

Introducing Responsive Kinetic System Approach to Architecture Education

Arzu Gönenç Sorguç¹; Fatih Küçüksubaşı²; Serkan Ülgen³;
Çağlar Fırat Özgenel⁴; Müge Kruşa Yemişcioğlu⁵

^{1,2,3,4,5}Orta Doğu Teknik Üniversitesi

^{1,2,3,4,5}{arzug\fatih.kucuksubasi\ulgens\fozgenel\mugek}@metu.edu.tr

Abstract. Throughout history, architecture has sought various ways to accommodate movement and change in the architectural paradigm in different ways and for different purposes. However, when architecture is constructed in such a way that it can respond and adapt to changing needs, conditions, and functions, it needs to be static rather than temporary in its nature. The way in which structures respond to ever-changing conditions is a complicated design problem and comes up with many different design quests. Moving structures and building components, designed with the help of developing technologies and interdisciplinary work, present a challenge as a current solution between the proposed methods.

Today, parametric models of computational design processes constitute the general method of performance-based design research. However, it has often been a difficult task to transfer the motion from the digital space to the physical space, from immaterial to the material. In this process, the freedom of change in the digital environment is limited by the physical constraints in the real world and requires a solution as a real architectural / engineering problem. In this transformation, architects need to have an idea about the acquisition of motion and the functioning of kinetic systems in order to have a realistic conception of the responsive structure / building components.

In the present study, METU Digital Design Studio discusses the educational approach in an interdisciplinary working environment aimed at teaching the concept of motion as a part of both the design process and the design and by this way experiencing the necessity of reconciliation between the duality of constraints of the physical environment and the freedom of the digital environment. It is located. The iterative steps in this process (storification, constructing the space, designing the kinetic systems, transformation of the space, etc.) are described in details and the student and instructor experiences are shared.

Keywords: *responsive design, kinetic systems, digital design studio*

Mimarlık Eğitiminde Tepkimeli Kinetik Sistem Yaklaşımı

Arzu Gönenç Sorguç¹; Fatih Küçüksubaşı²; Serkan Ülgen³;
Çağlar Fırat Özgenel⁴; Müge Kruşa Yemişcioğlu⁵

^{1,2,3,4,5}Orta Doğu Teknik Üniversitesi

^{1,2,3,4,5}{arzug\fatih.kucuksubasi\ulgens\fozgenel\mugek}@metu.edu.tr

Özet. Mimarlık, farklı şekillerde ve farklı amaçlar dahilinde hareketi ve değişimi mimarlık paradigmasında barındırabilmek için tarih boyunca çeşitli yollar aramıştır. Bununla birlikte, mimarlık doğası gereği değişen ihtiyaçlara, koşullara ve işlevlere cevap verebilecek, uyum sağlayabilecek şekilde kurgulanırken geçici değil, statik olmayı gerektirmektedir. Yapıların sürekli değişen koşullara nasıl cevap vereceği karmaşık bir tasarım problemi olarak karşımıza çıkmakta ve birçok farklı tasarım arayışını beraberinde getirmektedir. Gelişmekte olan teknolojilerin ve disiplinler arası çalışmanın yardımı ile tasarlanan hareketli yapılar ve yapı bileşenleri önerilen yöntemler arasında güncel bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde, hesaplamalı tasarım süreçlerinin parametrik modelleri, performansa dayalı tasarım araştırmalarının genel yöntemini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, hareketin sayısal mekândan fiziksel mekâna, malzemesizlikten malzemeye aktarılması çoğunlukla güç bir iş olmuştur. Bu aktarımla birlikte sayısal ortamdaki değişim özgürlüğü, gerçek dünyadaki fiziksel kurallar ile sınırlandırılmakta ve gerçek bir mimarlık/mühendislik problemi olarak çözüm gerektirmektedir. Bu dönüşümde, mimarların tepkimeli yapı / yapı bileşenlerinin hayata geçirilmesi hakkında gerçekçi bir kavrayışa kavuşması için, hareketin elde edilmesi ve kinetik sistemlerin işleyişi hakkında fikir sahibi olmaları gerekmektedir.

Sunulan çalışma, ODTÜ Sayısal Tasarım Stüdyosu dönem projeleri ile disiplinlerarası çalışma ortamında hareket kavramının hem tasarım sürecinin hem de tasarımın bir parçası olarak ele alınmasını ve bu sayede sayısal ortamın özgürlükleri ve fiziksel ortamın kısıtları arasındaki ikiliği uzlaştırılması gerekliliğini deneyimleyerek öğretmeyi hedefleyen eğitim yaklaşımını sürecin bileşenleri ile birlikte ele almaktadır. Bu süreç içerisindeki iteratif aşamalar (hikayeleştirme, mekanın oluşturulması, hareketli sistemlerin tasarlanması, mekanın dönüşümü gibi) detayları olarak aktarılmış, öğrenci ve eğitmen deneyimleri paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *tepkimeli tasarım, kinetik sistemler, sayısal tasarım stüdyosu*

1. Giriş

Mimarlık her zaman, farklı amaçlar için hareketi ve değişimi mimari tasarım paradigmasının içinde barındırmak için yeni yollar aramıştır. Uzamsal değişimin mimarlık ile entegre edilmesinin ilk örnekleri, taşınabilir mimaride görülebilir. Kronenburg'un de belirttiği gibi bu örnekler insanlık tarihinin ilk zamanlarına kadar uzanmaktadır (Kronenburg, 2008). "Taşınabilir" terimi, mimarlıkta kolay ve hızlı kurulabilen hareketli yapıları tanımlamakla birlikte, doğası gereği geçiciliği de işaret etmektedir. Günümüzde bu tür taşınabilir yapılar, farklı ölçek, biçim ve işlevler ile karşımıza çıkmaktadır

Buna karşın mimarlık, doğası gereği statik olmasına rağmen geçiciliği değil, değişen gereksinimlere, koşullara, işlevlere uyum sağlamayı öne çıkarmakta, geçicilik kavramı yerini farklı ölçeklerde etkileşime bırakmaktadır. Yapıların, bağlamlarının sürekli değişen koşullarına karşı gösterdikleri tepki her zaman önemli ve karmaşık bir problem alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değişiklikler sürekli, kısa zaman aralıklarında veya çok hızlı olabilir, bu anlamda mimarlığın bu değişime verdiği tepkiler çeşitlilik göstermektedir. Bu bağlamda, tepkimeli mimarlık, duyarlı mimarlık, aktif sistemler tarafından harekete geçirilen ve değiştirilen belirli bir bina sınıfını tanımlayan, göreceli yeni bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır.

Genel olarak tepkimeli mimarlık, çevresel verinin sürekli ölçümleri ile doğrudan ilişkili olup bu ölçümler, kinetik/dinamik yapı bileşenlerinin girdileri olarak ele alınmaktadır. Mimarlıkta tepkimeli tasarımın ve tepki biçimlerinin (modlarının) neler olduğuna dair birçok çalışma bulunmaktadır. Meagher tepkimeli tasarımı iki ana başlık altında incelemiştir; bunlardan biri değişen çevre koşulları ile

ilintili iken, diğeri yapı sakinlerinin aktiviteleri ve ihtiyaçlarına odaklanmaktadır (Meagher, 2015). Bu çerçevede, tepkimeli yapılar, statik yapı bileşenleri ve kinetik / mekanik sistemler ile entegre edilmiş sistem tabanlı mimarinin örnekleri olarak düşünülebilir.

Günümüzde tepkimeli mimarlık çoğunlukla mimarlıkta performatif tasarım ve performans anlayışı ile birlikte ele alınmaktadır. Koloreviç, performans kavramını, yüklenen anlamlar açısından ele almış ve performansın bir işlevin verimliliğini mi yoksa sadece bir gösteri biçimi mi olduğunu sorgulamıştır (Kolarevic, 2010). Performans hangi bağlamda kullanılırsa kullanılsın son dönemlerde karşımıza çıkan yapılarda teknoloji, değişim/etkileşim ve farklı form arayışları olarak kendini göstermektedir. Performans kavramı ile birlikte, tepkimeli mimarlık, yapının ve çevrenin, bağlamların bir parçası olan kullanıcı ile aktif birlikteliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Tepkimeli tasarımda, hesaplamalı tasarım paradigması ve parametrik araçların kullanımı, tasarımcıların mekânsal ve zamansal değişimi deneyimlemesine olanak sağlayan, malzemesiz uzama her türlü verinin entegrasyonunu mümkün kılan öğeler olarak düşünülebilir. Günümüzde, hesaplamalı tasarım süreçlerinin parametrik modelleri, performans dayalı tasarım araştırmalarının genel yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, hareketin sayısal mekândan fiziksel mekâna, malzemesizlikten malzemeye aktarılması çoğunlukla güç bir iş olmuştur. Bu aktarımla birlikte sayısal ortamdaki değişim özgürlüğü, gerçek dünyadaki fiziksel kurallar ile sınırlandırılmakta ve gerçek bir mimarlık/mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dönüşümde, mimarların tepkimeli yapı / yapı bileşenlerinin hayata geçirilmesi hakkında

gerçekçi bir kavrayışa kavuşması için, hareketin elde edilmesi ve kinetik sistemlerin işleyişi hakkında fikir sahibi olmaları gerekmektedir.

Bu bakış açısı, temel mimarlık eğitiminde öğrenciye kazandırılması gereken ve disiplinlerarası çalışmaya olanak sağlayan bir yaklaşım olarak ele alınmaktadır. Bu kapsamda, Arduino gibi düşük bütçeli ve yüksek kabiliyetli mikro denetleyicilerin sayısal tasarım eğitimi süreçlerine entegrasyonu, kinetik sistemlerin algılanması ve fiziksel dünyadaki olası problemlerin çözümü için yeni bir deneyim ortamı ve tasarımcılar için uygun bir arayüz olmaktadır. Hesaplamalı tasarım yaklaşımlarında Arduino vb. mikro denetleyicilerin kullanımı, algılayıcı verilerinin toplanmasına ve hareketin aktarımına olanak sağlamaktadır. Arduino'nun kullanıcı dostu yapısı ve Grasshopper gibi parametrik araçlar ile uyumlu çalışabilmesi, mimarlık eğitiminde değerlendirilmesini çekici kılmaktadır.

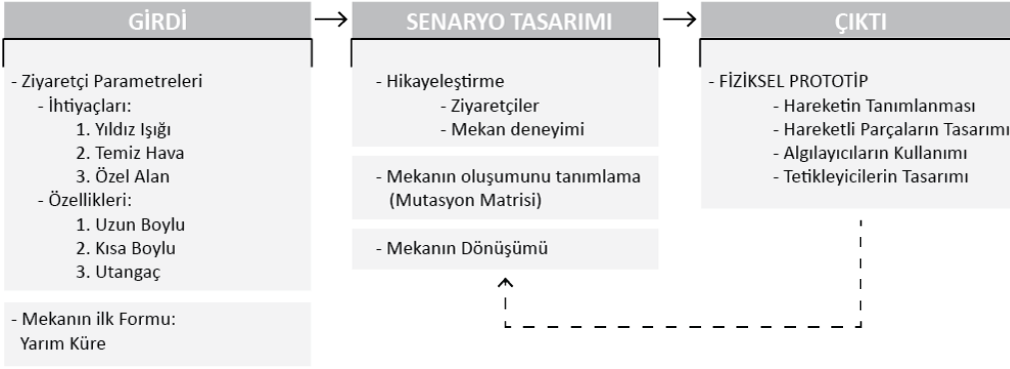
Bu bağlamda, bu bildiri kapsamında, farklı kinetik mimari sistemlerin, sayısal ve fiziksel ortamda tasarlanma ve uygulanma süreçleri hızlı prototipleme ve Arduino'nun kinetik sistem üretiminde aldığı rol ile birlikte METU | Digital Design Studio (ODTÜ | Sayısal Tasarım Stüdyosu) kapsamında geliştirilen öğrenci çalışmaları ile irdelenmektedir. Bu çalışmalar, öğrencilere değerli bir deneyim ve tepkimeli uygulanabilir tasarımlar geliştirme imkânı sağlarken mimarlıkta hareket ve tepkimeli tasarım kavramlarını hesaplamalı tasarım anlayışı ve araçları ile yeniden sorgulamalarını amaçlamaktadır.

2. Örnek Çalışma: Close Encounters (Yakın Karşılaşmalar)

Mimarlıkta tepkimeli sistemlerin tasarlanması ve uyarlanması, birbiri ile çoğu kez çelişen farklı girdilerin yapı özelinde uzlaştırılmasını gerektirmektedir. Örneğin kinetik cephe tasarımlarında, gün ışığının kullanımını arttırırken, sıcaklığı kontrol edebilmek tüm sistemin tasarımını ve yapı ile olan ilişkisini belirleyecek bir optimizasyon problemini de beraberinde getirmektedir. Tepkimeli sistemlerin yapılar da kullanımı çok boyutlu, çok değişkenli ve çok kısıtlı bir problem olarak sadece mimari değil aynı zamanda zorlu bir mühendislik problemi dir. Bu bağlamda bu modellerin üretilmesinde çok yönlü algoritmik düşünmenin önemli olmasının yanı sıra işbirlikçi disiplinlerarası bir çalışma ortamının da gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tepkimeli sistemlerin hesaplamalı yöntemler ile geliştirilmesi ve üretilmesinin hedeflendiği projede, öğrencilerin konfor alanlarından çıkarılarak tepkime anlayışının yukarıda sözü edilen çok boyutlu optimizasyon problemi özelliğinin kavranması ve öğrencilerin bu yeni düşünce sistematiğini keşfetmeleri amaçlanmıştır. Lisans eğitimleri sürecinde alışık oldukları eğitim anlayışının dışında yeni bir ortam ile tanışmaları ve dört yıllık eğitimlerinde edindikleri tasarım becerilerini bu yeni ortamın şartlarında deneyimlemelerinin yanı sıra bu ortamın gerektirdiği becerilerin edinilmesi de amaçlanmıştır.

Bu çerçevede daha önce karşılaşmadıkları, muhtemelen de karşılaşmayacakları bir tasarım problemi olan dünya dışından gelen ziyaretçiler için bir karşılaşma mekanı tasarımı kurgulanmıştır. Üretilcek olan mekanın



Şekil 1. Projelerin sürecini gösteren diyagram

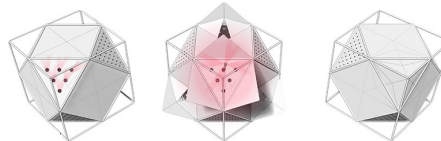
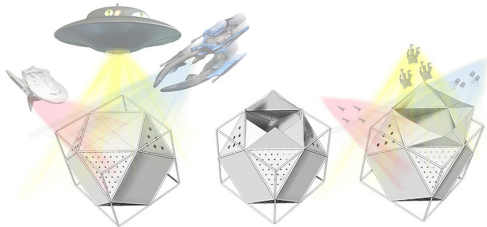
insanlar ile birlikte geleceği tahmin edilen üç yaşam formu için de uygun ortamı sağlaması, bir diyalog ortamı oluşturması gerekmektedir. Ziyaretçilerin temel yaşam ihtiyaçları, fiziksel ve kişilik özelliklerinin bir kısmı öğrencilere önceden verilmiş ve bu bağlamda öncelikle mekanın kullanıcıları olan birkaç çelişen özelliği verilmiş olan yaşam formlarını tanımlamaları, hikayeleştirmeleri istenmiştir. Bu hikayeleştirme aşamasının kişinin projenin obje ve subjeleri ile bağ kurarak ve aynı zamanda karakter ve ihtiyaçlar üzerinden parametrik tasarım girdilerini tanımlayarak projeyi içselleştirmesi amaçlanmıştır. Bu aşamanın projenin bütününde ve öğrenme sürecinde büyük bir etkisi olduğuna inanılmaktadır.

Bu bağlamda, proje süreci öntasarım ve fiziksel modelleme olarak iki aşamada ele alınmıştır ve bu süreçler doğrusal olmaktan öte süreç

boyunca birbirini dönüştüren bütünsel girdiler olarak tanımlanabilir. Girdilerin büyük bir çoğunluğunun öğrenciler tarafından tanımlandığı bu süreç Şekil 1'deki gibi özetlenebilir.

2.1 Ön Tasarım Süreci Hikayeleştirme ve Sayısal Tasarım

Öntasarım sürecinde her bireyin izlediği süreç benzerlik göstermektedir ve şöyle özetlenebilir; (1) ihtiyaçların belirlenmesi, (2) mutasyon matrisinin oluşturulması (Şekil1), (3) tasarım diyagramları (Şekil2), (4) tasarım sürecinin tasarlanması, (5) prototipleme için tasarımın bir anının belirlenmesi. Ön tasarım sürecini başarı ile tamamlayan projeler, oluşturulan öğrenci grupları ile fiziksel modelleme aşamasına devam etmişlerdir.



Şekil 2. Özlem Çavuş tarafından tasarlanan projenin ziyaretçiler ile etkileşimini gösteren diagramlar.

Şekil 3. Mutasyon Matrisi örneği (Dancing Dome, Kongpyung Moon)

	SUN-LIGHT	MELODY DOREMI	WIND	FRESH AIR	STARLIGHT	PRIVACY
FRESH AIR						
STARLIGHT						
PRIVACY						

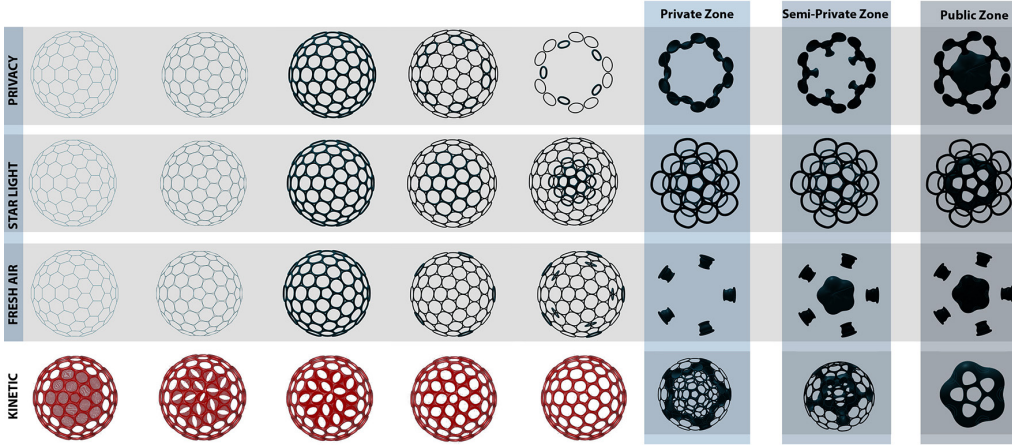
Tasarlanacak olan mekanın ne zaman ve nerede olacağı bilinemediği için öğrenci tarafından tariflenen parametrelere uyum sağlayabilecek olması gerekmektedir. Bu bakımdan, tasarımcıların tamamen farklı mekânsal ve fiziksel ihtiyaçlara sahip kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap verecek dönüşebilen bir mekân tasarımı ile tepkimeli mimarlık anlayışı ile yüzleşmeleri hedeflenmiştir. Bu dönüşüm için stüdyo sürecinde t_0 olarak tabir ettiğimiz başlangıç anının bir yarım küre olarak tanımlanması ile öğrencilerin yarım küreden yola çıkarak bu mekânı üretmeleri istenmiştir.

Böyle bir soyutlamanın sonucu olarak, tanımlanmamış/eksik tanımlanmış bir tasarım probleminin yardımıyla öğrencilerin alışkın olduğu tasarım ortamından uzaklaşarak daha zorlu bir süreci deneyimlemesi ve yaratıcı fikirlerinin serbest kalması amaçlanmıştır. Böylece, öğrencilerin, önceden tanımlanmış kurallar ile çevrili olmadıkları serbest bir alanda kullanıcıların olası ihtiyaçlarını belirlemek ve uygun çözümleri üretmeleri için destekleyici bir arayüz yaratılmıştır.

Sürecin başından itibaren beklenen sonuç ürününün karakterini (kinetik bir sistem olması gerektiğini) bilen öğrenciler bu durumu da

projelerine bir parametre olarak dahil etmişlerdir. Mekanın oluşumunu, hareketini, kullanıcı ve çevre ile olan ilişkilerini bu bağlamda tanımlamaya çalışmışlardır. Bu arayışta öğrenciler kendilerine verilen ve kendi belirledikleri parametreler ile mekanın dönüşümünü gösteren mutasyon matrislerini hazırlamaya yönlendirilmişlerdir (Şekil 3). Bu matrisler öğrencilerin projeye yaklaşımlarına göre çeşitlik göstermektedir. Örneğin mekanın oluşumunun ve tepkimesinin tek bir çıktı olarak ele alındığı projelerde tek bir diyagram ile bu durum gösterilebilirken mekanın oluşumunun belli parametrelerle tamamlanmasının ardından yapı bileşenlerinden birinin kinetik bir sistem aracılığı ile dönüşmesi projenin bu aşamasının iki ayrı etapta ele alınmasını gerektirmektedir. Bu iki durum, öğrencilerin farklı yaklaşımlarının sonucu olabildiği gibi yeni tanıştıkları ortam ile kurdukları diyalogun bir sonucu olduğu da söylenebilir. Bu bağlamda öğrenciler kendi hikayelerinin gerçekleşme sürecinin de tasarımcıları olmaktadır.

Ön tasarım aşamasının sonunda üretilen hesaplama modelleri, sanal ortamda belirlenen girdilere cevap vermekte ve üretim aşamasına geçmeye hazır hale gelmişlerdir. Bu süreç art arda süreçler olmanın ötesinde düzenli olarak



Şekil 4. Hesaplamalı diyagram örneği (“Interlocked Encounter with Paths”, Leyla Deniz ve Mert Ozan Katipoğlu)

geri besleme yapan ve kendinden önceki karar ve aşamaları dönüştüren bir süreçtir. Bu bakımdan ön tasarım aşamasında üretilen tasarımlar fiziksel modele geçiş ile birlikte bir çok önemli değişiklik / gelişim / farklılık göstermiştir. Ön tasarım sürecinin ürünleri Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de görülebilir.

2.2 Fiziksel Modelleme

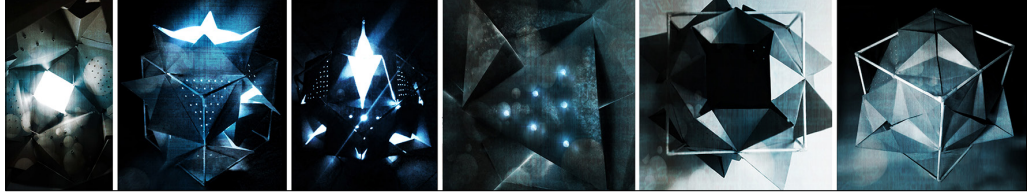
Fiziksel modelleme aşamasının başlangıcında, tasarım aşamasında kullanılacak olan donanım ve yazılım hakkındaki başlangıç eğitimleri verilmiş ve bu eğitimler öğrencileri kullanmaları gereken bileşenler hakkında daha bütünsel bir bakış açısına yönlendirmiştir. Bu ders serilerinde, öğrencilerin basit mekanizmalar, elektrik devrelerinin temelleri ve elektrikli bileşenler ile tanışmaları sağlanmıştır.

Arduino UNO [URL-1] mikro denetleyicisi, kolay kullanımı ve açık kaynaklı komut dosyalarının erişilebilirliği sebebiyle dijital modellerin uygulama aşamasında kullanılmıştır. Sayısal olarak üretilen tasarımlar, gerekli etkileşim durumunda, Arduino IDE'nin yanı sıra, Grashopper [URL-2] için Firefly yazılım araçları vasıtasıyla mikro denetleyicilere uygulanmış-

tır. Fiziksel modellerde ayrıca hareketi yorumlayabilmek için ultrasonik yakınlık algılayıcısı, fotorezistans, potansiyometre gibi algılayıcılar; eyleyiciler (Servo, DC ve step motorlar, LED'ler vb.) ve gerekli elektronik ve mekanik bileşenlere sahip sistemler kullanılmıştır. Öğrenciler, Kam ve Disk Kremayer pinyon gibi birçok mekanizmayı öğrenip tasarlarken model üzerinde gerçek zamanlı veri edinimi ve değişkenler ile çalışarak Girdi-Süreç-Çıktı (Input-Process-Output : IPO) ilişkilerini deneyimleme fırsatı bulmuşlardır.

Bununla beraber kullanılan mekanizmaların ve sistemlerin kendi kıstasları öğrenci tasarımlarının dönüşmesini zorunlu kılmış, sayısal ortamda kusursuz çalışan sistemler fiziksel ortama geçildiğinde üretimde kullanılan malzemelerin özellikleri ve sürtünme gibi sebeplerden dolayı düşünüldüğü sonuçları vermemiştir. Bu noktada fiziksel ortamın sınırlarını deneyimleyerek öğrenen öğrenciler, farklı malzeme ve sistemler deneyerek tasarımlarına en uygun bileşenleri bulmaya çalışmış, bu süreç içerisinde de sayısal ortamda yaptıkları tasarımları revize etmek durumunda kalmışlardır.

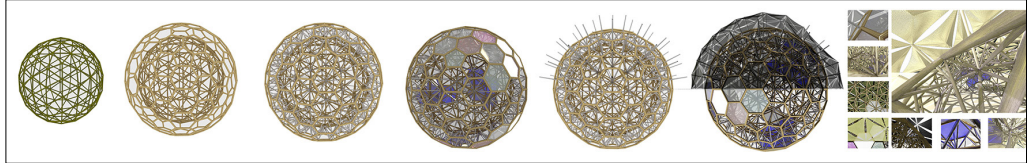
Şekil 5. Özlem Çavuş -
Origamic Dome



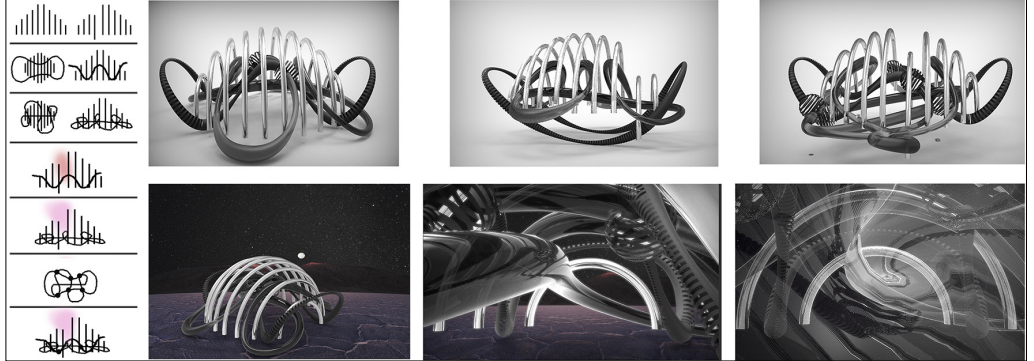
Şekil 6. Mert Ozan
Katipoğlu, Leyla Deniz -
Interlocked Encounter with
Paths



Şekil 7. Merve Okkalı, Fethi
Cangir - Collapsable Dome



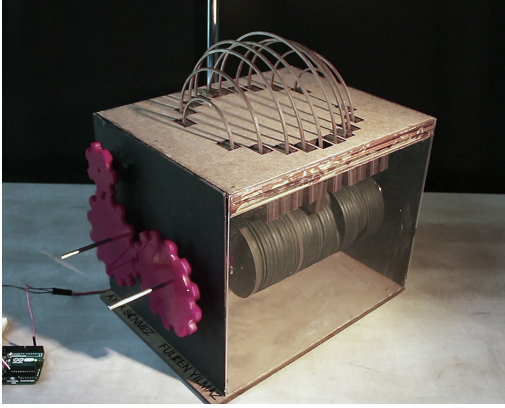
Şekil 8. Ayça Sönmez,
Fulden Yılmaz - Roller
Acting Encounters



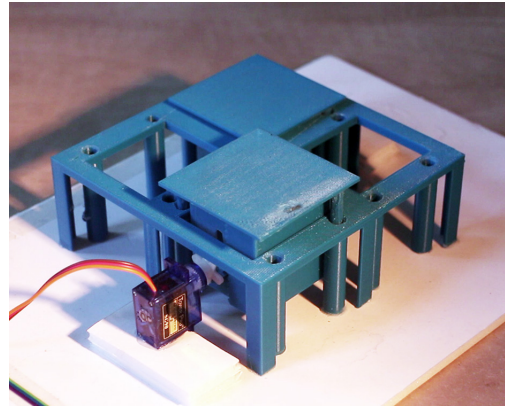
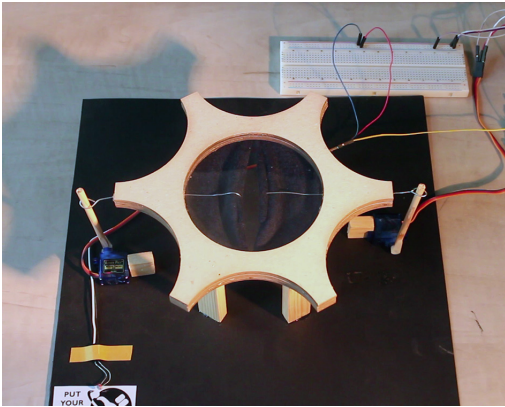
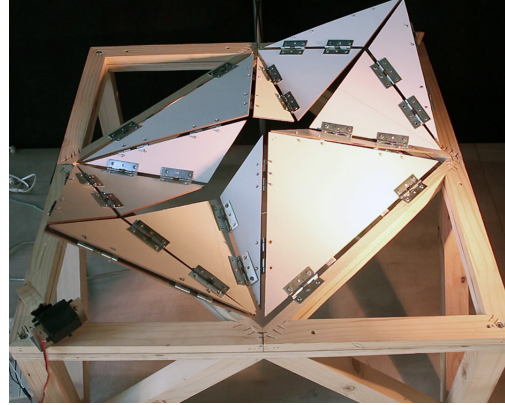
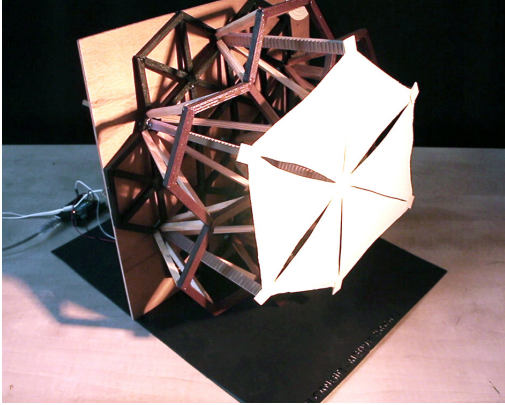
3. Sonuçlar

Mimari tasarımda birçok formda yer alan hareket (motion) kavramının, bu kez tartışılan performans kavramı ile kinetik modeller üzerinden tepkimeli tasarım ortamında araştırılması fiziksel ortamda değişen/dönüşen mekân tasarımının deneyimlenmesine olanak

sağlamıştır. Ayrıca, kinetik yapılar ve kinetik bileşenlere sahip yapıların veya mekanların, kinetik bileşenlerinin ve mekanizmalarının tasarımını nasıl etkilediği görülmüştür. Daha- sı, mimar adayları, analog ve sayısal ortamlar arasında deneyimledikleri süreç ile gelişmekte olan sayısal ortamın fiziksel ortam ile ilişkisine dair yeni bir bakış açısı kazanmışlardır.



Şekil 9. Üretilen tepkimeli tasarımların ölçekli prototipleri



Bu çalışmada, tasarım probleminin tanımlanması sürecinde konfor alanlarının dışına çıkmaya mecbur kalan öğrenciler, fiziksel üretimin getirdiği sınırlamalar ve tepkimeli tasarımlarını hayata geçirmek için kullandıkları mekanik/elektronik bileşenlerin kendi sınırları ile de yüzleşmişlerdir. Bu bağlamda öğrenciler modelleme yazılımlarının kullandıkları algoritmalar ve kütüphanelerinin dikte ettiği formlardan sıyrılarak, sayısal ve fiziksel ortam arasındaki ikiliği formun bir anının üretilmesinin ötesinde farklı fiziksel sistemlerin bir arada çalışacağı bütüncül bir algıyla keşfetmişlerdir. Öğrenciler, sayısal ortamda tasarladıkları hareketli bileşenlere sahip mekanların fiziksel ortama aktarıldığında geçirdiği dönüşüm ile yüzleşmek zorunda kalmışlardır. Bu dönüşüm, malzemesiz uzamdan, malzeme, kuvvetler ve tasarlanması gereken detaylar ile tasarım araştırmasını derinleştirmiş ve prototiplemesi yapılan son tasarım kararlarının çeşitliliğinde önemli bir rol oynamıştır (Şekil 9). Tanımlı başlangıç formu ve uygulama için kullanılabilecek sınırlı ekipmana rağmen son ürünlerdeki tasarım çeşitliliği, tasarım araştırmasının derinliğini kanıtlar niteliktedir.

Öte yandan gerçekleştirilen örnek çalışmanın, hızla gelişen teknolojilerin mimarlık eğitimi süreçlerinde tatbik edilmesi için oldukça erişilebilir ve kolaylıkla uygulanabilir bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Mimarlık öğrencilerinin temel mühendislik prensiplerini uygulayarak deneyimlemesinin disiplinlerarası çalışma kültürüne katkısı yadsınamaz bir durumdur. Bununla beraber söz konusu mühendislik yaklaşımlarının tasarım süreci içerisinde ele alınması tasarım araştırmasının derinliğini arttırarak çok boyutlu ve bütüncül tasarımların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla günümüzde her alanda ihtiyaç haline gelen dijital becerilerin bütünsel bir

yaklaşımla, tasarımdan-prototipe kadar, ele alınmasının ne denli önem kazandığı ortaya çıkmaktadır.

Teşekkür

Bu keyifli süreçte bizimle birlikte olan öğrencilerimiz Fulden Yılmaz, Merve Okkalı, Ayça Sönmez, Kong Pyung Moon, Mert Ozan Kaptıoğlu, Öykü Nur Acıcan, Ramin Rasolzade, Özlem Çavuş, Fethi Can Cangir, Canay Kara ve Leyla Deniz'e gösterdikleri özveri ve disiplinli çalışmalarından ötürü çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

KRONENBURG, R. (2008). Portable architecture: design and technology. Basel: Birkhäuser.

MEAGHER, M. (2015). Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. *Frontiers of Architectural Research*, 4(2), 159-165. doi:10.1016/j.foar.2015.03.002

KOLAREVIC, B. (2010). Performative architecture: beyond instrumentality ;. New York: Spon Press.

[URL-1] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

[URL-2] <http://www.fireflyexperiments.com/>