

DÖŞEME ÖRÜNTÜSÜ TASARIMINDAKİ VERİM ETKENİNİN SİMETRİ GRUP KURAMI VE ALGORİTMA DESTEKLİ TASARIM ARAÇLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ (1)

Korcan GÜLFİDAN*, İpek FİTOZ**

Alındı: 23.03.2023; Son Metin: 03.05.2024

Anahtar Sözcükler: Algoritma destekli tasarım; yüzey tasarımı; döşeme örüntüsü; parametrik tasarım

1. "Döşeme Örüntüsü Tasarımındaki Verim Etkeninin Simetri Grup Kuramı ve Algoritma Destekli Tasarım Araçlarıyla Değerlendirilmesi" başlıklı bu makale 2022 yılında yayınlanmış, Korcan Gülfidan tarafından Prof. Dr. İpek Fitoz danışmanlığında yazılmış "İç Mimarî Yüzey Tasarımında Simetri Algoritmalarının Kullanımına Yönelik Bir Model Önerisi" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ: NİTEL VE NİCEL BİR KAYNAK OLARAK SİMETRİ

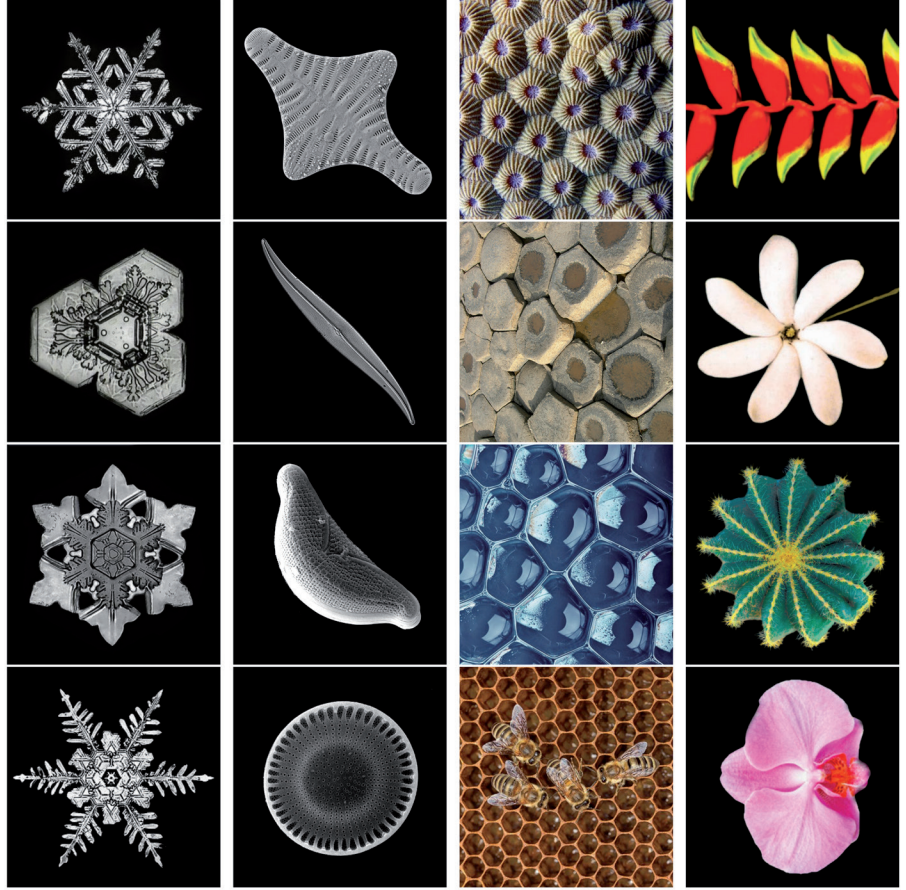
Doğa sayısız çeşitlilikte biçime ev sahipliği yapar. İnsanlar doğaya dair gözlemlerinden doğan verilere, yaşam çevrelerindeki estetik, işlevsel ya da tinsel ihtiyaç ve sorunlara yönelik çözümler olarak sıklıkla başvurmuştur. 20. yüzyılın matematikçilerinden Hermann Weyl, "Simetri, geçmişten bugüne evreni anlamaya çalışan insanlığın, algıladığı düzen, güzellik ve kusursuzluğu tanımlayabilmek adına ürettiği bir fikirdir" der (Weyl, 1989, 5). Nobel ödüllü fizikçi Leon Max Ledermann ve fizikçi Christopher Hill'e göre (2004, 13-14) ise fiziksel olan her şeyin temelinde simetri vardır. Simetri doğal mekânla insan yapısı olan mekânın, nitelenebilir olanla ölçülebilir olanın ortasındadır.

"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 and Goldstein, 2008, 70-71). Kıyas etkenini ima eden bu tanımlara ek olarak, güncel ve teknik bir ifadeyle simetri günümüzde hem bir nesnenin nitel bir dengeden kaynaklanan armonik durumunu, hem de çeşitli parçaları arasındaki birbirine eş olma, birbirine benzeme ve birbirini tutma durumlarını tanımlar. Bununla birlikte simetri, bir nesne ya da sistemin dönüşümler karşısında gösterdiği değişmezlik ile ilgilidir (Lederman ve Hill, 2004, 13-14). Dolayısıyla simetri hem geometrik bir olgu, hem de estetik uyum ve oranla ilgili bir ifadedir (Hargittai ve Hargittai, 2009: 1).

Simetri ile yakından ilişkili modülerlik kavramı, hem doğal hem de yapay yollarla şekillenmiş mekânda bir yarar unsuru olan tasarruf ve verimlilik ile aynı zeminde buluşur. Modülerlik, doğanın ekonomik işleyişine dair temel bir unsurdur (Jablan, 2002, 269). Pek çok doğal strüktür modüler dizilimlere sahiptir ve çoğu tür, hücreleri arasındaki simetrik ilişkileri oluşturacak olan altın oran, altın açığı gibi sayısal belirleyicileri milyonlarca

* Corresponding Author; Department of Interior Architecture, Faculty of Art and Design, Yalova University, Yalova, TÜRKİYE.

** Department of Interior Architecture, Faculty of Architecture, Mimar Sinan Fine Arts University, İstanbul, TÜRKİYE.



Resim 1. Doğada simetrik etkinlikler (Birinci sütun: Su moleküllerinin altıgen yollar izleyerek özgün kar kristali formlarında kompaktlaşması. Fotoğraflar: Wilson A. Bentley, 1931 (Bentley, 1999). İkinci sütun: Diatomlarda harekete bağlı simetri. Fotoğraflar: Stephen Main, Rex Lowe, Sarah Spaulding, Mark Edlund, (Spaulding & Edlund, 2008) Üçüncü sütun: Doğanın çeşitli örneklerinde eşbiçimlilik. Dördüncü sütun: Bitkilerden çeşitli simetrik dönüşüm örnekleri. (M. Hargittai ve Hargittai, 2009)

nesildir kaybetmemiştir (Glaeser, 2013, 263). Matematiksel biyolojinin kurucusu D'Arcy Thompson (1942, 958-1025), "Büyüme ve Biçim Üzerine" adlı yapıtında doğal strüktürlerin geometrilerinde söz konusu oransal kuralları takip etmesini işleyişte ekonomik olan yolu seçme eğilimleri ile açıklamaktadır. Doğa, simetriyi kompaktlaştırma yolu için bugün daha çok şey söyleniyor olsa da mısır bitkisinin parankimasında, göz retinal mozaiklerinde, diatomlarda; daha bilindik örnekleriyle ise bal peteklerinde ve kar kristallerinde bu hesaplamaları kullanır (Weyl, 1989, 85-87).

Harcanan enerjinin düşürülmesi, minimum enerji girdisiyle maksimum yarar sağlama eylemi de bir tasarruf yöntemidir. Kompakt kristaller olan virüsler hücreyi enfekte edebilmek için çok yüzlü simetrik düzenleri takip ederek biçimlenir ve enerjilerini minimize ederler. Benzer şekilde; papatya tepciklerindeki spirallerde Fibonacci dizisiyle benzerlik gösteren simetrik tutum da doğanın mümkün olduğunca çok tohumu en küçük yüzeye yerleştirebilme çabasından ileri gelir (Stewart ve Golubitsky, 1993, 251-258). Biyomimetik alanda çalışmalar yapan bilim insanı Julian Vincent "doğada malzemeler değerli, biçimler ise ucuzdur" der. Doğa, malzemenin verimli kullanımını için oldukça ekonomik, form geliştirme konusunda olabildiğince maharetlidir (Pawlyn, 2016, 9). Simetri ile sağlanacak tekrarlılık iş verimini artırır, yeniden kullanım olanakları sağlar ve benzer parçalar tasarım ve üretim maliyetlerini düşürür (Conway vd., 2008, 7). **Resim 1**'de doğada mevcut olan simetrik etkinliklere dair bir grup örnek görülmektedir.

Nesnelerin ve mekânların algılanmasını sağlayan ve tüm yapının en dışında bulunan fiziksel katmanlar yüzeylerdir. Simetri, yüzeylerin

verimli bölünebilmesinde, işlevselliğinin artırılmasında, biçimsel ve estetik karakterlerin belirlenmesinde çeşitli getirileri olan bir kavramdır. Simetrisinin kuralları doğada oldukça karmaşık işler ve doğal simetrisi ulaşılabilen tasarım teknolojisi ile erişilemeyecek verim ile ilişkili standartlardadır. Ancak simetriyi meydana getiren birim, işlem ve olayların meydana getirebileceği geometrik olasılıklar, tasarımda özdeş parça kullanımı ile tasarruf etkeninin değerlendirilebilmesi için kuramsal bir zemin olarak değerlendirilebilir.

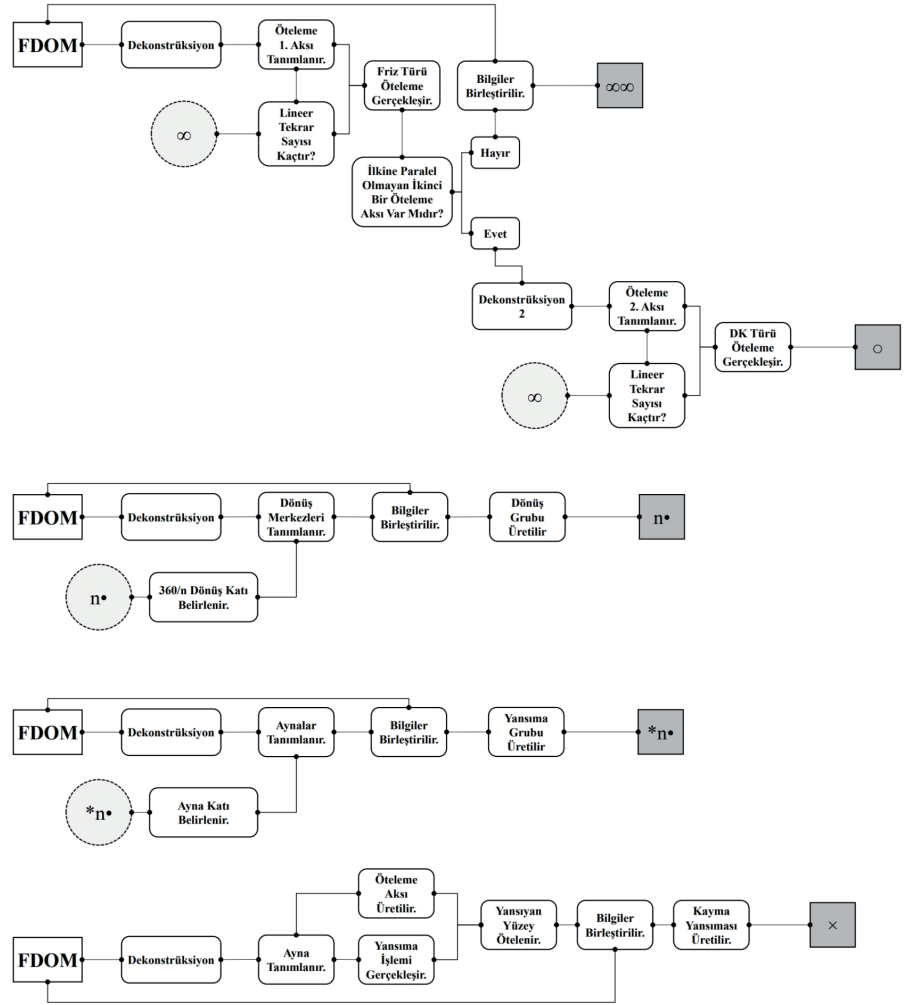
Günümüzde tasarım teknolojisinin üretken tasarım aygıtları, doğal mekân ve insan yapımı mekân arasındaki pragmatik değerlere katkı sağlayacak unsurların keşfi için sınırsız olanaklar taşımaktadır. Üretken tasarım, simetri ve yüzey üzerinde doğadakine benzer kalıtsal ilişkilerin kurgulanmasını, tasarımların sınıflandırılmasını, yapısal olarak değerlendirilebilmesini ve fiziksel dünyadakileri taklit eden koşullar altında test edilebilmesini sağlar. Doğal simetrik öğelerin var oluş şekilleri mekânsal öğeleri etkileyecek ekonomik fayda arayışları konusunda kaynak teşkil edebilir. Binlerce yıldır mimari tasarımda mevcut olan bütünü hücrelere bölerek çözme fikrinin üretken tasarım sürecine dahil edilmesi, doğada meydana gelen ve çok sayıda biçimsel sonuç veren simetrisinin temel işlem basamakları halinde değerlendirilebilmesini sağlar. Bu durum algoritma tabanlı tasarım ölçütünde gerçekleşen iki taraflı bir iş gücü tasarrufu olarak düşünülebilir.

Çalışmada verim ile ilişkili kaygılara bağlı olarak şekillenmiş üretken bir tasarım sistemi önerilmektedir. Sayısal değerlerle kontrol edilebilen ve birbirleriyle belirli düzeylerde kalıtsal ilişkilere sahip parametrik yüzey tasarımları üretebilen yöntemlerin eşbiçimli olarak inşa edilmesi çalışmanın nihai amacıdır. Bu durumda hedeflenen sonuç ürün veya ürünlerin kendisi değil; ürün veya ürünlerin üretilebilmesini sağlayan, bilgilerin sanal bir çerçevede fakat fiziksel dünyaya uyarlanabilir bir düzeyde sistemli olarak tasnif edildiği, üretken tasarım yöntemleriyle kurgulanmış prosedürler olacaktır. Üretken tasarım sürecinin simetri kavramının doğadaki varoluşsal dinamiklerine olan uyumu, doğa ve tasarımcı arasındaki fayda döngüsüne güç, zaman ve veri tasarrufu anlamında yeni olanaklar sağlamak adına kullanılmıştır. Çalışmada simetri grupları birbirleriyle sağ el-sol el ilişkisi, yani kiral bir ilişki kuran parçaları algoritma destekli tasarım programı olan McNeel Grasshopper'da oluşturulmuş yöntem dizinleriyle monohedral, yani birbirine tam olarak eş parçalarla kurulmuş yüzeyler olarak yeniden inşa edebilme amacıyla kullanılmıştır. Bu nedenle periyodik olmayan yarı kristal örüntüler çalışma kapsamının dışında tutulmuştur. Kiralitenin yansıma simetrisine sahip birim hücrelerin monohedraleştirilerek giderilmesi, kalıp maliyetlerini minimize etmek amacıyla. Bu yolla simetrisinin verim ve tasarrufla ilişkisi daha elverişli bir biçimde kullanılacaktır.

TEMEL DÖNÜŞÜMLER VE SİMETRİ GRUPLARI

Temel Dönüşüm Algoritmaları

Tasarım araştırma alanı içerisinde simetri, kültürel bir değer, bilişsel bir algı etkeni, tasarruf ve yarar unsuru olarak veya hareket unsurunu destekleyici biçimde ya da bilimsel niteliklerinden hareketle elde edilebilecek çeşitli başlıklar altında değerlendirilmeye uygundur. Ancak, bir yüzeyin simetri bağlamında değerlendirilebilmesi için simetriye dair bir takım temel araçlara başvurulmalı ve simetrisinin uzayda kendisini var



Resim 2. Temel hücrenin simetrik dönüşüm algoritmaları

etme yolu olan dönüşüm işlemleri incelenmelidir. Simetrik biçimi meydana getiren; “transformasyon” (Crowe, 2001, 3; Liu vd., 2010, 6; Makovicky, 2016, 92), “primitif simetri” (Liu vd., 2010, 7) ya da “rijit hareket” (Hahn, 2012, 93; Kaplan, 2009, 12) adları da verilen ve simetriyi kurgulama-çözümleme prosedürlerinin adımları olan bu işlemler simetri etkinliğinin oluşturucularıdır.

Resim 2'de bir temel hücrenin dönüşüm algoritmaları görülmektedir. Dönüşümler, bir tasarımın biçim ve ölçülerini değiştirmeyen rijit hareketlerdir (Hahn, 2012: 93) ve yüzey tasarımlarında eşleşebilir parçaların oluşturulabilmesini sağlarlar (Kaplan, 2009: 12). İki boyutlu Öklid uzayında periyodik bir örüntü ne kadar karmaşık görünürse görünsün çözümlenebilmesini sağlayacak olan temel dönüşümler dört tanedir; bunlar, öteleme, dönüş, yansıma ve kayma yansımasıdır (Conway vd., 2008, 135-136; Liu vd., 2010, 7). FDM (Fundamental Domain) birim hücreyi temsilen soldan sağa doğru giden bir veri akışı içerisinde işlenir. İlk satırda friz türü öteleme ve iki boyutlu öteleme (o) gerçekleşir. İkinci satır dönüş işlemi ifade eden • karakterini, üçüncü satır yansıma işlemi ifade eden * karakterini içerir. Dördüncü satır kayma yansımasını ifade eden x karakterini içerir.

Simetri Grupları

Bu dönüşümler bireysel değil de sistematik şekilde gerçekleştiklerinde işlem küçük bir dönüşüm yerine daha karmaşık tasarımlar meydana getirir. Tasarımın karmaşıklığından bağımsız olarak; bu dönüşüm kombinasyonları mantıksal ilişkiler barındırmaktaysa, tasarıma ait birim parçalar daima korunur. Simetri grubu, simetrik transformasyonlar altında korunan bu parçaları keşfeden, biçimlendiren ve sistematik olarak incelenebilmesini sağlayan bir yoldur (Hon ve Goldstein, 2008, 2). Simetri grubunu oluşturan bir birim biçim değiştirmeden ve simetrik kimliğini kaybetmeden simetrik tasarımı oluşturur. Aynı zamanda simetri grubu, eşdeğer birim ya da figürleri devamlı bütünlüklere dönüştüren işlemler dizisinin sonuç ürünüdür. Bir dönüşüm işlemi başka bir dönüşümü takip edebilir; bu iki işlemin meydana getirdiği grup ise başka bir simetrik dönüşüm işlemiyle bütüncül bir sonuç üretebilir. Tüm durumlarda, birimin kendisi gibi, birimin dönüşümü de simetri grubunun kimliğini oluşturan esas etkenlerden biridir (Horne, 2000, 7-8).

İki boyutlu Öklid uzayının kapsadığı simetri grupları; uzayın sıfırıncı boyutundaki nokta grupları (dönüşsel grup ve dihedral grup), uzayın birinci boyutundaki friz grubu ve uzayın ikinci boyutundaki düzlemsel kristalografik grup ya da diğer adıyla duvar kâğıdı grubudur (Liu vd., 2010, 15-16).

Her simetri grubu, tüm karakteristiklerini ifade eden bir grup diyagramıyla gösterilir. İki boyutlu Öklid uzayındaki simetri grupları, boyut sayısına ve konu edilen grubun transformasyon özelliklerine göre kategorize edilir. Bu kategorizasyonda Schönflies notasyonu, Herman ve Maugin notasyonu, Coxeter notasyonu (Jablan, 2002, 45) ya da bu çalışmada kullanılmış olan Conway notasyonu (Conway vd., 2008, 29-49) gibi harf, rakam ya da semboller içeren çeşitli kısaltmalar kullanılır.

Nokta grubu, dönüşsel grup ve dihedral grup olmak üzere iki başlık altında değerlendirilir (Liu vd., 2010). Dönüşsel gruba dair tasarımlarda temel birim merkez nokta ekseninde dönüş etkinliğini $360/n$ derece açıyla gerçekleştirir ve bütünlük bu birimin n sayıda tekrarından oluşur. Çalışmada kullanılan Conway notasyonuna göre * karakteri kaleydoskopları, • karakteri dönüşleri tanımlamak için gösterilir. Bir nokta etrafında biçimlenen tüm mimari rozetler bu notasyona göre • ve * karakterlerinden en az birisini bulundurmaktadır (Conway vd., 2008, 10). Örneğin •2 iki yönlü bir dönüşü, *6, 6 katlı bir kaleydoskopu tanımlar.

Bir noktayı temel alan simetrik düzenlerden farklı olarak frizler ise, iki boyutlu uzayın bir boyutu boyunca uzanır ve bu uzunluk aksı boyunca eşit aralıklı ötelemelere bağlı olarak sonsuz tekrarlılık oluştururlar. Bir doğrultuda toplam 7 farklı türde meydana gelebilen frizler birinci boyutta simetrik olarak ele alınırlar (Crowe, 2001: 6; Mainzer, 2005, 135; Makovicky, 2016, 161). Conway Orbifold Notasyonu (2008: 29-49), friz grubu için üç farklı adlandırma yöntemi önerir. Bunların ilki, grubun birinci boyuttaki sonsuz öteleme dönüşümünü ima eden ∞ karakterini içeren iki ya da üç karakterli temel notasyondur. Bu notasyonda nokta grubunda olduğu gibi * yansıma dönüşümünü temsil eder. Eğer yanında rakam yoksa, ayna sayısı tektir; eğer yanındaki rakam 2 ise iki aynanın kesişmesine dayalı bir kaleydoskop oluşmuştur. Friz grubunun tümü $\infty\infty$, $\infty\times$, $\infty*$, $*\infty\infty$, 22∞ , $*22\infty$ ve $2*\infty$ şeklindedir. o karakteri friz grubundaki doğrultusal

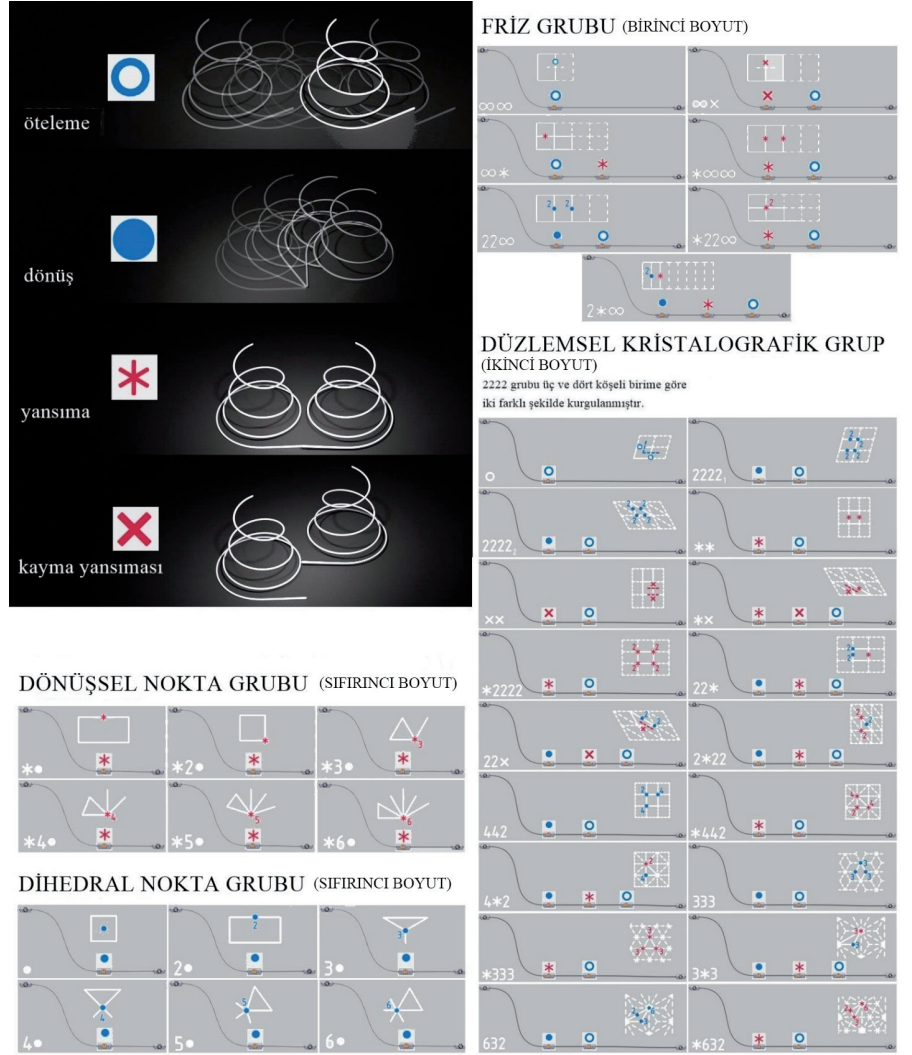
ötelemeyi, \times karakteri ise simetride bir kayma yansıması mevcut olduğunu göstermektedir.

Hem tarihi hem de folklorik perspektiften bakıldığında friz grubunun geometrik kodları geçmişte pek çok kültür tarafından çözülmüştür (Crowe, 2001, 6-8). Tasarım tarihi perspektifinden bakıldığında, Antik Yunan, Roma ve İslam mimarisinin frizler açısından oldukça zengin olduğu görülür. Bununla birlikte tarihte frizler, tek doğrultuda meydana gelen ötelemelere bağlı oldukları için silindir gibi üç boyutlu topolojiler üzerinde dairesel ve spiral düzenlerde de kullanılmıştır (Makovicky, 2016, 31). Friz grubu tasarımda esneklik sağlar ve ona ait doğrusal hattı bölüntüleyecek noktaların sıralı olarak izdüşüm elde edebileceği başka bir eğri, tasarımın projeksiyonu için ek kısıtlamalar belirtmemektedir.

Simetrik bir düzen, birbirine paralel olmayan iki farklı doğrultuda öteleme içeriyorsa bu düzen periyodik olarak kabul edilir. Duvar kâğıdı grubu, iki boyutta çeşitli dönüşüm etkinliklerine sahip, periyodik bir gruptur (Bonner ve Kaplan, 2017, 4). Her duvar kâğıdı grubu, temel dönüşümlerin çeşitli kombinasyonlarıyla kendisini oluşturan daha küçük alanlara bölünebilir. Bu alanlar birim hücre (fundamental domain) olarak tanımlanır. Düzlemsel simetrik tasarımların duvar kâğıdı grubu altında değerlendirilebilmesini sağlayan etken, birim hücrenin ikinci boyuttaki periyodikliğidir (Makovicky, 2016, 35-36). Bu tür düzlemsel simetrik tasarımlar birim hücrenin iki boyutta, dört temel dönüşümün biriyle ya da birkaçıyla sistematik olarak işletilmesi ile tasarlanırlar (Crowe, 2001, 10). Daha açık bir tanımla, öteleme (o), dönüş (*), yansıma (\bullet), kayma yansıması (x) ve bu dönüşümlerin düzleme ve birim hücreye uyarlanabilecek tutarlı kombinasyonları duvar kâğıdı örüntüleri meydana getirir (Mainzer, 1996).

Duvar kâğıdı grubu (Düzlemsel Kristalografik Grup) hakkında kapsamlı sınıflandırma 19. Yüzyılın ikinci yarısından itibaren yapılmıştır. Yine de düzlemsel simetrinin periyodik kullanımlarına dair temel bilgiler MÖ 12. Yüzyıldan itibaren çeşitli uygarlıklar tarafından bilinmekte ve estetik anlamda kullanılmaktadır (Jablan, 2002; Mainzer, 1996). Daha geç dönemlerde hemen hemen her kültürde yer edinmiş olsa da, Klasik Antik Dönem Akdeniz mozaikleri, Cordoba stili mermer ve pişmiş toprak karışımı iki boyutlu örüntüler, Selçuklu, Karahanlı ve Gazneli dönemi girih tasarımları, İznik çinileri, 19. Yüzyıl sonu ve 20. Yüzyıl başında etkin olmuş Art Nouveau akımı bünyesinde tasarlanan duvar kağıtları ve çeşitli döşeme örüntüleri gibi bu konu hakkında gösterilebilecek çok sayıda belirgin örnek vardır (Makovicky, 2016, 58).

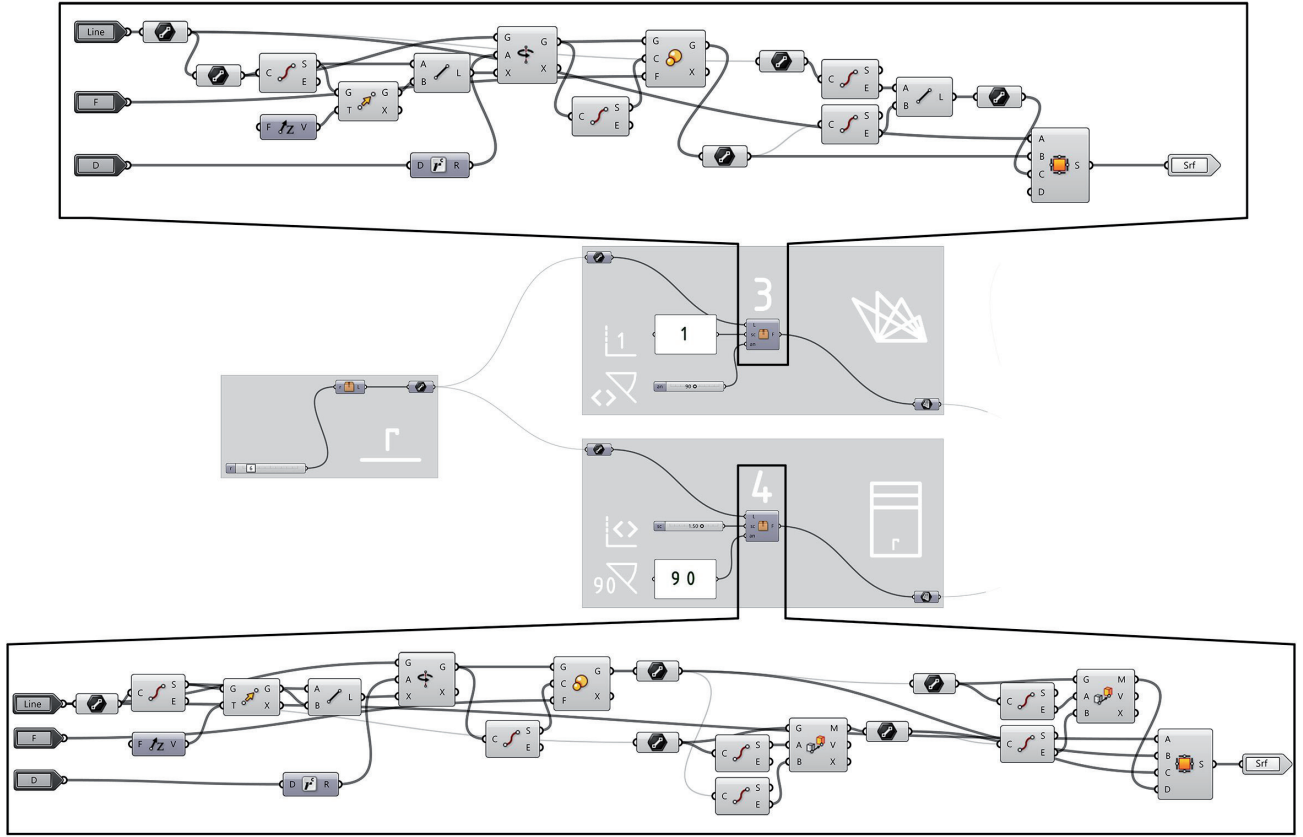
Conway ve diğerlerinin (2008, 29) "Sihirli Kuram" olarak da adlandırdığı duvar kâğıdı grubu, ya da diğer adlarıyla düzlemsel simetri grubu ya da düzlemsel kristalografik grup, bir takım kristalografik kısıtlamalar nedeniyle 17 adettir ve 19. yüzyılın ikinci yarısında yapılmış kapsamlı bilimsel çalışmalardan bugüne dek yeni bir grup tanımlanmamıştır. Bu 17 gruba ek olarak bir yeni grup daha tanımlamanın neden mümkün olmadığına dayalı hesaplamalı ispatlara (Conway vd., 2008, 33-37) adlı çalışmada yer verilmektedir. **Resim 3**, şematik olarak simetrinin iki boyuttaki temel dönüşümlerini ve Conway notasyonuna göre oluşturulmuş Grasshopper algoritmalarını göstermektedir. Bilgisayar kümesi (*cluster*) olarak verilen temel dönüşüm nodlarının (devre düğümü) içerdiği alt yöntem dizinleri ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak listelenecektir.



Resim 3. Simetrinin iki boyuttaki temel dönüşümleri ve Conway notasyonuna göre oluşturulmuş algoritma

İÇ MİMARİ YÜZEY TASARIMI İÇİN ALGORİTMA TABANLI BİR MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Algoritma tasarlanırken üreteç bazı fonksiyonel katmanlara yanıt verecek ölçütlerde bölümlenmiştir. Bu noktada amaç, bir düzlem olması gerekmeyen, sınırları belirli bir yüzeyi, kendi eşleriyle mekân oluşturucu topolojiler oluşturabilen bir aygıt olarak sıfırıncı boyuttan birinci boyuta, birinci boyuttan ikinci boyuta, ikinci boyuttan üçüncü boyuta ulaşarak kurgulayabilmektir. Bu kurguyu örneklemek için dört temel dönüşümün tümünü içeren 22^* ve $22x$ grupları seçilmiştir. 22^* grubunu oluşturan hücre kare ya da dikdörtgen temel hücreden biri, $22x$ grubunu oluşturan hücre eşit kenarlarının aralarındaki açı değişebilir ikizkenar dik üçgen temel hücredir. İkizkenar dik üçgen temel hücrenin eşit kenarları arasındaki oran sabit ve 1'dir. Kare ya da dikdörtgeni oluşturan gövdede de ayrıtlar arası açı sabit ve 90° 'dir. Gövdedeki sayı kaydırıcılarının değiştirilmesi birim hücrelerin istenen biçime gelmesini kolayca sağlamaktadır. Resim 4, 22^* ve $22x$ grupları için, verilen r uzunluğundaki bir doğru parçasından eşit olmayan açılı değişebilir ikizkenar üçgen ve en boy oranı değişebilir dikdörtgen birim hücre oluşturan bilgisayar kümesinin (cluster) açılımını göstermektedir. Girdiler (*input*) r ayrıt uzunluğu, α ayrıtlar arası açı ve sc ayrıtlar arası ölçek, çıktılar (*output*) ise birim hücrelerdir.



Resim 4. Algoritmanın kök ve gövdesi için açısal değiştirilebilir ikizkenar üçgen ve en boy oranı değiştirilebilir dikdörtgen birim hücre (22^* ve $22x$ grupları için)

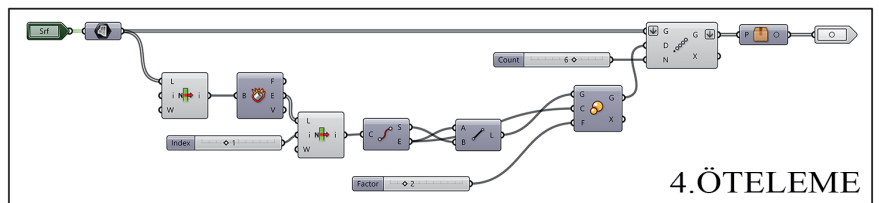
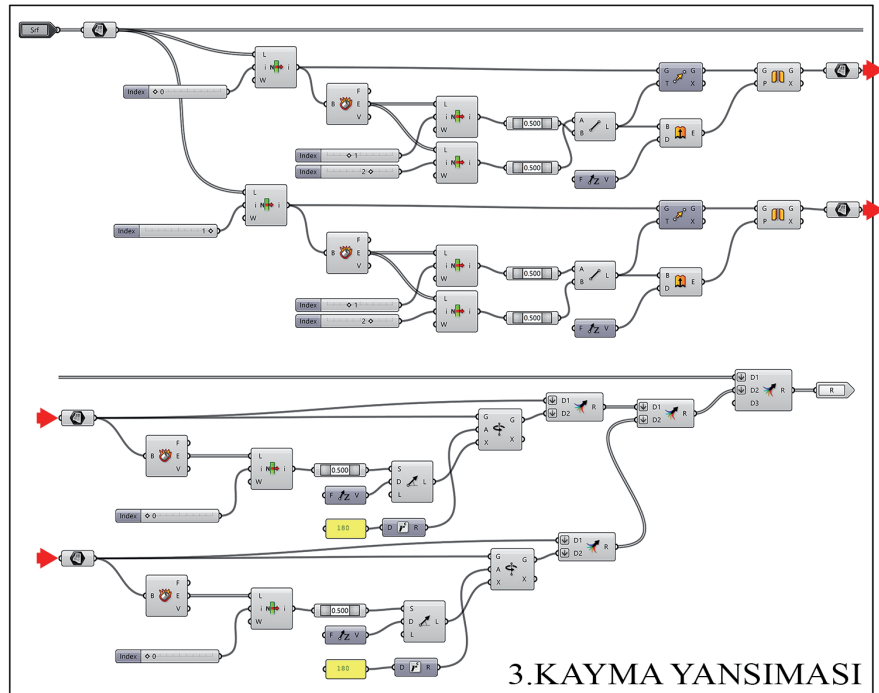
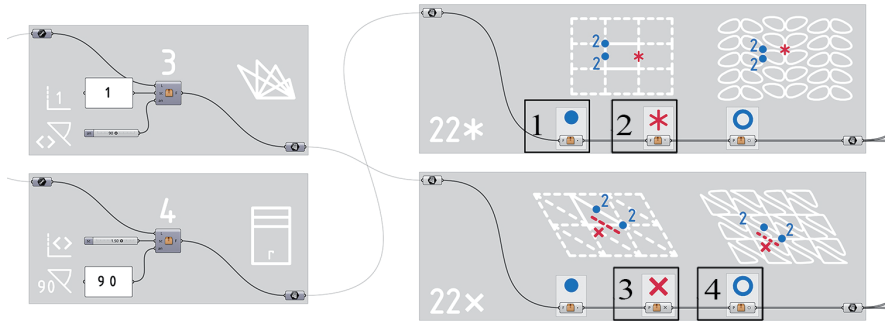
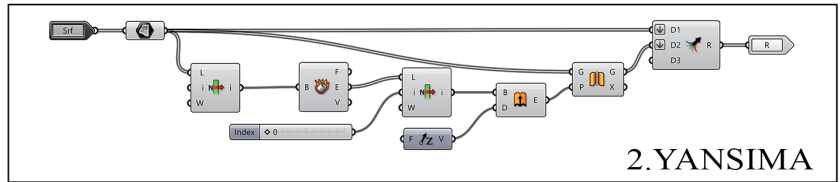
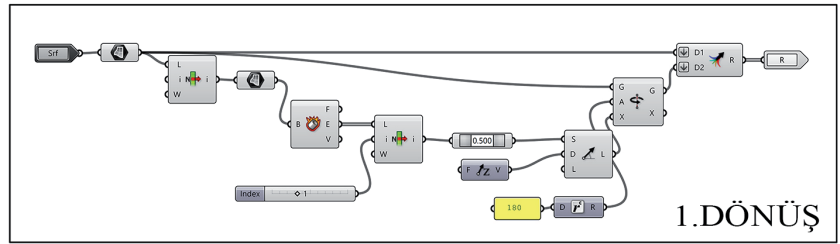
Çalışmanın üretken tasarım sürecini temsil eden görsel algoritma üç katmandan oluşmakta ve simetrik yüzey birimlerini çeşitlendirecek yöntem dizgelerini içermektedir. Satırlardaki kalıtsal benzerlik ve farklılıklar ilişkili simetrik düzenlerin karakteristiklerine dair ipuçları verir. Birinci katmanı temsil eden kök, iç mekân yüzey kurgusunu sağlayacak temel birimin kenar ölçüsünü metrik olarak belirlemekte ve yönünü tayin etmektedir. **Resim 4'**te görüldüğü üzere, gövde olarak tanımlanabilecek ikinci katman ise kenar sayısı ve kenarlar arası olası açılara dair seçenekler sunar ve kapalı temel hücreye ulaşılır.

Üçüncü katman ise simetrik temel dönüşümlerin (öteleme, yansıma, dönüş ve kayma yansıması) gerçekleştiği, işlenmemiş haldeki örüntülere (eğri ve yüzeyler) ulaştırır. Bu kısmı ağacın gövdeye en yakın olan dallarına benzetilebilir. Her simetrik grup kendi karakteristiğine uygun işlem sıralarını takip eder. Bu kısımdaki yegane değişken öteleme işlemlerini belirten sayısal değişkenlerdir. Bu değişkenler örüntüleri oluşturan birimlerin iki doğrultudaki tekrar sayısının yönetilmesini sağlar. **Resim 5**, birim hücreden 22^* ve $22x$ gruplarını oluşturan dalları göstermektedir. Dönüş, yansıma, kayma yansıması ve öteleme ortada kümelenmiş (*cluster*) olarak, siyah dikdörtgen içinde ise açılmış yöntem dizinleri olarak numara sırasına göre gösterilmiştir.

Güç-Zaman Tasarrufu Odaklı Sınırlar

Üzerinde durulması gereken diğer bir kriter eşbiçimliliktir. Doğada bu kurallara daha çok yakınsayan modellere göz atıldığında simetrisinin düzlemsel dönüşüm kuralları ile kolayca tarifi yapılabilecek örneklerle de karşılaşılır. Örneğin, çeşitli türler yüzeylerinde eşbiçimlilik gösterir.

Resim 5. Kümelenmiş (cluster) ve açık olarak 22* ve 22* gruplarını oluşturan temel dönüşümleri içeren yöntem dizinleri (Görsel yazarlar tarafından üretilmiştir)



Gözle görülemeyecek derecede küçük ölçekte hareket eden virüslerin ya da daha küçük ölçekte moleküler bağların düzenleri modüler anlamda eşbiçimliliğe önceki örneklere göre daha yakındır. Üreteçlerin kurgusunda sayısal değişkenlerin işlenebilmesi, üç boyutlu tasarım, zaman değişkenine uyarlanabilirlik, çoklu sonuç verebilme, prototipleme ve tahmini üretim-kullanım senaryolarını daha verimli hale getirebilecek iki kriter üzerinde durulmuştur. Bunun nedeni simetri gruplarındaki yansıma özelliğinin modülün ayna eşine ihtiyaç duyabilmesi, bu durumun ise kalıp ve üretim masraflarını arttıracığı öngörüsüdür.

Kiralitenin Giderilmesi

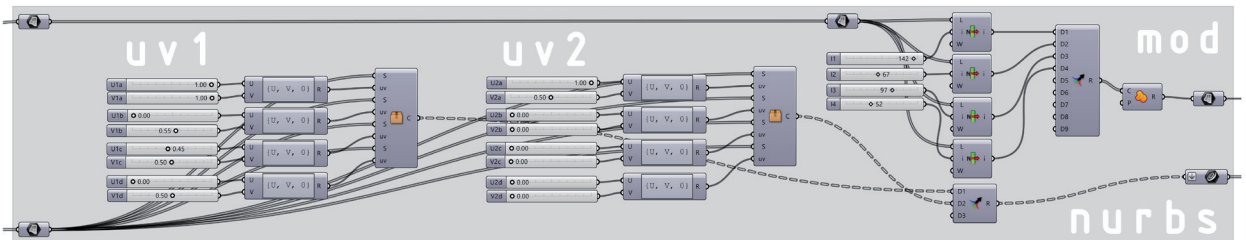
Kiral terimi ayna görüntüsüyle birlikte bulunan cisimleri tanımlamak için kullanılır. Monohedral ve dihedral örüntülerin tümünün ilgili simetri grubu temel alan proksi yüzeyler aracılığıyla monohedralleştirilmesi mümkündür. Bu olasılıktan hareketle simetri gruplarına dair tüm geometrik çıktılar kendi eşleriyle ilgili yüzey örüntüsünü oluşturabilecek ve ayna eşlerine (dihedral kopyalarına) ihtiyaç duymadan yalnızca ötelenerek ilgili simetrik grubu oluşturabilecektir. Bu anlayış, simetri grup kuramı temel alınarak kurgusu yapılan algoritmayla ulaşılabilecek tüm örüntülerin hem monohedral ve dihedral birimlerden ayrı ayrı oluşabilmesi hem de bu geometrilerin sınırları önceden belirlenmiş topolojilere üç boyutlu olarak izdüşüm elde edilebilmesi ihtiyacı ve öngörüsünden doğmuştur ve bu karmaşık işlemin anlaşılması topoloji kavramına değinmeyi gerekli kılmaktadır.

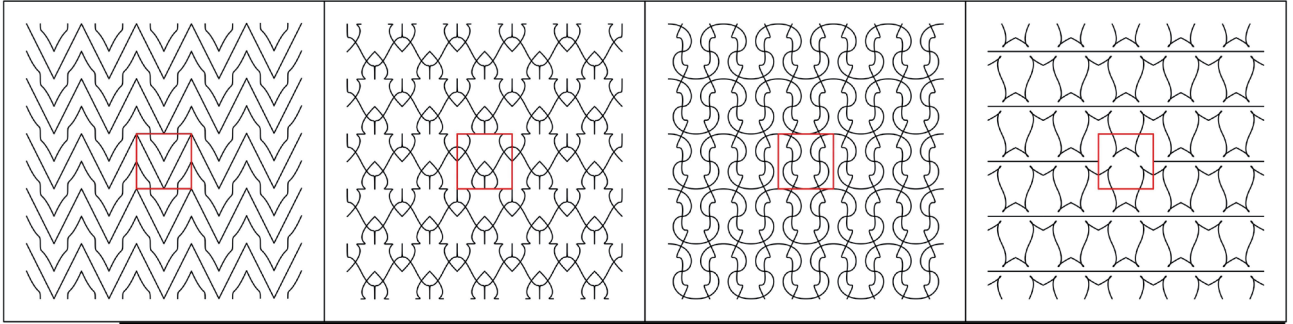
Resim 6, latis (kafes) üzerinde tanımlanan ve birbirini biçimsel olarak tamamlayan iki adet dört kontrol noktalı NURBS eğrisi oluşturmakta ve bu eğriler için monohedral bir yüzey bulmaktadır. Bu sayede dihedrallik içeren örüntülerde de modüllerin ayna eşlerine ihtiyaç duyulmadan belirlenmiş bir açıklık geçilebilecektir.

Üretken Tasarıma Uygunluk

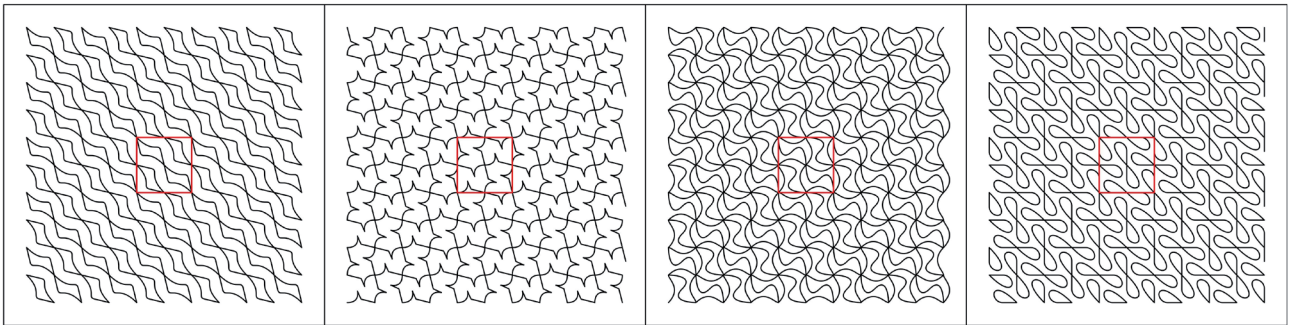
Bu koşullar altında modelin gelişimini oluşturan süreçte yüzeyin tanımı, iç mekân ölçeğini ve örüntü üretim süreçlerinden beklenen ekonomik faydaları gözetebilecek standartlara getirilmelidir. Doğada çoğunlukla harcanan enerjinin düşürülmesi amacıyla hizmet eden simetri dijital tasarım sürecinde de tasarruf amacıyla hizmet edecek, bu yolla normalde ayna ikizlerini, yani iki farklı kalıpta modülü gerekli kılabilecek simetrik parçalar yekpare biçimde monohedral örüntüler kurabilen, aynı zamanda kendi içinde de simetrik bölüntülenmelere olanak tanıyan topolojilere dönüşebilecektir. Bu durum öncelikle bilgisayara verilen görevin işlem tanımına sınır belirlemektedir. Her topoloji için belirlenen $U=10$ ve $V=10$ değeri tüm simetri grupları için dijital ortamda eşit yer kaplayan üç boyutlu veriler üretebilmektedir. Modülün ve modülün eşleriyle kurulan yüzey bütünü dijital ortamda tasarlanması yalnızca temel hücrenin tasarımıyla yeterli olacaktır. İç mimari tasarımda eş parçaların tasarım,

Resim 6. UV koordinatları sayılarla atanan iki adet NURBS eğrisine uygun monohedral bir yüzeyin (mod) bulunması (Görsel yazarlar tarafından üretilmiştir)





	U1a	V1a	U1b	V1b	U1c	V1c	U1d	V1d	U2a	V2a	U2b	V2b	U2c	V2c	U2d	V2d
22*-A	1.00	1.00	0.00	0.55	0.45	0.50	0.00	0.50	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22*-B	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50
22*-C	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.62	1.00	0.50
22*-D	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00	1.00	0.00	0.50	1.00



	U1a	V1a	U1b	V1b	U1c	V1c	U1d	V1d	U2a	V2a	U2b	V2b	U2c	V2c	U2d	V2d
22x-A	1.00	1.00	1.00	0.39	0.22	0.85	0.24	0.50	0.24	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22x-B	0.00	1.00	0.00	0.31	1.00	0.85	0.25	0.50	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22x-C	0.00	1.00	0.51	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50
22x-D	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.51	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

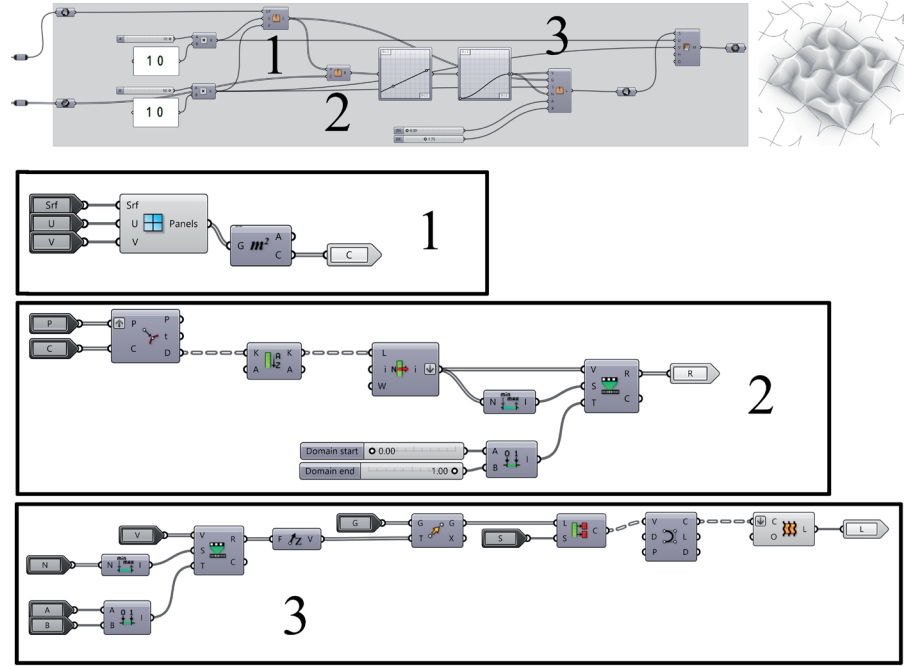
Resim 7. Girilen sıfır ve bir arası U ve V değerlerine göre 22* ve 22x grubu yüzey tasarımları

üretim, yeniden üretim, kullanım ve yeniden kullanım süreçlerine olan olası verim ile ilişkili katkıları ile fiziksel yarar boyutu da gözetilebilir olacaktır. **Resim 7** üretken tasarım programı Grasshopper 3d içerisinde tasarlanmış 22* ve 22x gruplarına verilen UV koordinat sayıları ile alınan sonuçları göstermektedir.

Mekânsallaşma Yolları

Çalışmada iki boyutlu Öklid uzayında üretilmiş örüntülerin üzerine, değerleri 0 ile 1 arasında değişen 16 adet sayı ile birbirleriyle ilişkili iki adet dört kontrol noktalı NURBS eğrisi ile eğri çekici (curve attractor) tasarlanmış, bu eğrinin kontrol noktası verilerinin üçüncü boyuta taşınmasını sağlayan yükseklikler için 0,00 cm ile 10,00 cm arasında değişen hedef aralık (domain) belirlenmiştir. İlk katmanda belirlenmiş herhangi bir metrik değer ile hem modülde hem de yüzeyde ancak bu aralıkta bir rölyef derinliği oluşturması istenmiştir. **Resim 8**, 22x grubundan olup kiral parçalar içeren bir yüzeyin monohedral, rölyefli bir yüzey olarak reparametrize edilme yöntemini göstermektedir.

İki boyutlu verinin üçüncü boyuta işlenmesinde çekiciler (attractor) kullanılmıştır. Bir çekici bir nokta, bir nokta grubu, bir eğri, bir eğri grubu ya da herhangi bir geometrik bütünlük olabilir. Bu bileşen, etrafındaki başka bir geometrik düzeni kendi limitlerine ve yeni tanımlanmış limitlere

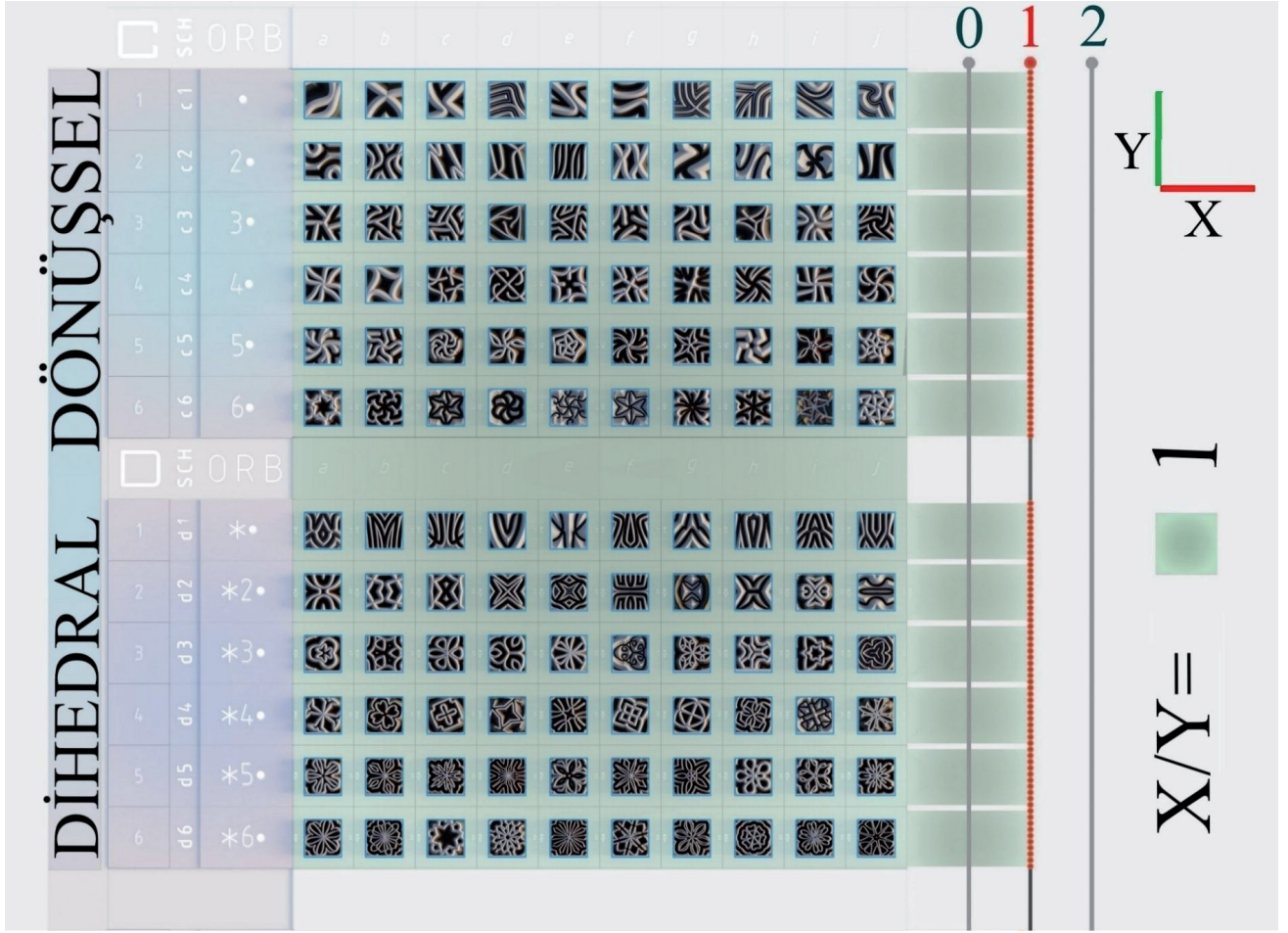


Resim 8. Monohedral yüzey sınırları içerisine eğri çekimi (curve attraction) yöntemine göre tasarlanan, kiral parçalar içeren 22x grubundan bir yüzeyin üretilişi

göre değiştirir (Tedeschi, 2014, 112-118). Giriş verisi olarak alınan $A > B$ aralığına sahip sayısal değişkenleri $A' > B'$ aralığına getiren “Yeniden Haritalandırma” (*remap*) komponentleriyle beraber çalışırlar. Birinci satırda yüzey u ve v sayılarına göre parçalanmaktadır. Bu parçaların merkez noktaları ve periyodik eğri grubu üzerindeki noktalar arasındaki uzaklık yeniden haritalandırılabilir. **Resim 8**'de ikinci satırda bu komponentlerin çalışma prensibi gösterilmiştir. Bu komponent bir kaynak bir de hedef aralık (domain) gerektirir ve kaynaktan alınan tüm sayıları öngörülen hedef aralığa göre yeniden numaralandırır. Örneğin durgun bir göle atılan bir taş kendi biçimsel karakterinden etkilenen bir hareketle suyu halkalar halinde yükseltir. Aynı göle atılan demir çubukta ise bu hareketlenme çubuğun yoğunluğuna ve büyüklüğüne göre farklı bir desende olur. Taş ve çubuğun belirli latislere uyumlu simetrik kopyalarını üretildiğini varsaydığımızda tümü aynı anda atıldığında ortaya simetrik bir girişim deseni çıkar. Simetri gruplarını ve onlara uyumlu çalışacak çekiciler tasarlamak yüzeylerde yaratıcı girişim desenleri ortaya çıkarabilir.

İki boyutta boşluk kalmaksızın ve üst üste binme olmaksızın birleşebilen simetrik örüntüler mekânsallaştıklarında bu tamamlayıcılıklarını kaybedebilirler. Bu nedenle modül-yüzey kurgusunda dikkate alınmış en önemli adımlardan biri, modülü sabit kalabilen, yansıma ve kayma yansıması yapabilen ya da belirli bir açıyla dönüş gerçekleştirebilen, yani çeşitli olasılıklarda bir araya gelebilen eşleriyle estetik açıdan tutarlı bir birleşim yaptırabilmektir. Bu nedenle kenar hatlarında oluşabilecek şişme, dalgalanma ve ezilmeler mantıklı sayısal değişkenlerle denetlenebilir olmalıdır. Bu noktada, topolojideki sayısal tutarlılığı sağlamak adına uygun adımlar tespit ve takip edilmiştir. **Resim 8**'de üçüncü satırda yeniden haritalandırılan veri eğrilere ve loft yüzeylere dönüşmüştür.

Simetrik modüllerin verim etkeni ile birlikte değerlendirilmesi pek çok yolla mümkündür. İş gücü tasarrufunun yanında parça ebatlandırması ile ilgili faydalara dair sorunlar, örneğin modüllerin en boy oranı ve bu modüllerin daha küçük eş parçalara bölünüp bölünemeyeceği

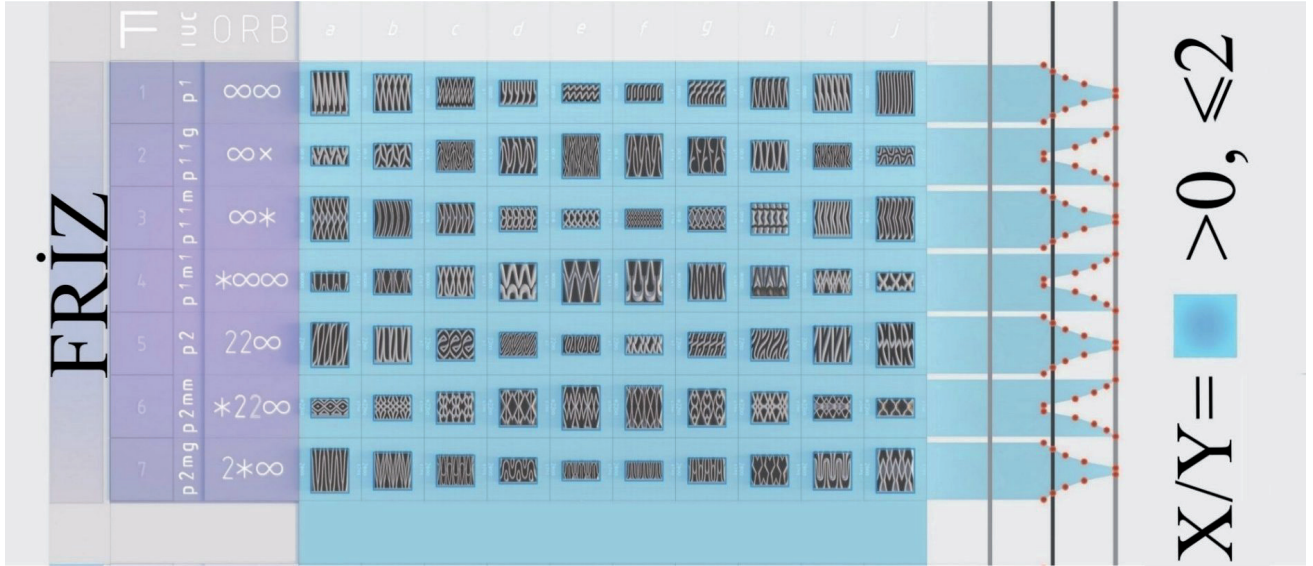


Resim 9. Dönüşsel ve dihedral gruplar için algoritma destekli tasarım programı ile üretilmiş ve tasnif edilmiş örnekler

sorusu verim ve tasarruf etkenleri ışığında yanıtlanabilir. Resim 9'da algoritma destekli tasarım programı Grasshopper 3d ile üretilen noktasal simetriler (dönüşsel ve dihedral) tasnif edilerek çizelgeleştirilmiştir. Bu sınıflandırmada simetrinin yalnızca noktasal etkinlikleri kullanılmıştır.

Tüm noktasal (dönüşsel ve dihedral) grupların basitçe kare içerisinde izdüşümü elde edilmiştir. Yani x/y oranı tüm bu gruplarda 1 değerindedir. Bu grup çizelgede yeşil renkte gösterilmiştir. İlk altı grup dönüşsel grubun ilk altı basamağını tanımlar. • grubuna ait birimler kendisinin simetriğidir, bu yönüyle asimetric modeller üretir. •2, •4 ve 2ⁿ şeklinde dönüş sayısı çeşitlenen gruplar karesel, yani x/y=1 oranına göre göre birbirlerine denk alt başka parçalara da bölünebilmektedirler. 2ⁿ dönüş sayısına sahip olmayan dönüşsel simetrilerde bu varsayımsal karenin çokgensel olarak parçalanması ya da birbirinin eşdeğeri parçaların bu karenin içinden çıkarılması gerekmektedir.

Dihedral grupta da malzemenin verimli kullanımı için örüntünün parçalarına ayrılma şekli dönüşsel gruba benzer. Yalnız bu defa ilk grup olan •*, • grubundan farklı olarak iki kiral parçaya bölünebilmektedir. Bu durum negatif ve pozitif kalıplar yoluyla kiral parçaların tasarruf beklentisini karşılayacak ölçütlerde oluşturulmasına etki edebilir. Dönüşsel gruptakine benzer bu karesel projeksiyonlarda 2ⁿ katlı dihedral gruplar kiral eşleriyle gruplanan alt parçaların tekrarına dayandıkları için bu kare modeller birbirlerine tamamen eş parçalara bölünebilir. 2ⁿ katlı olmayan kaleydoskoplarda kare modelin çokgensel olarak parçalanması ya da



Resim 10. Friz grubu için algoritma destekli tasarım programı ile üretilmiş ve tasnif edilmiş örnekler

eşdeğer parçaların bu karelerin içinden çıkarılması gerekir. 2ⁿ katlı noktasal simetride bu kolaylığı sağlayabilmek adına nokta gruplarının tümünde x/y değeri 1 olarak kabul edilmiş ve yeşil renkte gösterilmiştir.

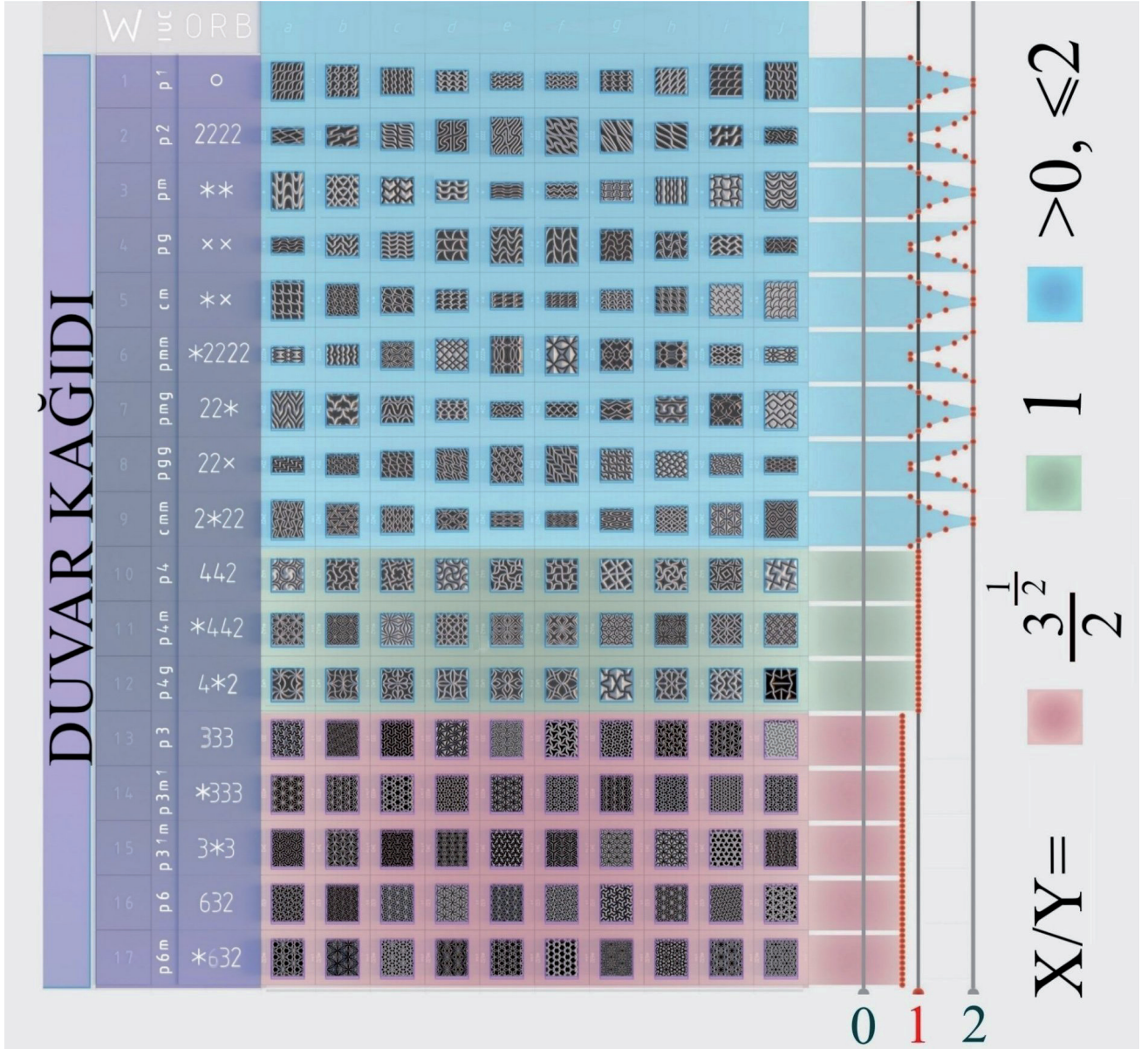
Bu oran ebatsal çeşitlilik oluşturmak adına friz grubunda çeşitlenmektedir. Yedi adet friz grubunun tamamı bu oransal çeşitlenmeye uygundur. Conway notasyonuna göre (2008, 29-49) x olarak ifade edilen kayma yansıması dönüşümünü bulunduran ∞x grubu ve * olarak ifade edilen yansıma dönüşümünü bulunduran ∞^* , $*\infty\infty$, $*22\infty$ ve $2*\infty$ grupları kendi kirali ile gruplanmış tekrarlı parçalar içerir. **Resim 10**'da görülmekte olan friz grubunun tümünde x/y oranı değişebilmektedir ve bu özellik çizelgede mavi renk ile gösterilmiştir.

Kristalografik tekrarlılıklar içeren duvar kağıdı grubunda da semboller ve kirallik ilişkisi bu şekilde işler. Ancak düzlemsel kristalografik gruplardan o, 2222, **, xx, *x, *2222, 22*, 22x ve 2*22 friz grubundaki gibi x/y oranı 3/4 ve 2 arası değişken dörtgensel topolojiler üzerinde izdüşüm elde edebilirken 442, *442 ve 4*2 gruplarında x/y oranı 1 değerine sabitlenmiştir. Bu kısıtlamadan dolayı bu gruplarda tekrarlılık birbirine denk kare modüllerle oluşmaya uygundur.

333, *333, 3*3, 632 ve *632 gruplarında bu tekrarlılık kare bir formatta ilerleyemediklerinden ve sahip oldukları özgün geometrilerinden dolayı $x/y=\sqrt{3}/2$ oranında modüller oluşturmuş, bu grup çizelgede kırmızı renkle gösterilmiştir. Üçgensel latislere sahip bu örüntülerde kalıp sayıları en ve boy oranı $\sqrt{3}/2$ olan modüller içerisinden çıkarılan üçgen eşkenar dörtgen ve altıgen alt parçalar kullanılarak da azaltılabilir. Aynı zamanda bu gruplar dönüş ve yansıma içeren diğer duvar kağıdı gruplarında olduğu gibi noktasal olarak simetrik (dönüşsel ve dihedral) daha basit parçalara da bölünebilir. **Resim 11**, duvar kağıdı grubunun (düzlemsel kristalografik grup) ebatsal tasnifini göstermektedir.

SONUÇLAR

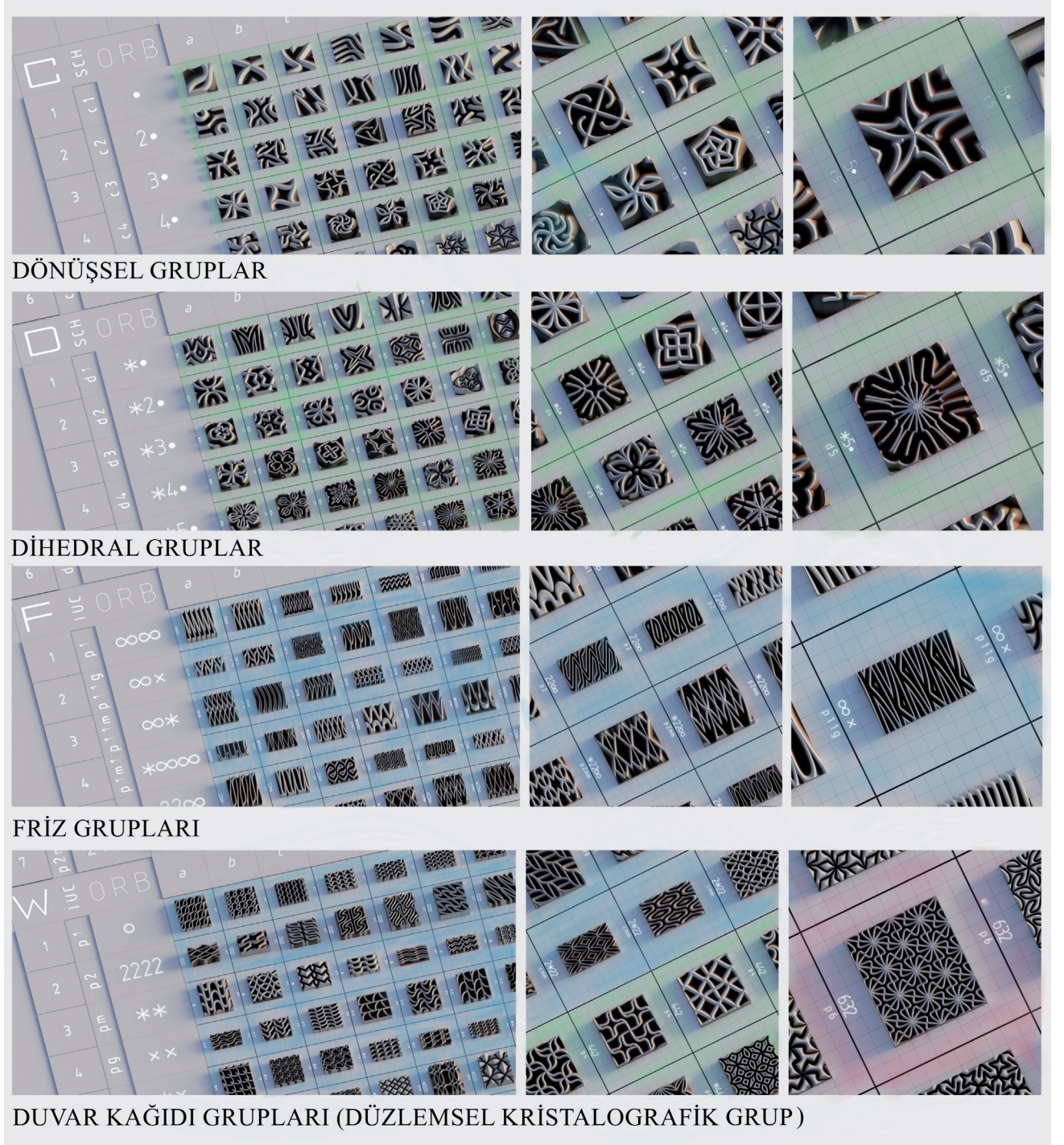
Doğada şablonlar en az işle en fazla verimi sağlamaya yöneliktir. Çalışmada, doğa, tasarım, üretim ve yeniden doğa döngüsünü sağlamak isteyen bir yaklaşımla mimari ve iç mimari yüzey tasarımında kuramsal



Resim 11. Duvar kağıdı grubu (Düzlemsel Kristalografik Grup) için algoritma destekli tasarım programı ile üretilmiş ve tasnif edilmiş örnekler

simetri gruplarını algoritma tabanlı tasarım programı ve prototip üretim süreci ile test etmiştir. 2022 yılında "İç mekan yüzey tasarımında simetri algoritmalarının kullanımına yönelik bir model önerisi" başlıklı doktora tezi kapsamında bilgisayar ortamında 360 adeti eğrisel ve kalanı noktasal çekimli olmak üzere 418 farklı yüzey örüntüsü ve bazı alçı kalıp prototipleri üretilmiştir (Gülfidan, 2022). Bu deneyim sonucunda, yüzey üretiminin teknik boyutunu ilgilendiren bulgular şöyledir:

İki boyutlu Öklid uzayında düzenli ve tekrarlı kurgulara olanak sağlayabilecek NURBS tabanlı sistematik bir altyapı oluşturulabilmektedir. Tüm dönüşel gruplar dönüş sayısı kadar eşit module bölünerek yeniden yapılandırılabilir. Bu parçalar birbirlerine boşluksuz ve üst üste binme olmaksızın bağlanabilmektedir. Uygulanan prototip üretim modeline göre modüllerden birinin üç boyutlu baskı ile üretilmesi yüzey kurgusu için yeterlidir.



Resim 12. Dönüşsel, dihedral, friz ve duvar kağıdı grupları için algoritma destekli tasarım programı ile üretilmiş ve tasnif edilmiş örnekler

Tüm dihedral gruplar kiral (sağ el-sol el) ilişkiler içerir. Dolayısıyla simetri etkinliğine katılan en küçük özgün hücrenin üretilmesi dihedral ilişkilerde geleneksel yöntemlerle kalıbın tamamlanması için yeterli değildir. Tasarlanan yöntem dizileri sayesinde bu parçalar iki kiral parçanın birleştirilmesiyle tek kalıpta üretilmekte ve modüller eşleriyle kiraliteden bağımsız olarak boşluk kalmaksızın ve üst üste binme olmaksızın birleşebilmektedir. Kiral modüllerin ayrı kalıplar olarak üretilmesi iki farklı ana kalıp ve kaleydoskop sayısının yarısı kadar kalıplama işlemi gerektirmektedir. Önerilen yöntemle hem dönüşsel hem

de dihedral gruplar genişliği ve uzunluğu ilgili simetri grubunun açısall ilişkilerine göre değişken olan ve tüm ilişkili hücreleri birleştiren dörtgen topolojilere dönüştürülebilmektedir.

Çalışmada friz grubunun tamamı birbirleriyle tek doğrultuda ilişki kurabilen kare ve dikdörtgen sınırlara sahip rölyefli topolojilere dönüştürülmüştür. Birinci boyutta bu üst desenler birbirleriyle boşluksuz ve sürekli olarak birleşebilmekte ya da bu desenler dönüş, yansıma, öteleme ve kayma yansıması işlemlerine göre eşdeğer alt desenlere ayrılabilir.

Tüm düzlemsel simetri grupları her iki boyutta da boşluklar ve örtüşmeler olmaksızın anlamlı birlikler oluşturabilecek kare ve dikdörtgen sınırlı rölyefli topolojilere dönüştürülmüştür. Kare ve dikdörtgen modüller üçgen ve altıgen kafesleri birleştirmek için kapsayıcı bir formül olarak görülmüş ve verimlilik açısından tasarım ve uygulama aşamaları için faydalı bulunmuştur. Desenlerin birim hücrelerini oluşturan açı değerlerinin gruplar arası değişkenliği ya da hücrelerin üçgensel veya dörtgensel karakterde birleşmesi iç mekân tasarımına daha uygun olan dörtgensel topolojilerin üretilmesine engel olmamıştır.

Üretken tasarım yöntemi çalışmada, eşbiçimli modülasyona sahip iç mimari yapıların boyut, malzeme ve işlevsel katmanları için sistematik bir temel sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Yöntemin doğası, tasarım süresinin azaltılması, bilgisayar destekli işçilik ve zaman tasarrufu gibi verimlilik ile ilişkili kaygılara dayanmaktadır. Bu bağlamda modelin temel amaçlarından biri yapay çevreyi ilgilendiren iç mimari yüzey tasarımını, simetrisinin doğa ekonomisi ile ilişkili boyutuyla uzlaştırmak ve doğal-yapay arasındaki ilişkileri güçlendirmektir. Bu bağlamda ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Doğada harcanan enerjinin düşürülmesi hedefiyle işleyen simetrisinin üretken tasarım ve algoritma destekli tasarım ve üretimin doğasında var olan tasarruf yöntemleriyle örtüşebildiği tespit edilmiş; simetrisinin kuramsal altyapısı iç mimarlık ölçeğinde verim sağlayabilecek bir desen üretim modelinin tasarlanmasında kullanılmıştır. Yüzey çeşitliliği açısından yüksek bir zenginlik gösteren doğa, nitel bir kaynak, onun matematiksel izdüşümleri ise nicel bir rehber olarak kullanılmış; doğada verimliliğe bağlı nedenlerle gelişen estetik değerler sayısal bir kuram olan simetri grupları aracılığıyla algoritma destekli tasarım programına işlenmiştir. Nitel ve estetik açıdan yorumlanabilir sonuçlar veren bu çalışma sonucunda yüzey tasarımında nitel yansımalar olarak modül-modül ve modül-yüzey ilişkilerinin esasında nicel verilerin oluşturduğu kalıtsal akrabalık düzeylerine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Simetrisinin tekrarlanabilme özelliğinden yararlanan veri paketleri aracılığıyla sağlanan yararların bilgisayar destekli tasarım sürecinde etkili olduğu görülmüş, simetrisinin üretim ekonomisine sağlayabileceği olası faydalar üç boyutlu baskı ile prototipleme ve basit alçı kalıplama testleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Simetrisinin düşük maliyetli ve hızlı üretim için kârlı bir yol olduğu görüşü ilgili bağlamda doğrulanmıştır. Simetri ile, üç boyutlu baskı, basit negatif-pozitif kalıplama ve dondurma işlemlerinde hem zamansal hem de finansal yararlar sağlanabileceği görüşüne ulaşılmış; elde edilen sonuçlara göre üreteçler mekânın algılanan sınırlarını tanımlayan düzlemsel ya da kavisli yüzeylerin modüller olarak bölüntülenmesinde analog-dijital yöntemlere kıyasla algoritma destekli süreçlerin tasarruf açısından daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. İnşa

edilebilecek olası işlevsel katmanlara bağlı olarak mevcut değişkenler ya da eklenecek yeni yöntem dizinleriyle simetri mekân ilişkileri konusunda yapılabilecek araştırma alanlarının gelişime açık olduğu tespit edilmiştir. Doğa, tasarım, üretim, kullanım, taşıma, depolama gibi farklı süreç ve işlemlerde verimlilik ve tasarruf açısından bir rehberdir. Bu bağlamda, doğal yapıların koşullara en uygun olan ekonomik yolu seçerek oluşma eğilimi farklı üretken tasarım yöntemleriyle yeniden ele alınabilir, doğal ve yapay mekansallaşma yolları arasında kurulacak diğer uygun bağlantı yolları ile tasarım senaryoları çeşitlendirilebilir. Bununla birlikte Penrose desenleri ve kuasikristalin dizgelerin kapsam dışında tutulduğu bu çalışmadaki simetri gruplarına dair veri paketleri aperiodyk biçimlenişlere sahip dizgelere dair yeni kuramların geliştirilmesine ışık tutabilir. Sanat ve uygarlık tarihi perspektifinden bakıldığında aperiodyk olmayan ve eşbiçimlilik gösteren Akdeniz ve Yakın Doğu girih desenlerinin üretilen algoritmalar yoluyla sınıflandırılacağı sayısal olarak ifade edilebileceği ve yeniden üretilebileceği sonucu bu alanda yapılabilecek yeni çalışmalar için bir temel oluşturabilir. Yeniden üretime dayalı benzer süreçler başka çalışmaların konusudur. Simetrinin temel dönüşüm adımlarının bilgisayar kümeleri (cluster) olarak kaydedilmesi çoğaltılması ve yayınlanmasının simetrinin doğadaki verimlilik amaçlı varlığına paralel olarak tasarım alanlarındaki yeni araştırma süreçlerine benzer tasarruf yolları sağlayabileceği açıktır.

KAYNAKLAR

- BONNER, J., KAPLAN, C. S. (2017). *Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction*. Springer
- CONWAY, J.H., BURGIEL, H., GOODMAN-STRAUSS, C. (2008). *The Symmetries of Things*. A K Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts.
- CROWE, D. W. (2001). *Symmetries of Culture. Bridges, Mathematical Connections in Art, Music, and Science*. <https://archive.bridgesmathart.org/2001/bridges2001-1.pdf>
- GLAESER, G. (2013). *Nature and Numbers: A Mathematical Photo Shooting (Edition An)*. Ambra Verlag. Vienna, Austria, 2013
- GÜLFİDAN, K. (2022). *İç Mimari Yüzey Tasarımında Simetri Algoritmalarının Kullanımına Yönelik Bir Model Önerisi*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
- HARGITTAL, M., HARGITTAL, I. (2009). *Visual Symmetry*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- HON, G., 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.
- KAPLAN, C. S. (2009). *Introductory Tiling Theory for Computer Graphics*. In *Synthesis Lectures on Computer Graphics and Animation*. A Publication in the Morgan & Claypool Publishers Series.

- LEDERMAN, L. M., HILL, C. T. (2004). *Symmetry And The Beautiful Universe*. Prometheus Books.
- LIU, Y., HEL-OR, H., KAPLAN, C. S., 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.
- MAINZER, K. (1996). *Symmetries of Nature: A Handbook for Philosophy of Nature and Science*. De Gruyter.
- 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.
- MAKOVICKY, E. (2016). *Symmetry Through the Eyes of the Old Masters*. De Gruyter.
- MCNEEL, R. (2014). *McNeel Grasshopper 3D (6.0)*. Robert McNeel and Associates.
- PAWLYN, M. (2016). *Biomimicry in Architecture* (F. Gibbons & K. Mackillop (Eds.); Second Edition). Riba Publishing
- PENROSE, R. (2017). Preface. In J. Bonner & C. S. Kaplan (Eds.), *Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction*. Springer.
- STEWART, L., GOLUBITSKY, M (1993). *Fearful Symmetry, Is God A Geometer*. Blackwell Publishers, Penguin Books.
- TEDESCHI, A. (2014). *AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Stratiefies Using Grasshopper*. Le Penseur Publisher.
- THOMPSON, D. W. (1942). *On Growth And Form*. Cambridge University Press.
- VINCENT, J. F. V. (1997) *Stealing Ideas From Nature*, *RSA Journal*, Aug./Sept., 36-43
- WEYL, B. Y. H. (1989). *Symmetry*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Received: 23.03.2023; Final Text: 03.05.2024

Keywords: Algorithm aided design; surface design; tessellation; parametric design

EVALUATION OF THE EFFICIENCY FACTOR IN TESSELATION DESIGN WITH SYMMETRY GROUP THEORY AND ALGORITHM AIDED DESIGN TOOLS

Formation methods of nature are boundless. In this abundance, symmetry, directly associated with cost and time efficiency, lies behind all activities in physical environments. Throughout history, symmetry is considered a factor of harmony and order in human-made environments as a visual, spiritual, and functional tool, has been seen as a connecting path between the designer and nature. Biomimetic processes involving symmetry, have been shaped by aesthetic and structural expectations, providing compactness and productive contributions to the design processes besides its visual and semantic benefits.

Today, some productive design tools used in design processes offer the opportunity to rethink the aims of symmetry in nature to provide the highest efficiency with the least energy for human-made environments. The study aims to investigate the possible methodological contributions of symmetry to the cycle between nature and design. It overlaps the material, energy and time-saving factors of natural modularity with the architectural surface design process. In this study, qualitative and quantitative findings about the concept of symmetry at the intersection of various fields such as natural sciences, art, and mathematics, as well as various worldviews examining the aesthetic and pragmatic nature of the concept, were used. The study is based on productive design problems such as to achieve more results with fewer steps in tessellation design and to cover more space by using molding and using fewer prototypes. Algorithm-aided design software called McNeel Grasshopper and up-to-date notations of symmetry group theory were used to solve these problems.

In the generative design method, the curve attraction method, in which the curves are effective in formation, is projected to the Z coordinate with sinus and bezier graphics, and three-dimensional surface modules that can be combined with each other are created. In this way, a total of 360 printable digital tiling patterns were produced and classified according to the symmetry group theory. Experimental prototypes were produced for some models. For the algorithm-based design process developed, an experimental method that investigates the production ways in digital and physical environments for module and surface design has been designed. The main purpose of this method is to ensure that strings in different crystallographic manners can be reproduced repetitively with square and rectangular bases.

In order to adapt this theoretical model related to nature to the design process, generative design devices that allow controllable hereditary relations through numerical values are used in the production of form. The generative design method allowed analogical simplifications of symmetry and modularity in nature, enabling symmetrical activities to be evaluated through inherited similarities to those in nature. With the algorithm designed on the pragmatic basis of the physical limits of nature, a systematic template that can be used in different spatial systems has been produced. It has been concluded that natural and artificial surfaces can play similar roles within the framework of time and cost efficiency, but numerical values should be observed in structures with different symmetry types in order to facilitate production.

DÖŞEME ÖRÜNTÜSÜ TASARIMINDAKİ VERİM ETKENİNİN SİMETRİ GRUP KURAMI VE ALGORİTMA DESTEKLİ TASARIM ARAÇLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Doğada biçimlenme yöntemleri sayılamayacak kadar çeşitlidir. Bu çeşitlilikte verim, tasarruf ve yarar olguları ile doğrudan ilişkili olarak görev alan simetri, fiziksel çevrelerdeki tüm etkinliklerin temelindedir. Tarih boyunca insan yapısı çevrelerin inşasında simetriyi doğada oluşturan yollar uyum ve düzen sağlamak amacıyla taklit edilmiş; simetriye duyulan bu ilgi, tasarımı görsel, anlamsal ya da işlevsel düzeylerde ilgilendirebilecek çeşitli doğaya öykünme modelleri ortaya çıkarmıştır. Bu biyomimetik süreçler kimi zaman estetik, kimi zaman yapısal beklentilerle şekillenmiş; simetrinin kompaktlık getirileri ile pek çok zaman yapısal ve üretimsel faydalar sağlanmıştır.

Günümüzde tasarım süreçlerinde kullanılan kimi üretken tasarım araçları, simetrisinin doğadaki en az enerji ile en çok verim sağlayabilme amaçlarını insan yapısı çevreler için yeniden düşünebilme imkanı sunmaktadır. Çalışma, simetrisinin doğa ve tasarım arasındaki döngü için olası yöntemsel katkılarını bu yönetime göre araştırma ve doğal modülerliğin malzeme, enerji ve zaman tasarrufu etkenlerini mimari yüzey tasarım süreci ile örtüştürme amaçları üzerine inşa edilmiştir. Çalışmada, doğa bilimleri, sanat ve matematik gibi çeşitli alanların kesişimindeki simetri kavramına dair olan nitel ve nicel bulgulardan ve kavramın estetik ve pragmatik doğasını irdeleyen çeşitli dünya görüşlerinden yararlanılmıştır. Çalışma, döşeme örüntüsü tasarımında daha az hamle ile daha fazla sonuç elde edebilmek ve daha az sayıda prototipi kalıp olarak kullanarak daha fazla alan geçebilmek gibi verim ile ilişkili tasarım sorunlarına dayanmaktadır. Bu sorunların çözümü için Grasshopper 3d algoritma destekli tasarım programı simetri grup kuramına dair güncel notasyonlarla birlikte kullanılmıştır.

Kurgulanan üretken tasarım yönteminde eğrilerin biçimlendirmede etkili olduğu eğrisel çekim metodu sinus ve bezier grafikleriyle Z koordinatına olan izdüşümü hesaplanmış ve birbirleriyle uyumlu olarak birleşebilen üç boyutlu yüzey modülleri oluşturulmuştur. Bu yolla baskısı alınabilir toplam 360 adet dijital döşeme örüntüsü üretilmiş ve simetri grup kuramına göre tasnif edilmiş; bazı modeller için deneysel prototip üretimi yapılmıştır. Geliştirilen algoritma tabanlı tasarım süreci için modül ve yüzey tasarımında verim beklentisini karşılamak adına, simetri grup kuramını temel alan yöntem dizinlerinin yer aldığı, dijital ve fiziksel ortamda üretim yollarını araştıran deneysel bir yöntem kurgulanmıştır. Bu yöntemdeki temel amaç farklı kristalografik tavırlardaki dizgelerin kare ve dikdörtgensel platformlar yoluyla tekrarlı olarak üretilebilmesini sağlamaktır.

Doğa ile ilişkili bu kuramsal modelin tasarım sürecine adaptasyonu için biçim üretiminde sayısal değerler aracılığıyla denetlenebilir kalıtsal ilişkiler planlamaya olanak tanıyan üretken tasarım aygıtları kullanılmıştır. Üretken tasarım yöntemi, simetriye ve doğadaki modülerliğe dair analogik basitleştirmelere olanak tanımış ve simetrik etkinliklerin doğadakine benzer kalıtsal benzerlikler yoluyla değerlendirilebilmesini sağlamıştır. Doğanın fiziksel sınırlarını pragmatik anlamda temel alarak tasarlanan algoritmayla eşbiçimli modülerlik içeren farklı mekânsal dizgelerde de kullanılacak sistematik bir şablon üretilmiş; doğal ve yapay yüzeylerin zaman ve maliyet verimliliği çerçevesinde benzer roller üstlenebileceği, fakat üretimde kolaylık sağlamak adına farklı simetri türlerindeki yapılarda sayısal değerlerin gözetiminin gerektiği sonucuna varılmıştır.

KORCAN GÜLFİDAN, B.Sc., M.Sc., PhD

Received his bachelor's degree from Kocaeli University, Faculty of Architecture and Design (2013). Earned his MSc. (2015) and PhD. (2022) in interior architecture from Institute of Science and Technology at Mimar Sinan Fine Arts University. His major research interests include generative design, symmetry in art, architecture and nature and algorithm aided design. korcangulfidan@gmail.com

İPEK FİTOZ, B.Arch., M.Sc., Ph.D.

Received her bachelor's degree from Mimar Sinan University, Faculty of Architecture (1996). Earned her MSc. in Interior Architecture from Institute of Science and Technology at Mimar Sinan Fine Arts University (1999). Earned her PhD. in Industrial Products Design from Institute of Science and Technology at Mimar Sinan Fine Arts University (2002). Her major research interests include interior design. ipek.fitoz@msgsu.edu.tr

