenmeye başlamıştır (Bonner ve Kaplan, 2017, s.22-23). Ahşap ve mermer oyma teknikleri gelişmiş; geleneksel yarı bitkisel yarı geometrik ifadeler, yerlerini soyut

geometrik anlayışa göre tasarlanmış pahlanmış birimlerle kurgulanan simetrik dizilere bırakmıştır. Özellikle Bağdat ve Samarra'da sütun kaidesi, mihrap ve minber tasarımlarında görünür olan bu yüzey tasarım yenilikleri kısa zaman içerisinde Mısır'a sıçramıştır (Necipoğlu, 1995, s.93-95). Türk Memlûk hanedanlarından olan Tolunoğulları döneminde Mısır'da inşa edilen Tolunoğlu Camisi kemerlerinin alt yüzeylerindeki dört ve altı köşeli girişik yıldız örüntüsüne sahip stükko oymalar bu konuda 9. yüzyılın önemli bir örneği olarak gösterilir. Önceki dönemlerde benimsenen floral ve figüratif ifadeleri geometrik bir yolla soyutlamış, örüntü tasarımlarını 60 ve 120, 45 ve 90 derecelik çokgensel sistemlere göre ayarlamıştır.

Aynı dönemlerde Abbasiler, önceki yüzyıllarda çoğunlukla kare birimler olarak uygulanmış "bin örgü" anlamına gelen ve geometrik formların birbiri içine örülmüş gibi görüldüğü "hazarbaf" adı verilen giriftleme tekniğini sekiz köşeli yıldız ve haç biçiminde örüntüler olarak ilk kez uygulamıştır (Bonner ve Kaplan, 2017, s.22-23).

Simetrik yüzey tasarımlarının gelişim süreci 10. yüzyıl itibariyle Gazneli, Karahanlı ve Selçuklularla sürmüştür. 10. yüzyılda Gazne ve Karahanlı dönemlerinde yaygın olarak kullanılan bir tuğla tekniğiyle geometrik yüzey örüntüleri yapı yüzeylerinin baskın ögesi haline gelmiştir (Necipoğlu, 1995, s.96-97).



Şekil 4: Orta Çağ Türk Mimarisi'nden Simetrik Yüzey Örnekleri (a) 9. Yüzyılda İnşa Edilen Tolunoğlu Camisi Kemerlerinin 632 Türü Stükko Yüzeyleri, Kahire, Mısır, Fotoğraf: David Wade (Bonner Ve Kaplan, 2017, s.19). (b) Selçuklu Dönemi'nde İnşa Edilen Karahan İkiz Türbeleri'nden 4*2 Türü Tuğla İşçiliği Yüzey, 11. Yy., Kazvin, İran (Makovicky, 2016). (c) Selçuklu Dönemi'nden *632 Türü Simetri İçeren Geometrik Yüzey Örüntüsü, 11. Yy., İsfahan, İran, Fotoğraf: Tom Goris (Bonner Ve Kaplan, 2017, s.34). (d) Karahanlı Dönemi'nde İnşa Edilen Kalyan Mescidi'nden Bannaî Tekniği İle Üretilen Simetrik Düzenler, 12. Yy., Buhara, Özbekistan, Fotoğraf: Walter B. Denny (Artstor, 2021).

Bu yöntem pişmiş topraktan imal edilmiş modüllerin zengin geometrik çeşitlilik barındıran örüntüler olarak friz, duvar, kör kemer ve payanda yüzeylerine uygulanmasına dayanmaktadır. Sağladığı üretim ve uygulama kolaylığı yapı yüzeylerinin önemli miktarlarının çeşitli simetrik düzenlerde kaplanabilmesini sağlamıştır (Arık, 2018; Lange ve Mecit, 2012, s.295). Gazneli ve Karahanlı mimar ve sanatçılar pişmiş toprak, stükko ve mermer malzeme üzerinden monokrom çokgensel örüntü repertuarlarını geliştirirken bu tekniğe dair yeni geometrik olasılıkları sağlayabilecek prosedürler 12. yüzyılda Selçuklulara ve sonrasında sırasıyla Mısır, Fas ve İspanya'ya ulaşmıştır (Bonner ve Kaplan, 2017, s.27-30).

Girih adı verilen bu teknikte örüntü bir dizi simetrik dönüşüme imkan verebilen birim hücrelerden oluşur ve birbirleriyle ayırıt-ayrıt, köşe-köşe ilişkisi kurabilen farklı geometrik karakteristiklerin türetilmesine yardımcı olabilmektedir ve bu düzende komşu çokgenlerin ayırıtı kavşak (“+ birleşimi”) şeklinde birbirini takip eder (Lu ve Steinhardt, 2007, s.1106). Bu örüntüler çoğunlukla sınırlı sayıdaki biçimin birbirleriyle hata1sız ilişki kurabilecek düzenlerdeki tekrarları sonucu oluşur. Sanatçı ve mimarların bir yüzeyi kare, altıgen gibi kesintisiz ızgara formatları içerisinde değerlendirmesi ile yüzeyin bütününün tasarımı, yalnızca tek hücrenin tasarlanması ile kolayca sonuçlanabilmektedir.

11. ve 12. yüzyıllarda Yakın Doğu'dan Batı Afrika'ya, İspanya'ya ve Güney Avrupa'ya aktarılan girih tekniği çoğunlukla yerel üsluplarla kaynaşmıştır. Örneğin 12. yüzyılda Pisa'da inşa edilen San Giovanni Vaftizhanesi'nin altar kısmına ait zemin yüzeyleri zengin simetri barındıran melez teknikler içermesi bakımından bu sentezlemeye örnektir. Örüntüler yansımalı üç boyutlu ifadeler taşıyan girih benzeri geometrik yapılara sahiptir fakat Yakın Doğu'daki ve Mağrip'teki çağdaşlarından ayrı olarak İslam Mimarisine has çağdaş tekniklerin yerel Kozmatesk üslupla çarpışmasından doğan melez ifadeler içerir (Makovicky, 2016, s.18).



Şekil 5: 12. Yüzyıl YüzeY Tasarımlarında Aynı Geometrik Şablonun Farklı Yerel Tekniklerle Kullanımı : (A) Anadolu Selçuklu Dönemi Sekiz Köşeli Yıldız-Haç Örüntüsü Minai Çinileri, II. Kılıç Arslan Köşkü, Konya (Arık Ve Arık, 2008). (B) Norman Kraliyet Şapeli (Capella Palatina) Tavan Yüzeylerinde Sekiz Köşeli Yıldız-Haç Planlı Mukarnas, 12. Yy., Palermo, Sicilya (Walker, 2010, s.80).

Buna benzer olarak, aynı yüzyılda başka bir melez teknik Sicilya adasında görülür. Sicilya'yı o dönemde yöneten Norman Kralı, Kuzey Avrupa'dan getirdiği Norman stilini, Doğu Roma kubbe ve mozaik tekniklerini ve İslam mimarisine özgü geometrik örüntü işçiliğini Capella Palatina adlı ünlü yapıda birleştirmiştir (Broug, 2008, s.4). Norman Kraliyet Şapeli olarak hizmet veren yapının iç mekân tavan yüzeyleri çok yansıma eksenli yıldızlar ve koniler ile üç boyutlu simetrik strüktürler olarak tasarlanmıştır (Walker, 2010, s.80).

Bu sırada, Anadolu ve Doğu Akdeniz'i önemli ölçüde etkileyen I. ve II. Haçlı Seferlerinin de etkisiyle Selçukluların ardılı olan devletler geçmişten devraldıkları simetrik yüzey tasarım bilgilerini ağırlıklı olarak dinsel aygıtların restorasyonu için kullanmışlar; girişik simetrik örüntülere eşlik eden mukarnas ve minber tasarımlarının doğuşuna öncülük etmişlerdir (Necipoğlu, 1995, s.100). 12. yüzyıl boyunca ardıl devletlerden biri olan Anadolu Selçukluları tarafından gelişimi bu aygıtlar üzerinde sürdürülmeye devam eden simetrik yüzey tasarımları sonucunda elde edilen biçim repertuarı, yüzyıl sonlarında üç

boyutlu girih düzenleri olarak kabul edilebilecek mukarnas tasarımlarında görülmemiş çeşitlenmelere neden olmuştur.

Teknik açıdan o tarihe dek tanık olunmamış üç boyutlu karmaşıklıklar barındıran bu tasarımların yalnızca Kuzey Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da, özellikle Anadolu Selçuklu ve Mengüceklî dönemi yapılarında görünür olması ve şaşırtıcı şekilde sonraki yüzyılda devam etmemesi her iki hükümdarlık için de çalışan ve uygulanan yöntemlere dair bilgileri sakınmış bir tasarımcı grubuna işaret etmektedir (McClary, 2017, s.70).

Doğuda yüzey tasarımının soyut geometrik ilkeleri yeni anlayışlara paralel olarak gelişmekteyken önceki yüzyıllarda batıya ulaşmış bazı teknik ilkeler Fas ve İspanya'nın biçimsel mirasları üzerinde şekillenmeyi sürdürmüştür. 8. yüzyılda İberya'yı ele geçiren Emevîler tarafından ilk olarak kale olarak inşa edilen ve 11. yüzyılda başa geçen Taifa yöneticileri ve sonrasında Granada Emirleri tarafından parça parça genişletilen ve 13. yüzyılda en bilinen bölümleri inşa edilen Elhamra Sarayı, her biri kendine özgü simetrik tavırlar barındıran duvar, tavan, kemer ve zemin yüzeyleri ile dönemin zengin teknik bilgisinin ve derinliğinin ihtişamlı bir yansıması olmuştur.

Elhamra Sarayı'nın iç mimari yüzey tasarımlarında iki önemli bilimsel yenilik bulunmaktadır. Bunların ilki, Endülüslü seramikçiler çok ince tabakalı gümüş ve bakır nanokristalini yansıma elde etmek için seramik yüzeylerinde kullanabilmektedirler. İkincisi ise, 20. yüzyıl matematikçilerinin Elhamra Sarayı'nın yüzeylerinin iki boyutta uygulanması mümkün olan simetrik gruplara dair tüm geometrik olasılıkları içerdiğini duyurmasıdır (Bush, 2018, s.70). Aksine, kimi çalışmalar bu yüzey örüntülerinin renkli ya da girişik olma durumlarını da içerdiğini belirtir ve yapı yüzeylerinin tüm düzlemsel simetri olasılıklarını içerdiği bilgisini bir efsane olarak görür (Grünbaum ve diğ., 1986, s.641-653). Bu durumun nedeni bir simetri grubuna özgü niteliklerin Elhamra Sarayı'nın iç mekânlarındaki simetrik süsleme, kaplama, mozaik ve alçı işçiliklerinin altında yatan ve görünmeyen örüntülerde farklı; renk simetrisi ve geometrik girişimler gibi görünen örüntülerde farklı etkilere sahip olmasıdır. Bu ayırım bir kenara bırakılırsa, Nobel ödüllü bilim felsefecisi ve matematikçi Roger Penrose da, Jay Bonner'ın kitabı (2017) için yazdığı önsözde Elhamra Sarayı'ndaki tüm düzlemsel olasılıkların; bu olasılıklar bilimsel olarak ortaya koyulmadan yüzlerce yıl önce tasarlanmış olduğunu kesin bir dille doğrulamaktadır. Yapının, Lu ve Steinhardt (2007) ve Cromwell (2008) tarafından incelenen doğudaki çağdaşlarında aynı yüzyıldan itibaren gelişmeye başlayan yarı periyodik olarak organize edilmiş, özbenzeşimli ve fraktalimsi yüzey biçimlerinden farklı olarak Elhamra Sarayı iç mimari yüzeylerindeki simetri ve modülerliği genelde periyodik olarak ele alır. Kubbe, tavan, mukarnas ve kemer işçiliklerinde ise modülerliğe entegre edilmiş özbenzeşimli simetrik dönüşümler gözlemlenmektedir.



Şekil 6: Elhamra Sarayı'ndan Modüler YüzeY Tasarımı ve Simetrik Düzen : (a) "4*2" Türü Alt Katman Üzerine Zilliç Tekniği İle Üretim ve "o" Grubu Renk Katmanı. (b) "333" Türü Alt Katman Üzerine Zilliç Tekniği İle Üretim ve "o" Grubu Renk Katmanı, Palacio De Comares, Patio De Los Arrayanes. (c) Yapı Kemerlerinde Alçı İşçiliği İle "*x" Türü Simetrik Örüntünün Mekânsallaşması. (d) Tam ve Yarım Sekiz Köşeli Yıldız Biçimli Merkezler Aracılığıyla Üretilmiş Tavan Mukarnası (Fotoğraflar: Korcan Gülfidan, 2015, Granada, İspanya).

Elhamra Sarayı'nda simetrik dönüşümler konusunda ortaya atılan yeni fikirlere kalıplama tekniklerinin eşlik ediyor olması, simetrinin estetik yararları ile birlikte aynı zamanda üretim ve uygulama aşamalarındaki bir fayda unsuru olarak kullanıldığının göstergesidir. Yapının kemerleri ve zengin işçilikli süslemeleri ahşap ve kalıpla dondurulmuş malzemelerle biçimlenmiştir. İç mekân yüzeylerinde simetriye katılan pek çok etken; stükko ve ahşap oymalar, birbirleriyle çeşitli geometrik formlarda birleşen seramik ve cam modüller ve taş oymalar hem estetik hem de yapısal anlamda modülerlik kaygılarıyla şekillenmiştir (Bush, 2018, s.70).

Elhamra Sarayı'nın tasarımında simetri grup kuramına ve geometriye dair bilgiler büyük ölçekli tasarlama ilkelerinden en küçük dekoratif unsurlara kadar işlenmiş durumdadır. Bu durum sarayın inşa edildiği dönemde cebir ve geometri konusundaki tecrübelerin fiziksel bütünlüklerin üretiminde bir bütünlük içerisinde kullanıldığının bir göstergesidir (Erten Bilgiç ve Bal, 2019, s.581-591).

Elhamra'daki yüzeY örüntülerinin sahip olduğu simetrik dönüşüm çeşitliliği 20. yüzyılda George Pólya ve pek çok bilim insanı tarafından incelenmiş (Bonner & Kaplan, 2017); 20. yüzyılın önde gelen grafik sanatçılarından Maurits Cornelis Escher'in çalışmalarını önemli ölçüde etkilemiştir (Escher, 1975, s.7). Yapıda görülen yaygın düzlemsel simetrik örüntü teknikleri 15. yüzyıl sonrasında *Reconquista* ile İspanyol yönetimine geçen İberya'da kalan sanatçı ve mimarlar aracılığıyla devam ettirilen ve düzlemsel simetrinin sanal üç boyutlu ifadelerle dönüştüğü *Mudéjar* (ya da *Müdeccen*) üslup ile İspanya'daki gelişimini sürdürmeye devam etmiştir.

Fizikçi Peter Lu ve fizikçi Paul Steinhardt (2007), 13. Yüzyılda Türkiye'de inşa edilmiş Melike Mama Hatun Türbesi ve İran'da inşa edilmiş Kümbet-i Kabud gibi Selçuklu yapılarının yüzeY örüntülerinin ancak 20. Yüzyılda yeniden çözümlenebilmiş bazı modülasyon kurallarına bağlı olarak tasarlandığını söylemekte ve bu dönemin geometrik yüzeY tasarımındaki başka bir önemli kırılma noktası olarak düşünülmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Lu ve Steinhardt, 2007, s.1106). 13. yüzyıldan itibaren yerel malzemelerle geliştirilen bu yenilikler çeşitli coğrafyalarda düzgün ongen, uzatılmış altıgen, kelebek biçimli altıgen, düzgün beşgen ve eşkenar dörtgen modüllerden oluşan

çeşitli kombinasyonların türetilmesini ve aynı yüzey içerisinde farklılaşan örüntüler tasarlanabilmesini sağlamıştır.

15. yüzyılda bu geometrik dizimler yüzey tasarımlarında simetrik özbenzeşim dönüşümlerinin artmasıyla bir miktar daha zenginleşmiş ve 20. yüzyılda yeniden keşfedilecek olan bir türde, kuazi kristal örüntüler olarak tasarlanmaya başlamıştır (Lu ve Steinhardt, 2007, s.1106). Kuazi kristal geometriler öteleme dönüşümü olmaksızın, aperiodyk olarak uzayı kaplayabilirler. Bu durum, örüntülerin herhangi bir kısmının iki boyutlu uzayda kendi üzerinde bulunan başka bir noktaya kopyalandığında geometrik düzenlerin daima örtüşmemesi anlamına gelmektedir. Bu sistem, birbirleriyle boşluksuz olarak birleşen çeşitli birim hücreler aracılığıyla plansız ve rastlantısal örüntülerin tasarlanabilmesini sağlamaktadır. Daha açık bir tanımla, kuazi kristal tasarımlarda yüzey tasarımının tekrarlılıkla ilgili olan nitelikleri periyodik tasarımlardan farklı olarak tasarımcı tarafından belirlenmiş olasılıklara bağlıdır.

Girih teknikleri, 1925 yılında bakteri bilimcisi ve doğa tarihçisi Ernest Hankin tarafından “*polygon-in-contact*” adı verilen metoda göre sınıflandırılmış (Hankin, 1925, s. 558) ve ayrıtları köşelerinde “+” biçiminde kavuşan çokgenlerin yüzey oluşturma ilkeleri pek çok araştırmacı tarafından “poligonal teknik” olarak adlandırılmıştır (Bonner ve Kaplan, 2017, s.555).

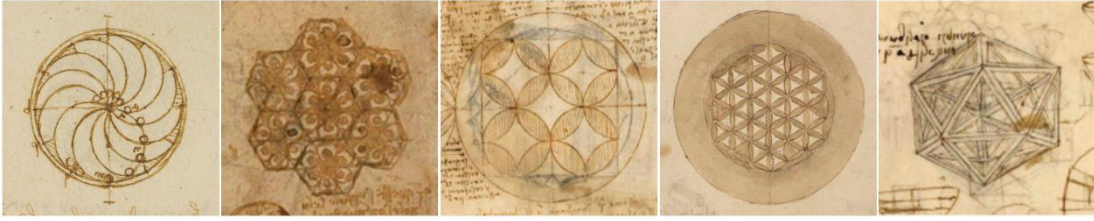
5. Kristalografik Keşifler ve Sanat

Bilginin 9. yüzyıldan itibaren Klasik Yunanca’dan Arapça’ya; 12. yüzyılda Endülüslü İbn Rüşd, ya da diğer bilinen adıyla Averroes zamanında ise Arapça’dan Latince’ye çevrildiği; bu yolla çeşitli ekleme ve şerhlerle bölgeden bölgeye aktarılarak korunduğu bilinmektedir. Hesaplamaları bilimlere uygunluğundan dolayı 9. yüzyılda Hârizmî tarafından benimsenen Hint rakam sistemi 13. yüzyılın başlarında Öklid ve Arşimet matematiğini inceleyen Fibonacci tarafından da benimsenmiş, Fibonacci, “*Liber Abaci*” (“Sayma Kitabı”) isimli yapıtında bu dokuz adet sayısal karakteri kullanarak sistemin sonraki yüzyıllarda Avrupa’ya yayılmasına ön ayak olmuştur. Antik Yunan felsefe ve mimarisinde irdelenmiş olan “altın oran” fikri, insan ve doğayı matematiksel olarak bütünleştirme iddiası taşıyan Rönesans düşün dünyasını etkilemiş; Fibonacci dizisi pek çok düşünürün çalışmalarına dahil ettiği oransal bir şablon olarak varlığını sürdürmüştür. 15. yüzyılda Öklid ve Fibonacci’nin çalışmalarından etkilenen Pacioli, “*Summa*” adlı kapsamlı kitabıyla öğrencisi Leonardo da Vinci’yi etkilemiş, Da Vinci, bitki yapraklarında simetrisinin işleyiş biçimleri üzerine yaptığı çalışmaları bu matematiksel temeller üzerine inşa etmiştir (Hahn, 2012, s.105-106). Fibonacci sayıları sonraki yüzyılda bitki büyümeleri üzerine çalışan Kepler’den (Barabe & Jean, 1998, s.xiii), 20. yüzyılda Le Corbusier tarafından yazılan Modulor’e dek oran, düzen ve modülerlik ile ilgili pek çok bilimsel ve sanatsal çalışmaya ışık tutmuştur (Stewart & Golubitsky, 1993, s.249).

Rönesans Dönemi’nde simetri hakkında sofistike görüşler belirtilmemiş olsa da tasarım eyleminin simetriye ilkesel olarak uyum sağlamak zorunda olduğu görüşü yaygın olmuştur. Simetri kavramı, yüzey tasarımı özelinde değerlendirildiğinde ise Rönesans

Dönemi mimar ve sanatçıları ağırlıklı olarak sonlu elemanlı (dönüşsel ve dihedral) örüntülerle ilgilenmiştir (Washburn & Crowe, 1988, s.3). Da Vinci'nin daireler ve kareler kullanarak tasarladığı "değişen örüntüler", not defterlerinde sıkça yer alan geometrik rozetler ve bitkisel eskiz ve diyagramlar bu tür bölüntülemelerle ilgili özgün fikirler taşımaktadır (Hahn, 2012, s.157). Fiziksel yapıt anlamında nokta grubu simetrik tasarımlara yoğunlaşmış olsa da Rönesans Dönemi düzlemsel simetrilerin kurgulanma tekniklerine dair teorik yapıtlar bakımından zengindir. Bunların içinde öne çıkanlardan birincisi 16. syzyılda Leonardo Da Vinci tarafından dönüşsel ve dihedral nokta grubu çalışmalar ve daireden hareketle tasarlanan düzlemsel örüntüler (Şekil 7); ikincisi ise aynı yüzyılda Albrecht Dürer tarafından yazılan; mimar ve sanatçılar için çokgensel formların kullanım yöntemlerini konu alan yapıttır. 1522 yılında kaleme alınan bu eser, düzlemsel ve tekrarlı örüntülerin üretimi için kapsamlı bir teknik altyapı sunar (Washburn ve Crowe, 1988, s.3).

Yapıt geometrik tasarımların fiziksel üretimleri için bir el kitabı niteliğindedir ve basit aletlerle iki boyutlu örüntülerin ve üç boyutlu çok yüzlülerin üretim şekillerini kesip çıkarılabilen iki boyutlu diyagramlarla anlatır (Necipoğlu, 1995, s.1).

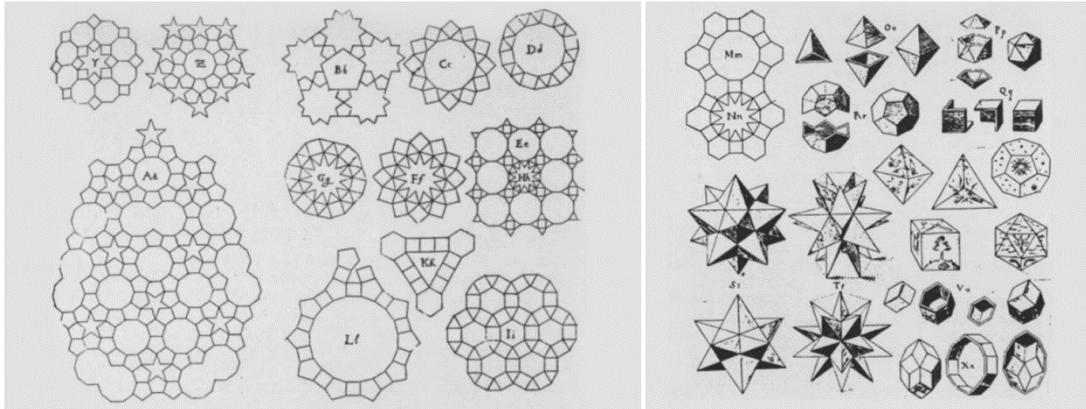


Şekil 7: Leonardo Da Vinci'nin Noktasal, Düzlemsel ve Uzaysal Simetrik Örüntü Eskizleri
(Codex Atlanticus, 2017)

Pek çok araştırmacının doğanın gizemlerinin keşfinin peşine düştüğü bu dönemde simetri konusunda değinilmesi gereken bir diğer önemli husus ise kar tanelerine duyulan meraktır. Her ne kadar M.Ö. 2. yüzyıl gibi eski bir tarihte Çin'de biçimsel tutumları kayıt altına alınmış olsa da batıda hakkında o döneme dek bilinen şeyler kısıtlı olan kar taneleri 17. yüzyıl başlarında matematikçi ve gök bilimci Johannes Kepler'in ilgisini çekmiştir. Kepler, düşünce hayatının erken yıllarında benimsediği Yeni Platoncu gizemli güç inancını reddetmiş ve bu simetrik yapıların temelindeki nedenin peşine düşmüştür (M. Hargittai ve Hargittai, 2009, s.64-65). Kepler, kar kristallerinin özel altıgensel doğasının farkındadır fakat biçimsel oluşum nedenlerini tam olarak açıklayamamıştır.

Daha açık bir tabirle, Kepler bu özel simetrik formun suyun uzayı simetrik olarak doldurma girişimlerine dair bir sonuç olduğunun bilincindedir fakat daha öncesinde Kopernik tarafından benimsenen simetri temelli kozmik uyum tasarısını ve beş adet Platonik Cisim etrafında şekillenen evren düşüncesini yetersiz bulmaktadır (Hon & Goldstein, 2008, s.171-174). "Altı Köşeli Kar Tanesi" ("*De Nive Hexangula*") adlı 1611 tarihli yapıtıyla kristallerin örüntü biçiminin iç strüktürleriyle ilgili olduğunu kesin olarak kanıtlamış ve kristallerin benzer parçacıklardan oluştuğu fikrinin keşfi ile 18. yy mineral bilimini şekillendirmiştir (I. Hargittai ve Hargittai, 2021, s.4).

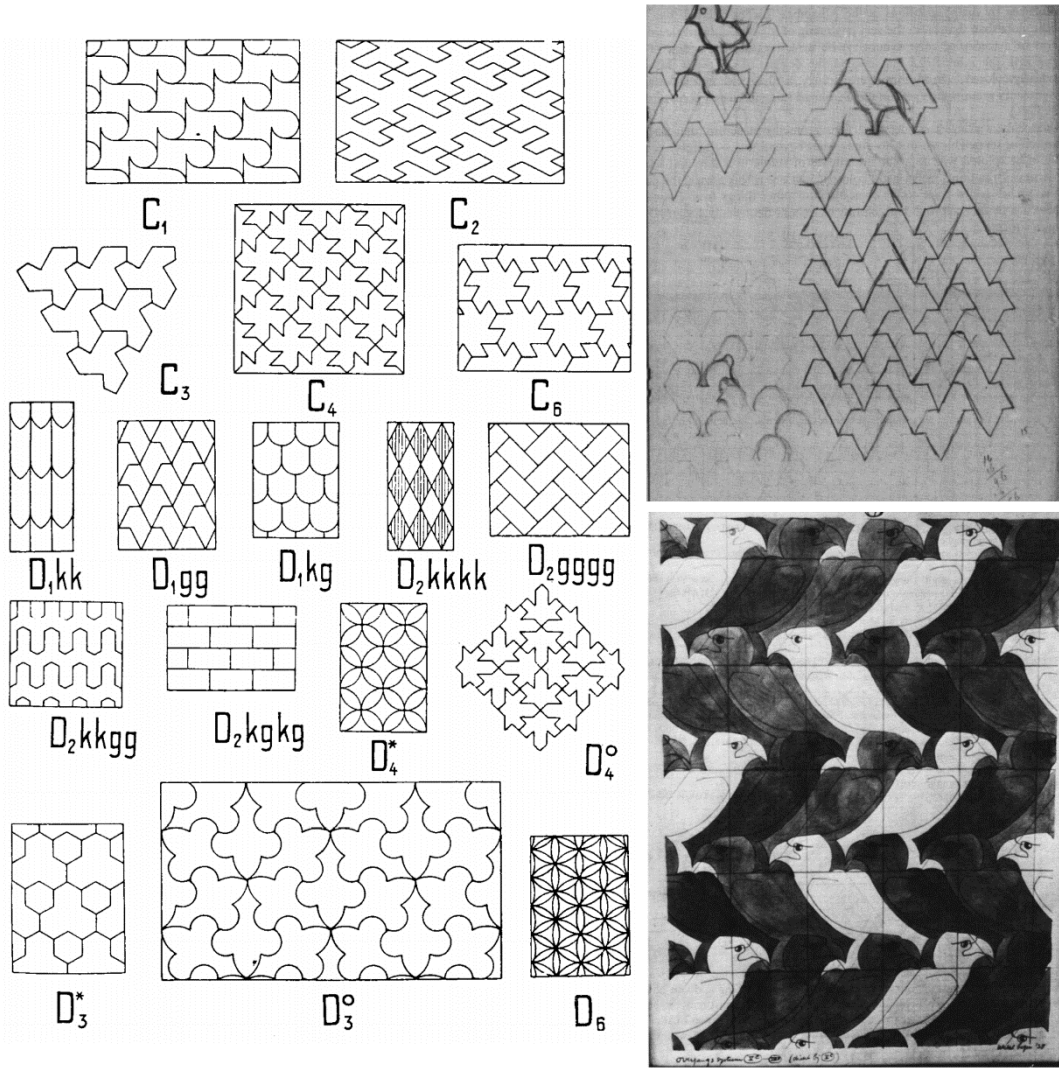
Kepler, 1619 tarihli “*Harmonices Mundi*” (“Dünya’nın Uyumu”) adlı kitabında ise çokgenlerin bir düzlemi boşluksuz kaplayabilme ve üçüncü boyutta bir araya gelerek kapalı çok yüzlü biçimler oluşturabilme olasılıklarını tarif etmektedir (Necipoglu, 1995). Kepler’in düzlemsel olarak sıkıştırılmış daireleri, uzaysal olarak sıkıştırılmış küreleri ve düzgün çok yüzlü geometrik biçimlerin oluşum ilkelerini konu alan fikirleri simetrik örüntülerin tasarımı konusundaki modern anlayışın temellerinden biri olarak kabul edilir (Washburn & Crowe, 1988, s.3).



Şekil 8: Harmonices Mundi'den Düzlemsel Örüntüler Ve Katı Cisimler (Kepler, 1619, s.107)

Bu fikirler 18. yüzyılda kristalografi adı verilen ve kristallerin düzenli ve eksiksiz taksonomisini oluşturmayı amaçlayan yeni bir sayısal bilim alanının ortaya çıkmasını sağlamış; Avrupa'da 16. yüzyıldan itibaren iki yüz yıl boyunca ağırlıklı olarak sanat ve mimarlıkla ilişkili olarak dar bir perspektifte kullanılan simetri teriminin kapsamını bu yeni bilimsel konseptle genişletmiştir (Hon ve Goldstein, 2008, sf.93-98).

17 düzlemsel kristalografik grup olarak anılan sistematik kuram 20. yüzyıldaki gelişmelerle yeni bilimsel ve sanatsal çevrelere ulaşmış; doğa, matematik ve tasarım arasında bağlayıcı bir format elde etmiştir. Federov tarafından duyurulduktan sonra bir süreliğine unutulmuş kuram, olasılık teorisi, sayı teorisi, sezgisel analiz gibi alanlarda çalışan matematikçi George Pólya'nın doğa bilimleri ve mimari yüzey örneklemelerini hedef alan çalışmaları dolayısıyla yeniden gündeme gelmiştir (Grünbaum ve Shephard, 1987, s.55). Düzlemsel simetri gruplarını 1924 yılında kristalografi uygulamaları açısından yeniden değerlendiren Pólya (Mainzer, 1996, s.138-140), 17 düzlemsel simetri grubunun anlaşılabilir orijinal çizimlerini elyazısıyla uluslararası notasyonlar ekleyerek yayınlamıştır (Stewart ve Golubitsky, 1993, s.239). Bu nedenle bu çalışma, çeşitli kültürlerin mimari yapıları için tasarlanmış simetrik yüzey örüntülerinin grup kuramının sistematik yaklaşımlarıyla incelenip sınıflandırıldığı ilk bilimsel çalışma olarak kabul edilir (Grünbaum ve Shephard, 1987, s.641-653).



Şekil 9: Pólya'nın Düzlemsel Simetri Tablosu ve Tablodaki Bir Örüntünün M.C. Escher Tarafından Figüratif Sanat Yapıtına Dönüştürülmesi (Schattschneider, 1987, s.294)

Simetriye ilişkin sistematik bilgileri sanatsal bağlamda değerlendiren en belirgin örnek 20. yüzyılın en önemli grafik sanatçılarından Maurits Cornelis Escher'dir. 1936 yılında Elhamra Sarayı'nı ikinci kez ziyaret eden Escher özellikle bu dönemden sonra gözlem ve fikirlerini matematiksel bir bakış ve sistematik bir arka planla sanatsal çalışmalarına aktarmaya başlamıştır (Bool ve diğ., 1995, s.50-55). Pólya'nın görsel algoritma çalışmalarından iki yıl önce Elhamra Sarayı'nı ve Cordoba Camisi'ni ziyaret eden ve simetrik yüzeyleri hakkında çalışmalar yapan grafik sanatçısı Maurits Cornelis Escher yüzeylerin simetrik dönüşüm kurallarını tanımlamaya çalışmış ve bu kurallar ile ulaştığı biçimleri gerçek dünyadaki biçimlere benzeştirerek düzlemsel simetritler barındıran, figüratif ve geometrik ifadeler içeren grafik yapıtlar ortaya koymuştur. Fakat Escher, bu simetrik örüntülerin sınırları belirli kristalografik kurallara göre şekillenebileceğinden bir ölçüde habersizdir ve Pólya'nın kristalografik şablonlarıyla (Şekil 9) tanışması 1930'lu yılları bulmuştur (Escher, 2001; Schattschneider, 1987, s.293).

6. Modernist ve Postmodernist Görüşler

20. yüzyılda simetri konusunda gerçekleşmiş deneyim ve keşifler oldukça karmaşık matematiksel ve kısmi olarak sanatsal yansımalar elde etmiş olsa da çağın mimari karakteri bir önceki yüzyılın süslemeciliğini şiddetle eleştirmiş; simetri gruplarına ilişkin deneyimler mimari ve iç mimari sınırların dışında kalmıştır. 19. yüzyılın geleneksel simetrik yüzey örüntüsü tasarımlarını içeren önemli yapıtlarından 1856 yılında Owen Jones tarafından yazılan "*Grammar of Ornament*" ("Süsleme Grameri") adlı kitap, sonraki yüzyılın Frank Lloyd Wright ve Le Corbusier gibi iki ünlü modernist mimarı etkilemiştir (Washburn ve Crowe, 1988, s.11) fakat 19. yüzyıl doğa benzetmeciliğine karşıt olarak modernist görüş simetriyi bir süs öğesi olarak değil, çalışmanın aslı ve yapısal karakteristiği olarak görmüştür (Mainzer, 1996, s.630).

20. yüzyıl başlarında Art Deco ve Art Nouveau gibi hareketler, 1904 yılında biyolog Ernst Haeckel tarafından yazılan "*Kunstformen der Nature*" ("Doğanın Sanat Formu") gibi yapıtların da etkisiyle doğanın biçimsel tutumlarını tasarım süreçlerinde esin kaynağı olarak değerlendirilme konusunda dekoratif bir tutum benimsemiştir. Fakat bu dönemde mimar ve düşünürler sosyal yapı ve teknolojik evrimin geldiği noktayı doğal metotlardan tasarım ilkeleri devşirebilme olanakları bakımından yetersiz görmüşlerdir. Modernizmle çağdaş fakat doğaya öykünme şekli konusunda ona karşıt olan bu anlayışlar söz konusu yetersizlik nedenlerine bağlı olarak doğayı ve simetriyi yalnızca estetik yönleriyle ele alabilmiştir. Modernist görüş işlevsel katmanların önüne geçen ilgisiz süsleyici biçim katmanlarını şiddetle reddetmektedir. 20. yüzyıl anlayışını şekillendiren modernizmin mimari disiplindeki temsilcilerinden Louis Sullivan yüzeyleri genellikle üçgensel ve dörtgensel ızgara teknikleri ile değerlendirmiştir. Fakat 19. yüzyıl sonlarında simetriyi kütleli bir bölüntüleme amacından çok dekoratif amaçlarla da kullandığı görülür (Picon, 2013, s.41-71).

Frank Lloyd Wright dörtgen ızgaraları mekânsal yüzeylerin tümünü ilgilendiren kütle tasarımları için fikir devşirilecek oransal bir aygıt olarak görmüştür (Agkathidis, 2015, s.11). Le Corbusier ise mekânların işlevsel katmanında gerçekleşebilme ihtimali olan, öngörülemez olumsuz sonuçların engellenebilmesi adına kendi ızgara sistemini tanıtmış; oransal kusursuzluğa ulaşmak için bir anahtar olarak gördüğü, "Modulor" adlı bu sistemi Ronchamp Şapeli (1954), Brüksel Pavyonu (1958) gibi yapılarında oransal bölüntüleme kuralı olarak kullanmıştır.

Artnouveau gibi biyolojik dünyayı dekoratif bir kütüphane olarak değerlendiren sanat ve mimarlık hareketlerinden farklı olarak Frei Otto, Joseph Paxton gibi mimarlar biyolojik dünyadan pek çok strüktürel fikirler devşirmiş, doğayı mekânın hem estetik, hem de yapısal esin kaynağı olarak görmüştür (Vincent ve diğ., 2006, s.19) Rudolf Steiner, Fredrick Kiesler ve Eero Saarinen gibi mimar ve tasarımcılar da hem estetik hem yapısal boyutuyla doğa temelli yaklaşımlar getirmişlerdir. Hem simetriyi, hem de eşbiçimliliği pek çok ikonik yapısında kullanan 20. yüzyılın önde gelen mimarlarından Buckminster Fuller da, doğayı kuşatan ilkelerin araştırılması insanın gelişimini tüm evrene uyumlu halde tamamlamasına yardımcı olacağına değinmiş ve evrene olan saygı gereğince mekân ve

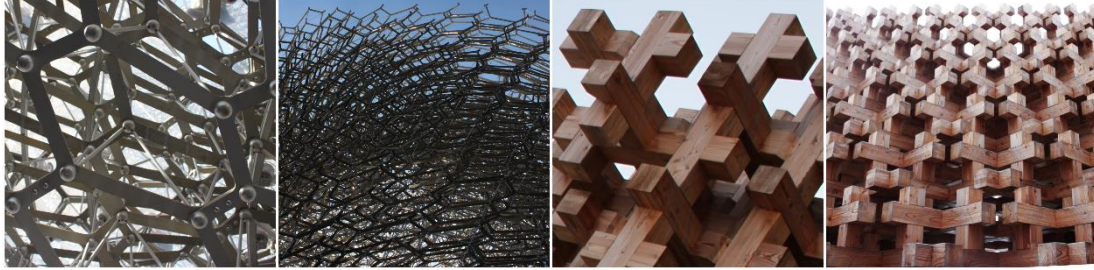
malzemede matematiksel verimliliğin gözetilmesi gerektiğini söylem ve çalışmalarıyla vurgulamıştır. Buckminster Fuller, biyosfer, konut, otomobil, yer küre modeli gibi çok çeşitli tasarımlarında dymaxion adı verdiği, minimum enerji girdisiyle maksimum enerji çıktısı sağlama modelini temel almış, bunun için sıklıkla doğadaki simetriyi kaynak olarak kullanmıştır. Hatta, 1985 yılında keşfedilen düzgün yirmi yüzlü geometriye sahip karbon allotropu, Fuller'ın kurguladığı polihedral örüntülere olan benzerliğinden dolayı "*buckminsterfullerene*" adını almıştır.

Buckminster Fuller'ın doğa, simetri, strüktür, malzeme ve mekân arasında temelden kurduğu ilişki Türkçe'ye "deneyüstücülük" ya da "aşkıncılık" olarak çevrilen ve doğanın iç bileşenlerine ilişkin işleyişlere olan hayranlıktan ayrı görülemeyecek "*transendantalizm*" fikri; "yeşil hareket" ("*green movement*") ve "dönüşlü modernizm" ("*Reflexive Modernism*") fikirleriyle ilişkilidir. Doğayla temelden kurulan bu ilişkiye verilebilecek bir örnek olarak 1953 yılında Pierre Luigi Nervi'nin tasarladığı Roma'daki yün fabrikası da Fuller'ın çalışmaları gibi maliyet ve kaynak kullanım verimliliğini esas alır ve simetriyi biyomimetik bir anlayışla ele alır. Yapının yüzeylerine simetri yoluyla yapısal görevler yüklenmiş, asal gerilme hatlarını takip eden ve kolon akslarından geçen yansıma akslarına göre biçimlenmiş yüzeyler verimlilik ve tasarruf kaygısına koşut olarak eşbiçimli ve modüler olarak tasarlanmıştır (Pawlyn, 2016, s.19).

Modernist mimarların doğal kaynakların kullanımı ve ekonomi ile ilgili düşünceleri ve simetriyi kullanım biçimleri genel olarak yapım maliyetlerinin düşürülmesi, biçimsel standartlaşma ve hızlı yenileşme kavramlarını vurgulamıştır. Walter Gropius'un "yaşamın gereklilikleri çoğu insan için aynıdır" ifadesi ve Le Corbusier'in "bütün uluslar ve iklimler için tek yapı" mottosu tepki çekmiş ama sonraki dönemde kısmen gerçekleşmiş olsa da özellikle geç yirminci yüzyılda Alvar Aalto, Mario Botta gibi mimar ve tasarımcılar modernizmi duygusal açıdan eksik ve iletişime uzak bularak eleştirmiş ve yenileşmesi gerektiğini savunmuşlardır. Modernitenin getirdiği tek tipleşme ile ilgili ortaya koyulan bu tür eleştiriler postmodernizmi doğurmuştur. Modernizmin determinist (belirlenebilir) tavrı karşısında vaziyet alan postmodernizm; modernizmin savunduğu bütünlüğün, sürekliliğin ve homojenliğin yerine indeterminizm (belirlenemezlik), dağılma, süresizlik, kaos ve geçicilik temalarını getirmiştir.

20. yüzyıl başlarından itibaren ortadan kalkmaya başlayan yüzeyin dekoratif amaçlara göre şekillendirilmesi geleneği postmodernizm ile birlikte 1970'li ve 1980'li yıllarda süs, çok renklilik, metafor, sembolizm ve mizahi unsurlar ile birlikte yeniden görünürlük elde etmiştir. Modernist anlayışın gereksinim duymadığı bu öğelerin yeni binyıldaki geri dönüşünün temelinde ise 1990'lı yıllarla birlikte kullanımı geniş çapta yaygınlaşan bilgisayar destekli tasarım programları yatmaktadır (Picon, 2013, s.132-135). Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler doğa ve tasarım ilişkilerinin yeniden sorgulanmasını sağlamış; Santiago Calatrava, Achim Menges gibi mimarlar geçmişte biçimsel bir taklit seviyesinde bırakılmış doğaya öykünme yöntemlerine organizmaların dinamik ve akıllı süreçlerini de dahil ederek biyomimetik tasarıma yeni soluklar getirmiştir (Ağkathidis, 2015, s.10). Birbiri içine geçen geometrilerle kurulu örüntüler ve simetrik tessellasyonlar tasarlama teknolojisindeki gelişmelerle birlikte yeni dekoratif anlayışlar doğurmuştur. Zaha Hadid tarafından 2005 yılında tasarlanan Dubai Opera Binası ise kısmi olarak Ortaçağ İslam mimarisine özgü modüler örüntülerin canlandırıcılığına taşır. PTW

Architects tarafından tasarlanan ve 2008 yılında hizmete açılan Pekin Ulusal Su Sporları Merkezi cephesinde, 1993 yılında Denis Weaire and Robert Phelan tarafından uzayı eşit hacimlere bölebilmeye amacıyla tasarlanmış *Weaire-Phelan* örüntüleri kullanılmıştır (Picon, 2013, s.31).



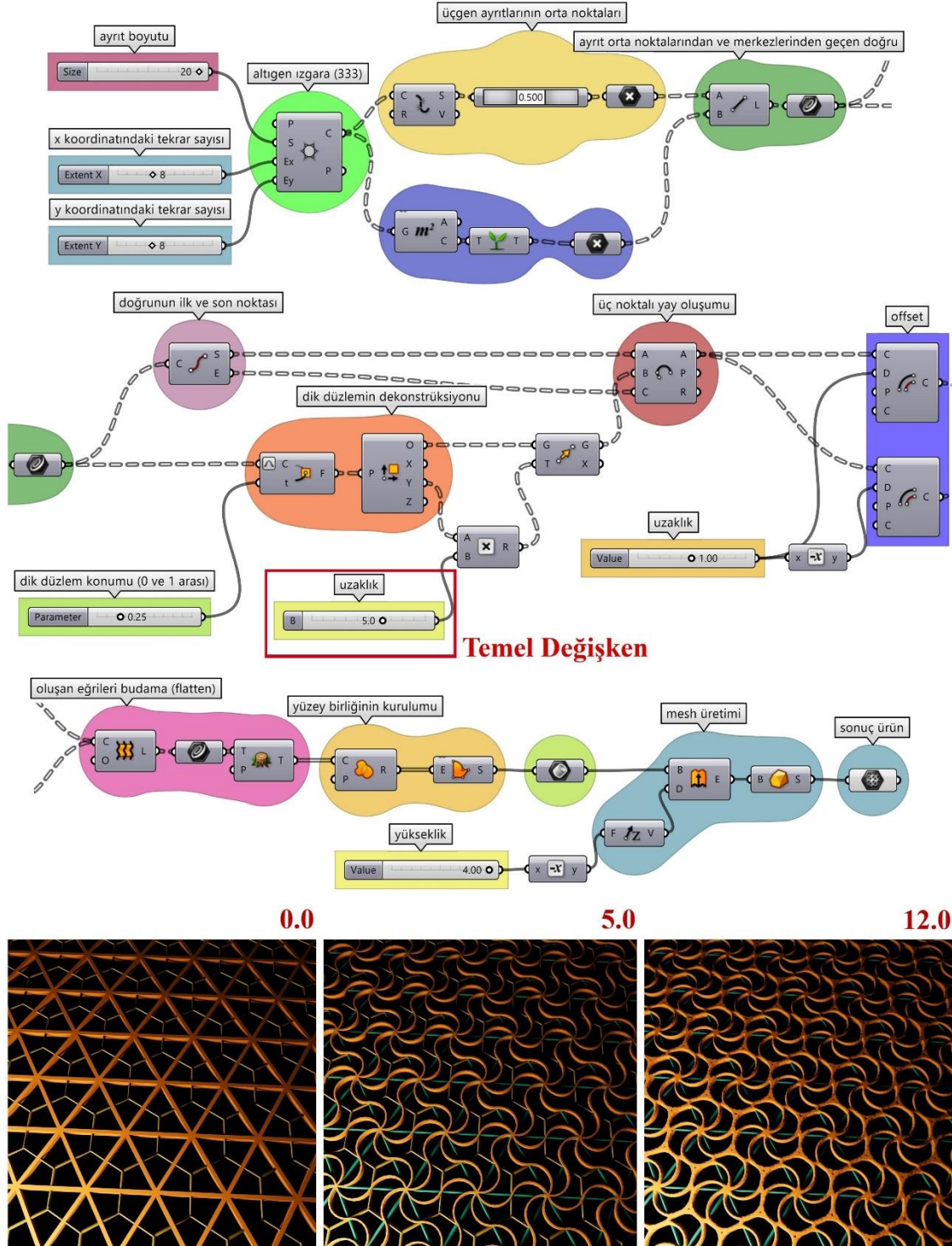
Şekil 10: Expo 2015 Birleşik Krallık Ve Japonya Ulusal Pavyonları'nda Yapısal Anlamıyla Periyodiklik, Simetri, Modül ve Yüzey İlişkisi
(Fotoğraflar: Korcan Gülfidan, Milano, 2015)

Atsushi Kitawagara, Nendo ve Teamlab tarafından 2015 Evrensel Sergisi için tasarlanmış Japonya Ulusal Pavyonu, geçme yöntemiyle birbirlerine eklenen ahşap bileşenlerle mekânı eşit hacimlerle bölüntüleyen, simetriyi üçüncü boyuttaki anlamlarıyla da kullanan modüler cephe sistemlerine sahiptir. Wolfgang Buttress tarafından tasarlanan Birleşik Krallık Ulusal Pavyonu da alüminyumdan yapılmış altıgen modüllerle simetrisinin uzaysal olarak değerlendirildiği kübik bir strüktür içerir (Gülfidan, 2015, s.66-73).

Organik ve inorganik doğada simetrisinin ve oransal kuralların düşük maliyetli olan yolu seçme ve hem malzemedenden hem de zamandan tasarruf sağlama amaçları (Du Sautoy, 2008b) düşünüldüğünde; kavramın iç mimari tasarım eylemiyle olan ilişkisinde de benzeri yarar ve yeniliklerin gözetilmesi gerektiği çıkarımı yapılabilmektedir. Nobel ödüllü fizikçi Max Ledermann ve fizikçi Christopher Hill'in (2004) evrene dair olan her şeyin temelinde gördüğü simetri kavramı da doğal olarak doğadaki yüksek verimliliğin tasarlama eylemindeki biyomimetik izdüşümü olarak değerlendirilmelidir. Matematikçi John Conway (2008) tarafından da simetrisinin mimari tasarımda ekonomi, iş verimliliği, üretimde ve kullanımda kolaylık gibi pek çok değere hizmet etmek adına kullanım avantajları vurgulanmıştır.

Simetri, dijital tasarım anlamında da verimle ilişkilidir. Günümüzde periyodik yüzey tasarımı konusundaki kararlar yeni dijital teknolojiler kullanılarak verilebilmektedir. Bu nedenle bilgisayar destekli tasarım ve algoritma destekli tasarım araçları periyodik yüzey tasarımlarını okuma ve yeniden düzenleme konusunda geçmiş ve gelecek arasında yeni yollar inşa etmek amacıyla kullanılabilir. Şekil 11, Elhamra Sarayı'nda daha önceden Şekil 6.b'de gösterilmiş 333 tipi periyodik düşey yüzey örüntüsünün algoritma destekli tasarım araçlarından McNeel Grasshopper programı ile oluşturulmuş bir replikasını ve sonuç modelin parametrik olarak üretim aşamalarını göstermektedir. Bu durum, güncel alanyazında genellikle postmodernizm ile ilişkilendirilen güncel üretken tasarım araçlarının geleceğe dönük adımlar atma, mevcut olan periyodik örüntüleri paket yöntem

dizinleri halinde çözümüleme ve dijital ortamda depolama amacıyla kullanılabileceğine dair bir kanıt niteliğindedir.



Şekil 11: Elhamra Sarayı'ndan 333 tipi bir yüzey örüntüsünün algoritma destekli tasarım programı McNeel Grasshopper ile yeniden üretimi ve farklı sayısal değişkenler altında incelenmesi

7. Değerlendirme Ve Sonuç

Simetri yapısal ve estetik getirilerinden yararlanılabilecek sistemler önerir. Doğada simetri verimle ilişkilidir. Bu verim ölçütünün mekân tasarlama eylemindeki beklentilerine yanıt verip veremeyeceği sorusu başka bir çalışmanın konusudur. Çalışmada simetri kavramına ve bu alandaki ilerlemelere tarihsel bir perspektifle bakılmıştır. Bugüne dek insanlığın çevresel öğelerin tasarımında sıklıkla kullandığı simetri hakkındaki bilgiler zamanla ilerlemeler, duraklamalar göstermiş, simetrinin anlamı ve kullanım biçimleri kültürden kültüre değişerek geçmiştir. Simetrik mimari yüzey örüntüleri dönemden döneme gerek geometrik olarak gerek malzeme kullanımı açısından değişiklikler göstermiştir. Bu nedenle çalışmada hem bilginin kültürler ve nesiller arası aktarımı konusuna, hem de insanların doğayı kavrama ve onu çevresel öğeler olarak maddeleştirme biçimlerinin gelişimi konusuna ışık tutulmaya çalışılmıştır.

Tarihte insan, simetriyi süsleyici ve işlevsel beklentilerine göre çeşitli şekillerde kullanmıştır. Günümüzde de görsel, dokunsal ve anlamsal paradigmanın bir parçası olarak kullanılan simetri hem modülerlik konusunda formül üretebilen işlevsel bir değer, hem de tasarım araçlarının yeni bir teknolojik evrede oluşundan dolayı bir süsleme ögesi olarak yeniden karşımıza çıkmaktadır. Her koşulda simetri, tekrarlılık ve düzen içerdiğinden modülerlikle ve tasarruf faktörüyle doğrudan ilişkilidir. Simetri modernist çerçevede işlevsellik ve uyum ile postmodernist çerçevede ağırlıklı olarak süslemeci değerleriyle var olmaktadır. Pek çok dönemde mekânsal öğelerin simetri bağlamında şekillendirilmesi, bütünlük ve eş parça ya da birbirlerine uyan parçalar arasında ilişki kurulması hem dekoratif sonuçlarıyla hem de modülerlik yardımıyla üretim kolaylığı olarak geri dönmüştür. Gün geçtikçe doğayı algılama ve taklit etme yollarımız gelişmektedir. İmge ve mekân üretmenin kolaylaşmakta olduğu bu dönemde işlevsel kolaylıklar yaratmak adına simetrinin verimsel getirilerinden yararlanılabileceği düşüncesi çalışmayı şekillendirmiştir. Bu nedenle çalışmada simetrinin doğanın daha az işlemle ve az malzemeyle iş yapma özelliği göz ardı edilmemiştir. Simetrinin tarihsel seyri sonucunda ulaştığı son durum onun görsel ve anlamsal işlevin yanında kullanım işlevi bağlamında da yarar sağlayacağı fikrini doğurmaktadır. Dolayısıyla doğal simetrikler mimari yapay çevrelerin inşasında verim faktörüyle birlikte değerlendirilmeye uygundur. Simetri ve modülerlik doğada doğrudan verimsellik ile ilişkili olduğundan yüzey tasarım süreçlerinde başvurulabilecek bir tasarruf ögesi olarak değerlendirilebilir. 19. yüzyıl sonlarından beri simetrinin dönüşümleri kullanılarak iki boyutlu bir düzlemde en fazla on yedi farklı şablon üretilebileceği bilinmektedir. Neden on sekizinci bir örüntünün üretilmeyeceğine dair yakın zamanda yapılmış bilimsel çalışmalar mevcuttur. Simetri doğrultusal olarak ancak yedi farklı dönüşüm algoritması kullanılarak bir düzlemde periyodik modülerleştirmede kullanılmaktadır. Klasik Antik dönemde keşfedilip Platon'a atfedilen düzgün çok yüzlü biçimler ancak beş adettir. Bu sınırlardan simetrinin ikinci boyuta kadarki etkinliği çalışmanın kuramsal bağlayıcısı olmuştur.

Mimari simetrik örüntü üretme yöntemleri farklı dönemlerde, farklı coğrafyalarda değişip gelişmiş olsa da on yedi parçadan meydana gelen düzlemsel kristalografik grup ikinci boyuta kadarki her simetrik dönüşümü içerir. Düzlemsel kristalografik grup simetrinin iki boyuttaki etkinliklerinin sınırları belli, anlamlı bir sınıflandırmasını içerir. Bu bakımdan

içinden mekânsal anlamlar da çıkartılabilecek tamamlanmış bir kuramı kasteder. Sayısal tasarımın üretken tasarım araçlarıyla günümüzde bu örüntüler tekrar üretilebilir ve çeşitlendirilebilir.

Üretken tasarım süreci belirli değişkenler aracılığıyla bir ürünü az sayıda formül çok sayıda mekânsal sonuca ulaştırma konusunda istikrarlı bir süreçtir. Bu tür yeni teknolojilerle Paleolitik Çağ'dan itibaren belgelenmiş tüm simetrik örüntüler bahsi geçen grup algoritmalarına göre üretken tasarım araçlarıyla yeniden üretilebilir, bilgisayar programları yeni sayısal değişkenlerle tek formülizasyona bağlı bir sonuç olarak farklı karakterlerde yeni örüntülerin türetilmesine olanak tanıyabilir. Simetri mekânsal ölçeğe göre görsel ve dokunsal, anlamsal ya da işlevsel anlamlarda tüm tasarım disiplinlerinde kendine yer bulabilir. Hatta bu modülerlik eylemsel sınırlar çerçevesinde gelişebilir ve deneyimlenebilir. Bugün simetrinin dönüşümleri paket yöntem dizinleri halinde oluşturulup kopyalabildiğinden algoritma destekli tasarım programları kullanılarak üretim süreci için oldukça elverişlidir. Hem üretimde hem üründe modülerlik sorunlarını çözebileceğinden doğa ve tasarım arasındaki döngüye fayda sağlamak amacıyla simetriye başvurulabilir.

Kaynaklar

Abbott, E. A. (2015). *Düzülke*. Alfa Yayıncılık, Çevirmen: Hasan Fehmi Nemli, Orijinal Adı: Flatland, E. A. (2015). *Düzülke*. Alfa Yayıncılık, Çevirmen: Hasan Fehmi Nemli, Orijinal Adı: Flatland: A Romance of Many Dimensions.

Acocella, A. (2006). *Stone Architecture: Ancient and Modern Construction Skills*. Skira Editore.

Agkathidis, A. (2015). *Generative Design*. Laurance King Publishing.

Agnello, F. (2010). The Painted Ceiling of the Nave of the Capella Palatina in Palermo: An Essay on Its Geometric and Constructive Features. In G. Necipoğlu & K. A. Leal (Eds.), *Muqarnas An Annual on the Visual Cultures of the Islamic World* (Publ. 2009, Vol. 27, p. 407;447). Brill, Leiden, The Netherlands.

Al-Khalili, J. ve McFadden, J. (2016). *Kuantum Sınırında Yaşam: Yaklaşan Kuantum Biyolojisi Çağı*. Domingo Yayınevi.

Algorithm. (2021). Google Books Ngram Viewer. https://books.google.com/ngrams/graph?content=algorithm&year_start=1800&year_end=2019&corpus=26&smoothing=3&direct_url=t1%3B%2Calgorithm%3B%2Cc0#t1%3B%2Calgorithm%3B%2Cc0, Erişim Tarihi: 20.12.2020

Arık, R. (2018). *Selçuklu Sarayları ve Köşklere*. Ankara Üniversitesi Yayınları, 2017, Ankara.

Arık, R. ve Arık, O. (2008). *Tiles, Treasures of Anatolian Soil: Tiles of the Seljuk and Beylik Periods*. Kale Grubu.

Artstor. (2021). Artstor Digital Library, JSTOR®, ITHAKA®, Artstor®. <https://0310n1zr1-y-https-library-artstor-org.msgsu.proxy.deepknowledge.io/#/home>

Baglivo, J. A. ve Graver, J. E. (1983). *Incidence and Symmetry in Design and Architecture*; Cambridge Urban & Architectural Studies (C. U. Press (Ed.)).

Bakışım. (2021). Türk Dil Kurumu Sözlükleri. <https://sozluk.gov.tr/> üzerinden Erişim Tarihi: 12.02.2021

Ball, P. (2011). In retrospect: On the Six-Cornered Snowflake. *Nature*, 480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/480455a>

Ball, P. (2016). Why Nature Prefers Hexagons: The Geometric Rules Behind Fly Eyes, Honeycombs and Soap Bubbles. *Nautilus*. <https://nautil.us/issue/35/boundaries/why-nature-prefers-hexagons>

Barabe, D. ve Jean, R. V. (1998). *Symmetry in Plants (Mathematical Biology and Medicine)*. World Scientific Publishing Company (April 11, 1998).

Becker, J. A. (2021). *Greek Architectural Orders*. Khan Academy. <https://www.khanacademy.org/humanities/ancient-art-civilizations/greek-art>

Bentley, W. A. (1999). *Snowflake Bentley*. <https://snowflakebentley.com/images>

Blake, S. P. (2016). *Astronomy and Astrology in the Islamic World (The New Ed)*. Edinburgh University Press.

Bonner, J. ve Kaplan, C. S. (2017). *Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction*. Springer.

Bool, F. H., Ernst, B., Kist, J. R., Locher, J. L. ve Wierda, F. (1995). *Escher: The Complete Graphic Work (J. L. Locher (Ed.))*.

Broug, E. (2008). *Islamic Geometric Patterns*. Thames & Hudson.

Bush, O. (2018). *Reframing the Alhambra: Architecture, Poetry, Textiles and Court Ceremonial*. Edinburgh University Press. <https://doi.org/10.3202/caa.reviews.2019.19>

Codex Atlanticus. (2017). *The Visual Agency*. <https://www.codex-atlanticus.it/>

Conway, J. H., Burgiel, H. ve Goodman-Strauss, C. (2008). *The Symmetries of Things*. A K Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts.

Coxeter, H. S. M. (1998). *Non-Euclidean Geometry (Mathematical Association of America Textbooks) (Ed.: Sixth)*. Mathematical Association of America. <https://ekutuphane.msgsu.edu.tr/eds/detail/retrieve?An=759515&dbld=nlebk>

Cromwell, P. R. (2008). The Search for Quasi-Periodicity in Islamic 5-fold Ornament. *The Mathematical Intelligencer 2008* Springer Science+Business Media, LLC., 31(36), p.36;56.

Crowe, D. W. (2001). *Symmetries of Culture*. Bridges, Mathematical Connections in Art, Music, and Science. <https://archive.bridgesmathart.org/2001/bridges2001-1.pdf>

Demaine, E. D., Demaine, M. L. ve Koschitz, D. (2011). Reconstructing David Huffman's Legacy in Curved-Crease Folding. In P. Wang-Iverson, R. J. Lang, & M. Yim (Eds.), *Origami 5* (1st Editio, p. 14). A K Peters/CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10971-6>

Du Sautoy, M. (2008a). *Symmetry, Everywhere: A Mathematician Surveys The New Frontier Of Science*. Science & Spirit(Vol. 19, Issue 2), Publisher: Heldref Publications, 19(2).

Du Sautoy, M. (2008b). *Symmetry: A Journey into Patterns of Nature*. Harper Collins e-books.

Du Sautoy, M. (2009). *Simetri, Gerçekliğin Bilmecesi*. TED, Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=415VX3QX4cU>, Erişim Tarihi: 05.02.2021

Emmer, M. (2005). *The Visual Mind II* (Leonardo Book Series) (M. Emmer (Ed.); 2005th ed.). MIT Press.

Ernst, B. (2007). *The Magic Mirror of M.C. Escher*. TASCHEN.

Erten Bilgiç, D., Bal, B. (2019). İslam Mimarisinde Geometri ve Elhamra Sarayı Örneği, UBAK ,4. Uluslararası Sosyal Ve Eğitim Bilimleri Araştırmaları Kongresi, Yalova, Türkiye, 14 - 17 Şubat 2019, Cilt.1

Escher, M. C. (2001). *M. C. Escher : The Graphic Work Introduced and Explained by the Artist ; English Translation John E. Brigham* (E. translation J. E. Brigham (Ed.)). Köln : Taschen, 2001.

Fraser, G. J., Shono, T., Thiery, A., Cooper, R. L., Britz, R. ve Okabe, M. (2019). Evolution and Developmental Diversity of Skin Spines in Pufferfishes. *IScience*, 19, 1248–1259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isci.2019.06.003>

Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture*. John Frazer and the Architectural Association, London.

Glaeser, G. (2013). *Nature and Numbers: A Mathematical Photo Shooting* (Edition An). Ambra Verlag. Vienna, Austria, 2013.

Goehring, L. ve Mahadevan, L. (2008). Cracking the Giant's Causeway: Solving a 300 Year Old Geology Problem Using Kitchen Materials. <https://www8.physics.utoronto.ca/~nonlin/PNASpress/PNASpress.html>

Gregotti, V. (1996). *Inside Architecture*. MIT Press.

Groß, B., Bohnacker, H., Laub, J. ve Lazzeroni, C. (2018). *Generative Design, Visualize, Program and Create with Javascript in p5.js*. Princeton Architectural Press, New York.

Grünbaum, B. (2006). What Symmetry Groups Are Present in the Alhambra? *Notices of the American Mathematical Society*, 53(6), 670–673.

Grünbaum, B., Grünbaum, Z. ve Shephard, G. C. (1986). Symmetry in Moorish and Other Ornaments. *Comp. & Maths. with Appls.*, 12(3–4), 641–653. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0898-1221\(86\)90416-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0898-1221(86)90416-5)

Grünbaum, B. ve Shephard, G. C. (1987). *Tiling And Patterns*. W. H. Freeman and Company, New York.

Gülfidan, K. (2015). Bildirişim Aracı Olarak İç Mekân Tasarımı: Gösterge Kavramı Kapsamında "2015 Evrensel Sergisi" Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Hahn, A. J. (2012). *Mathematical Excursions to the World's Great Buildings*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Hankin, E. H. (1925). *Memoirs of The Archaeological Survey of India No.15: The Drawing of Geometric Patterns in Saracenic Art (Original E)*. Archaeological Survey of India, Janpath, New Delhi. <https://archive.org/details/HankinSaracenicArt>

Harari, Y. N. (2016). *Homo Deus: Yarının Kısa Bir Tarihi*. Kolektif. Kitap, Bilişim ve Tasarım ltd. şti.

Hargittai, I. ve Hargittai, M. (1994). *Symmetry: A Unifying Concept*. Shelter Publications, Inc.

Hargittai, M. ve Hargittai, I. (2009). *Visual Symmetry*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Harris, J. (2012). *Fractal Architecture: Organic Design Philosophy in Theory and Practice (1st Editio)*. University of New Mexico Press.

Hon, G. ve Goldstein, B. R. (2008). *From Summetria To Symmetry: The Making Of A Revolutionary Scientific Concept (C. I. Jed Z. Buchwald, Dreyfuss Professor of History & U. of Technology, Pasadena, CA (Eds.); Archimedes)*. 2008 Springer Science+Business Media B.V.

Horne, C. E. (2000). *Geometric Symmetry in Pattern and Tilings*. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC.

Jablan, S. V. (2002). *Symmetry, Ornament and Modularity*. River Edge, NJ: World Scientific, c2002.

Janson, A. ve Tigges, F. (2014). *Fundamental Concepts of Architecture, The Vocabulary of Spatial Situations*. Birkhäuser. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9783034608923>

Johnston, H. (2007). *Islamic 'Quasicrystals' Predate Penrose Tiles*. *Physics World*, IOP Publishing. <https://physicsworld.com>

Kaplan, C. S. (2005). *Islamic Star Patterns from Polygons in Contact*. Conference: Proceedings of the Graphics Interface 2005 Conference, May 9-11, 2005, Victoria, British Columbia, Canada. 10.1145/1089508.1089538

Kaplan, C. S. (2009). *Introductory Tiling Theory for Computer Graphics*. In *Synthesis Lectures on Computer Graphics and Animation* (p. 102). A Publication in the Morgan & Claypool Publishers series. <https://doi.org/10.2200/S00207ED1V01Y200907CGR011>

Kaplan, C. S. ve Salesin, D. H. (2004). *Islamic Star Patterns in Absolute Geometry*. *ACM Transactions on Graphics*, 23(2), 97–119.

Kepler, J. (1619). *Harmonicus Mundi*, Book II.

Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age Design and Manufacturing* (B. Kolarevic (Ed.). Spon Press Taylor & Francis Group.

Lange, C. ve Mecit, S. (2012). *The Seljuqs: Politics, Society and Culture*. Edinburgh University Press.

Le Corbusier. (2014). *Modulor I-II*. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, Mimarlık Dizisi, Çevirmen: Aziz Ufuk Kılıç.

Lederman, L. M. ve Hill, C. T. (2004). *Symmetry And The Beautiful Universe*. Prometheus Books.

Legendre, G. L. (2011). *Mathematics of Space*. Architectural Design.

Liu, Y. ve Collins, R. (1999). *Frieze and Wallpaper Symmetry Groups Classification under Affine and Perspective Distortion*. *Group Theory-based Regularity Perception in Human and Computer Vision*. https://www.researchgate.net/publication/2596375_Frieze_and_Wallpaper_Symmetry_Groups_Classification_under_Affine_and_Perspective_Distortion

Liu, Y., Collins, R. ve Tsin, Y. (2002). *Gait Sequence Analysis Using Frieze Patterns*. *ECCV 2002*, 657–671.

Liu, Y., Hel-Or, H., Kaplan, C. S. ve Van Gool, L. (2010). *Computational Symmetry in Computer Vision and Computer Graphics*. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 5(Nos. 1–2 (2009)), 1–195. <https://doi.org/10.1561/0600000008>

Liu, Y., Tsin, Y. ve Lin, W. C. (2005). *The Promise and Perils of Near-Regular Texture*. *International Journal of Computer Vision 2005 Springer Science + Business Media Inc.*, 62(1/2), 145–159.

Lu, P. J. ve Steinhardt, P. J. (2007). *Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture*. *Science*, 315, 1106. <https://doi.org/10.1126/science.1135491>

Mainzer, K. (1996). *Symmetries of Nature : A Handbook for Philosophy of Nature and Science*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110886931>

Mainzer, K. (2005). *Symmetry and Complexity The Spirit and Beauty of Nonlinear Science*. *World Scientific Series on Nonlinear Science Series A: Volume 51*, 51, 448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1142/5770>

Makovicky, E. (2016). *Symmetry Through the Eyes of the Old Masters*. De Gruyter.

Makovicky, E. (2018). *Vault Mosaics of the Kukeldash Madrasah, Bukhara, Uzbekistan*. *Nexus Network Journal Architecture and Mathematics*, 20, 309–320.

Makovicky, E. (2019). *Byzantine Floor Patterns of Interlocking Twisted Cable Loops*. *Nexus Network Journal Architecture and Mathematics*, 22(2), 449–469. <https://doi.org/10.1007/s00004-019-00473-0>

Mann, T. (1998). *Büyülü Dağ*. Can Yayınları, Özgün Adı: Der Zauberberg, Çevirmen: İris Kantemir.

Massey, J. (2012). Buckminster Fuller's Reflexive Modernism. *The Journal of the Design Studies Forum, Design and(4:3)*, 325–344. <https://doi.org/10.2752/175470812X13361292229159>

Mazzoleni, I. ve Price, S. (2013). *Architecture Follows Nature, Biomimetic Principles for Innovative Design (Biomimetic)*. CRC Press Taylor & Francis Group.

McClary, R. P. (2017). *Rum Seljuq Architecture, 1170-1220: The Patronage of Sultans*. Edinburgh University Press.

McNeel, R. (2014). *McNeel Grasshopper 3D (6.0)*. Robert McNeel and Associates.

Necipoğlu, G. (1995). *The Topkapı Scroll - Geometry and Ornament in Islamic Architecture; Topkapı Palace Museum Library MS H. 1956 (J. Bloomfield, T. F. Reese, & S. Settis (Eds.))*.

Necipoğlu, G., Hogendijk, J. P., Kheirandish, E., Özdural, A., ve Thackston, W. M. (2017). *The Arts of Ornamental Geometry: A Persian Compendium on Similar and Complementary Interlocking Figures = Fi Tadākhul al-Ashkāl al-Mutashābiha aw al-Mutawāfiqa (Bibliothèque Nationale de France, Ms. Persan 169, fols. 180r-199r): A Volume Commemorating A (G. Necipoğlu (Ed.))*. Leiden : Brill, 2017.

Örüntü. (2021). *Türk Dil Kurumu Sözlükleri*. <https://sozluk.gov.tr/> üzerinden “örüntü”, “örmek”; Erişim Tarihi: 04.10.2020

Özgan, S. Y. ve Özkar, M. (2017). A Thirteenth-Century Dodecahedron in Central Anatolia: Geometric Patterns and Polyhedral Geometry. *Nexus Network Journal Architecture and Mathematics*, 19, 455–471. <https://doi.org/10.1007/s00004-017-0341-0>

Paoletti, I., ve Gülfidan, K. (2020). *Symmetry + Tessellation. Material Balance Portfolio*. https://www.materialbalance.polimi.it/portfolio_page/symmetry/ Erişim Tarihi: 22.12.2021

Pawlyn, M. (2016). *Biomimicry in Architecture (F. Gibbons & K. Mackillop (Eds.); Second Edi)*. Riba Publishing.

Penrose, R. (2017). Preface. In J. Bonner & C. S. Kaplan (Eds.), *Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction (p. 595)*. Springer.

Picon, A. (2013). *Ornament, The Politics of Architecture and Subjectivity (AD Primers (Ed.))*. John Wiley & Sons Ltd.

Pólya, G. (1924). *Über die Analogie der Kristallsymmetrie in der Ebene*. Akademische Verlagsgesellschaft.

https://books.google.com.tr/books/about/Über_die_Analogie_der_Kristallsymmetrie.htm?id=hYMgHQAAAJ&redir_esc=y

Rael, R., San Fratello, V., Curth, S., Arja, L. ve Piracci, T. (2021). *Emerging Objects*. <http://emergingobjects.com/>

Roth, L. M. (2006). *Mimarlığın Öyküsü, Öğeleri, Tarihi ve Anlamı*. Kabalcı Yayınevi, Çeviren: Ergün Akça, Leland M. Roth, *Understanding Architecture It's Elements, History and Meaning*, 1993.

Schattschneider, D. (1978). The Plane Symmetry Groups: Their Recognition and Notation. *The American Mathematical Monthly*, 85(6).

Schattschneider, D. (1987). The Pólya-Escher Connection. *Mathematics Magazine*, 60(5), 293–298. <https://doi.org/10.1080/0025570X.1987.11977327>

Schattschneider, D., & Emmer, M. (2003). *M.C. Escher's Legacy, A Centennial Celebration: Collection of articles coming from the M.C. Escher Centennial Conference, Rome 1998 (1st editio)*. Springer.

Sieden, L. S. (2000). *Buckminster Fuller's Universe: His Life and Work*. Omni International Publications Ltd.

Smith, L. (2014). *Kaos. Kültür Kitaplığı: 139, Bilim: 7, Çeviri: Hakan Gür*, This Translation of "Chaos" originally published in English in 2007 is published by arrangement with Oxford University Pres.

Souza, E. (2020). *Rethinking Artificial Reef Structures through 3D Clay Printing*. ArcDaily. <https://www.archdaily.com/947495/rethinking-artificial-reef-structures-through-3d-clay-printing>

Spaulding, S. ve Edlund, M. (2008). *Diatoms of North America*. <https://diatoms.org/genera>

Stamper, J. W. (2005). *The Architecture of Roman Temples : The Republic to the Middle Empire*. Cambridge University Press.

Stewart, I. ve Golubitsky, M. (1993). *Fearful Symmetry, Is God A Geometer*. Blackwell Publishers, by arrangement with Penguin Books.

Symmetry. (2021a). *Online Etymology Dictionary*. <https://www.etymonline.com/> içinde "symmetry"; "sym-"; "meter"; Erişim Tarihi: 04.09.2019

Symmetry. (2021b). *Merriam-Webster Dictionary*.

Tectum. (2021). *Online Etymology Dictionary*. <https://www.etymonline.com/> içinde "architect"; "tectum" Erişim Tarihi: 13.02.2020

Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*. Le Penseur Publisher.

Teges. (2021). *Wiktionary The Free Dictionary*. <https://en.wiktionary.org/wiki/teges> Date Accessed: 13.02.2021

Tekeli, İ. (2010). *Mekânsal ve Toplumsal Olanın Bilgibilimi Yazıları (İlhan Teke)*. Tarih Vakfı Yurt Yayınları.

Tekeli, İ. (2017). *Postmodernizm Tartışmaları Üzerine Düşünceler*. POSSEIBLE Felsefe Dergisi / *Journal of Philosophy*, 10.

Teks. (2021). Online Etymology Dictionary. <https://www.etymonline.com/> içinde “textile”; “texture”; “tectum” Erişim Tarihi: 13.02.2021

Thompson, D. W. (1942). *On Growth And Form*. Cambridge University Press.

Tile. (2021). Online Etymology Dictionary. <https://www.etymonline.com/> içinde “tegula”; “tile”; “teges” Erişim Tarihi: 03.12.2021

Van Der Helm, P. (2015). Symmetry Perception. In J. Wagemans (Ed.), *Oxford Handbook of Perceptual Organization* (pp. 108–128). Oxford University Press, Oxford, UK.

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A. ve Pahl, A.-K. (2006). Biomimetics: Its Practice and Theory. *Interface : Journal of The Royal Society*, 3, 471–482.

Walker, A. (2010). Middle Byzantine Aesthetics of Power and the Incomparability of Islamic Art: The Architectural Ekphraseis of Nikolaos Mesarites. In G. Necipoğlu & K. A. Leal (Eds.), *Muqarnas An Annual on the Visual Cultures of the Islamic World* (Publ. 2009, Vol. 27, p. s.79;101). Brill, Leiden, The Netherlands.

Washburn, D. K. (2011). Pattern Symmetries of the Chaco Phenomenon. *American Antiquity*, 76(2), 252–284.

Washburn, D. K. ve Crowe, D. W. (1988). *Symmetries of Culture: Theory and Practice of Plane Pattern Analysis*. University of Washington Press.

Washburn, D. K., Crowe, D. W. ve Ahlstrom, R. V. N. (2010). A Symmetry Analysis of Design Structure: 1,000 Years of Continuity and Change in Puebloan Ceramic Design. *American Antiquity*, 75(4), 743–772. <https://doi.org/10.7183/0002-7316.75.4.743>

Weyl, B. Y. H. (1989). *Symmetry*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

nd: *A Romance of Many Dimensions*.