

Making Rules in Computational Pattern Design: An Experiment with CNC Milling

Begüm Hamzaoğlu¹; Mine Özkar²

^{1,2}Istanbul Teknik Üniversitesi

¹hamzaoglu@itu.edu.tr; ²<http://akademi.itu.edu.tr/ozkar/>, ²ozkar@itu.edu.tr

Abstract. Digital production techniques offer designers low-budget and open source means to make within design processes. Thus the integration of design and making in computational design methods emerges as a research subject area. This study examines the possible contributions of design rules to the process of producing geometric patterns while using numerical production tools. In practice, the paper aims to show that making rules are functional both in terms of diversification and integration. We carried out experiments where processes of making were formally represented and then applied using CNC milling tools. This study differs from previous computational studies of Seljuk geometric patterns with its focus on their production processes. Shape and making rules define the possible transformations in the process, and help us understand the common points and differences in the processes. The methodology, as illustrated in the results of a workshop on existing patterns, unifies the components of making and design, and expands the design space of any pattern with the factors of production.

Keywords: *Shape grammars, making grammars, craft computation, digital fabrication*

Hesaplmalı Örüntü Tasarımında Yapım Kuralları: CNC Frezeleme ile Bir Deneme

Begüm Hamzaoğlu¹; Mine Özkar²

^{1,2}Istanbul Teknik Üniversitesi

¹hamzaoglu@itu.edu.tr; ²<http://akademi.itu.edu.tr/ozkar/>, ²ozkar@itu.edu.tr

Özet. Sayısal üretim araçlarının yaygınlaşması, tasarımcıların düşük bütçeli ve açık kaynak destekli yapım süreçleri yürütmelerine, yapımın bileşenlerini tasarım sürecinin bir parçası olarak ele almalarına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda tasarım ve yapım süreçlerinin hesaplmalı tasarım yöntemlerinde bütünleşmesi bir araştırma konu alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma ise, sayısal üretim araçları yardımıyla biçim kurallarının yapım kuralları ile bütünleşik kullanımının tasarım sürecine olası katkılarını geometrik örüntüler örneği üzerinden ele almaktadır. Uygulamada yapım kurallarının tasarımlara hem çeşitlilik kazandırmada hem de bütünleştirmede işlevsel olduğunu göstermek hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, uygulama sürecinin biçimsel olarak temsil edildiği ve yaygın sayısal üretim araçlarından CNC freze kullanılarak gerçekleştirilen denemeler incelenmiştir. Çalışma kapsamında Selçuklu geometrik örüntü örnekleri ele alınmış, daha önceki çalışmalardan farklı olarak üretim süreçlerine odaklanılmıştır. Süreç içindeki olası dönüşümler biçim ve yapım kurallarıyla tanımlanarak, süreçlerdeki ortak noktalar ve farklılıklar incelenmiştir. Buna göre üretim sürecindeki değişkenler ve bunlara dayalı farklı örüntü üretimi araştırılmıştır. Bildiride, örneklemedeki örüntüler için geçerli biçim ve yapım kuralları ile çalıştay sonuçlarının paylaşımı ve bulguların tartışılması planlanmış, önerilen çözümlene yöntemi ile var olan örüntülerin üretim sürecine odaklanarak tasarım uzaylarını genişletmek, yapım bileşenlerini tasarım sürecine dahil eden bir yöntem önerisi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Biçim gramerleri, yapım gramerleri, zanaat hesaplama, sayısal üretim*

1. Hesaplamalı Tasarıma Yapımın Entegre Edilmesi

Günümüzde tasarımcılar sayısal üretim araçlarının işlemlerini hesaplama yoluyla kontrol ederek üretim sürecinde aktif bir rol üstlenebilir durumdadır. Tasarım ve üretim süreçlerinin bu yolla bütünleşmesi, Rönesans öncesi dönemde hem tasarımcı hem de yapan rolündeki geleneksel ustaların süreçlerine benzemektedir (Kolarevic, 2005). Yaygın olan uygulamalar ise, yapma bilgisini tasarımda bir araştırma ve tasarlama etkeni olarak her zaman ön planda tutmamakta, entelektüel etkinlikleri el becerilerine üstün tutmaktadır (Gürsoy, 2016).

Hesaplamalı tasarımda tasarım ve üretim süreçlerinin bütünleşmesi literatürde sayısal zanaat (digital craft) kavramını türetmiştir (Oxman, 2007). Sayısal zanaat, hesaplanabilir malzeme davranışları, fabrikasyon ve birleşim yöntemleri ile gerçekleştirilen denemelere dayanan form üretimini ifade eder. Günümüzde sayısal zanaat kavramı üzerine gerçekleştirilen denemeler, hesaplanabilir malzeme davranışları ile form bulma yöntemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapım sürecinin diğer bileşenlerini oluşturan araç ve yöntem bilgisini hesaplamalı tasarım süreçlerine katan yöntemler ise henüz yaygınlaşmamıştır. Örneğin, tasarımcılar sayısal üretim araçlarını çoğunlukla sayısal olarak modellenmiş biçimlerin hızlı prototiplenmesi amacıyla kullanmaktadır. Sayısal olarak kontrol edilebilen bu üretimlerdeki düşük hata payı nedeniyle, form üretiminde yapım bilgisi gereksiz dahi görülebilmektedir. İşçiliğin yapım sürecine katılmadığı bu durum, kontrol ve kesinliğe dayanır (Pye, 1968). Bu yaklaşımda, araçların ve yöntemlerin olanaklarının ve kısıtlarının üretilen form üzerindeki etkisini keşfetme ve tsa-

rım sürecine katma söz konusu değildir.

Sayısal üretim araçlarında üretilen biçimler de dahil olmak üzere, tüm fiziksel biçimler belirli özelliklere sahip araçların malzeme üzerine belirli bir yol izlemesi sonucu oluşur. Yapım bilgisinin üretilen biçim üzerindeki etkisi kaçınılmazdır. Lazer kesici, üç boyutlu yazıcı, CNC freze gibi araçların sayısal kontrolü, yapım bilgisinin yerini almaz; aksine sayısal üretim araçlarının kullanıcılarının istedikleri biçimi üretebilmeleri için araçların yapım yöntemlerine bütünüyle aşına olmaları gerekir (Schoedek vd., 2005). Bu aşinalık tasarımcıda yoksa, üretimi ve formu etkileyecek kararlar imalatçıya bırakılır.

Diğer yandan, bazı araştırmacılar üretim bilgisini kullanan hesaplamalı form bulma denemeleri ortaya koymaktadır (Boza, 2006; Kieferle & Katodrytis, 2016). Yapılan uygulamalar, CNC frezeleme ve robotik fabrikasyon gibi sayısal üretim uygulamalarında deneme ve keşfetmeye dayalı bir süreç izlenirse önceden tahmin edilemeyen fiziksel formların belirebileceğini göstermiştir. Sonucu belirli olmayan ve yaparak tasarlamaya dayalı üretim süreci, zanaatta var olan yapımın üretken doğasını hesaplamalı tasarım sürecine katmayı mümkün kılar. Bununla birlikte, zanaattaki tek yönlü olmayan dinamik akışın ve üretkenliğin bir süreç olarak hesaplanabilirliği günümüzde keşfetmeye açık bir araştırma konusudur.

Hesaplamalı tasarım yöntemleri günümüze kadar fiziksel nesnelere yerine soyut biçim tasarımları üzerine yoğunlaşmış olsa da süreç odaklı olmaları yapım süreçlerinin tarif edilebilmesi için uygun bir ortam oluşturur. Ayrıca, Kendir ve Schork'un (2009) vurguladığı gibi, hesaplamalı tasarım yöntemlerinde düşünme sürecinin şeffaflaşması, sadece sayısal değil analog yapım yöntemlerinin de tasarım süre-

cine entegre edilebileceği kapsamlı bir zanaat yaklaşımı ortaya koyabilir.

Günümüze kadar pek çok çalışmaya konu olmuş biçim gramerleri hesaplamalı tasarımda üretken süreçleri tarifleyen yöntemlerden biridir. Biçim grameri kuramının öne çıkan özelliklerinden biri, biçim hesaplamasının görsel hesaplama ve usavurmaya dayanması ve bu sayede biçimlerin doğasındaki muğlak ve sonsuz parça-bütün ilişkilerini hesaplamalı tasarım pratiğine dahil etmesidir. Tasarım süreçlerindeki biçimsel dönüşümlerin, cebirsel biçim hesaplamaları şeklindeki görsel kurallarla ifade edilmesi, süreçteki dönüşümler arasındaki görsel ilişkileri ortaya çıkarır. Bununla birlikte, biçim gramerleri biçimlerin hesaplanmasını kapsar ve tamamen görseldir. Bu nedenle fiziksel özellikleri içermez.

Diğer yandan tasarım süreçlerindeki malzeme, araç ve eylemler gibi yapım bileşenleri, oluşan biçim ile doğrudan ilişkilidir. Tasarımdaki üretken süreç, sonuç üründe görülen biçim ile tüm bu bileşenlerin bütünlüğe dönüşmesi ile anlaşılabilir (Özkar & Lefford, 2006). Bu bağlamda son yıllarda gerçekleştirilen bazı çalışmalarda, tasarım süreçlerindeki fiziksel özellikleri ve manipülasyonları görselleştirmede biçim gramerlerinin araçlarından yararlanan yöntemler öne sürülmüştür (Gürsoy & Özkar 2015; Gürsoy vd. 2015; Harrison vd. 2015). Önerilen örneklerde yapım süreçlerindeki belirli hareketlerin belirli malzemeler üzerindeki uygulamaları biçimselleştirilmiştir. Bu sayede, yapım süreçlerinde tasarımcının etkileşim içerisinde olduğu araçlar ve malzeme davranışlarının aralarındaki görsel ilişkiler hesaplanabilir. Gürsoy ve Özkar'ın (2015) çalışmasında, yapım süreçlerine dair görsel usavurmaya sağlayan bu yöntemin tasarım eğitime katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Knight ve Stiny (2015), biçim gramerlerini yapım gramerleri olarak genişletmeyi öngörmüştür. Yapım gramerleri, tasarımı bir yapım süreci olarak ele alır ve dolayısıyla sürece dahil olan tüm nesnelere (malzemeler ve araçlar) ve işlemler bir bütün olarak hesaba katılır. Knight ve Stiny'nin yorumladıkları ilk örnekler biçim gramerleri ile çizim yapma, iplerle düğüm atma ve suluboya ile boyama gramerleridir. Bu örneklerde, her bir yapım süreci için biçimselleştirme yönteminin değişmesi gerekli görülmüştür. Örneğin, biçim gramerleri ile çizim yapma sürecinde görülen parçalar kırmızı renk ile etiketlenirken, iplerle düğüm atma sürecinde sol ve sağ elin ipleri tuttuğu noktalar yarım dikdörtgen biçimli etiketlerle temsil edilmiştir. Ayrıca iki gösterimde ortak olarak, sıralama değişkeniyle tarif edilmiştir. Buna göre, yapım hesaplamasının biçim hesaplamasından bir diğer farkı zamana ve sıralamaya göre hesaplamının değişkenlik gösterebilmesidir.

Bu çalışmada ise, hesaplamalı tasarımda yeni bir kavram olan yapım gramerlerinin, var olan geometrik örüntülerin üretken süreçlerinin analizinde ve yeni geometrik örüntü üretiminde kullanımının denemesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında geometrik örüntülerin tasarım süreçlerini incelemek için geliştirilmiş önceki yaklaşımlardan farklı olarak şekiller ile yapım süreçleri arasındaki biçimsel ilişkileri de hesaba katan bütünlüğe bir yöntem önerilmektedir. Örnek olarak, Selçuklu döneminde Anadolu'daki anıtsal mimari yapılarda bulunan taş üzerine oyulmuş geometrik desenler ele alınmıştır.

2. Taş Oymacılığı İle Üretilen Geometrik Örüntülerde Yapımın Hesaplanması

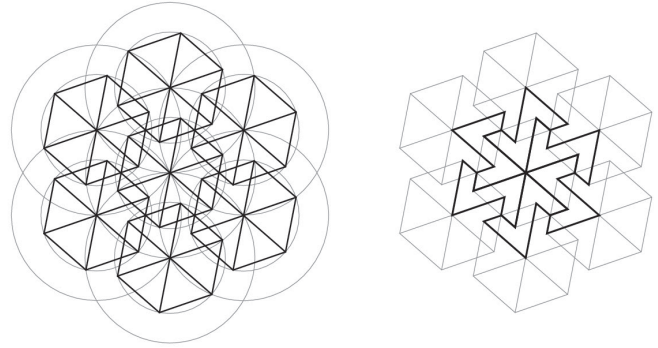
Selçuklu geometrik örüntü örnekleri, ahşap, taş, çini, seramik gibi çeşitli malzemeler üzerinde uygulanmıştır. Günümüze örüntülerin yapım bilgisi yazılı olarak ulaşmamış olsa da, var olan örüntüler üretim yöntemleri hakkında ipucu sağlamaktadır. Örneğin, örüntülerdeki geometrik kompozisyonların malzemenin gerektirdiği yapım yöntemine göre değiştiği görülmektedir (Mülayim, 1982). Bugüne kadar örüntüleri malzeme cinsi ve yapım yöntemi ile birlikte ele alan az sayıda çalışmanın en kapsamlı örneği tuğla örüntüler üzerinedir (Bakırer, 1981). Tuğla ve çini birimlerin bir araya getirildiği örüntülerde birimlerin birleşim yerleri son üründe görünür olduğundan üretim süreçleri hakkında ipucu içerirler. Taş oymacılığı ise bir öncekini manipüle eden aşamalardan oluşması sebebiyle, son üründe ara aşamalara ait izleri görmenin daha zor olduğu bir yapım yöntemidir.

Taş oymacılığının temel bileşenleri taş üzerine oyulmuş Selçuklu örüntülerinde yapım ile oluşan ve çeşitlenen geometrilerin çözümlenmesinde kullanılabilir. Bu bağlamda yapılan daha önceki bir çalışmada, taş üzerine oyulmuş Selçuklu geometrik örüntüleri için bir yapım kuralı temsili önerilmiştir (Hamzaoğlu ve Özkar, 2016a). Yapım kuralı temsillerinde, öncelikle taş oyularak oluşturulmuş bir örüntünün geometrik düzeni çözümlenir. Şekil-1'de 13. yüzyılın ilk yarısında inşa edilmiş olan Kayseri Huand Hatun Külliyesi girişindeki bir sütunce üzerindeki geometrik örüntü ve olası bir düzen şeması çözümlenmesi görülmektedir. Çözümlemede, geometrik düzende görülen altılı dönel simetriye sahip bir çember

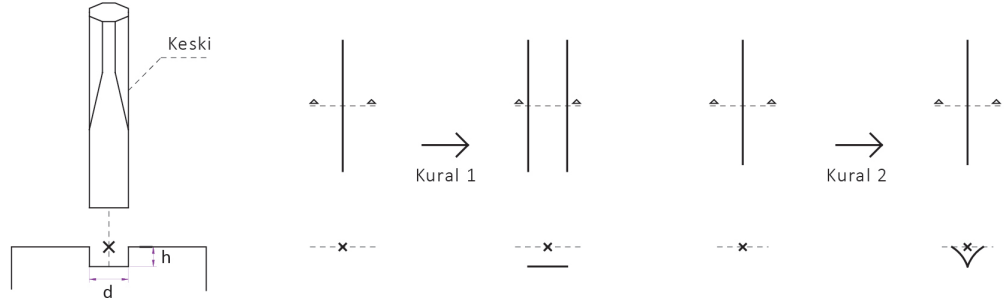
ağ oluşturulmuş ve geometrik düzen bu ağa oturtulmuştur. Bu ağ, eşit büyüklükte çemberlerin birbirlerinin orta noktaları ve kesişim noktaları referans alınarak sadece pergel ve düzkenar gibi basit araçlarla uygulanabilir. Bir sonraki aşamada ağdaki her bir çemberi altı eş parçaya bölen noktalar birleştirilerek düzgün altıgenler oluşturulur ve bu altıgenleri de altı eş üçgene bölen üçer adet çizgi eklenir. Oluşan geometrik kompozisyonda görülen biçimlerin belirli parçalarının eksiltilmesi ile örnek örüntüde görülen geometrik düzen elde edilir. Bu üretim kurgusu, örnek örüntüdeki düzeni geometrik olarak inşa etmenin sadece bir yoludur. Aynı sonuca ulaşan ve geometrik olarak inşa edilebilir olan farklı görme senaryoları üretilebilir.

Selçuklu geometrik örüntüleri için geliştirilmiş olan yapım kurallarında ise, çözümlenen geometrik düzen kılavuz alınarak, çizgilerinin üzerlerinde keski ile uygulanan işlemler biçimselleştirilir. Biçimselleştirilen unsurlar, Şekil-2'de en soldaki görselde bu çalışmada ele alındığı kapsamıyla verilen yapım bileşenleridir. Çalışmamızda yapım bileşenleri; keskinin biçimi, keski ucunun çapı, oyma derinliği ve keskinin orta noktasının kılavuz çizgiden uzaklığı yani oyma mesafesidir. Şekil-2'de orta görülen birinci yapım kuralı, bir çizgi boyunca belirli bir derinliğe kadar düz bir keski ile oymanın sonucunu yatay ve düşey kesitler halinde biçimselleştirir. Şekil-2'de en sağda görülen ikinci kural ise, örnek örüntüdeki her bir kılavuz çizgiye uygulanmış olabilecek yapım kuralını gösterir. Başka bir çalışmada, taş üzerine oyulmuş Selçuklu geometrik örüntüleri için geliştirilmiş olan yapım kuralları desenlerin farklı yüzey geometrilerine yerleştirilmesi işlemindeki görsel hesaplama konu alınmıştır (Hamzaoğlu ve Özkar, 2016b). Bu çalışmada ise, oyma işlemi ile geometrik örüntülerin oluşumu genel

Şekil 1. Örnek bir geometrik örüntü ve keskinin izlediği yolun geometrik düzeninin çözülmesi.



Şekil 2. (soldan sağa) Keskinin taş blok üzerindeki yerleşimi, birinci ve ikinci genel yapım kuralları.



olarak ele alınmış olup üç aşamaya ayrılmıştır. Birinci aşama, geometrik düzeni oluşturan kılavuz çizgilerin belirli bir yüzeye yerleştirilmesidir. İkinci aşama, yerleştirilen kılavuz çizgiler üzerinde görülen biçimlerin belirli parçalarının oyma işlemini gerçekleştirmek üzere tanımlanmasıdır. Bu parçalar nokta, çizgi ya da yüzeylerden oluşabilir. Üçüncü ve son aşama ise, tanımlanan parçalara belirli çapa ve biçime sahip bir kesici uç ile belirli mesafede ve derinlikte uygulanan oyma işlemidir. Aşağıda, belirtilen üç aşamadaki değişkenler ile yapım gramerleri kuramı çerçevesinde yeni geometrik örüntü üretimi denemeleri gösterilecektir.

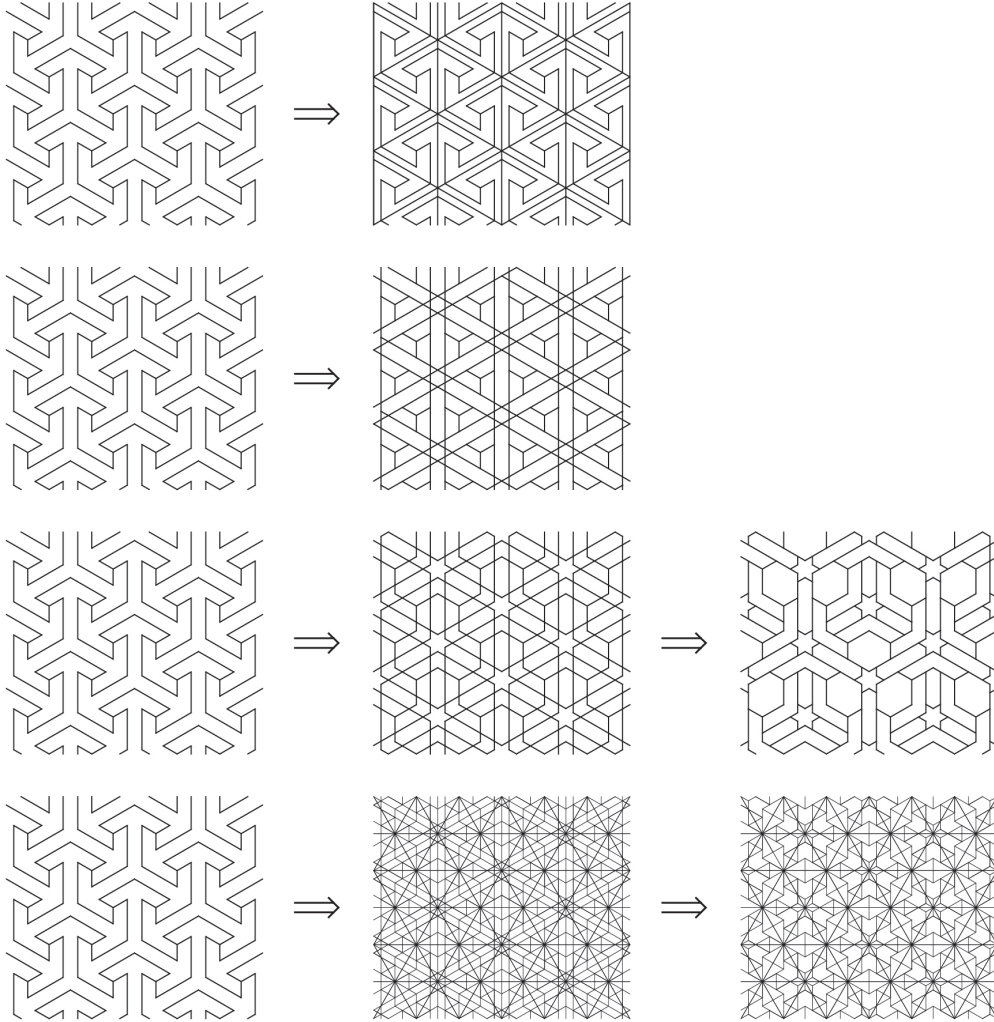
3. Yapım Kuralları İle Sayısal Üretim Denemeleri

Bu çalışmada Selçuklu geometrik desenleri için tanımlanmış olan yapım kuralları ile yeni

geometrik örüntüler üretmek için üretim aracı olarak CNC freze makinası tercih edilmiştir. Frezeleme, taş oyma işlemine benzer olarak eksiltmeli (subtractive) bir üretim türüdür. İşlem, genel olarak makinenin ucuna takılan freze bıçağının ahşap, metal, taş ve benzeri plakalar üzerinde dönerek ilerlemesinden oluşur. Bıçağın izlediği yol boyunca bıçağın ucunun kalınlığı, biçimi, adım mesafesi, ilerleme hızı ve ayarlanan derinliğe göre malzeme eksiltilecek şekil alır. Tüm bu işlemler sırasıyla sayısal olarak G-Kod adı verilen üretim kodu halinde bilgisayar programı aracılığıyla makineye okutulur. Günümüzde çeşitli CAM programları sayesinde aracın izleyeceği yol (toolpath) koordinatları üç boyutlu sayısal modeller üzerinde tanımlanabilmektedir. Daha sonra yine CAM programı arayüzünde kullanılacak araç özellikleri ve kesme işleminin değişkenleri kontrol edilebilir.

Uygulama denemeleri, aynı başlangıç biçimi üzerinde farklı biçim ve yapım kurallarını kullanarak ahşap plakalar üzerinde yeni geometrik desenler tasarlanması ve üretilmesi şeklinde kurgulanmıştır. CAM programı olarak RhinoCAM kullanılmıştır. RhinoCAM arayüzünde üretilen işlemler ile malzemenin uğ-

rayacağı dönüşümler adım adım simülasyon aracılığıyla yaklaşık olarak görülebilmektedir. Bu sayede tasarımcı, süreç içinde bu bilgiyi de kullanarak farklı olasılıkları hızlıca keşfedebilir ve deneyebilir. Günümüzde kullanılan farklı uç tiplerinin tasarımcının hayal gücüyle sınırlı olan aracın izleyeceği hareket çeşitleriyle bü-



Şekil 3. (yukarıdan aşağıya) 1., 2., 3. VE 4. gruba ait biçim dönüşümleri.

tünleşmesi sonucu sınırsız sayıda yeni örüntü üretilebilir.

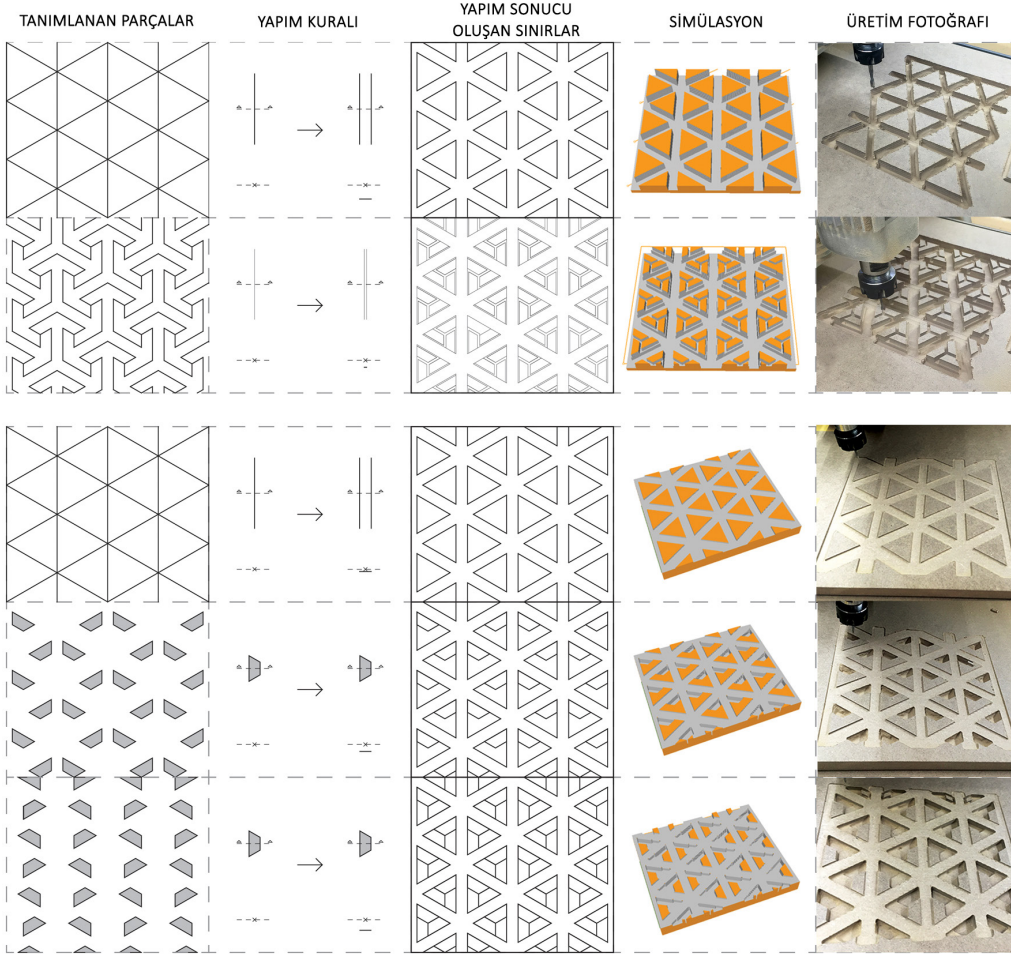
Uygulama denemelerinde belirli biçim ve yapım kuralı belirlenmiş ve önerilen kural dizileri gönüllü katılımla gerçekleştirilen bir çalıştayda beş mimarlık lisans öğrencisi, dört mimari tasarımda bilişim yüksek lisans ve doktora programı öğrencisi, iki şehir bölge planlamacısı ve bir endüstriyel tasarımcı olmak üzere toplam oniki katılımcının kullanımına sunulmuştur. Katılımcılardan değişkenleri kullanarak tasarımları ve uygulamaları çeşitlendirmeleri istenmiştir. Öncelikle katılımcılara Selçuklu geometrik örüntülerindeki üretken biçim ve yapım hesaplamaları paylaşılmış ve üretim için bir CAM programı arayüzünde G-Kod geliştirme yöntemleri ve değişkenleri tanıtılmıştır. Üçer kişilik dört çalışma grubu oluşturulmuş ve tüm katılımcılarla aynı başlangıç biçimi (initial shape) paylaşılmıştır. Uygulamanın ilk aşamasında, biçim dönüşümleri için ekleme ve çıkarma cebirsel operasyonları önerilmiştir. Bu operasyonlar, Selçuklu geometrik örüntülerinde görüldüğü gibi tekrarlayan biçimlerdeki referans noktaları arasına çizgi eklenmesi ya da çıkarılması ile sınırlandırılmıştır. Birinci ve ikinci gruplar sadece ekleme operasyonu uygularken, üçüncü ve dördüncü gruplar önce ekleme ve ardından çıkarma operasyonu uygulamışlardır. Sonuç olarak, Şekil-3'te görüldüğü gibi, bir başlangıç biçiminden dört farklı geometrik düzen oluşturulmuştur.

Uygulamanın ikinci aşamasında, her bir çalışma grubundan bir CNC freze üretim dosyası geliştirmeleri beklenmiştir. Bunun için kullanıma hazır olan altı farklı çaptaki düz uçlu freze bıçaklarının boyutları ve uygulamanın yapılacağı MDF plakanın kalınlığı bilgileri paylaşılmıştır. Süreç boyunca katılımcıların araç, malzeme, seçilen frezeleme yöntemine göre

oluşacak örüntüyü simülasyon üzerinde görüp yapım kuralını değiştirme imkanları olmuştur.

Çalıştay sonrasında frezede gerçekleştirilen üretimler, süreçleriyle birlikte analiz edilmiştir. Örnek olarak gerçekleştirilen ilk iki grubun tasarımına ait üretimlerdeki süreç, Şekil-4'te görüldüğü gibi beş aşamada çözümlenmiştir. Bu aşamalar sırasıyla, bir önceki aşamada üretilen geometrik örüntüde bazı parçaların seçilerek tanımlanması, tanımlanan her bir çizgi ya da yüzey üzerinde uygulanacak yapım kuralının tanımlanması, yapım sonucu değişen sınırlar ile oluşan yeni geometrik düzen, üretim simülasyonu ve üretim sonucudur. Buna göre ilk grubun üretimi, kendi içinde iki aşamadan oluşur. Tanımlanan ilk parçalar boyunca 10 mm çapında düz ağızlı bir freze bıçağıyla 3 mm derinliğinde oyma işlemi uygulanmıştır. Tanımlanan ikinci parçalar boyunca ise, 2 mm çapında düz ağızlı bir freze bıçağı ile 6 mm derinliğinde oyma işlemi uygulanmıştır. İkinci grubun üretim süreci ise üç aşamada ortaya çıkmıştır. İlk aşamada, önceki grubun üretiminde olduğu gibi çizgiler boyunca 10 mm çapında 10 mm derinliğinde oyma işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci ve üçüncü aşamada, iki farklı yüzey grubu için 2 mm kalınlığında düz ağızlı freze bıçağıyla yüzeyler boyunca paralel yollar takip edilerek sırasıyla 6 ve 9 mm derinliğinde oyma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü ve dördüncü grubun üretim süreci de Şekil-5'te görüldüğü gibi yine beş aşamaya ayrılarak incelenmiştir. Ancak bu iki grubun üretim sürecinde ikinci aşama farklılaşmıştır. Yapım kurallarının ilk aşamada oluşturulmuş olan eşit yükseklikteki geometrik örüntü parçaları üzerinde uygulanması yerine, sayısal model üzerinde örüntülerin önce farklı yüksekliklere sahip yüzeylere yerleştirilmesi sağlanmıştır. Üçüncü gruba ait üretim 2 mm



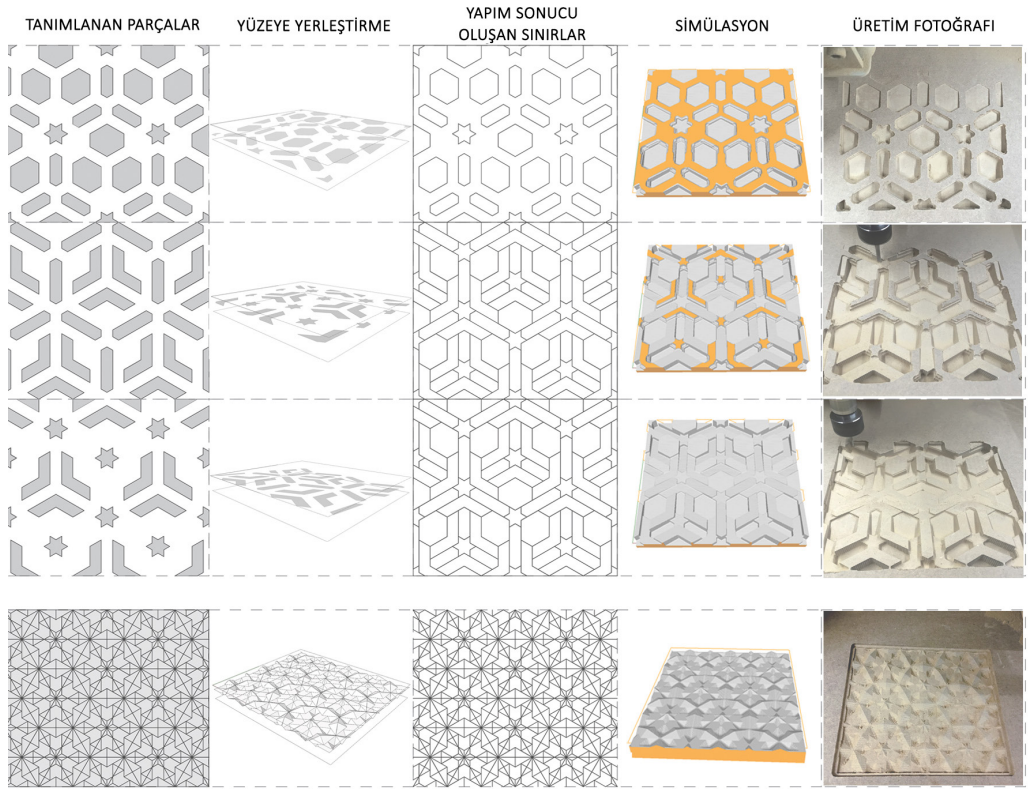
Şekil 4. (İlk iki sıra) Birinci grubun ve (son üç sıra) ikinci grubun yapım sürecinin çözümlenmesi.

çapında düz ağızlı freze bıçağı ile üç aşama halinde gerçekleştirilmiştir. Bu sayede her bir aşamada önceden tahmin etmesi güç olan üç boyutlu geometrik örüntüler elde edilmiştir. Ayrıca, uygulamalar sonucunda farklı yükseklik katmanları arasında oluşan ara yüzeyler ile oluşan yüzey belirmeleri çeşitlenmiştir.

Son olarak, Şekil-5'te son satırda görülen ve dördüncü gruba ait olan üretimde üçüncü grubun üretiminde olduğu gibi yüzeye yerleş-

tirme yöntemi uygulanmıştır. Ancak, bu denemenin sürecinde bir farklılık olarak beklenmeyen yüzeyler aracın özelliklerinin hesaba katılmamasından kaynaklanmıştır. Bu çalışma için önerilen düz ağızlı freze bıçakları en küçük 2 mm çapında bulunmaktadır. Bu nedenle sayısal modelde geliştirilen 2 mm'den dar hacimler, 2 mm çapındaki uç ile oyulduğunda yüzey üzerinde 2 mm çapında eş yükseklik seviyesinde daireler oluşturmuştur.

Şekil 5. (İlk üç sıra) Üçüncü grubun ve (son sıra) dördüncü grubun yapım sürecinin çözülmesi.



4. Sonuçlar

Bu çalışmada, geometrik örüntülerin tasarım üretimi ve yapımı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Uygulamalarda, örüntü üretimini otomatikleştirme ile sınırlı sayısal üretim yöntemlerinin yapım kuralları ile tasarım sürecine entegre edilebileceği ve hesaplamalı örüntü üretiminde çeşitliliği arttırabileceği gösterilmiştir. Çalışmada yapım kurallarının iki tür kullanımını önerilmiştir. Bunlardan ilki, yapım kurallarının var olan zanaat ürünlerinin üretken süreçlerini yapım yöntemlerindeki bileşenlerle bütünleşik olarak incelenmesidir. Böylece üretken süreçleri örtük olan zanaat ürünlerinin sonuç ürünlerin kopyalanmasından

öte, düşün süreçleri hakkında bilgi üretimi mümkün olabilir. Önerilen ikinci kullanım ise, yapım kuralları ile keşfetmeye dayalı ve tektonik düşünceyi içine katan bir hesaplamalı tasarım ve üretim sürecidir.

Çalışmada önerilen kural tabanlı hesaplamalı yapım yöntemi, CNC freze ve diğer sayısal üretim araçlarının üretilen fiziksel formlar ile arasındaki biçimsel ilişkilere odaklanmayı önermek için bu araçların tasarım eğitiminde kullanımında yeni bir anlam ifade edebilir. Örnek uygulamada CNC freze üretimindeki bıçak ucunun biçimi, bıçak ucunun çapı, oyma derinliği, oyma mesafesi değişkenleri ile bir başlangıç biçimi üzerinde gerçek-

leştirilen freze üretimleri ile çeşitli ahşap geometrik örüntüler üretilebileceği gösterilmiş ve süreçlerin analizi yapım kuralları ile birlikte ortaya konmuştur.

Uygulamada biçim kurallarının yapım kuralları ile birlikte kullanımı ile bu iki farklı tanımlı üretken sürecin karşılıklı katkı sağlayarak sürecin tasarım uzayını genişlettiği gözlenmiştir. Uygulama sonucunda gözlenen bir diğer olgu, yaparak tasarlama durumunda araç ve malzeme değişkenlerinin etkisiyle fiziksel biçimi hesaplamının karmaşıklaşması, ve bunun tasarımcıların süreci kısa sürede kontrol almalarını zorlaştırmasıdır. Yapılan simülasyonlar, katılımcıların karar alma sürecini hızlandırmıştır. Ayrıca, üretimlerin sonucunda katılımcılara dönüşler olmuş, onlar da fiziksel modeller üzerinde kullandıkları biçim ve uyguladıkları yapım yöntemi arasındaki ilişkiye ilişkin geri besleme alabilmişlerdir. Üretim öncesi simülasyon programları üretim sonucu oluşacak forma ilişkin geri bildirim hızlandırırsa da fiziksel üretimlerin sonucunda beklenmedik sonuçlar oluşabilmektedir. Bu nedenle üretim sonrası sürecin tekrar başına dönüp biçimi tekrar dönüştürebilmek ve böylece daha dinamik bir akış gerçekleştirmenin süreci zenginleştireceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Sunulan çalışma 114K283 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. “Ortaçağ Anadolu’sunda Geometri’nin İnşası” adlı çalıştay kapsamında gerçekleşen “Seeing and Making Geometry” adlı öğrenci çalıştayına katılan Ahmet Onkaş, Baran Yıldız, Barış Çağlar, Dilşad Aladağ, Bürge Elvan Erginli, Efe Gözen, Elif Ensari, Görkem Günay, Gözdenur Demir, Ilgın Kürekçi, Ruşen Eroğlu ve Ülker Aral’a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

BAKIRER, Ö. Selçuklu Öncesi ve Selçuklu Dönemi Anadolu Mimarisinde Tuğla Kullanımı {The use of brick in Anatolian architecture in pre-Seljuk and Seljuk era}. ODTÜ, 1981.

BOZA, L. E. 2006. (Un)Intended Discoveries Crafting the Design Process. Synthetic Landscapes: Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture, 150–157.

GÜRSOY, B. 2016. Formalizing Making in Design (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü. İstanbul.

GÜRSOY, B. ve ÖZKAR, M. 2015. Visualizing Making: Shapes, Materials and Actions. Knight, T. Ve Vardouli, T. (Ed.), Design Studies 41(A), 29-50.

GÜRSOY, B., JOWERS, I. and ÖZKAR, M. 2015. Formal Descriptions of Material Manipulations: An Exploration With Cuts and Shadows. Celani, G., Sperling, D.M. and Franco, J.M.S. (ed.) Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment, Springer, 439-457.

HAMZAOĞLU, B., ÖZKAR, M. 2016a. Tasarım ve Yapmanın İlişkisi: Selçuklu Geometrik Desenleri Örneğine Güncel Bir Bakış. MSTAS 2016 Karşılaşmalar: Krizler ve İmkanlar [10. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu], İstanbul Bilgi Üniversitesi, İstanbul, 58-69.

HAMZAOĞLU, B., ÖZKAR, M. 2016b. Geometric Patterns as Material Things: The Making of Seljuk Patterns on Curved Surfaces. Bridges Finland 2016 Mathematics, Music, Art, Architecture, Education, Culture Conference Proceedings, University of Jyväskylä, Jyväskylä,

Finland, 331-336.

HARRISON, L. EARL C., ECKERT, C. 2015. Exploratory making: Shape, structure and motion. Knight, T. Ve Vardouli, T. (Ed.), Design Studies 41(A), 51-78.

KENDİR, E. & SCHORK, T. (2009). Tools for Conviviality: Transcribing Design. In Tidafi, T. & Dorta, T. (Eds.) Joining Languages, Cultures and Visions: Proceedings of the 13th International CAAD Futures, Montréal, Canada: Les Presses de l'Université de Montréal, 740-753.

KIEFERLE, J. B. & KATODRYTIS, G. 2016. Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Oulu, Finland.

KNIGHT, T. ve STINY G. 2015. Making Grammars: from Computing with Shapes to Computing with Things. Knight, T. Ve Vardouli, T. (Ed.), Design Studies 41(A), 8-28.

KOLAREVIC, B. 2005. Information Master Builders. In B. Kolarevic (Ed.), Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, 55-62. Taylor and Francis.

MÜLAYİM, S. 1982. Anadolu Türk Mimarisinde Geometrik Süslemeler: Selçuklu Çağı. Ankara: Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları.

OXMAN, N. 2007. Digital Craft: Fabrication Based Design in the Age of Digital Production. Workshop Proceedings for UbiComp 2007: International Conference on Ubiquitous Computing. September; Innsbruck, Austria, 534-538.

ÖZKAR, M., LEFFORD, N. 2006. Modal relationships as stylistic features: Examples from Seljuk and Celtic patterns. Journal of the American Society for Information Science and Te-

chnology, 57(11), 1551-1560.

PYE, D. 1968. The Nature and Art of Workmanship. London: Herbert Press.

SCHODEK, D., BECHTHOLD, M., GRIGGS J. K., KAO, K., & STEINBERG, M. 2005. Digital design and manufacturing: CAD/CAM applications in architecture and design New York: Wiley - Academy Press.