

# “Growing an Architectural System”: Prototypes for Performance-based Digital Design Research

Fulya Özsel Akipek<sup>1</sup>; Tuğrul Yazar<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

<sup>1,2</sup>{fulya\tugrul.yazar}@bilgi.edu.tr

**Abstract.** This paper covers an ongoing research which is an interdisciplinary work relating permaculture studies with computational design and production technologies and testing some issues of performance via full scale prototypes some of which will be mentioned in this paper. Growing Pots which is the first study to be mentioned in the paper is about design of a micro-permaculture system and 3d printed products realised by students of an elective course. In the second part of the paper the first trials in the design-production process of Common-Action Walls, a prototype which will be built as part of a biennial. The geometric research is on gyroid geometries, and production covers issues of 3D printing which will be used as molds. Material system chosen to be used is structural earth studies which is studied with professionals from the area to find out the best mixture and to form the material appropriate for a porous wall which carries itself as a masonry wall and becomes a permaculture wall in time. All of these attempts are efforts to develop a performative architectural approach that involves time and change as in nature, adopts to natural cycles, performs as a mediator in between people and nature, material and technologies.

**Keywords:** *performative design and ecology; digital fabrication; simulation and evaluation; new approaches in design education*

# “Growing an Architectural System”: Bir Mimari Sistem Büyütmek, Performansa Dayalı Sayısal Tasarım Araştırmaları İçin Prototipler

Fulya Özsel Akipek<sup>1</sup>; Tuğrul Yazar<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

<sup>1,2</sup>{fulya\tugrul.yazar}@bilgi.edu.tr

**Özet.** Bu yazıda disiplinler arası bir çalışma ile peyzaj ve permakültür tasarım ilkelerini, hesaplamalı tasarım ve üretim yöntemleriyle ilişkilendiren, çeşitli malzeme ve işleme teknikleriyle bu araştırmaları 1:1 ölçekli prototipler üreterek test eden bir araştırmadaki bir dizi uygulamadan bahsedilecektir. Bu uygulamalar arasından bir mikro-permakültür sistemi tasarımı için öğrencilerle yapılan “Büyüyen Saksılar/Growing Pots” çalışmasından bahsedilecek, üç boyutlu yazıcılar ile basılan saksıların tasarım-üretim sürecindeki potansiyeller ve sınırlar paylaşılacaktır. İkinci bölümde ise bir bienal kapsamında gerçekleştirilmek üzere ilk denemelerine başlanan “Komün-Aksiyon Duvarlar” çalışmasına değinilecektir. Bu boşluklu duvarın tasarımında minimal yüzey araştırmalarından gyroid geometrisi ile çalışmakta, üretimde ise üç boyutlu yazıcılarda basılan parçaların kombinasyonları ile kalıp teknolojisi denenmektedir. Ana materyal olarak yapısal toprak kullanılmakta ve uzman görüşleri alınarak hazırlanan çeşitli karışımlar ile sistem kendi kendini taşıyan boşluklu yığma bir permakültür duvarı olma yönünde geliştirilmektedir. Tüm bu denemeler zamanı ve değişimi içeren, doğal döngülere adapte olabilen, insanla-doğayı, malzemeyle-teknolojiyi ilişkilendirecek performanslar gösteren bir mimari yaklaşımı geliştirmek hedefiyle gerçekleştirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *performansa dayalı tasarım ve ekoloji; bilgisayar destekli üretim; benzetim ve değerlendirme; tasarım eğitiminde yeni yaklaşımlar*

# 1. Kent Bahçelerinden Saksılara: Mimarlıkta Performans Araştırmaları İçin Prototipler

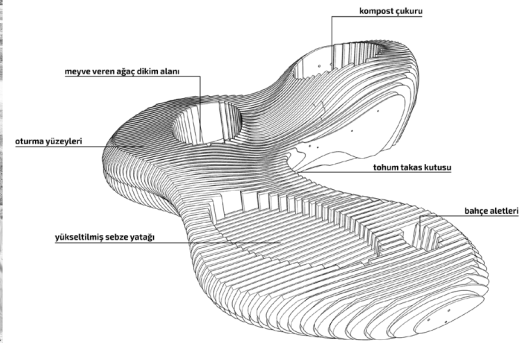
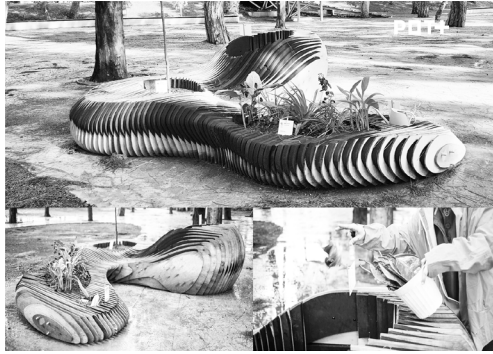
Mimarlık alanı içinde performans kavramı genellikle yapı kabuğunun gün ışığı, hava akımı, ses dalgalarına ya da yer çekimi gibi çeşitli yüklere karşı davranışlarının simülasyon programları aracılığıyla test edildiği ve değerlendirildiği bir çerçeve içinde ele alınmaktadır. Tasarım geliştirme sürecinde bu amaçlarla yapılan ölçümler ve görselleştirmeler tasarımın son aşamalarında yapı kabuğu katmanlarının, malzeme ve yüzey özelliklerinin belirlenmesi ya da strüktürel yapının optimizasyonu için kullanılmaktadır. Performansa dayalı hesaplamalı tasarım alanında bu tür fiziksel parametrelerin tasarımın erken aşamalarından itibaren kabuğun biçimlendirilmesinde etkin kullanımı için simülasyon ve tasarım ortamlarını bütünleştirecek platformların ve bilgi tabanlı modelleme programlarının geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Oxman,2008).

Son iki yıldır sayısal tasarım araştırmaları kapsamında ürettiğimiz 1:1 ölçekli kent bahçesi strüktürlerinin tasarım-üretim süreçlerinde, permakültür bilgi alanı ile performansa dayalı sayısal tasarım yöntemlerinin ve sayısal üretim teknolojilerinin entegre edildiği bir araştırma alanı giderek belirgin hale gelmiştir. Bu alanda başlayan araştırmada birer prototip olarak değerlendirdiğimiz kent bahçesi strüktürlerinin tasarımında, insanların ekim-dikim-hasat yapması ve dinlenmesi için antropomorfik veriler ve bitkilerin gelişimi için su, hava, gün ışığı ve toprakla ilişkilenebilir veriler belirleyici rol oynamıştır (Şekil 1 ve 2). Yüzeylerin tasarımında suyun akışı, toplanma-

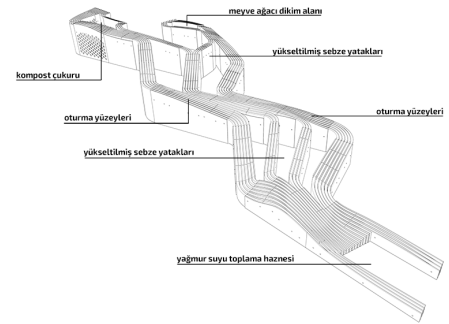
sı, toprağın kademelenmesi; hacimlerin oluşturulmasında bitkilerin büyümesi için gerekli aralıkların sağlanması, dökülen yapraklarının atık haznesinde toprağa dönüşecek şekilde havalandırılması, sarılcı bitkilerin rüzgârla ilişkisi gibi konuların tasarımı nasıl yönlendirdiği deneyimlenmiştir. Üretimde ise malzemelerin bu konulara yönelik performansları, ağırlıkları, CNC kesimde levhadan minimum artık malzeme çıkacak şekilde kesilebilmesi gibi konular kriter alınmıştır. Bu iki strüktürün tasarım-üretim sistemini değerlendirdiğimizde kullanılan tekniğin, malzeme seçimi ve miktarlarının, kullanım için gerekli görsel iletişim yöntemlerinin ve üretim stratejilerinin geliştirilmesi gereği açığa çıkmıştır. Araştırmanın devamında bu alanlardaki bilginin gelişimi için kentsel ölçekte yeni bir strüktür yapmanın öncesinde mikro ölçekte bir sistem üzerinde ve disiplinler arası bir çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.

Araştırma kapsamında yapılacak mikro ölçekli deney için 2016-17 güz döneminde mimarlık fakültesinde açılan bir seçmeli derste üç boyutlu baskı teknolojisi ile büyüyen saksılar (growing pots) teması altında bir tasarım-üretim süreci deneyimlenmiştir (Şekil 3). Süreç boyunca permakültür, peyzaj tasarımı, ekoloji, kültürel çalışmalar, etkileşim tasarımı, 3B baskı teknolojileri gibi alanlardan araştırmacılar- dan seminerler alınmış ve jürilerde fikir alışverişinde bulunulmuştur. Öğrencilerin tohumları çimlendirerek, fideleri büyütürerek tüm doğal süreci deneyimledikleri, güneş, hava, su kontrolü için kullanabilecekleri sayısal araçları keşfettikleri ve tasarımlarını Fused Deposition Modeling (FDM) 3 boyutlu yazıcı teknolojileri ile ürettikleri bu süreç teknolojinin sınırlarının ve olanaklarının tasarıma nasıl girdi olabileceğini göstermiştir. FDM (Fused Deposition Modeling) yöntemi, genellikle termoplastik

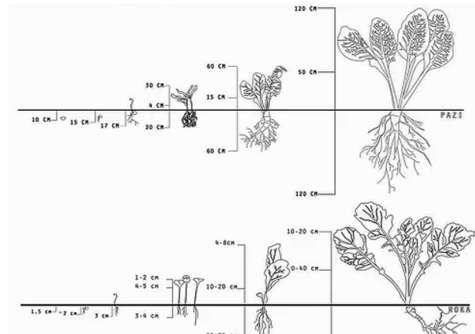
**Şekil 1.** “Komün-aksiyon bahçeler 1” (IABA Uluslararası Antalya Mimarlık Bienali, 2015) (Akipek, Yazar, Aydın, 2016)



**Şekil 2.** Komün-aksiyon bahçeler 2” (Uluslararası Beşiktaş Bahçe ve Çiçek Festivali, 2016) (Akipek, Yazar, Aydın, 2016)



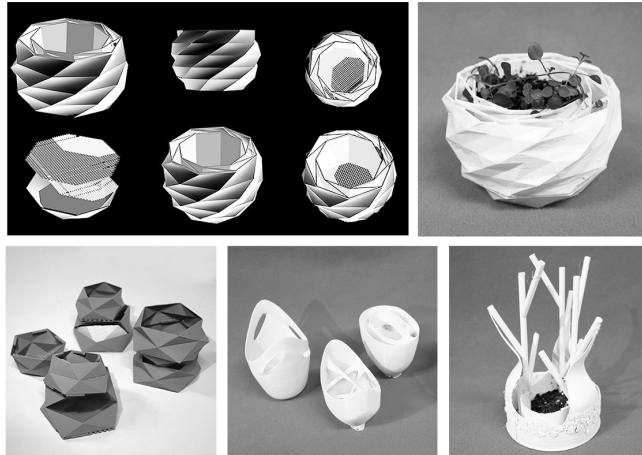
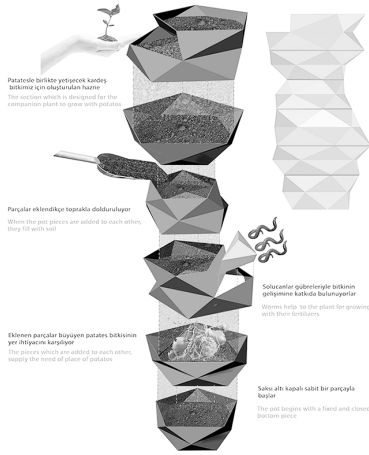
**Şekil 3.** “Büyüyen saksılar” temalı tasarım ve üretim deneyimi. Solda, zamana yayılan büyüme diyagramları; Sağda, örnek ürünler



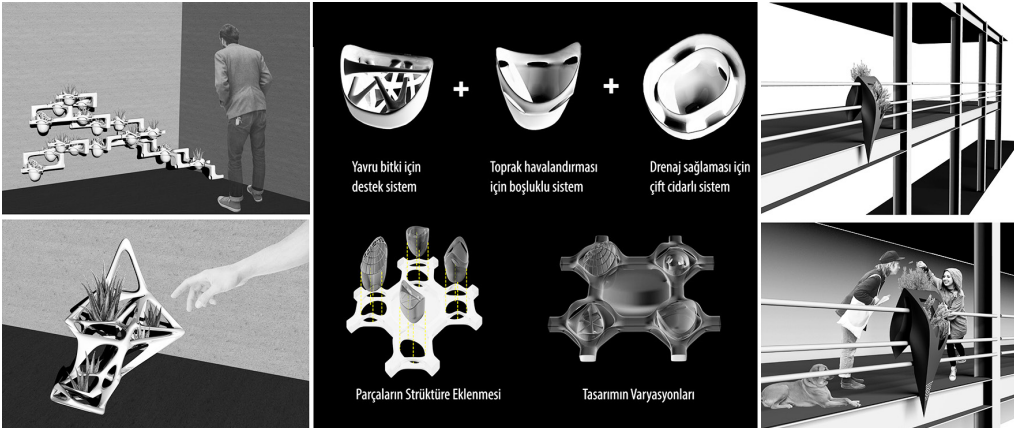
özelliklere sahip malzemelerin eritilerek üç ekseninde hareket eden bir uçtan katmanlar halinde dökülmesine dayanır. Bu teknoloji günümüzde 3B yazıcıların çoğunluğunda kullanılmaktadır. FDM kullanılan üretimlerde

modelin katmanlar halinde üretilmeye uygun biçimde düşünülmesi gerekir.

Öğrenciler (\*) tarafından tasarlanıp FDM ile basılarak üretilen saksılar arasında patates gibi fide büyüdükçe toprak eklenmesi gereken



**Şekil 4.** “Büyüyen saksılar” temalı tasarım ve üretim deneyimi. Öğrenci projelerinden örnekler: üst üste eklenilip uzayan birimler, çift cidarlı yüzeyler, sarılıcı bitkiler için sırtıklar, vd.



**Şekil 5.** Saksıların mikro-permakültür sistemlere dönüşerek mekana entegre edilmesi için öğrenci projelerinden öneriler

kök bitkileri için z ekseninde modüller eklenecek uzayabilen saksılar; suyu doğrudan toprağa vermek yerine çift cidarlı tasarımlarla bir su haznesi katmanının oluşturulduğu öneriler; sarılıcı bitkiler için sırtık mantığının saksıyla bütünleşik olarak üretildiği örnekler; güneşe doğru yönelme ya da güneşten korunma için ek parçalar içeren tasarımlar bir ürün olarak saksının bitkilerin büyüme performanslarına göre nasıl çeşitlenebileceğini göstermiştir. (Şekil 4)

Dönemin ikinci yarısında ise tasarımların mekâna entegre olabilmeleri yönünde ve bir

mikropermakültür sistemi kuracak şekilde geliştirilmesi istenmiştir. Bitkinin tohumdan fideye, hasat alınacak meyveye ve tekrar tohumla dönmesi sürecinin deneyimlendiği ilk üründen sonra yanına permakültür prensipleri doğrultusunda kardeş bitkilerin de eklenildiği ve arılar, kuşlar, atığı gübre olan solucan gibi diğer canlılarla ilişkilerinin de veri olarak alındığı çok boyutlu bir tasarıma girilmiştir. (Şekil 5)

Bu aşamada salata bitkilerinin yemek yapılan iç mekânlara bir duvar örüntüsünün uzantısı olarak eklenebildiği öneriler; iç mekânda hava



**Şekil 6.** 3B yazıcı simülasyonu ve basılan saksılardan örnekler



kalitesini iyileştirebilecek ve sağlık için şifalı bitkilerin ve aloe vera gibi yavru atarak çoğalan bitkilerin geliştikçe mekana yayılabileceği sistem örnekleri; balkon korkuluğuna takılabilen arıların bitkilere ulaşabileceği öneriler gibi tasarımlar geliştirildi ve bu sistemden bazı modüllerin 3B yazıcı teknikleri ile üretimi gerçekleştirildi.

Hesaplamalı tasarım teknolojilerinin bu alandaki katkıları saksılar aşamasında yüzey geometrilerinin çalışılmasında teselasyon, üç boyutlu voronoi, suyun akışını sağlayacak eğimlerin ya da dallanma algoritmalarının sıırıkların tasarımında kullanımı gibi denemelerde etkili olurken güneş simülasyonları için keşfedilen çeşitli plug-in'ler ya da programlar etkin olarak kullanılamamıştır. İleri derslerde bu programların mevcut tasarım ortamlarına entegrasyonu için Python benzeri script yazım bilgisinin derse entegre edilmesi planlanmıştır.

Hesaplamalı üretim teknolojisi olarak üç boyutlu yazıcı teknolojisinde baskı materyalinin ne yoğunlukta döküleceği; gözenekli yapıda üretim yapılarak suyu geçiren katmanların oluşturulabileceği, saksı ölçeğinde 2 mm.'lik bir cidarın dahi strüktürel olarak saksı kesitini sağlam bir biçimde kurabildiği; çeşitli boş-

lukların ve eğriliklerin basılmasında destek sistemlerin nasıl tasarlanabileceği, tüm bu kararların üretim hızına etkileri gibi konularda denemeler yapılmış, ve üretimin tasarıma nasıl veri taşıdığı deneyimlenmiştir. (Şekil 6)

Bu üç deneyim sonucunda araştırmanın üst hedefi, doğadaki örüntüleri ve döngüleri model alan bir mimari sistem kurmaktan öte doğayla birlikte var olan simbiyotik bir mimari sistem kurmaya doğru evrilmiştir. Sayısal teknolojilerin imkanları ile Hensel'in (2006) kendini organize eden sistemler olarak tanımladığı ve kendi iç sisteminin organizasyonunu çevredeki değişimlere göre adapte olacak şekilde gerçekleştiren sistemlerdekine benzer davranışlara sahip mimariler artık mümkün görünmektedir. Bu anlamda araştırmamızdaki kavramsal arka plan doğayla birlikte var olan, karşılıklı etkileşim içinde birbirini dönüştüren bir mimari sistemi yetiştirmek, büyütme metaforu üzerinden gelişmektedir. Bu bakış açısıyla araştırmada artık kullanıcının yalnızca insan olduğu bir mimari sistem değil, bitkilerin performanslarının da tasarım ve üretimle ilgili seçimlerde bir o kadar etkili olduğu bir tasarım-üretim sisteminin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## 2. İleri Çalışmalar: Komün-Aksiyon Duvarlar

Üç boyutlu yazıcı ile üretimde saptanan çeşitli sınırlar ve potansiyeller ileri çalışmalar için önemli veriler sağlamıştır. Standart boyutta bir yazıcıdan (Ultimaker) elde edilebilecek fiziksel ürün boyutlarının 25 cm X 25 cm.'yi geçememesi ve kullanılan malzemenin (abs, pla) çeşitlendirilebilmesi için yeni bir donanım üretmek mümkündür. Ancak gerçekleştirilecek ileri çalışmada eldeki imkânların ve sınırların tasarımda girdi kabul edilmesine ve 3B yazıcı ile üretilecek parçaların kalıp olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bitkilerin gelişim performansına uygun boyut ve malzemelerle çalışılabilmesi ve yapısal ölçeklerde denemeler yapılabilmesi için belirlenen yeni hedef FDM ile basılan kalıpların çeşitli kombinasyonları ile biçimlendirilen daha büyük ölçekli birimlerin tasarımı ve üretimidir. Bu deneme için seçilen materyal sistem yapısal toprak olmuştur. İçine katılan alçı, kireç, reçine gibi malzemelerle ve tokmaklama işlemiyle fırın gerektirmeden normal hava koşullarında donan ve basınca dayanıklı bir modülün üretilbildiği bu malzeme ile boşluklu tuğla duvar benzeri bir sistemin kurulması ileri hedef olarak belirlenmiştir.

Komün-aksiyon duvarlar olarak isimlendirilen ve bir bienal ortamında sergilenecek olan bu duvar için kalıpla üretime dayalı ve yapısal

toprak malzemenin parametreleriyle biçimlenecek bir sistem kurulacaktır. Yaklaşık 25 cm x 160 cm x180 cm boyutlarında üretilen duvarın her bir modülü permakültür tasarımı prensiplerine dayalı olarak birbirleriyle ilişkilendirilecek, en üstteki birimler yağmur sularını toplayıp aşağıdaki bitkilere iletecek, bazı hazneler arıların ve kuşların beslenmesi ve barınmasına uygun özellikler içerecektir. Duvarın ışığı ve havayı maksimum biçimde içine alabilmesi için boşluklu olması hedeflenmektedir. Bu duvarın biçimlenişi için tüm yönlerde sürekli bir yüzey kuran gyroid geometrisi araştırılmaktadır. Birbirine sürekli akan iç boşluklar, toprak haznelerini, suyu, yem haznelerini içerecek olan modüllerdir ve ışığın, havanın sirkülasyonu için uygun bir biçimde yan yana getirileceklerdir. Strüktürel dayanım açısından bu yüzeylerin yarısı doluluk olarak tasarlanmaktadır. Çıkıntı ve girintilerle birbirlerine kenetlenen birimlerin sağlam bir şekilde birbirine tutunması için gerekirse ek birleşim detayları da önerilebilir.

Bu boşluklu duvarın biçimlenişinde geometrik olarak minimal yüzey araştırmaları esas alınmıştır. Malzeme olarak yapısal toprak üretimi için toprak üretimi konusunda uzman kişilerle birlikte çalışılarak (\*\*) çeşitli karışımlar denemektedir (Şekil 7). 3B yazıcı ile üretilen kalıpların kombinasyonu ile boyut sınırlarının aşılması hedeflenmekte ve kalıplamanın sınırları keşfedilmektedir. Çeşitli simülasyon prog-



**Şekil 7.** “Komün-Aksiyon duvarı” prototipi ilk deneyler, toprak ve 3B baskı kalıplarla çalışma

ramları ile duvarın boşluklardan yeterli hava ve ışık alıp alamayacağı, tepede toplanacak yağmur sularının dağıtılıp dağıtılamayacağı gibi performans testleri yapılacak ve bu testlerin sonuçları duvarın biçimlendirilmesinde etkili olacaktır.

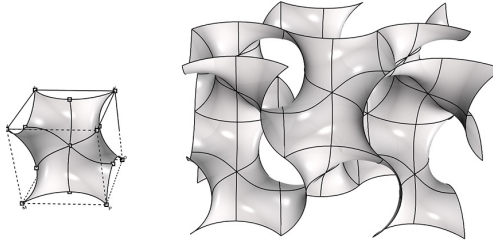
Minimal yüzeyler pek çok farklı matematik alanının ilgilendiği ve tanımladığı bir konudur. Bu yüzeylerin her noktasındaki ortalama eğrilik sıfırdır. Ortalama eğriliğin sıfır olması, yüzeyin her noktasındaki birincil eğrilik çemberlerinin eşit ve zıt yönlü olmasını gerektirir. Bu da minimal yüzeylerin kapanmama ve sürekli devam eden akışkan yüzeyler oluşturma eğilimini açıklar. “Minimal” deyimi, bu yüzeylerin toplam alanını minimize etme özelliğinden kaynaklanır. En bilinen minimal yüzey örnek-

leri sabun köpüklerinin biçim alış sürecinde gözlemlenmektedir. Özellikle geç-modern dönemde bu ve benzeri matematiksel yüzeylerin yapısal özellikleri araştırılmıştır. Frei Otto’nun sabun köpüğü ile gerçekleştirdiği minimal yüzey denemeleri, 1972 Münih Olimpiyat Stadı’nın çatı tasarımında kullanılan bilginin temelini oluşturmuştur. Günümüzde bu ve benzeri yüzeylerin mimari ölçeklerde tasarım ve üretimi, yeni algoritmik tasarım araçlarının ve bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin sunduğu imkânlarla daha geniş bir çerçevede ele alınabilmektedir. İlk defa araştırılmaya başlandığı 18.yy’dan itibaren matematikçiler çeşitli minimal yüzeyler tanımlamışlardır. Bunlar arasında en bilinenlerden birisi Alan Schoen’in 1970’de keşfettiği Gyroid’dır (Şekil 8)

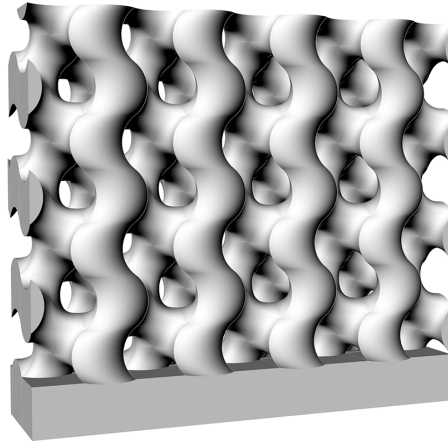
Tasarımın içermesi beklenen katı hacimleri gerçekleştirebilmek için Gyroid’ın bir yönü dolu olarak düşünülmektedir (Şekil 9). Böylece labirentlerden birisi dolu diğeri de boş hacimleri tanımlamıştır. Referans küpünün boyutları 3B yazıcının işleyebildiği hacim ile sınırlandırılmıştır. Gyroid biriminin geometrik özellikleri, tek bir kalıp parçasından ve herhangi bir destek malzemesine ihtiyaç duymadan üretilmeye uygundur. Kalıplama yöntemleri ve strüktürel dayanım testlerinin tasarımın bu ilk eskizlerini nasıl dönüştüreceği testlerden sonra ortaya çıkacaktır.

Disiplinler arası bir çalışma yöntemi ile peyzaj ve permakültür tasarım ilkelerini, hesaplamalı tasarım ve üretim yöntemleriyle ilişkilendirmeye, çeşitli malzeme ve işleme teknikleriyle bu araştırmaları 1:1 ölçekli prototipler olarak üretmeye dayalı bu araştırma sürecinde mimariye yaklaşım da giderek dönüşmektedir. “Büyüme” zaman ve değişimi içeren bir kavram olarak doğadaki oluşumlar için vazgeçilmez bir kavram iken “mimari bir sistemin

**Şekil 8.** Gyroid temel birimi ve bir araya gelme biçimi



**Şekil 9.** “Komün-aksiyon duvarı” için ilk eskizler ve modüllerin bir araya gelme biçimi





büyümesi” sayısal teknolojiler ile artık mümkün görünmektedir. Bu yaklaşım zamansız ve değişmez bir mimarinin kalitelerinin yanına doğanın takvimini esas alan, dönüşen, adapte olan bir mimari için yeni açılımlar yaratabilecek bir araştırmancının kapısını aralamaktadır.

## Teşekkür

Peyzaj tasarımı ve permakültür tasarımı konusunda danışmanlık veren Dilek Yürük’e,

(\*)Komün- aksiyon duvarı tasarım-üretim sürecinde yapısal toprak konusunda danışmanlık veren Özgül Öztürk Aksu’ya,

(\*\*)ARCH 468//555 seçmeli dersi kapsamında tasarım ve üretimleriyle araştırmancının önemli bir paydaşı olan 2016-2017 güz dönemi dersi öğrencilerine,

Komün-Aksiyon bahçeler, Büyüyen Saksılar ve Komün-Aksiyon Duvarlar çalışmalarında çeşitli etaplarda destek veren Işıl Çokuğraş’a, Aslı Aydın Aksan’a ve yardımcı öğrencilerimize teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

AKİPEK, F., YAZAR, T. ve AYDIN, A. 2016. Performansa Dayalı Tasarım-Araştırmaları için Prototipler: Kent Bahçesi Strüktürleri. 10. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu Bildiri Kitabı, İstanbul Bilgi Üniversitesi.

HENSEL, M. 2006. Computing self-organization: Environmentally sensitive growth modelling. AD Techniques and Technologies in Morphogenetic Design, Vol 76, No 2, 12-17.

OXMAN, R. 2008. Performance-based design: current practices and research issues. International Journal of Architectural Computing, issue 01, volume 06, 1-17.