

Mimari tasarımda kendiliğinden yapılanma “self assembly” kavramı ve iç mekânda kullanım olanakları

Self-Assembly material in architectural design and possibilities of use in interior architecture

Nisa Nur Göksel*¹, Nuriye Nida Çelebi Şeker²

¹Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık, İstanbul, Türkiye

²Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Özet: Sosyal ve fen başlıca olmak üzere birçok disiplinle ilişkili olan mimari tasarım, gerçekleşen yeniliklerden etkilenebilmektedir. Özellikle malzeme, yapım yöntemleri ve uygulamaya yönelik yapılan multidisipliner çalışmaların etkileri yapılarda, iç mekânlarda ve kent ölçeğinde okunabilmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan kendiliğinden yapılanma “self assembly” kavramı düzensiz haldeki bir sistemin, herhangi bir dış etki olmaksızın malzemenin bileşenleri arasındaki etkileşimler yoluyla düzenli bir örüntü veya organize bir yapıya dönüştüğü süreç olarak tanımlanmaktadır. Çalışmanın temel amacı kendiliğinden yapılanma kavramının mimari tasarım alanında yapılan çalışmalar üzerinden incelenmesi ve iç mekânda kullanım olanaklarının tespit edilmesidir. Çalışmanın yönteminde beş aşamadan oluşan karma araştırma deseni kullanılmaktadır. Çalışmanın sonucunda kendiliğinden yapılanma kavramının yapısal ve yapısal olmayan iç mekândaki öğelere çeşitli açılardan yenilikler getirdiği tespit edilmiştir. Yapısal elemanların zorlayıcı fiziksel koşullara göre tekrar yapılanarak uyum göstermesi, akıllı liflerle kompozit malzemelerin oluşturulması gibi olumlu sonuçlar elde edildiği; yapısal olmayan her türlü geçici ve kalıcı strüktür, form, biçim ve yüzey elemanlarında da hem işlevsel hem estetik yenilikler getirdiği görülmektedir. Mimari tasarımda kendiliğinden yapılanma kavramının uygulama, tasarım, nakliye sürecinde de sürdürülebilirlik bağlamında birçok olumlu etkisi olacağı gibi tamamen robotik özellik gösteren iç mekân öğelerinin de dijital saldırılara ve hatalara açık olacağı gibi olumsuz etkilerinin de oluşacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yapılanma, Yapı Teknolojisi, Akıllı Malzeme, Mimari Tasarım, İç Mekân.

Abstract: Architectural design, which is related to many disciplines, especially social and science, is directly or indirectly affected by the innovations. The effects of multidisciplinary studies, especially on materials, construction methods and application, can be seen in building masses, interior spaces and at the urban scale. The concept of Self-Assembly discussed within the scope of the study is explained as a process in which an irregular system turns into a regular pattern or organized structure through the interactions between the components of the material, without any external influence. The main purpose of the study is to examine the concept of self-organization through studies conducted in the field of architectural design and to determine the possibilities of use in interior spaces. The method of the study uses a mixed research design based on content analysis. The method of the study consists of five stages. As a result of the study, it was determined that the concept of self-structuring brought various innovations to structural and non-structural interior elements. As a result, positive results such as the adaptation of structural elements to challenging physical conditions and the creation of composite materials with smart fibers have been achieved; It is seen that it brings both functional and aesthetic innovations in all kinds of non-structural temporary and permanent structures, forms, shapes, and surface elements.

Keywords: Self Assembly, Building Technology, Smart Materials, Architectural Design, Interior Space.

1. Giriş

Disiplinler arası yapılan çalışmalar mimari tasarım kuramını ve uygulama alanlarının kapsamını genişletmektedir. Özellikle mühendislik ve bilim alanlarının mimari tasarıma entegre edilmesi sonucu yenilikçi çalışmalar

ortaya çıkmaktadır. Mimari tasarımda akıllı malzemeler kavramı metalurji, bilgisayar ve elektronik mühendisliği ile ortak yapılan çalışmalar ile literatürde yer edinmektedir. Kendiliğinden yapılanma “Self-assembly” kavramı da akıllı malzemeler başlığı altında incelenebilecek, oldukça

*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : ngoksel@fsm.edu.tr

Geliş / Received: 24.07.2024, Revizyon / Revised: 16.08.2024

Kabul / Accepted: 31.08.2024



ça yeni bir uygulama yöntemi ve yapı malzemesi olarak uluslararası literatürde yer edinmiştir. 1990'ların başından itibaren programlanabilir malzemeler ve kendiliğinden yapılanma kavramı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle DARPA'nın (ABD Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı) Programlanabilir Malzeme adlı projeyi finanse etmesi ile bu alandaki çalışmalar 2007'de hızlanmaya başlamıştır.

Doğan Hasol (2021)'un mimarlık tanımına göre mimari tasarım ürünleri topluma yararlılık, yaratıcılık-yenilik, sürdürülebilirlik, çağdaş dil, kimlik, çevreye duyarlılık, estetik değer, iç-dış uyumu, doğru strüktür, işlevsellik, ekonomik olma gibi ölçütlerin yanı sıra ekoloji, yapı fiziği, otomasyon gibi uzmanlık katkılarını da bünyesinde bulundurmaya konumundadır. Yapı sektöründe sürekli olarak yaşanan gelişmelerle elde edilen, yeni teknoloji ve ürünlerin sürdürülebilirliği ve enerjinin verimli kullanımı da kilit unsurlar arasındadır (Tavşan ve ark., 2021). Dolayısıyla mimari tasarım ürününü ileriye taşıyacak her türlü yöntem ve çalışma oldukça önem taşımaktadır.

Self Assembly Laboratuvarı da mimari tasarıma inovasyon kazandıracak çalışmalar gerçekleştiren araştırma laboratuvarlarından biri olarak ele alınmaktadır. Kendiliğinden yapılanabilir özellikli malzemelerin mimari tasarımda kullanımına yönelik araştırmaların 2009-2010 yıllarında Self Assembly Lab'in kurulması ile başladığı görülmektedir (URL-1, 2023). Mimari tasarımda "self assembly" kavramı, henüz mesleki terim sözlüğünde yer edinmediğinden, çalışma kapsamında genel kelime karşılığı "kendiliğinden/öz hareketli olma", "kendiliğinden / öz toparlanma" "kendiliğinden yapılanma" olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda bakıldığında literatürde auxetic (oksetik) malzemeler, origami ile oluşturulan kendiliğinden hareketli strüktür araştırmaları da kendiliğinden yapılanabilir olarak nitelendirilebilmektedir. Bu malzemeler kendini harekete geçirebilir, kendi kendine çalışabilir ve harekete geçebilir özellik göstermektedirler. Kendiliğinden yapılan malzemenin yanıt verebilmesini kontrol eden durum, malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Sevinç, 2023). Bu nitelikler malzemeye sonradan eklenen, kendi yapısı harici özellikler olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle malzemeye sonradan kazandırılan origami mantığı ile katlanabilen, şekil hafızalı malzemeler veya auxetic (oksetik) malzemeler çalışma kapsamında ele alınan kendiliğinden yapılanabilir özellikli malzemenin farklılık göstermektedir.

Çalışmada ele alınan kendiliğinden yapılanma kavramı, origami yöntemi ile auxetic özellik gösteren malzeme araştırmalarından farklı olarak, malzemenin programlanarak şekil hafızasının kazandırıldığı malzeme özelliklerine dayanmaktadır. Çalışmanın temel amacı kendiliğinden yapılanma kavramını mimari tasarım alanında yapılan çalışmalar üzerinden incelenmesi ve iç mekânda kullanım olanaklarının tespit edilmesidir. Ana amaç altında oluşturulan alt amaçlar aşağıda listelenmektedir:

- Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların,

üretim ve uygulama tekniklerinin tespit edilmesi

- Kendiliğinden yapılanma kavramı üzerine tasarım disiplininde yapılan uygulamalı çalışmaların ve laboratuvarlarda kullanılan teknolojilerin tespit edilmesi
- Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların getirdiği yenilik ve olanakların tespit edilmesi
- Kendiliğinden yapılanma kavramının iç mekânda kullanım olanaklarının ve kullanımının sonuçlarının tespit edilmesi

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın yönteminde beş aşamadan oluşan karma araştırma deseni kullanılmaktadır (Şekil 1). İlk olarak "kendiliğinden yapılanma kavramı" ile ilgili ulusal ve uluslararası bilimsel araştırmalar incelenerek çalışmanın literatürel alt yapısı oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci adımında, "kendiliğinden yapılanma" özelliği gösteren örnek tasarımlar, bu tasarımların özellikleri, üretildiği laboratuvarlar ve kullanılan üretim teknolojileri ile ilgili irdelemeler yapılmıştır. Üçüncü adımda bu süreç ile tasarlanan iç mekânda kullanıma referans olabilecek çalışmalar incelenerek örneklem grubu belirlenmiştir. Dördüncü adımda örnekleme oluşturan projeler çeşitli kaynaklar üzerinden elde edilen parametrelerle analiz edilmiş ve frekans (sıklık) analizi ile elde edilen yüzdeler tablo oluşturularak açıklanmıştır. Kendiliğinden yapılanma özelliği gösteren örnek projelerin iç mekânlarda yüzey, strüktür, form ve mobilya tasarımlarına yönelik getirdiği yeniliklere yer verilmiştir. Son olarak ise elde edilen bulgular ve kendiliğinden yapılanma kavramının iç mekânda tasarıma etkileri SWOT analizi yöntemi ile irdelenerek ortaya konmuştur. YÖK Tez (2023) veri tabanı "self assemble" anahtar sözcüğü ile tarandığında tasarım, mimarlık, iç mimarlık alanlarında henüz konu ile ilgili doğrudan çalışma yapılmadığı görülmektedir. Veri tabanında elde edilen lisansüstü tez çalışmalarının ise ağırlıklı olarak temel bilimler ve mühendislik bilim dallarına ait olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın tasarım literatürüne "kendiliğinden yapılanma kavramının" kazandırılmasına ve tasarımda akıllı malzeme kullanımına yönelik literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Uluslararası literatürde de tasarım disiplininde kullanımına yönelik çalışmaların oldukça güncel olması nedeniyle tasarımcıları ve araştırmacıları da konu hakkında bilinçlendireceği, literatüre Türkçe kaynak olarak katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

3. Kendiliğinden Yapılanma "Self-Assembly" Kavramı

Çalışmanın ikinci kısmında "self assemble" "self assembly" ve "programlanabilir malzeme" kavramları üzerinde durularak, literatürde edinilen bilgilere değinilerek kavramsal açıklamalara yer verilmektedir. Literatürde



“self assemble” kavramı üzerinde pek çok farklı tanım bulunmaktadır. Kendiliğinden yapılanma (Self assembly); bir insanın veya makinenin uygulamaya ait çeşitli plan, detay, kroki vb. gibi bir montaj talimatına ihtiyaç duymadan doğrudan programlanmış montaj bilgisi ile uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Mehdizadeh ve Tessmann, 2023). Uygulaması yapılacak bir yüzeyde, mobilyada veya herhangi bir objede kullanılacak malzemenin mikro geometrisinde montaj bilgisini kaydetme özelliği olarak da ifade edilmektedir. “Self assembly” kavramı ise “kendiliğinden yapılanma” olarak literatüre kazandırılarak; düzensiz bir sistemin, herhangi bir dış etki olmaksızın, malzemenin bileşenleri arasındaki yerel etkileşimler yoluyla düzenli bir örüntü veya organize bir yapıya dönüştüğü bir süreç olarak açıklanmaktadır (Koçak, 2021). Bu nedenle kendiliğinden yapılanma özelliğinin, yeni malzemelerin üretiminde ve araştırılmasında büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmaların çoğu kimya ve metalurji ile ilişkili moleküler düzeydeki kendiliğinden yapılanma üzerine odaklansa da kendiliğinden yapılanma işlemlerinin daha büyük ölçeklerde mimarlık alanında da birçok ufuk açıcı uygulaması bulunmaktadır.

Skyler Tibbits, MIT’deki Self Assembly Lab’in kurucusu ve mimari tasarımda kullanımına yönelik araştırmaları başlatan ilk araştırmacıdır. Objenin parçalarının ve doğrudan malzemenin programlanmasına yönelik çalışmalar ilk olarak MIT’de yapılmaya başlanmıştır. Tibbits bir uygulamanın veya sürecin “kendiliğinden yapılanabilir” olarak nitelendirilebilmesi için:

- Sistemin tüm parçalarının geometrik olarak basit olması
- Sistemin en az iki farklı duruma sahip olabilmesi (örneğin, açık/kapalı veya bağlı/ayrılmış)
- Sistemin istenilen talimat dizisine yanıt verebilmesi

- Basit bir montaj sırası / dizisine sahip olması
- Parçaların da programlanabilir olması
- Aktive edilmesi için bir başlangıç kuvvetine (F0) veya enerjiye gerek olması
- Arıza durumunda kullanmak için parçaların yedeklenebilir olması gerektiğini belirtmektedir (Tibbits, 2010).

Logic Matter adlı yüksek lisans tezinde, “kendiliğinden yapılanma” ve “rehberli kendiliğinden yapılanma” özellikli tasarımın parçalarının, kendi geometrilerini ve kodla yazılan montaj bilgileri aracılığıyla etkinleştirildiğini özetle programlanabilir malzeme özellikli olduğunu belirtmektedir (Tibbits, 2010). DNA, RNA veya hücre gibi biyolojik modellerdeki strüktürlerin hiyerarşisini, tasarımda düzenekleri oluşturmaya yönelik bir teknik olarak kullanılmaktadır. İnsan vücudunun kendi kendini onarması, büyümesi ve genetik kodların aktarılması sürecine benzetilen kendiliğinden yapılanma; malzemenin veya formun kendisini bir canlı gibi ele alıp, küçük devrelerle programlanarak hareket özelliğinin kendiliğinden gerçekleşmesini sağlamaktadır (Şekil 2).

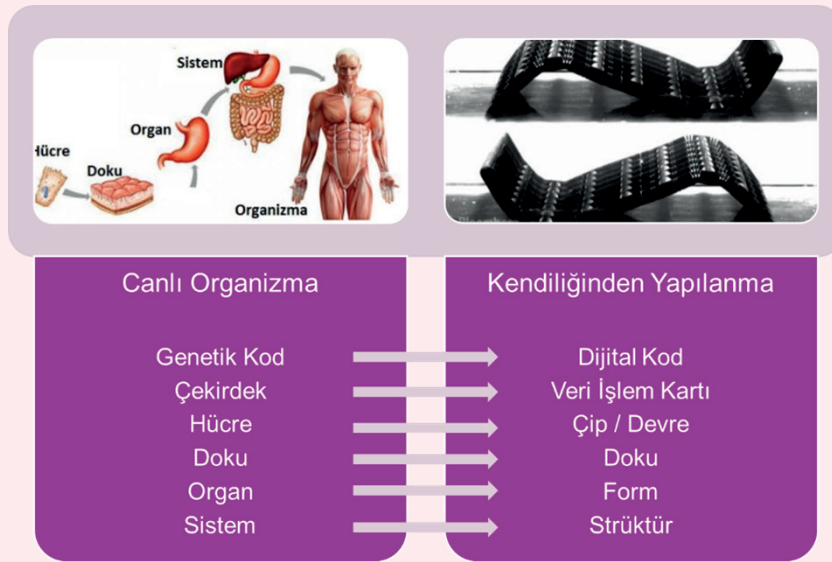
Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımlar yeniden ve uzun süreli kullanım açısından önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir (Mehdizadeh ve Tessmann, 2023). Düzensiz parçaların kendi kendine sistematik olarak bir araya gelebilmesi, ayrılması; bozulduğunda veya yıprandığında parçasının yedeklenebilir ve kolayca onarılabılır olması alışılabilir malzeme özelliklerinin oluşturduğu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır (Menges ve Tibbits, 2012). Basit ve metaforik bir şekilde kendiliğinden yapılanma bir masadaki düzensiz objelerin kendiliğinden hareket ederek sistematik şekilde bir araya gelerek işlevsel yeni bir ürün ortaya çıkarması olarak da ifade edilmektedir (URL-25, 2023).

Malzeme biliminde nanoyapıların üretimi, karıştırılan bir kapta statik veya dinamik kendiliğinden birleşme yoluyla gerçekleşebilmektedir (Dahman, 2017). Geleneksel yapı malzemesinin ise şantiye ortamlarında yerinde montajı genellikle ayrı ayrı tasarlanmış ve özel amaçlara yönelik makinelerin kullanıldığı karmaşık bir süreç ile gerçekleşmektedir. Günümüzde kullanılan makineler, şantiye koşullarında yoğun enerji ve zaman tüketmektedir (Tibbits ve Cheung, 2012). Programlanabilir kendiliğinden yapılanabilen yapı malzemesi sayesinde şantiye ortamında hem nakliye hem uygulama açısından enerji tasarrufu yapılacağı öngörülmektedir (Şekil 3). Malzemelerin içine gömülü bilgiler kendiliğinden yapılanan, kendi kendini onarabilen ve kendi kendini kopyalayan malzemeler sunmaktadır (Tibbits ve ark., 2014).

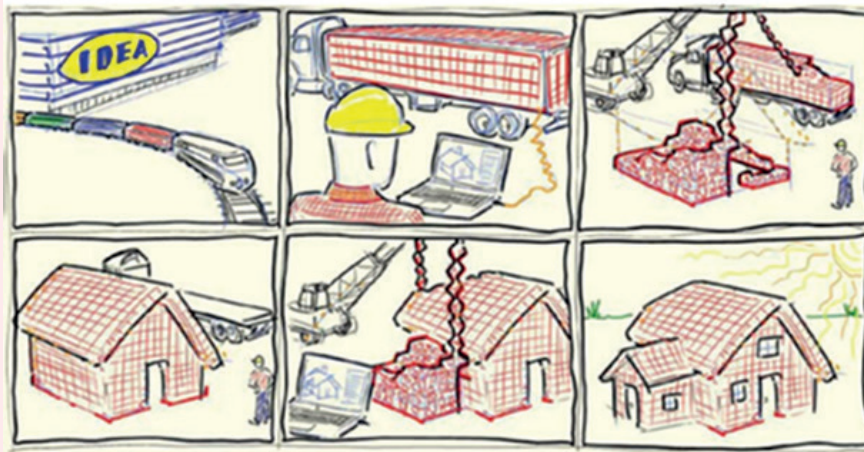
İnşaat sektörünün geleceğinde, gerçek zamanlı hesaplamalı analiz, otomatik montaj, kendi kendine onarım veya diğer kullanıcı tanımlı depolama ve hesaplama ihtiyaçlarını gerçekleştirebilen programlanabilir malzemeler tercih edileceği öngörülmektedir (Hawkes ve ark., 2010).

Malzemelerin içine gömülü bilgiler sayesinde, imalat ve montaj makinelerine güvenmek yerine otomatik olarak kendi kendini onaran ve kendi kendini kopyalayan malzemeler sunulabilmektedir (Tibbits ve Cheung, 2012). Ahşap ve karbon fiberlerden yapılan programlanabilir malzemeler sayesinde kumaşlardan inşaat malzemelerine kadar yapının çevresiyle etkileşim şeklinin değişeceği düşünülmektedir. Ahşap vb. yapı malzemeleri kendi kendine birleşecek şekilde programlanabilmekte, bu sayede mobilya satın alırken talimatlara veya ekipmanlara olan ihtiyacı da ortadan kalkmaktadır (Şekil 4).

Programlanabilir malzemeler etkinleştirildiğinde malzemeye katlanmasını ve dönüşmesini söyleyen çok küçük robotların entegre edildiği kompozit özellikli malzemelerdir. Bu teknoloji malzemenin “dört boyutlu baskı” adı verilen teknik sayesinde baskı işlemi sırasında şekil değiştirme yeteneği kazanması olarak açıklanmaktadır. Örneğin MIT ekibinin ürettiği programlanabilir ahşap panelleri yazıcıyla belirli desenler halinde düzenlenen, özel plastik filamentler ve ahşap liflerin bileşimiyle oluş-



Şekil 2. Kendiliğinden Yapılanma ve Canlı Organizma İlişkisi



Şekil 3. Yapı malzemesi olarak kendiliğinden yapılanabilen programlanabilir malzemenin konut yapımında kullanımı (Tibbits ve Cheung, 2012).



Şekil 4. Programlanabilir ahşap, karbonfiber ve kumaş (Material District, 2015)

turulmaktadır. Ahşap paneller nemi emdiğinde ahşap lifleri genişlemekte ve basılı desenler talimat görevi görerek malzemeye ne yapması ve nereye taşınması gerektiğini yönlendirmektedir. Böylelikle düz bir ahşap levha sandalyeye dönüşebilmektedir. Geleneksel ahşap bükme teknikleri, kullanımı uzmanlık gerektiren karmaşık ekipmanlar kullanılarak şekillendirme işlemleri ile yapılmaktadır ancak böyle bir teknoloji sayesinde çok kolay ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Ayrıca ahşap damarının doğal deseni ve fiziksel özellikleri, karmaşık şekillere kıvrılmayı zorlaştırmaktadır. Yeni baskı ve kompozit malzeme teknolojileri artık ahşap şekillendirme sayesinde özel baskılı ahşap kompozitin düz levhaları, kontrollü yollarla kendiliğinden yapılanacak şekilde tasarlanabilmektedir (URL-2, 2024).

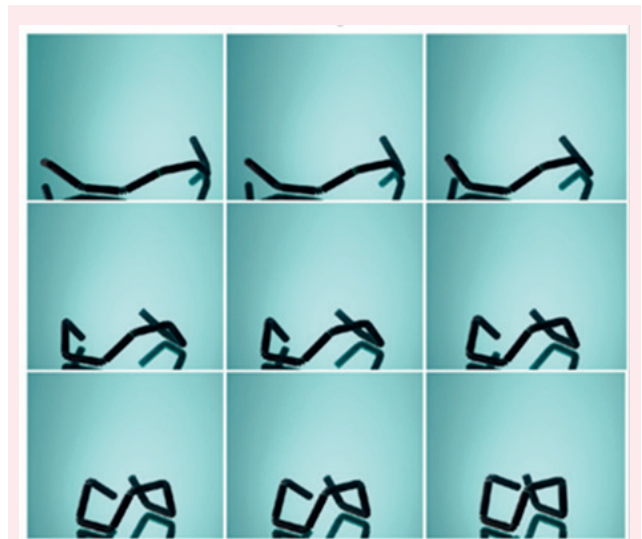
Programlanabilir malzemeler sayesinde malzemelerin özellikleri ve davranışlarının üretimden sonra sabit kalması gerekmekte; zaman içinde gelişecek şekilde kodlanabilmektedirler (Xia ve ark., 2022). Mekanik olarak tepki veren mimari malzemeler belirli bir şekle dönüşebilmekte ve uyarı kaldırıldıktan sonra bile yeniden yapılandırılmış geometriyi koruyabilmektedir (Xia ve ark., 2022). Bu malzemelerden biri olan auxetic malzemeler gerildiğinde veya sıkıştırıldığında deforme olup, esnek ve uyarlanabilirler ve çevrelerine tepki verebilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017a). Auxetic malzemelerin kuvvetlere uyum sağlama yeteneği, kullanıcının vücut şekline, ağırlığına ve duruşuna uyum sağlayan sandalyelerin tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.

Malzeme bilimi ve yumuşak robot teknolojisindeki ilerlemeler büyüeyebilen, uyum sağlayabilen ve dönüşebilen yeni malzemelerin yaratılmasına yol açmıştır. Tüm bu gelişmeler ışığında tasarımcılar kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayan işlevsel performans ve değişken estetik anlayışlar için kendi kendini dönüştüren nesnelere yaratabilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017a). Mimari tasarımda ise örneğin bina ölçeğinde, yardımcı malze-

melerin kubbe benzeri, senklastik yüzeyler (yani tüm yönlerde aynı tarafa doğru kıvrılan yüzeyler) oluşturma yeteneği, deforme olduğunda amorf şekillere dönüşen mimari yapıların oluşturulmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak, aktif yardımcı malzemelerin ayarlanabilir desenleri, onları değişken ihtiyaçlara ve geçici işlevlere sahip çalışma ortamlarındaki ve kamusal alanlardaki bölücü-sınırlayıcı yüzeyler olarak kullanılabilir hale getirmektedir. Örneğin aynı duvar paneli, farklı düzeydeki gürültü ve ışığı engelleyecek şekilde ayarlanabilmekte ve mekânın görünürlük ve akustik özellikleri, kullanıcıların işlevsel ve estetik ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmektedir. Yardımcı malzemeler aynı zamanda bir binanın içi ve dışı arasında filtre olarak da kullanılabilir. Örneğin, iki katmanlı polimerlerden yapılmış bir gölgeleme sistemi, doğal ışığın taşıdığı ısıya tepki veren, düşük ışık seviyelerinde açılıp binaya daha fazla güneş ışığı girmesini sağlayan ve sıcaklık arttıkça kapanarak güneş ışığını koruyan hücresel bir sistem olarak tasarlanabilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017b).

Kendiliğinden yapılanabilir mimari yapılar, afet yardımı için veya zorlu koşullara sahip ortamlara, minimum yer kaplayarak nakliye ile gönderilebilmekte ve daha sonra doğru çevre koşullarına maruz kaldığında önceden programlanmış yapılara kendiliğinden dönüşebilmektedir. Benzer şekilde ayakkabılar, giysiler ve diğer ürünler bir boyutlu yüzey katmanı şeklinde gönderilebilmekte, kişiye özel uyum için şekillendirilebilir ve koşu veya yürüyüş için uyarlanabilir kendi kendini optimize etme özelliği sergileyebilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017b).

Yeni malzemelerin dinamik davranışı, kaçınılmaz olarak tasarımcının ürün ve yapı tasarlama şeklini değiştirmektedir. Nihai ürünün biçimini ve işlevini tasarlamak yerine, artık sistemin davranışını, dinamik büyümesini veya uyarlanmasını tasarlama fırsatı tanımaktadır. Üç boyutlu baskı, lazer kesim ve bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) veya robotik imalat gibi yeni imalat teknolojilerinin kul-



Şekil 5. Programlanabilir Malzeme (Campbell ve ark., 2014).

lanılması, bu tür malzeme yeniliklerini tasarımcılar için ulaşılabilir hale getirmiştir. Programlanabilir malzeme özetle enerji ve iş gücünden tasarruf sağlayarak farklı boyutlarda nesnelere üretebilmektedir (Şekil 5). Kendini masaya dönüştürebilen bir sandalye, kendini onarabilen tesisat boruları, uzay mimarisinde gerekli olan tüm imalat problemleri programlanabilir malzeme sayesinde çözüleceği öngörülmektedir.

Bunun yanında programlanabilir malzemenin yeni belirsizlikler ve çözümü öngörülemeyen problemler yaratacağı da tartışılmaktadır (Campbell ve ark., 2014). Programlanabilir malzemenin bir gün hem askeri hem de sivil bağlamda büyük ölçekli inşaatlarda da kullanılabilmesi tahmin edilmektedir. Yapı sektöründe binaların kendiliğinden tuğla veya beton dökmek yerine, bina büyüklüğünde programlanabilir malzemenin bir temelle döküldüğü ve ardından öğelere, elektrik ve su tesisatı ile tamamlanmış bitmiş bir yapı halinde büyümeleri ve sabitleşmeleri öngörülmektedir. Günümüzde doğrudan konut inşası için gereksiz ve henüz imkânsız olacağı eleştirisi yapılsa da örneğin bir savaş bölgesinde veya Mars yüzeyinde, alışılmadık dışında zorlukları olan fiziksel çevrelerde kendiliğinden yapılanmanın kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir (Campbell ve ark., 2014).

4. Kendiliğinden Yapılanma “Self Assembly” Özellikli Tasarımların Laboratuvar Çalışmaları ve Analizi

Günümüzde Fab Lab (Üretim Laboratuvarı) bilgisayar destekli tasarımdaki gelişmelerle birlikte literatüre ve günlük konuşma diline katılmaya başlamıştır (Bodur, 2017). Gershenfeld ile başlayan Fab Lab laboratuvarlarında farklı boyut ve işlevlerde üç boyutlu yazıcılar (FDM, SLA, SLS, DLP, MJT, inkjet, STL teknolojileri), mikrodenetleyici programlama, lazer kesim, CNC tezgâhları, kalıp döküm

araçları, elektronik dikiş makinesi, masaüstü CNC aracı ve dremel gibi el araçları da bulunmaktadır. MIT’de bulunan Self Assembly Lab’i Fab Lab kültüründen ayıran birçok farklılık bulunmaktadır. Self Assembly Lab’de sadece ürünlerin nasıl ve ne ile üretileceği değil, üretim süreci de tasarlanmaktadır. Kimyasal maddeler, elektronik çipler, kompozit malzemeler, sıvı kazanında hızlı prototipleme gibi alışılmadık yenilikçi yöntemlerle tasarım sürecinin sınırları genişletilmektedir (Şekil 6).

Literatürde sınırlı bilgi yer alması nedeniyle, projelerin üretim süreçlerinde ifade edilen cihazlar ve yöntemler üzerinden çıkarımlar yapılmıştır. Ek olarak laboratuvara ait iç mekân görselleri üzerinden de çıkarımlar yapıldığında, Rapid Liquid Printing olarak ifade edilen hızlı sıvı prototipleme olarak da çevirebilecek yeni bir baskı yönteminin yer aldığı görülmektedir. Büyük bir sıvı kabının (akvaryumunun) içerisinde her türlü malzemenin basılabildiği yazıcı nozulu yer almaktadır. Bununla birlikte robotik kol, dört boyutlu yazıcı, geleneksel üç boyutlu yazıcı, CNC tezgâh da bulunmaktadır. Self Assembly Lab’de 2024 yılına dek toplamda kırk iki proje üretilmiştir. Bu projeler gerçekleştirildiği tarihe bağlı olarak sırasıyla Tablo 1’de verilmektedir (Tablo 1).

Projelerin mimari tasarım, biyoteknoloji, elektronik, tekstil, metalurji ve malzeme mühendisliği, endüstriyel tasarım gibi farklı alanlarla ilişkili olduğu görülmektedir. Projelerin tamamı multidisipliner çalışmalar olduğu için sonuç ürünün ilişkili olduğu uzmanlık alanı belirtilmiştir. Projelerin ilgili olduğu alanlara göre sayısal dağılımına bakıldığında endüstriyel tasarım (8), tekstil mühendisliği (7), metalurji ve malzeme mühendisliği (2), elektronik (2), biyoteknoloji (1) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yirmi bir projenin mimari tasarım ile doğrudan ilişkili çalışmaları olduğu tespit edilmiştir. Mimari tasarım alanında yapılan çalışmaların on beş tanesi form/ strüktür, dört tanesi mobilya imalatı / konstrüksiyon



a. Self Assembly Lab İç Mekanı



b. Self Assembly Lab koordinatörü Skylar Tibbits’in prototiplerle yaptığı deney

Şekil 6. Self Assembly Lab İç Mekanı (URL-3, 2024)

yonu, ikisi yapı statîği ve yapı malzemesinin çekme dayanımı, biri iç mekân tekstili, biri sıvı baskı yöntemi ile ilgili inovasyon gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında bu projelere kısaca değinilmiştir.

Mantık Materyali / Maddesi (Logic Matter) adlı proje

ile kendiliğinden yapılanarak montajın gerçekleşmesi hedeflenmiştir. Dijital mantık, matematik ve pasif mekanik sisteme dayanan bir yöntem kullanılmıştır (Tibbitts ve Cheung, 2012). Büyük ölçekli yapıların küçük parçalarla kendiliğinden birleşerek strüktür oluşturması için yeni bir sistem olarak önerilmektedir. Mantık biliminde

Tablo 1. Self Assembly Laboratuvarında Gerçekleştirilen Projeler ve İlgili Olduğu Alan

No.	PROJE ADI	İLGİLİ OLDUĞU DİSİPLİN	GETİRDİĞİ YENİLİKLER
1.	Logic Matter	Mimari Tasarım	Form / Strüktür
2.	Macrobot ve Decibot	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
3.	C-Strands	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
4.	DNA Printing	Biyoteknoloji	DNA profillemesi
5.	Self-Assembly Line	Endüstriyel Tasarım	Form / Strüktür
6.	Bio-Molecular Self Assembly	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
7.	Autonomous Self Assembly	Metalurji ve Malzeme Müh.	Moleküler Biyoloji
8.	Self-Folding Proteins	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
9.	Hyperform	Elektronik	Form / Strüktür
10.	Self-Assembly Cell Phone	Elektronik	İşlem Kartı
11.	Fluid Assembly Chair	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
12.	Aerial Assembly	Mimari Tasarım	Form / Strüktür
13.	Fluid Lattices	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
14.	Self-Replicating Spheres	Endüstriyel Tasarım	Form / Strüktür
15.	Fluid Crystalization	Metalurji ve Malzeme Müh.	Moleküler Birleşim
16.	4D Printing	Mimari Tasarım	Form / Strüktür
17.	Programmable Table	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
18.	Active Auxetics	Tekstil Tasarımı	Doku
19.	Transformable Screen Wall	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
20.	Transformable Meeting Spaces	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
21.	Programmable Materials	Endüstriyel Tasarım	Dört boyutlu baskı
22.	Rock Printing	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
23.	Modular and Morphable Jamming	Mimari Tasarım	Statik
24.	Slip-Form Rock Jamming	Mimari Tasarım	Statik
25.	Jamming Bodies	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
26.	Active Textile	Mimari Tasarım	İç Mekân Tekstili
27.	Liquid Printed Textile Shoes	Endüstriyel Tasarım	Form /Strüktür
28.	Active Shoes	Endüstriyel Tasarım	Form /Strüktür
29.	Liquid Printed Natives	Endüstriyel Tasarım	Sıvı baskı yöntemi
30.	Rapid Liquid Printing	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
31.	Liquid Printing Products	Endüstriyel Tasarım	Sıvı baskı yöntemi
32.	Liquid Printing Pneumatics	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
33.	Liquid to Air Pneumatic Objects	Mimari Tasarım	Sıvı baskı yöntemi
34.	Active Patterned Scarves	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
35.	Active Textile Tailoring	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
36.	Climate Active Textiles	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
37.	Personalized Knit Masks	Endüstriyel Tasarım	Form /Strüktür
38.	Liquid Metal Printings	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
39.	Hapticnit	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
40.	3D Knit BioSuit	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
41.	4D Knit Suit	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
42.	Growing Islands	Mimari Tasarım	Kentsel Tasarım

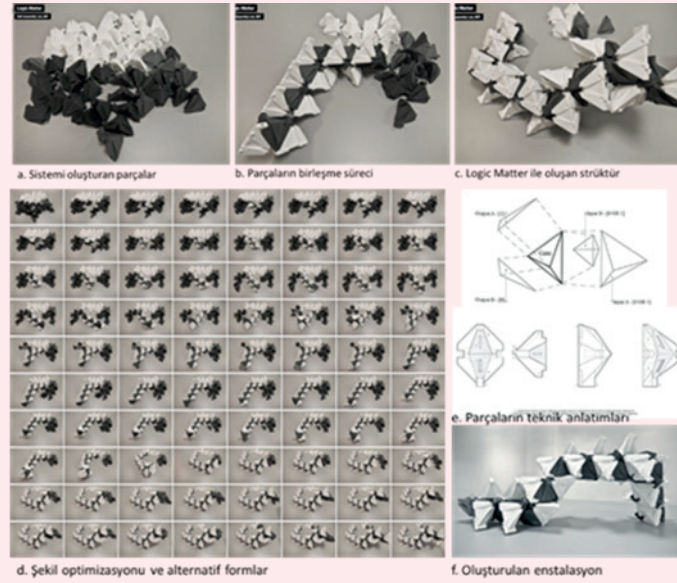
yer alan “Ve Değil” (Not and NAND kapısı) kapı devresi mantığına göre parçalar bir araya gelmekte ve strüktür oluşturmaktadır (Şekil 7).

Macrobot ve Decibot adlı proje ise tek bir katlama açısı dizisini alan ve isteğe bağlı olarak herhangi bir boyuta (1, 2 veya 3 boyut) göre şekil değiştirebilen, büyük ölçekli, yeniden yapılandırılabilir zincirlerden oluşan bir strüktür olarak betimlenmektedir. Strüktürü oluşturan her parçadaki robotik ünite talimatları okumakta, belirlenen konumdaki açığı almakta ve bir sensör istenen yerleşime ulaştığını gösterene kadar karşılık gelen açığa dönmektedir. Verilen komuta karşılık olarak hareket kodları zincir boyunca yerleştirilmiş sensörlere iletilmektedir. Protein sentezinde yer alan aminoasitlerin bağ ve mesaj taşıması sürecinden ilham alınarak geliştirilen bu proje, strüktürün yeniden kendiliğinden yapılanmasını sağlamaktadır (Şekil 8).

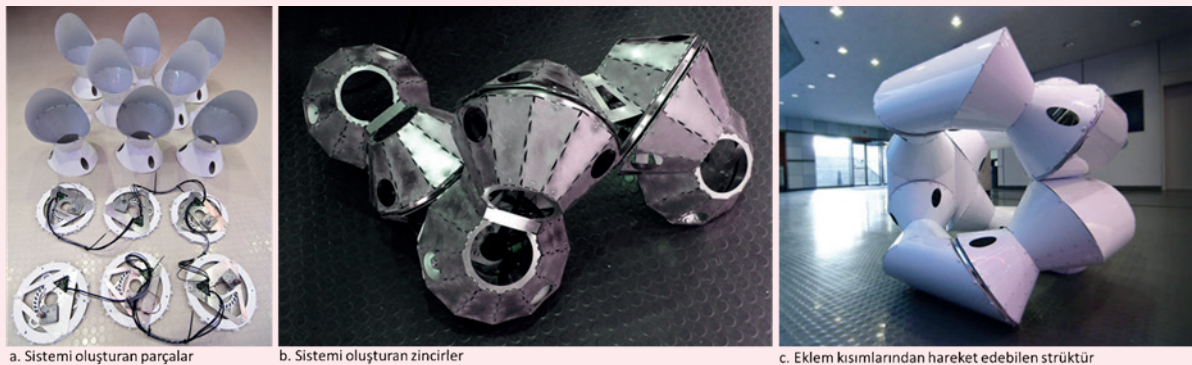
Protein C İplikçığı (C- Strands) ise Cambridge Belediye Binası giriş holünde sergilenen yeniden yapılandırılabilir, etkileşimli ve değiştirilebilir bir strüktürdür. Mekân kullancısına oyun ortamı tanımlayarak strüktürü yeniden

şekillendirebilme olanağı sunmaktadır. Her bir parça, eksenleri boyunca sabitlenen ve daha sonra esneklik ve sağlamlık için birbirine bağlanan boş plastik bazlı malzemeden yapılmıştır. C-Strands, birçok farklı geometrik varyasyon seçeneği sunmaktadır. Bununla birlikte projenin, mekânda heykelsi bir strüktür oluşturmak için yeniden yapılandırma, protein iplikçikleri ve programlanabilir malzemeler üzerine yapılan araştırmalardan yararlandığı belirtilmektedir (Şekil 9).

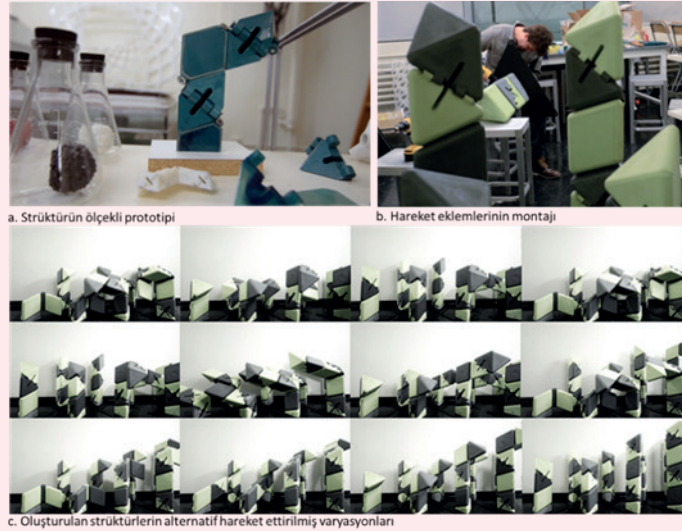
Biyomoleküler Kendiliğinden Yapılanma (Bio-Molecular Self Assembly), 2012 yılında TED Küresel Konferansı için tamamlanan proje, Scripps Araştırma Enstitüsü'nde çalışan moleküler biyolog Arthur Olson ile iş birliği içinde yürütülmüştür. Bu proje, somut ve fiziksel modeller aracılığıyla moleküler arası kendiliğinden yapılanmayı göstermektedir. Oluşan geometriler tütün bitkisi virüsü, ferritin protein topluluğu ve katekol dioksijenaz enzimi dahil olmak üzere çeşitli moleküler yapıları dayanmaktadır. Her bir kap, beyaz, kırmızı veya siyah renkte tek bir moleküler yapı içermektedir. Molekül olarak adlandırılan parçacıkların birleşmesi veya tam tersi başlangıçtaki



Şekil 7. Logic Matter Projesi (a. Sistemi oluşturan parçalar, b. Parçaların birleşme süreci, c. Logic Matter ile oluşan strüktür, d.Şekil optimizasyonu ve alternatif formlar, e.Parçaların teknik anlatımları, f. Oluşturulan strüktür ile gerçekleştirilen enstalasyon çalışması) (URL-4, 2023)



Şekil 8. Macrobot ve Decibot ile oluşturulan kinetik strüktür (URL-5, 2023)



Şekil 9. C Strands strüktürü (a. Strüktürün ölçekli prototipi, b. Hareket eklemlerinin montajı, c. Oluşturulan strüktürlerin alternatif kompozisyonları) (URL-6, 2023)



Şekil 10. Bio-Molecular Self Assembly (a.molekül olarak adlandırılan parçaların kap içerisinde hareket ettirilerek kendiliğinden yapılanması b. Sergi alanında kendiliğinden yapılanmış molekül parçacıkları ve kullanıcı deneyimleri (URL-7, 2024)

ayrışmış haline dönmesi için kabın gerekli enerjiyi sağlayacak kadar hareket ettirilmesi (çalkalanması) gerekmektedir (Şekil 10).

Kendiliğinden Katlanan Proteinler (Self-Folding Proteins), havaya rastgele atıldığında istenen proteinin üç boyutlu yapısına kendiliğinden dönüşen, katlama açılarını şekil hafızası özelliği ile taklit edebilen üç boyutlu elastik çitelerdir. Şekil 11'de de görülen biçimde Crambin Proteini formunu almıştır. Bu teknoloji, daha büyük protein şeritlerine ve diğer birinci boyuttan üç boyuta, kendi kendine birleşen sistemlere dönüşebileceği, farklı ölçekli strüktürlerde kullanılabilmesi öngörülmektedir (Şekil 11).

Sıvı içerisinde kendiliğinden yapılanan sandalye (Fluid-Assembly Chair) ise zorlayıcı fiziksel çevre koşullarında, karmaşık ve kontrolsüz ortamlarda (su, hava, uzay vb.) otonom montaj yöntemlerinin uygulanabilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu deneyde parçalar türbülans mekanizmalarının bulunduğu su tankına salınmaktadır (Şekil



Şekil 11. Self Folding Protein Projesi (a.Protein zincirini temsil eden formun başlangıç hali ve kendiliğinden yapılanma aşamaları) (URL-8, 2023)

12). Bileşenlerin her biri birbirinden tamamen benzersiz olsa da nihai formun birer parçası olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu deney, mobilyalardan elektronik cihazlara veya yapısal elemanlardan yapılara kadar karmaşık, farklılaşmış tasarım ürünlerine kendiliğinden yapılanma özelliği kazandırılabilceğini göstermektedir. Kendi kendine monte edildikten sonra sistemin parçaları çıkarılabilir, test edilebilir veya tekrar kullanılabilir.

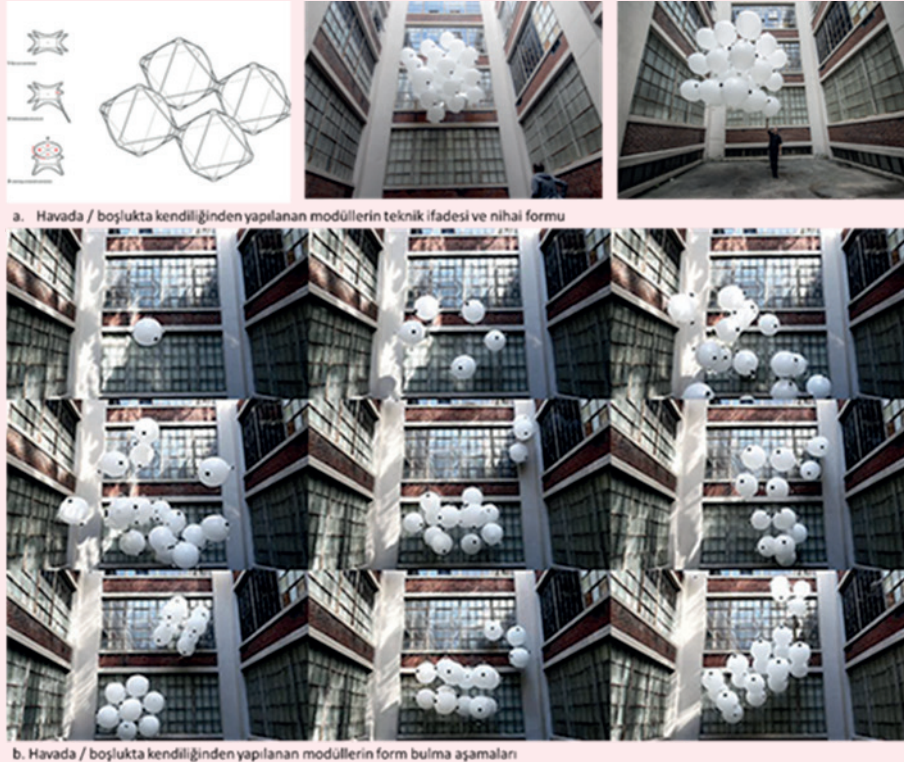
Boşlukta Kendiliğinden Yapılanma (Aerial Assembly) pnömotik parçalardan oluşan, bir yapının avlusunda deneysel bir çalışma olarak uygulanan form araştırmasıdır (Papadopoulou ve ark., 2017b). Her bir küre şeklindeki

pnömotik parça yukarı doğru atılmakta ve birbirlerine temas ettikçe birleşerek farklı geometrik formlar kazanmaktadır (Şekil 13).

Sıvı kafesler (Fluid Lattices) projesi sıvı içerisinde kendiliğinden yapılanan sandalye (Fluid Assembly Chair) projesi ile benzerlik göstermektedir (URL-11, 2024). Bu projede de zorlayıcı fiziksel koşullarda kendiliğinden yapılanabilen, monte edilebilen strüktür ve formların oluşturulmasını araştırmaktadır. Su tankı içerisinde sistemi oluşturan küçük parçalar rastgele bırakılmaktadır ve parçalar su içerisinde programlandığı gibi temas ettikçe birbirine monte edilerek yapılanmaktadır (Şekil 14).



Şekil 12. Fluid-Assembly Chair kendiliğinden yapılanma aşamaları (URL-9, 2023)



Şekil 13. Aerial Assembly Projesi (a. Havada kendiliğinden yapılanan form, b. formun oluşma aşamaları) (URL-10, 2024)



a. Su tankı içerisinde kendiliğinden yapılanan strüktürün oluşum aşamaları

Şekil 14. Fluid Lattices (a.Su tankı içerisinde kendiliğinden yapılanan strüktürün oluşum aşamaları)(URL-11, 2024)

Dört Boyutlu Baskı (4D Printing) ise akıllı malzemelerin basılmasına yönelik inovatif bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Dört boyutlu baskı, bir durumdan diğerine şekil dönüştürme özelliği eklenmiş olarak çok malzemeli baskılar yapılmasını sağlamaktadır (Tibbits, 2014). Bir ürün veya mekanizma herhangi bir tek boyutlu yüzeyden üç boyutlu forma, iki boyutlu biçimden üç boyutlu forma dönüştürülebilir veya bir üç boyutlu formdan şekle veya yüzeye dönüşebilir (Grassi ve ark., 2022). Yalnızca su, ısı, ışık veya diğer basit enerji girdilerini kullanan bu teknik, her boyuttaki yapı ve sistemler için uyarlanabilmektedir (Şekil 15).

Programlanabilir Sehpa/ Masa (Programmable Table) projesi mobilya sektöründe devrim yaratacak kadar etkili, yeni bir mobilya türü olarak ifade edilmektedir. Programlanabilir masa / sehpa, sevkiyattan sonra aktif olarak

kendi kendine yapılanan tamamen yeni bir mobilya olarak ifade edilmektedir. Nakliye, depolama ve farklı işlevdeki kullanımlar gibi çeşitli durumlara kolayca uyum ve kolaylık sağlamaktadır (Şekil 16). Hassas ve öngörülebilir şekillerde kendi kendini dönüştürmek için çip gömülü öngerilmeli kumaştan yararlanılmaktadır. Bu mobilyalar yerine yerleştirildikten sonra başka şekillerde yeniden yapılandırılabilen veya depolama ve taşıma için yeniden düzleştirilebilmektedir. Sevkiyat sırasında hacmi en aza indiren programlanabilir ürün, dağıtım için son derece verimli ve ekonomik olmaktadır. Ayrıca bu ürün, karmaşık parçaların insan veya makine tarafından montajı ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve basit bir şekilde paketten çıkarılarak hızlı bir şekilde yapılanmasına olanak tanımaktadır.

Dönüştürülebilir Ekran Duvar (Transformable Screen Wall) projesi ofis yapıları özelinde tasarlanırsa da herhangi bir iç mekânda özelleştirilmiş alanların tasarlanmasını ve mekâna esneklik kazandırılmasını amaçlamaktadır. Projenin açık ofis iç mekanları ve sabit / kapalı ofis iç mekanlarının her ikisi için de çeşitli kolaylıklar sunduğu belirtilmektedir. Açık ofis planlarının gürültü ve mahremiyet sorunları nedeniyle üretkenliği azalttığı ancak esneklik ve iş birliği fırsatları sağladığı bilinmektedir. Standart sabit / kapalı ofisler ise mahremiyet ve sessiz ortamlar sunar ancak mevcut çalışma alanı türünü kısıtlamakta ve daha fazla metrekare kaplamaktadır. Bu proje ile ofis yapılarına özel telefon kulübeleri, dinlenme alanları veya diğer sessiz toplantı alanlarına kolayca açık esnek alanlara dönüşebileceği bir alternatif önerilmektedir. Dönüştürülebilir duvarların kullanılmasıyla bu alanlar, tek bir toplantı odası veya üç farklı alan oluşturacak şekilde genişleyip daralabilmekte veya aşağıda net ve açık bir alan bırakarak tavana dönüşebilmektedir (Şekil 17).

Dönüştürülebilir Toplantı Alanları (Transformable Meeting Spaces) projesi hafif, yumuşak ve sorunsuz bir şekilde dönüşebilen alternatif bir yaklaşımı araştırmaktadır. Dönüştürülebilir yapılar genellikle hareket yaratmak için pahalı ve karmaşık elektromekanik sistemler gerektirmektedir. Çeşitli uygulamalara yönelik prototipler üretilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Dönüştürülebilir Toplantı Alanları ile yapı iç mekanlarının kullanıcı ihti-



Şekil 15. Dört boyutlu baskı (a. kendiliğinden yapılanan küp, b. Kendiliğinden yapılanan sekizyüzlü, c. Kendiliğinden yapılanan disk) (URL-12, 2024)

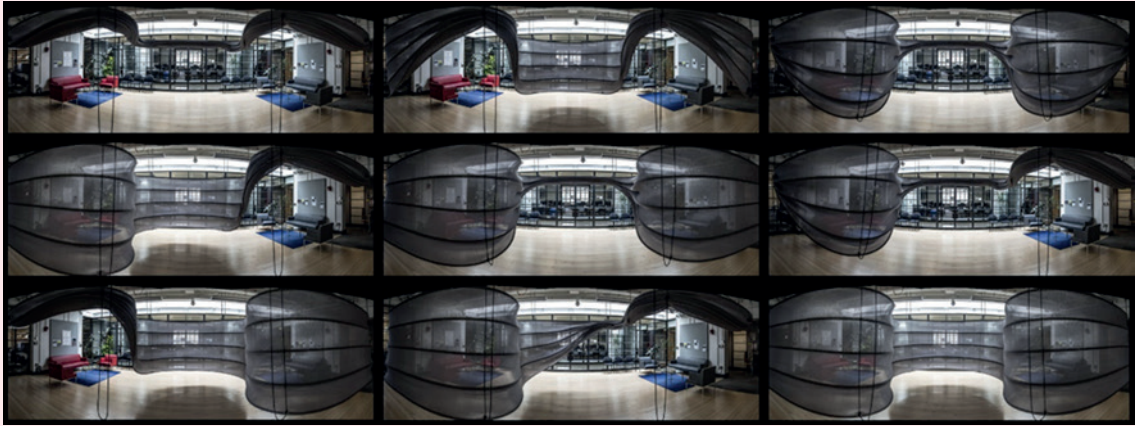
yacına göre yeniden tasarlanması ve esneklik kazandırılması amaçlanmaktadır. Dokuma kumaşa entegre edilmiş programlanabilir malzeme kullanılarak toplantı alanları genişletilip daraltılabilir, 6-8 kişinin kullanacağı bir toplantı odası oluşturulabilmekte veya tavana dönüştürülerek altında net ve açık bir alan bırakılabilmektedir (Şekil 18).

Taş Baskı Tekniği (Rock Printing) projesinde yenilikçi ro-

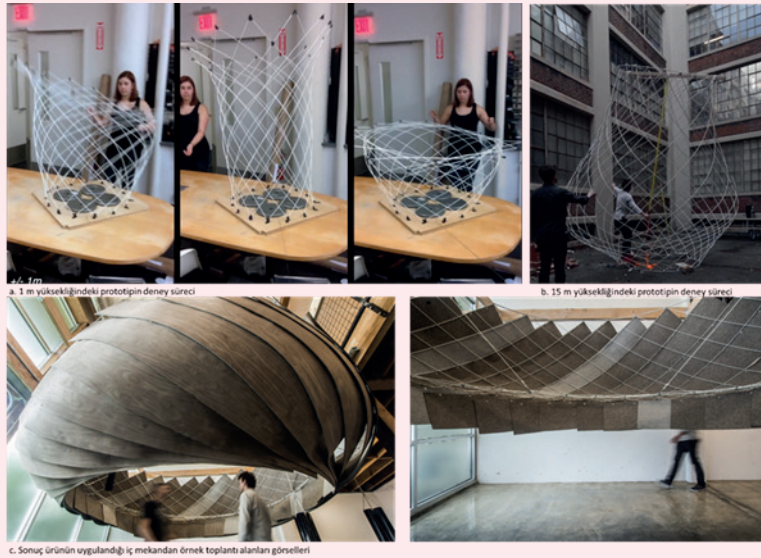
bot teknolojisini kullanılarak Chicago Mimarlık Bienali 2015'in açılışında üç boyutlu baskılı bir kaya enstalasyonu oluşturulmuştur. Özel olarak oluşturulmuş bir algoritma, üç boyutlu bir kaya baskısı sürecinde robotik kolu yönlendirmiştir (Aejmelaeus-Lindström ve ark., 2017). Robotik kol granüler malzemenin çevresinde algoritma-ya özgü bir şekil ile tekstil filamentini katmanlayarak konumlandırmıştır. Bu dijital olarak hazırlanmış tassa-



Şekil 16. Programlanabilir Sehpanın Milano'daki 2015 Mobilya Fuarında tanıtılan prototipi (a. Sehpanın iki boyutlu katlanır haldeki durumu, b. Sehpanın üç boyut kazandırılmış formu, c. Alternatif bir diğer formu) (URL-13, 2024).



Şekil 17. Transformable Screen Wall projesi prototipi kullanım senaryosu (URL-14, 2024)



Şekil 18. Transformable Meeting Spaces Projesi (a.1m yüksekliğindeki prototip deney aşamaları, b. 15 m yüksekliğindeki prototipin deney süreci, c. Sonuç ürünün uygulandığı toplantı alanının iç mekânının ve dış kabuğunun görselleri) (URL-15, 2024)

rım konfigürasyonunun kendi kendini taşıma kapasitesi bulunmaktadır. Hiçbir ek destek elemanı gerektirmeden yığma olarak kendi taşıyıcılığını sağlamaktadır. Geleneksel mimariye temelden meydan okuyan sürdürülebilir, ekonomik ve yapısal olarak sağlam bir inşaat yöntemi sunulmaktadır (Şekil 19).

Modüler ve Dönüştürülebilir Karıştırma /Sağlamlaştırma (Modular and Morphable Jamming) düşey yüklere dayanmanın yanı sıra ayarlanabilen ve değiştirilebilen yatay açıklıklar elde etmek için yeni bir uygulama yöntemi sunmaktadır. Yapı malzemesi olarak çalışmada tercih edilen granül blokajlar sıkıştırılabilmekte, elde edilen formda sonrasında tekrar sıkıştırılabilmektedir (Cohen ve ark., 2020). Hem uygulama esnasında hem de kullanım esnasında sıkıştırma yapılabilmektedir. Projenin

temel amacı gerektiğinde ayarlanabilen veya değiştirilebilen hızlı ve geri dönüşümlü taşıyıcı görevi olan yapısal elemanlar üretmektir. Bu yönetime yönelik deneyler kolon-kiriş, duvar-döşeme ve kiriş-kemer gibi mimari tipolojilerin tam ölçekli prototipleri aracılığıyla gösterilmektedir (Şekil 20).

Taş sıkıştırma (Slip-Form Rock Jamming) granül /blokaj sıkıştırma tekniğini kullanarak düşük maliyetli ve basit bir inşaat yöntemi üretmeye yönelik yeni bir tekniktir. Zig-zag formunda taşıyıcı bir perde duvar oluşturmak için kayan kalıpla birlikte yapı malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu ve gevşek çakıldan oluşturulan kompozit bir malzeme kullanılmaktadır (Şekil 21).

Jamming Bodies projesi hava basıncı ile çalışabilen (pnö-



Şekil 19. Rock Printing Projesi (a. Robotik kol desteği ile programlanmış tekstil iplikleri kullanarak taşlar arasında baskı süreci, b. Sergilenen enstalyon çalışmasının görselleri, c. Nakliye ve kurulum süreci) (URL-16, 2024)



Şekil 20. Modular and Morphable Jamming Projesi (URL-17, 2024)

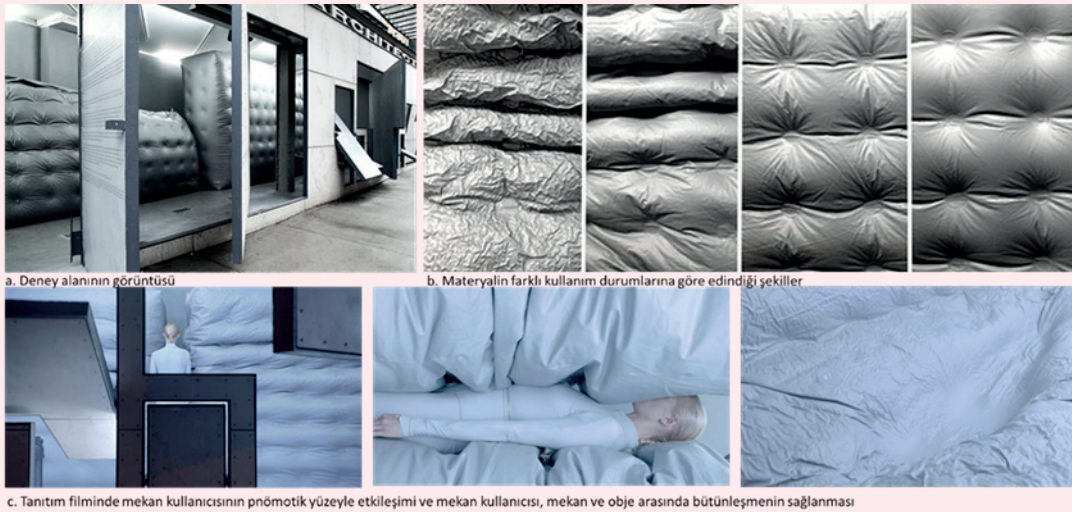
matik) malzemelerin, sağlık ve spor mekanlarındaki potansiyel uygulamalarını sorgulamaktadır. Granüler Sıkışma olarak çevrilebilecek bu yöntem düzensiz malzemelerin sıvı, katı ve yarı katı haller arasında tersine çevrilebilir şekilde geçiş yapabileceği bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Tasarlanan ürün vücudun hissi, davranışı ve fizyolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için iki ay süre ile deneme laboratuvarına dönüştürülmüştür. Bu deney mekânında sertlik veya sıkıştırma kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir. Bu çalışmanın özellikle spor gibi fizyolojik aktiviteler için veya rehabilitasyon gibi sağlık işlevleri için kullanılabilmesi düşünülmektedir. Mekânın formu ve hacmi, ölçeği değiştirilebilmekte ve kullanıcının vücudu ile yeniden şekillenebilmektedir. Mekân kullanıcılarına göre şekil alan mekân kavramının oluşturulduğu görülmektedir (Şekil 22).

Aktif Kumaş (Active Textile) projesinde kompozit bir kumaş üzerinde oluşturulan açıklıklar, ışık kaynağına tepki olarak açılıp kapanabilme özelliği göstermektedir. Robotik mekanizmalar olmadan çevrelerini “algılayabilen” ve çevrelerine tepki verebilen programlanabilir malzemeler kullanılmaktadır. Bir pencere üzerinde perde görevi gören tekstil malzemesinin delikleri, parlak güneş ışığına tepki olarak kapanmakta ve gerekli gölgelemeyi sağlamaktadır veya bulutlu bir günde açılacak şekilde programlanmaktadır (Şekil 23).

Hızlı Sıvı Baskı Prototipleme Tekniği (Rapid Liquid Printing) projesi yenilikçi bir üç boyutlu baskı teknolojisidir. Hızlı Sıvı Baskı, jel süspansiyonu içindeki üç boyutlu alanı fiziksel olarak çizmekte ve istenilen malzemedan yapılabilen büyük ölçekli, özelleştirilmiş ürünlerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Diğer tekniklerle kar-



Şekil 21. Slip-Form Rock Jamming Projesi (a.Duvarın oluşturulma süreci, b. Oluşturulan prototipin görselleri) (URL-18, 2024)



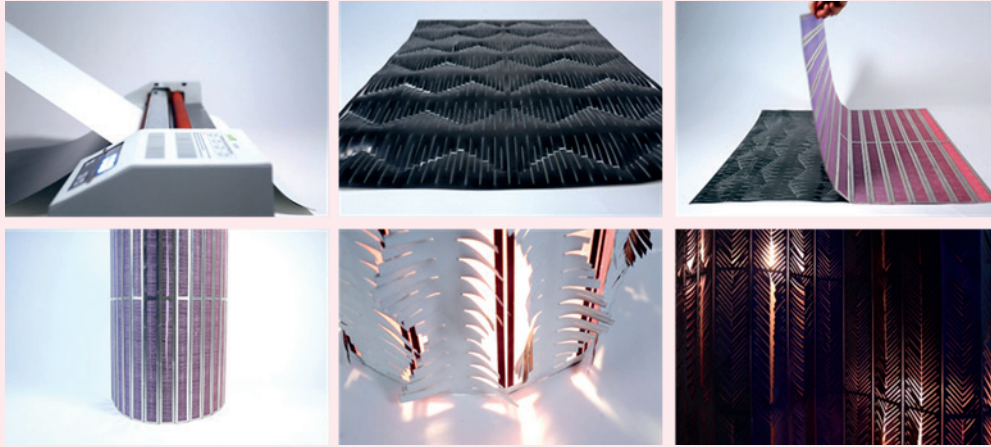
Şekil 22. Jamming Bodies Projesi (a. Deney alanının görüntüsü b. Materyalin farklı kullanım durumlarında edindiği şekiller c.Tanıtım filminde mekân kullanıcısının pnömatik yüzeye etkileşimi ve mekân kullanıcısı, mekân ve obje arasında bütünleşmenin sağlanması) (URL-19, 2024)

şılaştırıldığında bunun, büyük ölçekli ürünler elde etmek için endüstriyel malzemelerin son derece hızlı ve hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan üç boyutlu yazıcıların enjeksiyon kalıplama, döküm, frezeleme vb. gibi geleneksel işlemlerle karşılaştırıldığında çok yavaş olması, ürünün ölçeği açısından sınırlayıcı olması ve genellikle endüstriyel malzemelerle karşılaştırıldığında kullanılan filamentlerin düşük kaliteli olması nedeniyle üretimde yaygın kullanılmadığı düşünülmektedir. Hızlı Sıvı Baskı üç boyutlu yazıcı üretim sürecindeki eksikliklerini de çözmektedir. Üç boyutlu yazıcılara oranla birkaç dakika içinde yapılar üretebilecek kadar hızlı ve büyük ölçekli ürünler için tasarlanmıştır (bir mobilyanın tamamı basılabilmektedir) ve sektörde kullanılan tüm endüstriyel A sınıf malzemeler kullanılabilmektedir (Şekil 24).

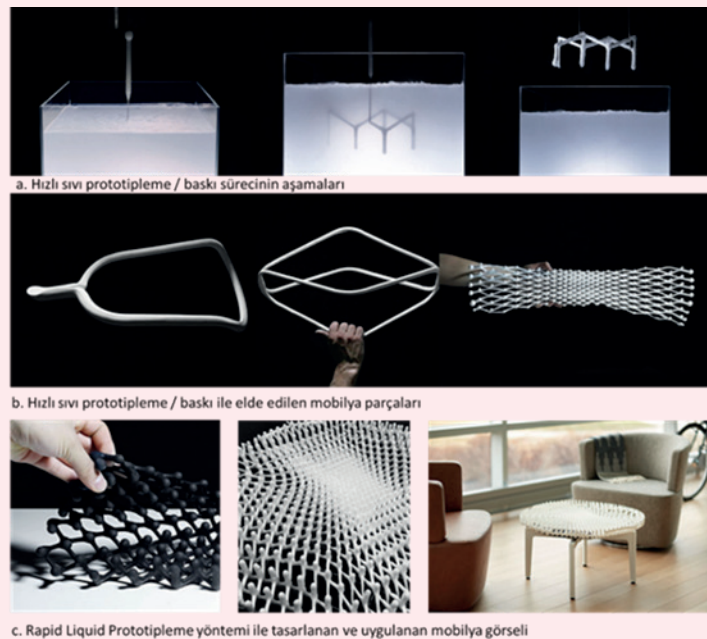
Sıvı Baskılı Pnömatik Özellikli Ürünler (Liquid Printed

Pneumatics) projesi uyarlanabilir, her koşula uyum sağlayan iç mekanlar üzerinde durmaktadır. Kendiliğinden yapılanan, dönüşen ve uyum sağlayan pnömatik malzeme teknolojileri geliştirilmiştir. Herhangi bir boyuta veya şekle göre özelleştirilebilen, Rapid Liquid Printing ile basılan pnömatik ürün, sistemdeki hava basıncı miktarına bağlı olarak şekil değiştirebilmektedir (Şekil 25).

Sıvıdan Gaza: Pnömatik Nesnelere (Liquid to Air: Pneumatic Objects) projesi İsviçreli tasarımcı Christophe Guberan'ın üç boyutlu baskılı şişirilebilir eserlerinin New York'taki Patrick Parrish Galerisi'nde sergilenmesi ile gerçekleşmiştir. Self-Assembly laboratuvarı, geliştirdikleri yeni bir süreç olan Hızlı Sıvı Baskı'yı kullanarak karmaşık şekillere, iç bölmelere, karmaşık yüzeylere ve büyük, özelleştirilmiş, dinamik ürünler üretmeye yeni bir yöntem getirmiştir. Bu baskı işlemi, vazodan kanepeye kadar büyük ölçekli nesnelere birkaç dakika içinde üre-



Şekil 23. Active Textile (URL-20, 2024)



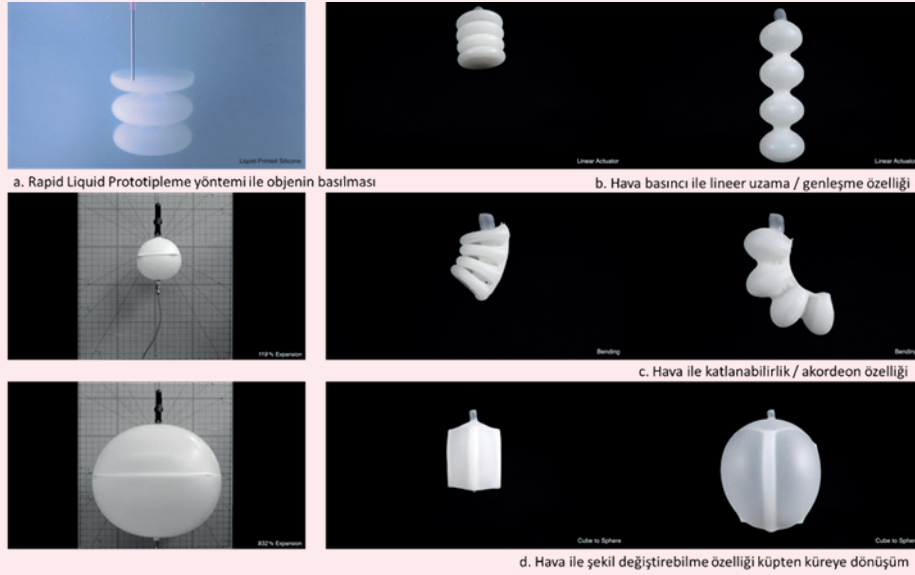
Şekil 24. Rapid Liquid Printing Projesi (a. hızlı sıvı baskı sürecinin aşamaları b. RLP ile elde edilen mobilya parçaları c. RLP yöntemi ile uygulanan mobilya tasarımı) (URL-21, 2024)

timini mümkün kılmaktadır (Şekil 26). Sergide birçok iç mekân dekorasyon ürünleri ve aydınlatma armatürleri yer almaktadır.

Sıvı Metal Baskı (Liquid Metal Printing) İlk kez Philadelphia Sanat Müzesi'ndeki bir sanat sergisinde uygulanmıştır. Metalin sıvı olarak basıldığı, geri dönüştürülebilir her türlü ölçekteki metal nesnelere saniyeler içinde üretebilen baskı işlemi olarak tanımlanmaktadır. Büyük ölçekli metal nesnelere hızlı bir şekilde basarak, bugün üretim için ölçeklenebilirlik ve fizibilite açısından sınırlı olan metal üç boyutlu baskıyı mümkün kılmaktadır. Metal, her gün çevremizde üretilen ürünlerin ve bileşenlerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Daha hızlı, daha ucuz ve daha kişiselleştirilebilir baskı yapabilmesi sayesinde gelecekte hem tasarım hem de üretim süreçle-

rini değiştirebileceği düşünülmektedir (Şekil 27).

Mimari tasarımla ilişkili toplamda yirmi bir projenin getirdiği inovasyonlara değinilmiştir. Bu projelerin bir kısmı doğrudan yapı teknolojisi ve malzemesi, bir kısmı form ve strüktür araştırmaları, yeni baskı teknolojileri imkânı sunmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde de belirtilen Skylar Tibbits'in belirlediği kendiliğinden yapılanma özelliği gösteren ürünlerin yedi farklı ölçütü sağlaması gerekmektedir. Analizlerde kullanılan bu 7 parametre sırasıyla: sistemin tüm parçalarının geometrik olarak basit özellik göstermesi, sistemin en az iki farklı duruma sahip olması, sistemin istenilen talimat dizisine yanıt vermesi, basit bir montaj sırası / dizisine sahip olması, parçaları programlanabilir özellik göstermesi, aktif edilmesi için bir başlangıç kuvvetine (F0) veya enerjiye



Şekil 25. Liquid Printed Pneumatics (a.RLP yöntemi ile objenin basılması b. Hava basıncı ile tek yönde uzama/ genişleme özelliği c. Hava basıncı ile katlanabilirlik / açılabilirlik özelliği c. Hava ile şekil değiştirebilme özelliği küpten küreye dönüşüm (URL-22, 2024)



Şekil 26. Liquid to Air: Pneumatic Objects (a.RLP yöntemi ile objenin basılması b. RLP yöntemi ile elde edilen pnömatik objelerin kullanım senaryoları c.Üretilen ürünlerin sergilenmesi) (URL-23, 2024)

ihtiyaç duyması, yedeklenebilir ekipmana sahip olması şeklinde ifade edilmektedir (Tibbits, 2010). Örnekleme oluşturan 21 proje bu parametreler üzerinden analiz edilmiştir. İlgili parametreleri karşılama durumları frekans (sıklık) analizi ile sayısal verilere dönüştürülmüştür (Tablo 2).

Bu ölçütleri sağlama durumları sorgulandığında; projelerin %90 oranında "basit bir montaj sırası/ dizgesine sahip olma" koşulunu sağladığı görülmüştür. En az sağlanan ölçüt ise %66 oranında "sistemin istenilen talimat dizisine yanıt vermesi" koşulu olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni incelenen projelerin tamamında mantık bilimine dayalı elektronik devrelerin veya robotik sistemlerin kullanılmamış olmasıdır. Bununla birlikte "parçaların programlanabilir özellik göstermesi" ve "sistemin aktif olması için bir başlangıç kuvvetine /enerjiye ihtiyaç duyması" koşulları %85,7 oranında incelenen projelerde görülmüştür. "kolayca yedeklenebilir ekipmana sahip olma" koşulu ise %80,9 oranında projelerde rastlanmıştır. "sistemin tüm parçalarının geometrik olarak basit özellik göstermesi" %76,2 oranında ve "sistemin en az farklı duruma sahip olması" koşulu ise %80,9 oranında sağlanmıştır. Logic Matter (1), Macrobot ve Decibot (2), Fluid-Assembly Chair (6), Fluid Lattices (8), Jamming Bodies (16), Liquid Printed Pneumatics (19) projelerinin yedi ölçütün tamamını sağladığı görülmektedir (Tablo 2).

5. İç Mekânda "Self Assembly" Özellikli Tasarımların Kullanım Olanakları

Kendiliğinden yapılanma özellikli tasarımların laboratuvar çalışmaları üzerinde incelenmesi sonucu mimari tasarımla ilişkili yirmi bir farklı proje üzerinde durulmuştur. Bazı projelerin doğrudan iç mekân özelindeki problemlere çözüm veya yenilik getirmedeği görülse de iç mekânda kullanılabilirlik potansiyeli yüksek oldu-

ğu düşünülmektedir. Her yenilik ölçek fark etmeksizin mekânı etkilemekte ve dönüştürmektedir. Çalışmalar ağırlıklı olarak Mars, Ay vb. zorlayıcı ve aşırı fiziksel koşullar için belirlenen problemlere, gerekliliklere cevap ve çözüm aramaktadır. Fiziksel çevre koşullarına tepki veren, uyum gösteren, form, biçim, strüktür ve malzeme özelliklerini duruma göre değiştirebilen sistemler araştırılmaktadır. Kendiliğinden yapılanmanın sağlanması için mekân veya mekânda bulunan, yapısal ve yapısal olmayan elemanların her biri birer sistem gibi değerlendirilmekte, bu sistemleri oluşturan her parça da yeni bir sistem gibi tasarlanmaktadır. Kendiliğinden yapılanma yapıların, yapı elemanlarının veya çeşitli iç mekân unsurlarının kendi kendine düzenlenmesini veya bir araya gelmesini ifade etmektedir. Bu nedenle tabloda yapısal / yapısal olmayan eleman ve teknolojik yenilik başlıkları altında projeler sınıflandırılmıştır. Yöntem olarak ise genellikle modüler sistemler veya akıllı malzemeler kullanılarak sağlandığı görülürken, taşıyıcı özelliği olup olmadığı, kullanım işlevine (strüktürel olma, form tasarımı vb.) değinilmiştir.

Örnekleme oluşturan yirmi bir projenin iç mekânda kullanılabilirliği "yapısal eleman", "yapısal olmayan eleman", "endüstriyel tasarım ürünü / teknolojik yenilik" olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir. Geliştirilen yöntem yapı teknolojisi ile ilişkili ise yapısal olma durumuna bakılmıştır. Taşıyıcı özelliği olan mukavemeti artırılmış bir akıllı kompozit malzeme oluşturulmuşsa bu özelliğin iç mekânda yapısal elemanlara yenilik kazandıracığı belirtilmiştir. Eğer taşıyıcı değilse, mekânda özelleştirilmiş alanlar sağlayan bölücü panel ve duvarlar ise yapısal olmayan eleman başlığı altında değerlendirilmiştir. Bununla birlikte dört boyutlu yazıcı, hızlı sıvı prototipleme gibi yenilikçi teknolojiler kullanılmışsa teknolojik kullanım başlığı altında belirtilmiştir. Bu teknolojilerle üretilen mobilyalar, dekoratif aksesuarlar, aydınlatma armatürleri endüstriyel tasarım ürünü olarak üçüncü başlık



Şekil 27. Liquid Metal Printing (a.Metal baskı, kaynak ve sinterleme süreci b. Metal baskı süreci c. Metal baskı ile üretilen strüktür ve çeşitli mobilya tasarımları) (URL-24, 2024)

altında ele alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3'ten de anlaşılacağı üzere "kendiliğinden yapılanma" kavramı iç mekânda yapısal ve yapısal olmayan elemanların tümünde yenilikçi özellikler getirmektedir. Yapısal elemanların zorlayıcı fiziksel koşullara göre uyum göstermesi, akıllı liflerle kompozit malzemelerin oluşturulması ile mukavemeti artırılmış yapı malzemelerinin elde edilmesi gibi olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Yapısal olmayan her türlü geçici ve kalıcı strüktür, form, biçim, yüzey elemanlarında da hem işlevsel hem estetik yenilikler getirmektedir. Ofis mekânında hem akustik görevi gören hem de tavan düzlemine ve bölücü yüzeylere dönüşebilen akıllı tekstillerin kullanıldığı proje gibi

örneklerde görülmektedir. Endüstriyel tasarım ürünlerine getirdiği yenilikler ise, kullanıcı ile dönüşüm gösterebilmesi, sürdürülebilir olması, kolayca kaldırılabilmesi ve kurulabilmesi, kolay ve hızlı üretilebilmesi olarak sıralanabilir. Teknolojik yeniliklere bakılacak olursa ilk olarak akıllı malzemelerin kullanılması ile şekil hafızası olan ürünlerin elde edilmesi örneği verilebilir. Dört boyutlu ve sıvı prototipleme yöntemi hızlı, masrafsız, kolay ve farklı ölçeklerde ürün üretilmesine olanak tanımaktadır. Işığa, sese, basınca karşı tepki veren uyum sağlayan ürünlerin elde edilmesi, elektronik mikro çiplerle kendi kendine şekil değiştirebilen robotik mobilyaların oluşturulması gibi sonuç ürünler olduğu görülmektedir.

Tablo 2. İncelenen projelerin kendiliğinden yapılanma ölçütlerini sağlama durumları

KENDİLİĞİNDEN YAPILANMA ÖLÇÜTLERİ							
Proje Sırası	Sistemin tüm parçaları geometrik olarak basit özellik göstermektedir.	Sistem en az iki farklı duruma sahiptir.	Sistemin istenilen talimat dizisine yanıt vermektedir.	Basit bir montaj sırası / dizgesine sahiptir.	Parçaları programlanabilir özellik göstermektedir.	Aktif edilmesi için bir başlangıç kuvvetine (F0) veya enerjiye ihtiyaç duymaktadır.	Yedeklenebilir Ekipmana sahiptir.
1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
4.	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
5.	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
6.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7.	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
8.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9.	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
10.	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
11.	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12.	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
13.	-	✓	-	-	✓	✓	✓
14.	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15.	✓	-	-	✓	✓	-	✓
16.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17.	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
18.	✓	-	✓	✓	✓	-	✓
19.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20.	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
21.	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
f	16	17	14	19	18	18	17
%	76,2	80,9	66,6	90,5	85,7	85,7	80,9

6. Sonuçlar

İç mekânda kullanılan akıllı malzemeler ve yenilikçi teknolojiler hem işlevsel hem de estetik açıdan önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların, üretim ve uygulama teknikleri tespit edilmiştir. Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların mimarlık, mühendislik gibi birçok alana yenilikler getirdiği görülmektedir. Çalışmaların ağırlıklı olarak zorlayıcı fiziksel çevre koşulları için belirlenen problemlere, gerekliliklere cevap ve çözüm aradığı anlaşılmaktadır. Fiziksel çevre koşullarına tepki veren, uyum gösteren, form, biçim, strüktür ve malzeme özelliklerini duruma göre değiştirebilen sistemlerin araştırıldığı görülmektedir.

Kendiliğinden yapılanma kavramı mimari tasarımda ele

alındığında, mekân veya mekânda bulunan, yapısal ve yapısal olmayan elemanların her biri birer sistem gibi değerlendirilmekte, bu sistemleri oluşturan her parça da yeni bir sistem gibi tasarlanmaktadır. Örneğin şekil hafızası olan yüzeylerin de kullanıcının vücudu ile yeniden şekillenebildiği, mekân kullanıcılarına göre şekil alan mekân kavramının oluşturulduğu görülmektedir. İç mekânda strüktür, form, bölücü duvar gibi yapısal olmayan elemanların tasarımında, mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü, akustik panel gibi işlevlerde de kullanılabilir. Bunun yanında kolon, kiriş, döşeme gibi iskelet sistemlerde mukavemeti artırmaya yönelik de kullanılabilir. Yığma yapı sistemleri için de eklenen akıllı ipliklerle kompozit malzemelerin elde edilebileceği görülmektedir. Çevre koşullarına uyum gösteren ve tepki veren kabuk sistemlerin, pnömotik sistemlerin de oluşturulmasını sağlamaktadır. Kullanıcıya

Tablo 3. Mimari tasarımla ilgili Kendiliğinden Yapılanma Özellikli Projelerin İç Mekânda Kullanılabilirliği

PROJELERİN İÇ MEKÂNDA KULLANILABİLİRLİĞİ			
Proje Sırası	Yapısal Eleman	Yapısal Olmayan Eleman	Endüstriyel Tasarım Ürünü Teknolojik Yenilik
Logic Matter	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu olarak kullanılabilir.
Macrobot ve Decibot	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü olarak kullanılabilir. Kinetik bölücü elemanlar oluşturulabilir.
C- Strands	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Bio-Molecular Self Assembly	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	
Self-Folding Proteins	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü olarak kullanılabilir.
Fluid-Assembly Chair	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Mobilya tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü olarak kullanılabilir.
Aerial Assembly	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	
Fluid Lattices	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Şekil hafızası özelliği göstermektedir.
4D Printing	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Şekil hafızası özelliği göstermektedir.
Programmable Table	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Mobilya tasarımı	Her türlü iç ve dış mekân mobilyasına uyarlanabilir.
Transformable Screen Wall	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Transformable Meeting Spaces	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Rock Printing	Kolon, kiriş, döşemede kullanılabilir. Yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir.	Strüktür ve form tasarımı	Mukavemeti artıran akıllı ipliklerle yeni kompozit yapı malzemesi oluşturulmaktadır.
Modular and Morphable Jamming	Kolon, kiriş, döşemede kullanılabilir. Yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir.	Strüktür ve form tasarımı	Mukavemeti artıran akıllı ipliklerle yeni kompozit yapı malzemesi oluşturulmaktadır.
Slip-Form Rock Jamming	Yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Jamming Bodies	Pnömotik yapı teknolojisinde olduğu gibi taşıyıcı özelliği vardır.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Active Textile	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir. İnteraktif, tepkisel mekanizma sistemi vardır.
Rapid Liquid Printing	-	-	Hızlı ve farklı malzemelerle seri üretim sağlamaktadır.
Liquid Printed Pneumatics	Pnömatik yapı teknolojisinde olduğu gibi taşıyıcı özelliği vardır.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü strüktürü olarak kullanılabilir. Çevre koşullarına göre uyum sağlayan kabuk sistemi sağlamaktadır.
Liquid to Air	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Liquid Metal Printing	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Mobilya tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü vb. gibi dekoratif ürünlerde kullanılabilir. Metal baskı teknolojisi ve hızlı prototipleme için yeni bir yöntem sağlamaktadır.

istediği fiziksel çevreye göre kendiliğinden yapılan bir mekân elde edebilmesi veya isteğe bağlı olarak şekil değiştiren bir mobilyaya sahip olması gibi olanaklar ve özgürlükler tanımaktadır. Ofis mekanlarında bölücü duvarların hem akustik görevi olması hem sınır ögesi olarak nihai forma göre kendiliğinden şekillenebilmesi de çalışma ortamında algısal ve fiziksel konforun artmasını sağlamaktadır. Bunun yanında kendiliğinden yapılanma kavramı ile yeni belirsizlikler ve problemlerin ortaya çıkacağı da öngörülmektedir. Özellikle programlanabilir malzemenin elektroniğe bağlı olması, siber saldırıya açık fiziksel bir çevre oluşmasına da neden olmaktadır. Ürünler bir biçimden diğerine şekil değiştirmeye başladıkça, fikri mülkiyet hakları da daha karmaşık hale geleceği ve patent sorunları yaratacağı da öngörülmektedir.

Kendiliğinden yapılanma kavramını sonuç olarak SWOT (Strength / Weakness / Opportunities / Threads) analizi üzerinden açıklanmıştır (Şekil 28).

Güçlü özellikler:

- Kendiliğinden yapılanma özelliği gösteren mobilyaların nakliyesinin kolay olması
- Şantiye, kurulum esnasında enerji ve zaman tasarrufu sağlaması
- Yeniden kullanılabilir, gerekli laboratuvar ortamında kolayca tamir edilebilir olma özelliği göstermesi
- Değişen kullanıcı isteğine göre kolayca uyarlanabil-

mesi, mekân kullanıcısının fiziksel konfor ve estetik ihtiyaçlarına kolayca yanıt verebilmesi

- Otomatik olarak fiziksel çevre koşullarına göre uyum sağlaması
- Atık metallerin kullanılması, sıvı ortamında daha az enerji ile baskı yapma gibi teknolojiler sayesinde sürdürülebilir ve evrensel özellik gösterme
- Yapısal ve yapısal olmayan elemanlara yenilikçi özellikler kazandırma (esnek formda taşıyıcı duvar oluşturulması vb.)

Zayıf özellikler:

- Üretimi için gerekli olan teknik ekipmanların eksikliği / tedarik edilmesinin zorluğu
- Kullanım açısından belirli talimatlara yönelik ön bilgi ve uzmanlık gerekebilmesi
- Ağırlıklı olarak dijital sürece dayalı olmasından ötürü analog alışkanlıkları olan kullanıcılar için alışma zorluğu
- Robotik özellik gösteren iç mekân öğelerinin (bölücü duvar ve mobilya vb.) geleneksel mimari ve iç mimari üsluptan uzak özellik göstermesi

Fırsatlar:



- Uzun mimarisinde, zorlayıcı fiziksel çevre koşullarına kolay uyum sağlayarak kullanılabilir olma
- Fiziksel yetisinde güçlük yaşayan mekân kullanıcıları için uyarlanabilir olma
- Sürdürülebilir ve yeniden kullanılabilir yapı malzemelerinin üretimini ve test edilmesini kolaylaştırma
- Kolay ve hızlı konut üretimi
- İnsan gücüne ihtiyaç duyan kurulum ve uygulama süreçlerinin en aza indirgenmesi

Tehditler:

- Programlanabilir malzemenin siber saldırılara açık olması ve bu tür durumlarda arızalanması
- Robotik özellik göstermesinden ötürü kullanıcıda tekinsizlik hissi ve güvensizlik algısı oluşturması
- İnsan gücüne ihtiyacın azalmasından ötürü meslek dallarının değerini yitirmesi ve yok olması

Sonuç olarak mimari tasarımda, kendiliğinden yapılanma, yapıların veya yapı bileşenlerinin kendilerini otomatik olarak istenen bir biçime veya desene organize ettiği bir yöntemi ifade etmektedir. Bu süreçte ise genellikle

doğadan veya algoritmalarından gelen ilkeler kullanılmaktadır. İç mimaride ise kendiliğinden yapılanma, birbirine geçen veya kendi kendine yeniden yapılandırılan modüler mobilya veya duvar sistemleri oluşturmak için kullanılabilir. Kullanıcı isteğine göre hareket eden bölücü duvarlar farklı ihtiyaçlara uyum sağlayabilen esnek alanlar sağlamaktadır. Örneğin, oda düzenlerini değiştiren modüler bölücüler veya kolayca monte edilebilen ve yeniden monte edilebilen mobilyalar kullanıcılarına dinamik ve uyarlanabilir iç mekân tasarımları sunabilmektedir.

Gelecek dönemde ise kendiliğinden yapılanma teknolojisi tasarımcının ve kullanıcısının yenilikçi, verimli ve öngörülemez mimari biçimler elde etmesini sağlayacaktır. Ancak mimari tasarımcıya yeni olanaklarla birlikte farklı etik ve tasarım kaygılarını da getireceği düşünülmektedir. Süreç içerisinde tasarımcıların, nihai tasarım ögesinin her bir parçasını göz önüne alarak, malzeme içerisine entegre edilen elektronik çiplerle kodlama yaparak tasarımını oluşturacağı da öngörülmektedir. Bu bağlamda mimari tasarımda malzeme ve bilgisayar bilimi ile ortak çalışmalar yapılmasının ve güncel araştırmaların takip edilmesinin önemi de anlaşılmaktadır.

Orcid

Nisa Nur Göksel <https://orcid.org/0000-0001-5932-6548>

Nuriye Nida Çelebi Şeker <https://orcid.org/0000-0003-3965-5744>

Kaynakça

- Aejmelaeus-Lindström, P., Mirjan, A., Gramazio, F., Kohler, M., Kernizan, S., Sparrman, B., Laucks, J., Tibbits, S. (2017). Granular Jamming of Loadbearing and Reversible Structures: Rock Print and Rock Wall. *Architectural Design*. 87. 82-87.
- Bodur, G. (2017). Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım Uygulamaları ile Dijital Çağda Tasarımcının Değişen Rolü. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(2), 37-52.
- Campbell, T., Tibbits, S., Garrett, B. (2014). The Programmable World. *Scientific American*. 311. 60-5.
- Cohen, Z., Elberfeld, N., Moorman, A., Laucks, J., Kernizan, S., Holmes, D., Tibbits, S. (2020). Superjammed: Tunable and Morphable Spanning Structures Through Granular Jamming. *Technology|Architecture + Design*. 4. 211-220.
- Dahman, Y. (2017). Self-Assembling Nanostructures. *Nanotechnology and Functional Materials for Engineers*. 207-228.
- Grassi, G., Sparrman, B., Paoletti, I., Tibbits, S. (2022). 4D Soft Material Systems. In: Yuan, P.F., Chai, H., Yan, C., Leach, N. (eds) *Proceedings of the 2021 DigitalFUTURES. CDRF 2021*. Springer, Singapore, pp. 201–210.
- Hasol, D. (2021). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, Yem Yayınevi, İstanbul.
- Hawkes, E., An, B., Benbernou, N., Tanaka, H., Kim, S., Demaine, E., Rus, D., Wood, R. (2010). Programmable matter by folding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107 (28):12441–12445.
- Koçak, B. (2021). Computational modeling of self-assembly in deformable bodies. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, ODTÜ, Ankara.
- Mehdizadeh, S., Tessmann, O. (2023). Roll-Locks: A Fabrication to Self-Assembly Design-Framework for Reusable Discrete Concrete Elements. *Advances in Architectural Geometry 2023*, edited by Kathrin Dörfler, Jan Knippers, Achim Menges, Stefana Parascho, Helmut Pottmann and Thomas Wortmann, Berlin, Boston: De Gruyter, pp. 151-164.
- Menges, A., Tibbits, S. (2012). Design to Self-Assembly. *Architectural Design*. 82 (2) : 68-73.
- Papadopoulou, A., Laucks, J., Tibbits, S. (2017a). Auxetic materials in design and architecture. *Nature Reviews Materials*. 2 (12): 17078.
- Papadopoulou, A., Laucks, J., Tibbits, S. (2017b). From Self-Assembly to Evolutionary Structures. *Architectural Design*. 87 (4): 28-37.
- Material district. (2015). <https://materialdistrict.com/article/self-assembling-wood-weather-activated-clothes-mit-says-yes/> Erişim tarihi: 17.01.2024
- Sevinç, Ö. (2023). Cephe sistemlerinde akıllı malzemelerin yeri ve yüksek yapılarda uygulanabilirliği. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Maltepe Üniversitesi, İstanbul.
- Tavşan, F., Tavşan, C., Fethaçoğlu, E. (2021). İç Mekânda Enerji Verimliliği ve Teknoloji İlişkisi: Güncel Uygulamalar Bağlamında Bir İrdeleme. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 4(2): 112-120.
- Tibbits, S. (2010). Logic matter: digital logic as heuristics for physical self-guided-assembly. *Yüksek Lisans Tezi*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Tibbits, S., Cheung, K. (2012). Programmable materials for architectural assembly and automation. *Assembly Automation*. 32 (3):

- 216-225.
- Tibbits, S. (2014). 4D Printing: Multi-Material Shape Change. *Architectural Design*. 84 (1): 116-121.
- Tibbits, S., Kara'in, L., Schaeffer, J., Puig, H., Gomez-Marquez, J., Young, A. (2014). DNA disPLAY: Programmable bioactive materials using CNC patterning. *Architectural Design*. 84 (4): 104-111.
- URL-1 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/> Erişim tarihi: 25.12.2023
- URL-2 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/programmable-materials> Erişim tarihi: 17.01.2024
- URL-3 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/about> Erişim tarihi: 17.01.2024
- URL-4 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/logic-matter/> Erişim tarihi: 25.12.2023
- URL-5 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/bots/> Erişim tarihi: 25.12.2023
- URL-6 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/c-strands/> Erişim tarihi: 26.12.2023
- URL-7 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/biomolecular> Erişim tarihi: 07.01.2024
- URL-8 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/proteins/> Erişim tarihi: 26.12.2023
- URL-9 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/fluid-assembly-chair/> Erişim tarihi: 27.12.2023
- URL-10 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/aerial-assembly/> Erişim tarihi: 05.01.2024
- URL-11 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/fluid-lattices/> Erişim tarihi: 05.01.2024
- URL-12 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/4d-printing/> Erişim tarihi: 07.01.2024
- URL-13 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/programmable-table/> Erişim tarihi: 08.01.2024
- URL-14 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/new-gallery/> Erişim tarihi: 08.01.2024
- URL-15 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/transformable-meeting-spaces/> Erişim tarihi: 12.01.2024
- URL-16 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/rock-printing/> Erişim tarihi: 12.01.2024
- URL-17 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/modular-and-morphable-jamming/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-18 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/slip-form-rock-jamming/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-19 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/jamming-bodies/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-20 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/active-textile/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-21 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/rapid-liquid-printing/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-22 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-pneumatics/> Erişim tarihi: 14.01.2024
- URL-23 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-to-air> Erişim tarihi: 14.01.2024
- URL-24 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-metal> Erişim tarihi: 15.01.2024
- URL-25 (2023). <https://www.youtube.com/watch?v=2Lfm1uRPqo8> Erişim tarihi: 21.12.2023
- Xia, X., Spadaccini, C.M., Greer, J.R. (2022). Responsive materials architected in space and time. *Nature Reviews Materials*. 7: 683–701.