

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARİ KİNETİK SİSTEMLER ve PERFORMANSA
DAYALI TASARIM ÖNERİLERİ**

Yüksek Mimar Arman YAŞA

**FBE Mimarlık Anabilim Dalı Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Birgül Çolakoğlu

İSTANBUL,2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	2
1.3 Çalışmanın Yöntemi	2
2. KİNETİK MİMARLIK	3
2.1 Kinetik Mimarlığın Tanımı	4
2.2 Kinetik Mimarlığın Sınıflandırılması	6
2.3 Kinetik Mimarlık ile İlgili Örnekler	10
2.3.1 Araştırma ve Geliştirme Çalışmalarından Örnekler	10
2.3.2 Mimari Uygulamalardan Örnekler	15
3. YAPI PERFORMANSI ve KİNETİK MİMARLIK İLİŞKİSİ	21
3.1 Yapı Performansı	21
3.2 Kinetik Mimarlık ve Yapı Performansı	26
3.3 Kinetik Mimarlık, Performans ve Parametrik Tasarım	30
4. KİNETİK MİMARLIĞIN SINIFLANDIRILMASINDA YENİ YAKLAŞIM	34
4.1 Kinetik Sistemlerin Sınıflandırılmasında Künye Yöntemi	34
4.2 Künye Yönteminin Alt Öğeleri	37
5. KİNETİK SİSTEM TASARIMI İLE İLGİLİ ÖRNEK ÇALIŞMA: AMS-S	42
5.1 AMS-s Projesinin Hedefi	42
5.2 AMS-s Projesi Sistem Tasarımı	44
5.3 AMS-s Projesi Örnek Kullanım Alanları	55
6. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	66
EKLER	68
Ek 1 Quadracci pavyonu projesinin farklı sınıflandırma yöntemleri ile tanımlanması	68
Ek 2 AMS-s projesine ilişkin modelin, Grasshopper içerisindeki parametrik tanımı	72
Ek 3 AMS-s projesi kontrol mekanizmasına ilişkin Arduino kodu	73
Ek 4 Esnek kalıp sistemi ile oluşturulabilecek tek eğrilikli yüzeyler	78

ÖZGEÇMİŞ.....	80
---------------	----

KISALTMA LİSTESİ

ABI	Adaptive Building Initiative
AMS-s	Adaptable Mesh Structure System
AR-GE	Araştırma - Geliştirme
BOM	Bilgisayar Ortamında Mimarlık
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
KDG	Kinetic Design Group
LED	Light Emitting Diode
MEC-ART	Mechanical Art
NURBS	Non-Uniform Rational Basis Spline
ORAMBRA	Office for Robotic Architectural Media and Bureau for Responsive Architecture
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
v.b.	ve benzeri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yapı formuna etkiyen kuvvetler kümesi. (Zuk ve Clark, 1970)	4
Şekil 2.2 Mimarideki kinetik tipolojiler. (Fox ve Yeh, 1999).....	8
Şekil 2.3 Kinetik mimarlığın sınıflandırılması (Korkmaz, 2004)	9
Şekil 2.4 Walking City projesi [1].....	11
Şekil 2.5 Foldable Theatre projesi. [2]	11
Şekil 2.6 Hoberman Küresi. [3].....	12
Şekil 2.7 Kinetic Wall projesi. (Yeh, 1998)	13
Şekil 2.8 Folding Egg projesi. [4].....	13
Şekil 2.9 Divertimento projesi. [5]	14
Şekil 2.10 Hareketli tensegrity strüktür. [5]	14
Şekil 2.11 Korkmaz'ın geliştirdiği projelerden örnekler. (Korkmaz, 2004).....	15
Şekil 2.12 Mimari kinetik öğeler.....	15
Şekil 2.13 Ernstig depo kapıları. [7].....	16
Şekil 2.14 Kuveyt pavyonu. [8].....	16
Şekil 2.15 Valensiya bilim merkezi yıldız evi. [9]	17
Şekil 2.16 Quadracci pavyonu. [10]	18
Şekil 2.17 Bubbles projesi. [11]	18
Şekil 2.18 Kinetik strüktürlü fuar standı ve konser dekorlarından örnekler. [3].....	19
Şekil 2.19 POLA Ginza binası. [12].....	20
Şekil 2.20 Kinetik gölgelendirme sistemi. [12].....	20
Şekil 3.1 Schalke Arena stadyumu. [13]	29
Şekil 3.2 Kinetik sisteme etkiyen değişken çevre verileri.	31
Şekil 3.3 Kinetik PV panel sisteminin performans optimizasyonu	32
Şekil 4.1 Milwaukee Art Museum Quadracci pavyonu. [10].....	36
Şekil 4.2 Tuneable Sound Cloud projesi. [15].....	36
Şekil 4.3 Madrid adalet sarayı projesi. [12]	38
Şekil 4.4 Kontrol mekanizması akış şeması	40
Şekil 5.1 Çevre etkilerinin şekillendirdiği karmaşık geometriler. [16]	42
Şekil 5.2 Formların çevre verileri ile etkileşim içerisinde şekillenmesi.....	43
Şekil 5.3 Düzlemsel bir yüzeyin deformasyonlara uğraması	44
Şekil 5.4 Örgü sistemleri ile oluşturulmuş geometriler.	45
Şekil 5.5 Örgü sistemlerinin mimarideki kullanımları. [17] [18].....	45
Şekil 5.6 Örgü sistemlerinin transformasyon ve deformasyonlara uğraması.	46

Şekil 5.7 Noktaların farklı taşıyıcılar ile kontrol edildiği örgü sistemleri.....	47
Şekil 5.8 Üçgende ayırıt uzunlukları ve nokta konumları arasındaki ilişki.....	47
Şekil 5.9 Teleskopik elemanların uzama sınırlarının getirdiği kısıtlamalar.....	48
Şekil 5.10 Mafsalların getirdiği kısıtlamalar.....	49
Şekil 5.11 Noktaların sistemin hareketi sırasında kat edeceği yollar.....	49
Şekil 5.12 Formlar arası değişikliklerin sanal ortamda oluşturulması.....	50
Şekil 5.13 Formlar arası geçişte çubuk boyutlarındaki farkların hesaplanması.....	51
Şekil 5.14 AMS-s kontrol mekanizması prototipi.....	52
Şekil 5.15 Kardan mafsalları. [20].....	52
Şekil 5.16 I/O Still Robot projesi. [21].....	53
Şekil 5.17 AMS-s projesi mafsallık noktası detay önerisi.....	53
Şekil 5.18 AMS-s mekanik sistem prototipi.....	54
Şekil 5.19 Salonlardaki akustik yansıtıcı tavanlar.....	55
Şekil 5.20 Akustik tavanın AMS-s ile form değiştirmesi.....	57
Şekil 5.21 Farklı yansıtıcılara sahip aygıtların oluşturduğu yegginlik grafikleri.....	58
Şekil 5.22 Fonksiyonlara bağılı olarak ışığın yayılış biçimi. [22].....	58
Şekil 5.23 Aydınlatma aygıtının AMS-s ile form değiştirmesi.....	59
Şekil 5.24 Polikarbonat ve plaksiglasın mimarideki kullanımları. [23] [24]	60
Şekil 5.25 Isıl şekillendirme yöntemleri.....	61
Şekil 5.26 Isıl şekillendirme kalıbının AMS-s ile form değiştirmesi.....	62

ÖNSÖZ

Mimaride kullanılan kinetik sistemlerin tasarım süreçlerini ve yapı performansı ilişkilerini inceleyen bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Yüksek Lisans Programı'nda yürütülmüştür.

Tez çalışmamın oluşumu ve gelişiminde gerekli bilgi ve zamanı benimle paylaşan değerli hocam Doç. Dr. Birgül Çolakoğlu'na, yüksek lisans eğitimimdeki katkılarından dolayı BOM'daki tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, programlama ile ilgili katkılarından dolayı Berkan Çekiç'e, manevi anlamda desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen ev arkadaşım Hasan Kaya'ya, gerek profesyonel, gerekse akademik ortamda birlikte çalışmaktan keyif aldığım ortağım M. Aydın Avunduk'a, tez sürecinde yanımda olan ve her zaman yanımda olacağına inandığım Merve Dönmez'e ve tüm yaşamım boyunca her konuda maddi manevi beni destekleyen anne ve babama sonsuz teşekkürler.

İstanbul, 2010

ÖZET

Mimari yapılar, doğadaki tüm varlıklar gibi bulundukları ortama adapte olmak durumundadır. Çevrenin değişken etkilerine adapte olabilmek, ancak değişken ve hareketli öğelere sahip olmakla mümkündür. Hareketli yapı öğelerinin tasarımı, kinetik mimarlık alanı içersisinde incelenmektedir. Yapılarda kullanılan hareketli öğeler ise mimari kinetik sistemler olarak adlandırılmaktadır.

Mimari kinetik sistemlerin temel amacı, yapının çevre etkilerine adaptasyon sağlayabilmesi ve adaptasyon sonucunda yapı performansının üst düzeylere çıkarılmasıdır. Bu nedenle, mimari kinetik sistemlerin tasarım sürecindeki disiplinler arası çalışma, çevre-sistem ilişkilerinin tanımlanması ve performans optimizasyonu açısından önem taşımaktadır.

Tez çalışması kapsamında, kinetik sistemlerin yapı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Hedef doğrultusunda, yapı performansını destekleyecek mimari kinetik sistemler ile ilgili deneysel bir proje geliştirilmiştir. Tez çalışmasının diğer amacı, mimari kinetik sistemleri ve sistemi oluşturan öğeleri sistematik biçimde gruplandıracak bir sınıflandırma yöntemi geliştirmektir.

Tez çalışması iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada mimari kinetik sistemler ve yapı performansı ile ilgili mevcut çalışmalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda elde edilen veriler, deneysel projenin ve sınıflandırma yönteminin geliştirilmesine alt yapı oluşturmıştır. Tezin ikinci aşaması iki çalışmadan oluşmaktadır. İlk çalışmada, mimari kinetik sistemleri oluşturan tasarım öğeleri, sistematik biçimde gruplandırılarak tanımlanmıştır. Tanımlanan gruplar, mimari kinetik sistemlerin sınıflandırılmasına yönelik bir yöntem önerisi olarak sunulmuştur. İkinci çalışmada, yazar tarafından geliştirilen deneysel proje üzerinden mimari kinetik sistemlerin yapı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sonuç olarak, tez kapsamında geliştirilen mimari kinetik sistemlerin sınıflandırılmasına yönelik öneri yöntem, kinetik mimarlık alanında yapılacak araştırma ve değerlendirme çalışmalarına olumlu katkılarda bulunabilir. Mimaride serbest geometrik formların adaptasyonunu sağlamak amacı ile geliştirilmiş örnek projenin ise yapı performansını destekleyecek özelliklere sahip bir proje olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kinetik mimarlık, mimari kinetik sistemler, yapı performansı, parametrik tasarım, sınıflandırma, serbest geometrik formlar

ABSTRACT

Architectural structures have to adapt their surrounding like all beings in nature. Adaptation to the changing facts of the surrounding can only be realized by using variable and kinetic components. Design of kinetic building components is investigated in the kinetic architecture discipline and those components used to build up the constructions are called kinetic architectural systems.

The main goal of kinetic architectural systems is the adaptation of building to the surrounding circumstances, hence, improvement of building performance through adaptation. Therefore, the interdisciplinary work in the design stage of kinetic architectural systems is very important for defining system-surrounding interactions and performance optimization. The aim of the thesis is examining and developing the effects of the kinetic systems on building performance. To achieve this aim, an experimental kinetic system project designed for supporting building performance. Another aim of the thesis is the development of a classification method which can systematically group the kinetic architectural systems and its components.

The thesis has been carried out in two sections. In the first section, current studies relating to kinetic architectural systems and their construction performance were reviewed. The data obtained thereby has been the basis for the development of classification method and the experimental project. Second section consisted of two subsections. First, design units which form the kinetic architectural systems were defined with a systematical classification and the defined groups were presented as a method proposal for the classification of kinetic architectural systems. Following that, effects of kinetic systems on building performance examined by the experimental project which designed by writer of the thesis .

To conclude; the proposed method on the classification of kinetic architectural systems, which was derived during this thesis, may contribute to the further research and investigation in this area. The experimental project which aimed to create adaptable free-form structure system has a potential for developing performance values in buildings.

Keywords: Kinetic architecture, architectural kinetic systems, building performance, parametric design, classification, free form geometries

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Ölçeği ne olursa olsun tüm mimari öğeler, fonksiyonel ve sosyal ihtiyaçlara cevap verecek nitelikte tasarlanıp inşa edilirler. Yapıların statik duruşunun aksine, ihtiyaçlar sürekli bir devinim içerisinde. İhtiyaçların değişkenliği, yapılarında değişken, hareketli öğelere sahip olması gerekliliğini ortaya koyar.

İnsanoğlu, barınma ihtiyaçlarını kendi ürettikleri barınaklarla karşılamasından bu yana, hareketli sistemleri yapıların çeşitli öğelerinde kullanmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte, değişken çevre koşullarına uyum sağlama gerekliliği ortaya çıktığı andan itibaren ise mimaride kinetik sistemler önem kazanmıştır. Bunun yanında mekanik, bilgisayar ve malzeme konusundaki gelişmeler, mimaride kinetik sistemlerin uygulanabilirliğini arttırmıştır.

Tüm bu gelişmelere karşılık, kinetik sistemlerin yapı tasarımında kullanımına ilişkin çalışmalar kısıtlı düzeyde kalmıştır. Kinetik mimarlık başlığı altında yapılmış olan akademik çalışmalarda, kinetik sistemlerin yapı tasarımında kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuş ve mimari kinetik sistemlerin sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Kinetik sistemlerin performans verileri ile ilişkilerine dair çalışmalar ise literatürdeki örnek proje çalışmaları üzerinden incelenmiş, konu ile ilgili sistematik bir araştırma yapılmamıştır. Yapıda kullanılan kinetik sistemlerin tasarım süreçlerinde kullanılan bilgisayar destekli parametrik tasarım araçlarına ve bu araçların yapı performansı – kinetik sistem ilişkisi üzerindeki etkilerine yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Mimari kinetik sistemlerin tasarımı, kinetik sistemlerin sahip olduğu mekanik ve elektronik öğelere bağlı olarak, disiplinler arası bir çalışma gerektirmektedir. Disiplinler arası çalışmalarda, özellikle mühendislik formasyonlarının ihtiyaç duyduğu ilişkilendirilmiş tasarım yöntemleri, çalışmanın başarımını belirleyen önemli bir etkidir. Bu bağlamda mimari kinetik sistemlerinin tasarım süreçlerinde kullanılacak araçlar, incelenmesi ve geliştirilmesi gereken bir çalışma alanıdır.

Tez, kinetik sistemlerin yapı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesini ve geliştirilmesini hedeflemektedir. Hedef doğrultusunda, serbest formlu yapı bileşenlerinin formlarını kontrol edebilecek bir strüktür sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilecek projenin yapı performansını destekleyecek nitelikte olması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının diğerk bir hedefi, kinetik mimarlık alanındaki çalışmaların, sistematik olarak sınıflandırılmasına yönelik bir yöntem geliştirmektir. Sınıflandırma yönteminin, kinetik mimari sistemleri oluşturan tüm öğeleri, karşılaştırmaya ve değerlendirmeye uygun biçimde tanımlaması amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Tezin gövdesini kinetik mimarlık ve yapı performansı ile ilgili araştırmalar oluşturmaktadır. Geliştirilecek mimari kinetik sistem önerisine ait alt yapı verilerin oluşturulması amacıyla, mimari kinetik sistem tasarımına yönelik mevcut akademik çalışmalar ve uygulamalardan örnekler incelenmiştir. Yapı performansı ve mimari kinetik sistemlerin ilişkilendirilmesine yönelik araştırmalarda Branko Kolarevic'in derlemeleri anahtar olarak kullanılmıştır.

Tez kapsamında, bilgisayar destekli parametrik tasarım araçlarının, kinetik sistemlerin tasarım süreçleri üzerindeki etkileri yazar tarafından geliştirilen örnek proje çalışması aracılığı ile okuyucuya aktarılmıştır. Örnek projenin tasarım sürecinde parametrik tasarım araçlarının, yapı performansı – kinetik sistem ilişkisi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Eğrisel geometrilerin tanımlanmasına yönelik analizler ve kinetik sistemlerin kontrolünü sağlayan elektronik platformun programlanmasına dair araştırmalar örnek proje kapsamında okuyucuya aktarılmıştır.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışması iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşama, yapı tasarımında kullanılan kinetik sistemlere ve yapı performansı - kinetik sistem ilişkilerine yönelik araştırmalardan oluşmaktadır. Yapı tasarımında kullanılan kinetik sistemler ile ilgili araştırmalarda, konu ile ilgili literatürdeki projeler ve akademik çalışmalar hem kavramsal hem de teknik açıdan incelenmiştir. Yapı performansı - kinetik sistem ilişkisi ile ilgili çalışmalarda, performansa yönelik tasarım sürecinin analizine ve kinetik sistemlerin yapı performansı üzerindeki etkilerine dair incelemelerde bulunulmuştur.

Tezin ikinci aşaması iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tezin ilk aşamasında yapılan araştırmalar değerlendirilerek, mimari kinetik sistemlerin sınıflandırılmasına yönelik yöntem önerisi geliştirilmiştir. İkinci bölümde, yazar tarafından geliştirilen deneysel proje üzerinden, bilgisayar destekli parametrik tasarım araçlarının, mimari kinetik sistem tasarımı üzerindeki etkileri ve yapı performansı – kinetik sistem ilişkileri incelenmiştir.

2. KİNETİK MİMARLIK

Fizik biliminde hareket, bir cismin belirli bir referans noktasına göre, zamana bağlı olarak yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Hareket cisme uygulanan etkinin sonucudur. Canlılar da bu nedenle hareket halindedirler. Yaşadıkları çevre ile devamlı etkileşim halinde bulunan canlılar, fiziksel ya da psikolojik olarak çevre etkilerine maruz kalırlar. Yaşamlarını sürdürebilmek için ya çevre şartlarına adapte olmak ya da bulundukları çevreyi terk etmek zorundadırlar.

Yapılar da canlılar gibi sürekli çevre etkilerine maruz kalır. Yapılar, çevre etkileri karşısında yaşamlarını sürdürebilmek için iç ve dış etkilere karşı koyabilecek nitelikte tasarlanırlar. Etkilerin bir kısmı, ancak adapte olarak karşı koyulabilecek etkilerdir. Adaptasyonun sağlanabilmesi için durağan öğelerin yetersiz kaldığı durumlarda, hareketli elemanlar yapı tasarımı içerisinde yer almaktadır. Böylelikle yapılar da, canlılar gibi çevre etkilerine karşı tepki göstermektedir. Aristoteles'in "mimarlık, insan hareketleri ve yaşamın yansımasıdır." ifadesi de bu fikri desteklemektedir.

Mimarlıkta hareketli öğelerin kullanımı Kinetik Mimarlık olarak isimlendirilmiştir. Kinetik kelimesi Yunancada hareket anlamına gelen 'kineo' kelimesinden gelmektedir. Yani kinetik mimarlık, mimarlıkta hareket veya hareketli mimarlık olarak yorumlanabilir.

Diğer bütün tasarımlarda olduğu gibi yapılarda da hareketli öğeler halihazırda kullanılmaktadır. Kapılar, pencereler, yürüyen merdivenler, asansörler, açılır-kapanır tenteler basit örneklerdir. Bu basit örnekler yalnızca kolay fonksiyonları yerine getirmekte ve küçük ölçekli adaptasyonları sağlamaktadır. Günümüzde yapılar, kaynakların verimli kullanımı açısından birçok fonksiyonu bir arada sağlamalıdır. Bu sebeple, yapıların mümkün olduğunca çok çevre verisine adapte olabilmesi gereklidir. Birçok değişken veriye adapte olmak, esnek tasarımlar gerektirir. Esneklik ise yine hareketi ön plana çıkarmaktadır. Aynı yapı içerisinde farklı fonksiyonları sağlamak, bunun yanında değişken çevre verilerine uyum göstermek ve maksimum performansa ulaşmak için yapıyı oluşturan öğelerin, hatta yapının kendisinin hareketli olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

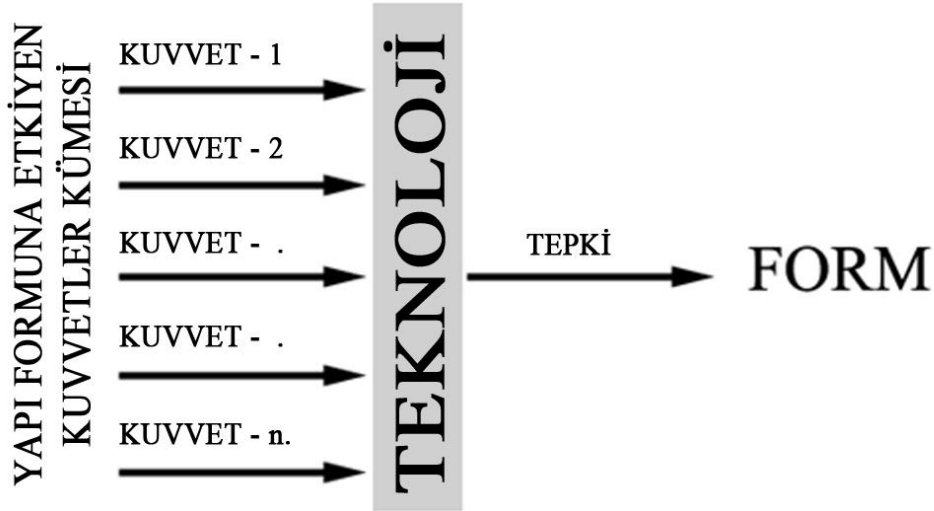
Kinetik mimarlık, mimaride hareketi inceleyen bir alt başlık olarak önemi artan bir çalışma alanıdır ve diğer meslek dalları ile dolaylı ya da dolaysız olarak ilişki içerisinde. Bu bağlamda kinetik mimarlığı ve kinetik mimarlığın çalışma alanını metodolojik biçim de tanımlanması gerekir.

2.1 Kinetik Mimarlığın Tanımı

Primitif formlar, sınırlı ihtiyaçlara cevap verecek nitelikteki, basit organizasyonların sonucudur. Günümüzde ise hızla değişen çevre, basit organizasyonların karşılamayacağı, karmaşık ve değişken ihtiyaçları ortaya koymaktadır. Bu ortamda başarılı ürünler yaratabilmek için değişikliklere cevap verebilecek tasarımlar üretmek gereklidir.

Doğada formlar çevre etkilerine doğrudan tepki göstererek şekillenirler. Örneğin bir kum tepesi, rüzgarın hızı, yönü ve çevredeki diğer tepelerin o andaki konumu ve şekline göre sürekli formunu değiştirir. Doğal formlar sürekli bir adaptasyona tabidir. Sistem içerisindeki etki-tepki döngüsüne adapte olamayan formlar ise yok olurlar. (Zuk ve Clark, 1970)

Doğada formlar, çevre etkilerine direkt tepki göstererek şekillenseler de, mimarlık gibi insan ürünü karmaşık yapıların tasarımında, tasarımcılar çevre etkilerini yorumlarlar. Tasarımcıların hedefi, mümkün olduğunca fazla etkiye cevap verebilecek tasarımları şekillendirmektir. Buradaki problem, çevre etkilerinin oluşturduğu dokunun zaman içerisinde durmaksızın değişmesidir. Birçok çevre verisinden oluşan yapıya etkiyen kuvvetler kümesi, (Şekil2.1) bir elemanın değişiminde dahi farklı bir dokuyu ortaya koymaktadır. Tasarımcılar ise formları ancak sabit bir kümeye cevap verebilecek şekilde oluşturmaktadır.(Zuk ve Clark, 1970)



Şekil 2.1 Yapı formuna etkiyen kuvvetler kümesi. (Zuk ve Clark, 1970)

Tasarımın formunu oluşturan sonuç ürün kümesinin birden fazla elemana sahip olması, tek bir problemin çözümü için birden fazla forma ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Dolayısıyla problemin çözümü, değişken verilere adapte olabilecek formlar ve tasarımlar geliştirmektir. Kinetik mimarlığın amacı da değişken çevre içerisinde yapıların hayatlarını sürdürebilmeleridir. Bu hedefe ulaşmanın anahtarı ise hareket ve adaptasyondur.

Mimarlık kelimesinin kapsamını belirlemek oldukça güçtür. Mimarlık, mimari ve mimar kelimeleri, bilgisayar alanı dahil olmak üzere her türlü tasarım alanı içerisinde tasarımı ve tasarımcıyı tanımlamak üzere kullanılan kelimedir. Fakat mimarlığın temel konusu yapı, yapı elemanları ve yapı çevresinin tasarımıdır. Kinetik mimarlık, değişken konumu, geometrisi ve hareketleri olan, yapı ve/veya yapı elemanları ile tanımlanır. Kinetik yapılardaki gerekli hareketleri sağlayabilmek için bütün seçenekler göz önünde bulundurulmalıdır. Kinetik yapı çözümleri, gerek basit geometri operasyonlarını (kayma, döndürme, katlama vb.) gerekse daha karmaşık mekanik, kimyasal veya pnömatik sistemleri içerebilir. (Fox, 2001)

Kinetik mimarlık, yapı tasarımı dahilindeki bütün hareketli durumları kapsayan bir çalışma alanıdır. Dolayısıyla, yapının bütünüyle hareketli olması veya yapı çözümleri içerisindeki bileşenlerin ve elemanların hareketi söz konusudur. Her iki durumda da yakın çevre ilişkileri önem kazanmaktadır. Yapı dahilindeki hareketlerde, yapısal, fonksiyonel, geometrik ilişkiler ön plandadır. Çünkü bu ölçekteki hareketler, yapının iç dinamikleri ile sınırlıdır. Buna karşılık yapının hareketi söz konusu olduğunda, ölçeğe bağlı olarak çevresel ilişkiler önem kazanmaktadır.

Yapılar bulundukları çevre ile ilişki içerisinde ve kendileri de bir çevre verisi oluşturmaktadır. Hareketli yapılar da ise bu veriler sürekli değişkenlik gösterecektir. Hareketli yapılar çevreden aldıkları veriye veya sağlayacakları fonksiyona göre hareketlilik gösterir. Yapı veya büyük ölçekli bir yapı bileşeni (çatı, cephe v.b) hareket ettiğinde, yarattığı çevre etkisi değişir. Dolayısıyla çevrenin de bu etkiye karşı göstereceği bir tepki olmalıdır. Bu etki ve tepkinin de zamanı bağlı olarak tasarlanıp programlanması gerekir. Bu görevde yine kinetik mimarlık alanında çalışacak mimarların görevlerinden biridir.

Kısaca, hareketli yapıların ve/veya hareketli yapı bileşenlerinin tasarımı ve bu öğelerin çevreleri ile olan ilişkilerinin programlanması, kinetik mimarlık kapsamındadır.

Kinetik mimarlıkla ilgili çalışmalar hareket bilimiyle doğrudan ilişkilidir. Cisimlerin hareketlerini inceleyen bilim dalı klasik mekanik olarak adlandırılır. Klasik mekanik üç ana başlık altında incelenir;

- Statik
- Dinamik
- Kinematik

Yapı tasarımında en çok kullanılan mekanik dalı statiktir. Çünkü yapılar, iç ve dış etkenlerin yapıya uygulamış olduğu kuvvetler doğrultusunda ayakta kalabilmedir. Ancak, yapıların

tamamıyla statik olarak tasarlanması çevre adaptasyonunu ve yapı performansını olumsuz etkilemektedir. Yapıların adaptasyonu sağlayacak olan hareketli tasarımlar, dinamik ve kinematik dallarını da yapı tasarımının içine dahil etmektedir.

Yapıda hareketli elemanların tasarımı, kinematik metotların kullanımı ile mümkündür. (Korkmaz, 2004) Bu yüzden tasarımcılar ve mimarlar, tasarladıkları ürünlerin hareket geometrilerini ve hız-zaman ilişkilerini etüt etmek zorundadırlar. Kinematik açıdan etüt edilen tasarımlar onlara etki eden kuvvetlerin etkilerini çözümlmek için dinamik açıdan da incelenmelidir. Dinamik, cisim hareketlerinin kuvvetlerle olan ilişkilerini incelediğinden, tasarımların dinamik analizleri ve çözümleri inşaat ve makine mühendisliğinin konusudur. Bu açıdan bakıldığında kinetik yapı tasarımı da diğer mimarlık uygulamalarında olduğu gibi birçok disiplini ilgilendiren bir tasarım alanıdır. Diğer mimarlık alanlarından farklı olarak kinetik yapı tasarımında mekanik tasarım, daha önce hiç olmadığı kadar mimarlıkla iç içe olan bir formasyondur. Kinetik yapı tasarımını ilgilendiren bütün disiplinleri koordine etmek, yine mimarların görevidir. Bu sebeple, kinetik mimarlık üzerine çalışmak isteyen mimarların, mekanik alanında temel bilgilere sahip olmaları gerekir.

Kinetik mimarlık, yapıların veya yapı bileşenlerinin, değişken çevre verileri doğrultusunda adapte olabilmelerini hedefleyen bir çalışma alanıdır. Yapıların adaptasyonunu sağlayacak hareketlerin kinematik analizi ve tasarımı ise kinetik mimarlığın çalışma konusudur.

2.2 Kinetik Mimarlığın Sınıflandırılması

Kinetik tasarımlar, farklı çevre koşullarına karşılık, boyutlarını ve geometrik formlarını çeşitli kinetik reaksiyonlarla değiştirirler. Kinetik sistemler, strüktürel ve mekanik fonksiyonları birlikte karşılayan sistemlerdir. Mekanik hareket ise mekanizma gerektiren bir durumdur. Bu nedenle, mimaride kinetik sistemler yapısal makineler olarak değerlendirilebilir.

Kinetik mimarlık, adaptif mimarlık ve inşaat mühendisliğinin kesişim noktasında bulunan bir formasyondur. Bu da yeni inşa tekniklerini, farklı enerji sistemlerini ve alışılmışın dışında estetik anlayışları ortaya koymaktadır. Yeni tekniklerin uygulanması ise ancak ileri bilgisayar araçlarının kullanımı ve malzeme teknolojilerinin geliştirilmesi ile mümkündür. (Korkmaz, 2004)

Kinetik mimarlık, çeşitli teknik formasyonları bir arada kullanmak zorunda olan bir tasarım alanıdır. Yardımcı alanların çeşitliliği ve kullandıkları ileri teknoloji, kinetik mimarlık ürünlerinin çeşitliliğini arttırmakta ve tasarım süreçlerini alışlagelmişin dışına taşımaktadır.

Kinetik mimarlık, mimarlığın bir alt dalı olarak araştırılması gerekli bir tasarım alanıdır. Mevcut örneklerin incelenebilmesi ve yeni örneklerle bir referans oluşturabilmesi için alanın metodolojik olarak sınıflandırılması gereklidir.

Kinetik mimarlık hakkında yapılmış olan mevcut bilimsel çalışmalarda, üç farklı sınıflandırma yaklaşımı mevcuttur. Bu üç yaklaşımın en eskisi, William Zuk ve Roger H. Clark'ın 1970 yılında Kinetik Architecture isimli kitapta yaptıkları sınıflandırmadır. İleriki yıllarda yapılan çalışmalar, Kinetik Architecture kitabını referans alarak sınıflandırma çalışmalarını geliştirmişlerdir.

Zuk ve Clark çalışmalarında öncelikle kinetik sistemleri adaptasyon yeteneklerine göre sınıflandırmış ve bu sınıflandırmayı makine seviyeleri olarak 4 başlıkla isimlendirmişlerdir;

- 1. Seviye Makineler: Tek fonksiyonlu
- 2. Seviye Makineler: Değişken fonksiyonlu ve çok fonksiyonlu
- 3. Seviye Makineler: Otomatik kontrollü, değişken fonksiyonlu
- 4. Seviye Makineler: Otomatik kontrollü, öğrenebilen ve değişken fonksiyonlu

Bu sınıflandırma, makinelerin teknolojilerini sınıflandırmayı hedeflemiştir ve mimarlıkla doğrudan ilişkilendirilmemiştir, fakat yaptıkları diğer sınıflandırma ve daha sonraki çalışmalar için bir altlık oluşturmuştur.

Çalışmadaki diğer sınıflandırma ise kinetik sistemlerin uygulamalarda hangi amaçlarla kullanılabileceğini göstermeyi hedeflemiştir. Kullanılan yöntem, sınıflandırmanın her dalının mevcut uygulamalarla veya örnek deneysel bir proje ile açıklanması şeklindedir. Kinetik mimaride uygulamalar sınıflandırılması 8 başlıkta incelenmiştir;

- Kinetik Kontrollü Statik Yapılar
- Dinamik Olarak Kendi Kendine Kurulabilen Yapılar
- Kinetik Bileşenler
- Dönüşebilen Yapılar
- Adım Adım Değişebilen Yapılar
- Deforme Olabilen Yapılar
- Mobil Yapılar
- Eklenip Çıkarılabilen Parçalı Yapılar (Zuk ve Clark, 1970)

Bu sınıflandırmada yapısal çözümler ölçeğine, strüktürel özelliklerine ve kontrol mekanizmalarına bakılmaksızın yalnızca kinetik sistemlerin mimarlıkta hangi alanlarda kullanılabileceği sınıflandırılmıştır.

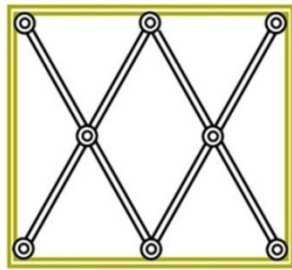
Michael A. Fox ve Bryant Yeh 1999 yılında yayınladıkları Intelligent Kinetic Systems isimli makalede, kinetik mimari tasarımı üç ana araştırma kategorisine ayırmıştır;

- Yapısal Yenilikler ve Malzeme Teknolojisindeki Gelişmeler
- Mimarideki Kinetik Tipolojiler
- Kontrol Mekanizmaları (Fox ve Yeh, 1999)

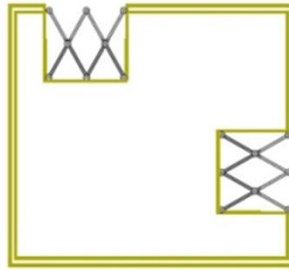
Yapısal yenilikler ve malzeme teknolojileri açısından yapılan sınıflandırmada alt başlıklar kullanılmamış fakat *yollar* ve *araçlar* olarak iki farklı yaklaşımdan bahsedilmiştir. *Yollar*, mevcut örneklerde sıkça kullanılan, katlanma, kayma, dönme gibi basit geometrik dönüşümlerin kullanılmasıyla, geometrilerin şekil ve boyut değiştirmesinin incelenmesini önermektedir. *Araçlar* ise yeni malzemelerin ve mekanik alanındaki pnömatik, kimyasal ve manyetik gibi henüz mimarlıkta çokça kullanılmayan alanların araştırılmasına dikkat çekmiştir. (Fox, Yeh, 1999)

Mimarideki kinetik tipolojiler başlıklı araştırma konusu ise kinetik yapıları hareket ölçeklerine göre değerlendirmektedir. Bu başlık üç alt dala ayrılmıştır; (Şekil 2.2)

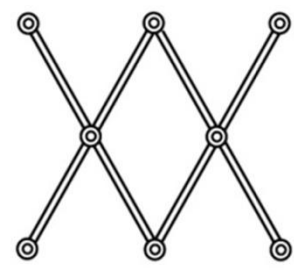
- Gömülü Kinetik Yapılar: Sabit bir konumdaki, mimari bir bütünün, tümüyle ya da çatı cephe gibi büyük bileşenlerinin kinetik sistemlere sahip olduğu yapılardır.
- Kurulabilir Yapılar: Geçici bir konumda kurulup daha sonra kolayca taşınabilen yapının tamamen hareket ettiği yapılardır.
- Dinamik Kinetik Yapılar: Dinamik sistemler, mimari bütün içerisinde hizmet veren küçük ölçekli hareketli bileşenleri tanımlar. Bu sistemler hareketli, dönüştürülebilir ya da eklemeli modüler sistemler olabilir. Bu sistemlere sahip yapılarda Dinamik kinetik yapılar olarak adlandırılmaktadır. (Fox, Yeh, 1999)



Gömülü Kinetik
Yapılar



Dinamik Kinetik
Yapılar



Kurulabilir
Kinetik Yapılar

Şekil 2.2 Mimarideki kinetik tipolojiler. (Fox ve Yeh, 1999)

Kontrol mekanizmaları ise Zuk ve Clark'ın makine seviyeleri sınıflandırması referans alınarak incelenmiştir, fakat teknolojiadaki gelişmeler ve yeni uygulamalar göz önünde bulundurularak sınıflandırma geliştirilmiştir. Kontrol mekanizmaları ise 6 başlık altında incelenmiştir;

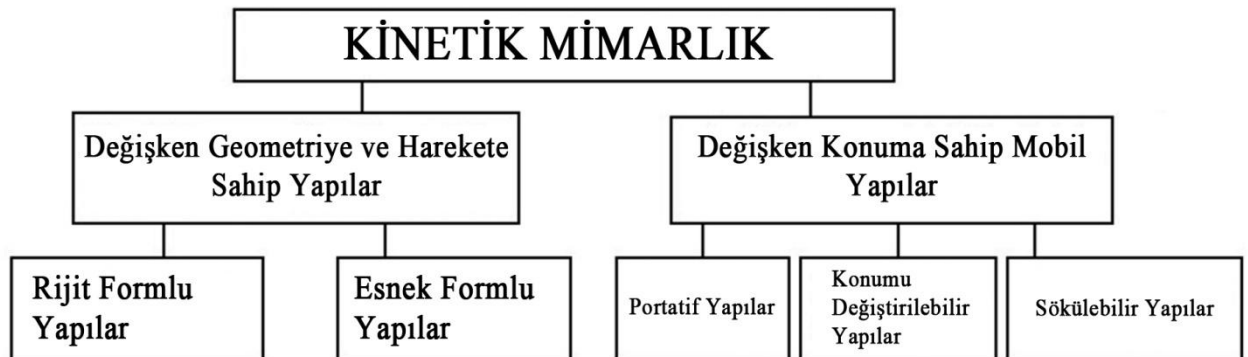
- Dahili Kontrol Mekanizmaları
- Direkt Kontrol Mekanizmaları
- Dolaylı Kontrol Mekanizmaları (Algılayıcı geri bildirimli, Bilgisayar Kontrollü)
- Tepkili (Duyarlı) Dolaylı Kontrol Mekanizmaları
- Çoklu Tepkili (Duyarlı) Dolaylı Kontrol Mekanizmaları
- Öğrenebilen Tepkili (Duyarlı) Dolaylı Kontrol Mekanizmaları

Kinetik mimarlık konusunda yapılan son sınıflandırma ise Koray Korkmaz tarafından 2004 yılında yapılmıştır. Korkmaz, doktora tezi kapsamında yaptığı sınıflandırmasını Michael Fox'un kinetik mimarlık tanımını referans alarak kurgulamıştır. Buradan yaptığı çıkarımla kinetik mimarlığı iki ana başlığa ayırmıştır; (Şekil 2.3)

- Değişken Geometriye ve Harekete Sahip Yapılar
- Değişken Konuma Sahip Mobil Yapılar

Değişken geometriye ve harekete sahip yapılar ise strüktürlerine göre yine iki alt başlıkta incelenmiştir;

- Rijit Formlu Yapılar
- Esnek Formlu Yapılar



Şekil 2.3 Kinetik mimarlığın sınıflandırılması (Korkmaz, 2004)

Bu alt sınıflandırmada ise rijit formlu yapıları çubuk strüktürler ve yüzey strüktürleri olarak iki dala ayırmıştır. Daha sonra ise çubuk strüktürlü yapıları kaplama malzemelerine göre ikiye ayırarak incelemiştir.

Değişken konuma sahip, mobil yapıları ise üç ana başlıkta incelemiştir;

- Portatif Yapılar
- Konumu Değiştirilebilir Yapılar
- Sökülebilir Yapılar (Korkmaz, 2004)

Korkmaz'ın çalışması kinetik yapıların strüktürel özellikleri ve kinematik çözümleri ile ilgilidir. Bu sebeple Korkmaz, sınıflandırmasını kinetik yapıların strüktürlerine yönelik olarak düzenlemiştir. Yapıların konumlarının değişken olması, yapıların strüktürel özelliklerini etkilediği için değişken konuma sahip yapılar da sınıflandırma içerisinde yer almıştır.

2.3 Kinetik Mimarlık ile İlgili Örnekler

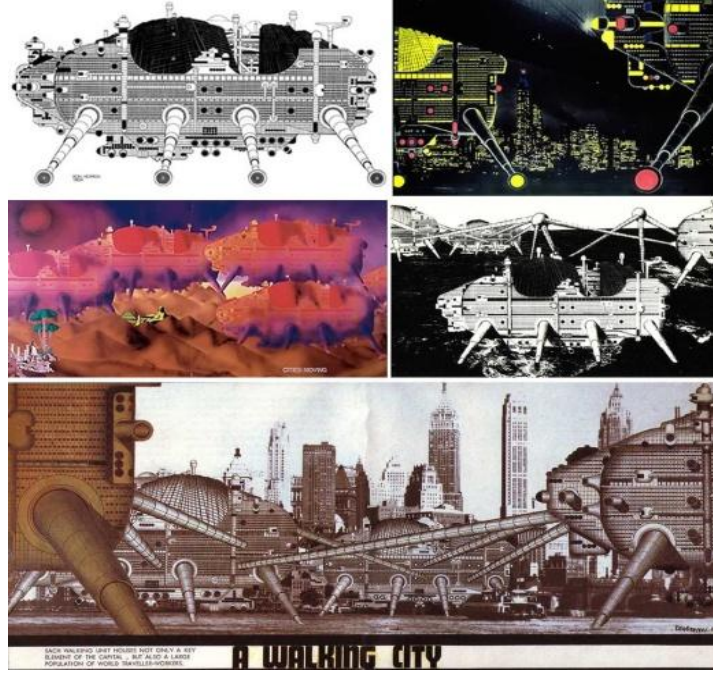
Son yıllarda, gerek akademik ortamda gerekse profesyonel alanda mimaride kinetik sistemlerin kullanımı ile ilgili araştırma-geliştirme (AR-GE) çalışmaları hız kazanmıştır. Bu AR-GE çalışmalarından edilen kazanımlar, mimari uygulamalara altyapı oluşturmuştur.

Kinetik mimarlık ile ilgili çalışmaların, AR-GE çalışmaları ve uygulama örnekleri olarak incelenmesi, birbirlerini nasıl etkilediklerini anlamak açısından önemlidir. Örneklerin incelenmesinde, mimaride, özellikle kinetik sistemlerle ilgilenen kişilerin veya grupların çalışmalarına öncelik verilmiştir. Projeler arası bilgi ve teknoloji aktarımının takibi açısından da projeler kronolojik sıralamayla incelenmiştir.

2.3.1 Araştırma ve Geliştirme Çalışmalarından Örnekler

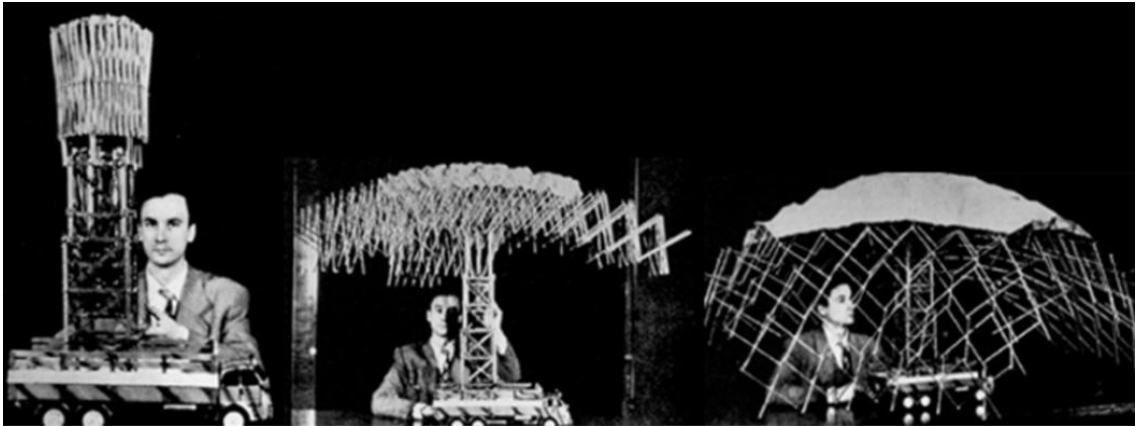
Archigram, 1960'lı yılların başında Londra'da kurulmuş sıra dışı bir mimari gruptur. Çağının ötesinde, sıra dışı fakat ilham verici önerilerde bulunan Archigram grubu yapıların ve yapı bileşenlerinin hareketli olmasına ilişkin çalışmalar yapmıştır. Archigram, mimaride büyük ölçekli elemanların hareket edebileceği fikrinin oluşmasına önder olmuştur.

Projelerden biri Ron Herron'un 1964 yılında önermiş olduğu "Walking City" projesidir. Proje hareket edebilen devasa kapsüllerden oluşmaktadır. Kapsüller içlerinde kendi kendine yetebilecek küçük şehirler taşımaktadır. Bağımsız olarak hareket edebilen kapsüller, çeşitli istasyonlara ve birbirlerine bağlanarak insan ve ürün değişimi yapabilecek biçimde düşünülmüştür. [1] (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 Walking City projesi [1]

Hareketli sistemler ilgili çalışmalar yapan diğer bir öncü Emilio Perez Pinaro'dur. Buckmisinter Fuller'in öğrencilerinden olan Pinaro, otomatik olarak açılıp kapanabilen strüktür çalışmalarına 1960'ların başında başlamıştır. İki boyutlu makaslardan oluşturduğu farklı formlar ve otomatik sistemlerle birçok ödül almıştır. Pinaro'nun geliştirmiş olduğu Foldable Theatre projesi, eğrisel makasları ve esnek kaplama malzemesi ile hareketli sistemlere yön veren bir proje olmuştur. Pinaro, klasik makas sistemlerinin dışında, geliştirdiği çift katmanlı düz makas sistemi ile silindir formu barınaklar tasarlamıştır. Perez Pinaro'nun çalışmaları açılıp kapanabilen makas sistemleri ile ilgili önemli bir referanstır. (Kronenburg, Klassen, 2006) (Şekil 2.5)



Şekil 2.5 Foldable Theatre projesi. [2]

Açılıp kapanabilen sistemlerle ilgili diğer bir çalışma ise bir makine mühendisi olan Chuck Hoberman'ın 1992 yılında tasarlamış olduğu katlanabilen jeodezik kubbe projesidir. Proje, Buckminster Fuller'in geliştirmiş olduğu üçgen dokulu jeodezik kubbe modeli üzerine kurulmuştur.



Şekil 2.6 Hoberman Küresi. [3]

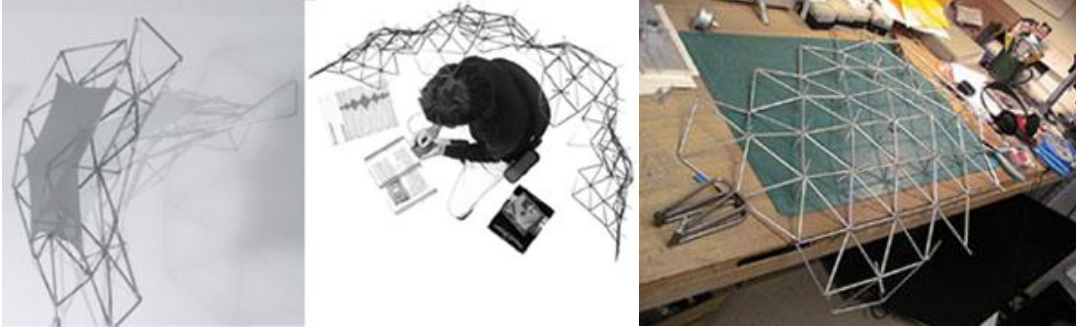
Tekerlekler üzerine kurulu Hobermann Küresi, merkezden dışa doğru çekilerek açılmaktadır. Kapalı halde iken 1,5 metre çapında olan sistem, tam olarak açıldığında 6 metre çapında kubbe formlu bir strüktür oluşturmaktadır. (Şekil 2.6)

Hobermann, 1992 yılında geliştirmiş olduğu sistemi, 1995 yılında oyuncak sektörüne taşımıştır. Plastik elemanlardan oluşturduğu katlanabilir küre, fizik tedavi yöntemleri kapsamında kullanılmıştır. Bunun yanında çeşitli iş sektörlerinde, organizasyon ve motivasyon şemalarını temsil eden küre, çocuklar tarafından da yoğun ilgi görmüştür. [3]

Çalışmalarını tamamen hareketli tasarımlar üzerine yapan ilk oluşum Kinetik Design Group'tur.(KDG) Massachusetts Institute of Technology bünyesinde, Michael A. Fox önderliğinde kurulan KDG, çeşitli tez ve atölye çalışmaları dahilinde farklı mimari kinetik sistem araştırmalarında bulunmuştur.

KDG üyelerinden Bryant Yeh, 1998 yılında yazmış olduğu "Kinetic Wall" isimli yüksek lisans tezinde form değiştirebilen yüzey sistemleri üzerinde çalışmıştır.

Kinetic Wall projesi, eşkenar üçgenlerden oluşturulmuş düzgün altıgenlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Mafsallı strüktürden oluşan sistem, servo motorlarla kontrol edilen kablo sistemi ile hareketini sağlamaktadır.Oluşturulan strüktür, kabloların sağladığı hareketlerle sınırlamalar dahilindeki formları oluşturabilmektedir. Proje insan elindeki eklemler ve tendonların çalışma prensibine benzer nitelikte tasarlanmıştır. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7 Kinetic Wall projesi. (Yeh, 1998)

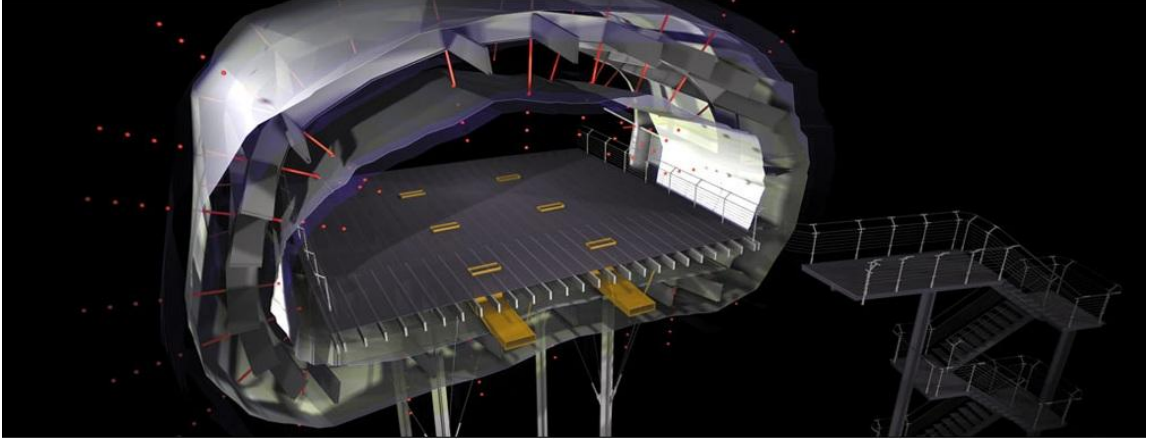
KDG bünyesinde yapılan çalışmalardan bir diğeri ise "Folding Egg" projesidir. Bir atölye kapsamında yapılan proje, ucuz ve geri dönüşümlü malzemelerden üretilmiştir. Sistem katlanabilen üç boyutlu makaslardan oluşmaktadır. Sistem farklı formları üretebilecek yapıdadır. Üretilen örnek prototip boyuna 5 kat uzayıp kısalabilme kapasitesine sahiptir. Kullanılan malzemeler sonucu sistem, yüksek yalıtkanlık katsayısına sahiptir ve oldukça hafiftir. [4] (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 Folding Egg projesi. [4]

Hareketli mimari projeler ve strüktürler ile ilgili AR-GE çalışmalarını sürdüren diğeri bir oluşum ise ORAMBRA'dır. ORAMBRA, Tristan D'estree Sterk tarafından, tepki verebilen hareketli tasarımların araştırılmasına yönelik kurulan bir mimarlık ofisidir. [5]

ORAMBRA'nın geliştirmiş olduğu Diveritmento projesi çeşitli organizasyonlara ve fonksiyonlara uyum göstermeyi hedefleyen bir pavyon projesidir. Pavyonu oluşturan çift cidarlı sistem, basıncı kontrol edilebilen hava yastıkları ve yastıkların formlarının kontrol edilebilmesine yönelik tasarlanmış hareketli çubuk strüktürlerden oluşmaktadır. Parçalı dokudan oluşturulmuş dış cidarın bölümleri ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Böylelikle yapının formu içerideki fonksiyon ve atmosfere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9 Divertimento projesi. [5]

ORAMBRA, tasarladığı kinetik mimarlık örneklerinin dışında, Hareketli tensegrity sistemleri üzerinde de çalışmalar yapmıştır. Geliştirilen farklı sistemlere sahip hareketli tensegrity strüktürlerinin uygulanabilirlikleri, üretilen prototiplerle gösterilmiştir. (Şekil 2.10)



Şekil 2.10 Hareketli tensegrity strüktür. [5]

Mimaride kinetik sistemlerle ilgili çalışmalar yapan gruplardan biri de MEC-ART grubudur. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü bünyesinde kurulan MEC-ART grubu, kinetik mimari elemanların geliştirilmesini ve yapı tasarımında kullanımını hedefleyen bir oluşumdur. [6]

Grubun kurucu üyelerinden Koray Korkmaz, 2004 yılında yazmış olduğu doktora tezi kapsamında, kinematik metotların mekansal adaptasyonlar amacıyla kullanımını incelemek amacı ile örnek mimari kinetik tasarımlar geliştirmiştir. (Şekil 2.11)

Geliştirdiği projelerin ilki 2002 yılında tasarlamış olduğu "Membrane Moves" projesidir. Çatısı meydan olarak kullanılan bir mekanın tavanındaki boşluğa yerleştirilen hareketli membran sistemi, mevsimlere bağlı olarak mekanın içine indirilmekte ya da meydana yükselmektedir. Membranın konik formu bir baca etkisi yaratarak içerdeki hava akışını

yönlendirmektedir. Kışın sıcak hava mekan içerisinde hapsedilmekte, yazın ısıyan hava bacanın yarattığı emiş ile dışarı atılmaktadır.



Şekil 2.11 Korkmaz'ın geliştirdiği projelerden örnekler. (Korkmaz, 2004)

Korkmazın geliştirdiği diğer bir kinetik tasarım ise "Architectural Umbrella" projesidir. Tez kapsamında geliştirilmiş projenin hedefi kinematik çözüm yöntemlerinin okuyucuya aktarılmasıdır. Architectural Umbrella projesi dönerek katlanabilen yaklaşık 5 metre çapındaki bir şemsiye strüktüründen ibarettir. Tek kişinin elle çevirerek açabildiği şemsiye strüktürü, alışılmış şemsiye strüktüründen farklı bir yapıya sahiptir.

2.3.2 Mimari Uygulamalardan Örnekler

Hareketli öğeler yapı tasarımında çok eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Kapılar, pencereler, güneş kırıcılar ve tenteler yapıda kullanılan hareketli öğelerin en basit ve en sık kullanılan örnekleridir. Malzeme, mekanik ve elektronik alanlarındaki gelişmelerle birlikte gerek fonksiyonel gerekse estetiğe yönelik mimari kinetik öğelerde alışılmışın dışında uygulamalara yer verilmeye başlanmıştır. (Şekil 2.12)



Şekil 2.12 Mimari kinetik öğeler.

Çeşitli mimarlık ofisleri, kinetik öğelerin kullanımında alışılmışın dışında uygulamalar yaparak kinetik öğelerin kullanımına yeni bakış açıları getirmişlerdir. Geliştirilen örneklerin bir kısmı yalnızca estetik kaygılar ve dikkat çekmek amacıyla yapılmış tasarımlardır. Buna karşılık fonksiyonel gereksinimlere ve çeşitli konulardaki yapı performansının geliştirilmesine yönelik hareketli tasarımlar da mevcuttur.

Santiago Calatrava kinetik mimarlık üzerine çalışmalar yürüten öncü mimarlardan biridir. Tasarımlarında doğanın formlarından ve canlıların hareketlerinden ilham alan Calatrava, bir çok tasarımında farklı kinetik sistemlere yer vermiştir.



Şekil 2.13 Ernstig depo kapıları. [7]

Calatrava'nın kinetik sistemlerle ilgili yaptığı ilk çalışma 1985 yılında Ernstig depoları için yaptığı kapı çalışmasıdır. Depo kapıları, mafsallı metal lamaların bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş eğrisel bir yapıya sahiptir. Kapıların açılış şekli de alışılmışın dışında bir hareket ile çözülmüştür. [7] (Şekil 2.13)

Calatrava'nın ilk orta ölçekli kinetik yapı çalışması Sevilya'daki 1992 yılı fuarı için tasarlanmış olduğu Kuveyt Pavyonudur. Pavyonun üst örtüsünü oluşturan 25 metre yüksekliğindeki konsol elemanlar gündüz ziyaretçileri güneşten korurken gece ise açılarak farklı teras kullanımları yaratacak biçimde tasarlanmıştır. [8] (Şekil 2.14)



Şekil 2.14 Kuveyt pavyonu. [8]

Calatrava, küçük ölçekli çalışmalarındaki deneyimlerinden faydalananarak daha büyük ölçekli yapılarda da kinetik yapı bileşenlerini kullanmıştır. Büyük ölçekli örneklerden ilki Valensiya Bilim Merkezi'nin yıldız evidir (planetarium). [9] (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 Valensiya bilim merkezi yıldız evi. [9]

Yapı insan gözünden ilham alınarak tasarlanmıştır. Göz formundaki yapının dış cidarları katlanarak açılmaktadır. Bu ölçekteki yapıların hareketli bileşenlere sahip olmasının dezavantajlarından biri statik yapıya dinamik yükler getirmesidir. Calatrava, mimarlık eğitiminin dışında almış olduğu inşaat mühendisliği eğitimi sayesinde, tasarımlarındaki statik ve dinamik sorunlara, meslektaşlarına oranla daha hakimdir.

Calatrava'nın diğer büyük ölçekli kinetik bileşene sahip yapısı ise 1994 yılında tasarlanmış olduğu Milwaukee Art Museum Quadracci Pavilyonudur. (Şekil 2.16) Gotik katedrallerin post-modern yorumu olarak nitelendirilen yapının 30 metre yüksekliğindeki cam çatısını örten konsol elemanlar bir kuşun kanatları gibi açılarak simgesel bir yapı oluşturmaktadır.

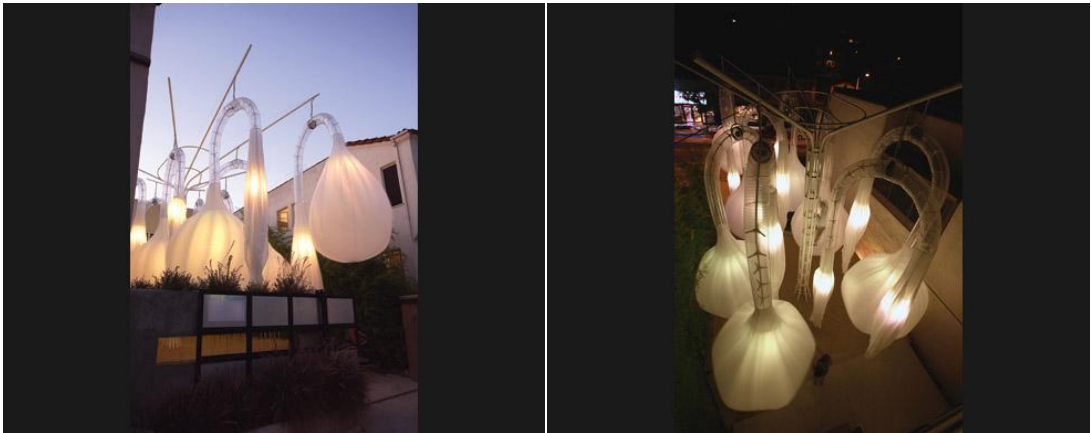
72 adet çelik konsol elemandan oluşan güneş kırıcının toplam ağırlığı 90 tondur. Buna karşılık sistem açılışını 3.5 dakikada tamamlamaktadır. Güneş kırıcıların üzerindeki rüzgar alıcıları sayesinde, rüzgar hızı 45km/s 'in üzerine çıktığında sistem kanatları otomatik olarak kapatılmaktadır. Calatrava'ya göre yapının kanatları yapıya hem sembolik bir estetik kazandırmakta hem de güneş ışığının seviyesini ayarlayarak fonksiyonel gereksinimlere cevap vermektedir. [10]



Şekil 2.16 Quadracci pavyonu. [10]

Mimaride kinetik elemanların kullanımına yönelik çalışmalarda bulunan diğer bir mimarlık ofisi de FoxLin mimarlık ofisidir. Michael A. Fox ve Juintow Lin tarafından kurulan FoxLin, çok disiplinli çalışmaları ilke edinmiş, hareketli yapı elemanları ve sürdürülebilirlik üzerine çalışmalarda bulunan bir mimarlık ofisidir. Fox'un kinetik mimarlık üzerine yapmış olduğu akademik çalışmalar, mesleki uygulamalarına da yansımıştır.

FoxLin'in hareketli elemanlara sahip birçok projesi vardır. Bunlardan en sıra dışı olanı Bubbles isimli projedir. (Şekil 2.17) Projenin hedefi, ziyaretçilerin hareketlerine tepki olarak mekanın hacimsel olarak farklılık göstermesidir. Hedef doğrultusunda proje alanına dev balonlar yerleştirilmiştir. Balonların hava basıncını kontrol eden pompalar, balonların üzerindeki hareket duyargalarından bilgi alarak balonların hava basıncını, dolayısıyla hacimlerini değiştirir. Böylelikle ziyaretçilerin hareketleri yapının formunu değiştirir. [11]



Şekil 2.17 Bubbles projesi. [11]

Chuck Hobermann'ın kurmuş olduğu Hobermann Associates firması, farklı sektörlerle yönelik hareketli elemanlar tasarlamaktadır. Sektörlerden biri de yapı sektörüdür. Hobermann küresini ve benzer yapıdaki kinetik sistemleri dekoratif elemanlara uyarlayan Hobermann, özellikle fuar standı, konser ve açılış dekorları gibi kalıcı olmayan mimari öğeler konusunda pek çok çalışma yapmıştır. (Şekil 2.18)



Şekil 2.18 Kinetik strüktürlü fuar standı ve konser dekorlarından örnekler. [3]

Hobermann'ın ilginç projelerinden biri U2 grubunun 2009 yılı dünya turnesi için tasarladığı genişleyebilen dev ekranlardır. Silindirik bir yapı üzerine kurulmuş toplam 888 LED ekrandan oluşan dekor, sahnedeki şov esnasında formunu ve boyutlarını değiştirerek mekansal ve görsel etkiyi arttırmayı hedeflemiştir. [3]

2008 yılında Buro Happold ve Hobermann Associates'in ortak teşebbüsü olarak kurulan Adaptive Building Initiative,(ABI) kinetik yapılar konusunda uzmanlaşmayı hedefleyen bir oluşumdur. ABI, yeni nesil yapıların, gerçek zamanlı olarak çevre değişikliklerine adapte olabilmelerini hedeflemektedir.

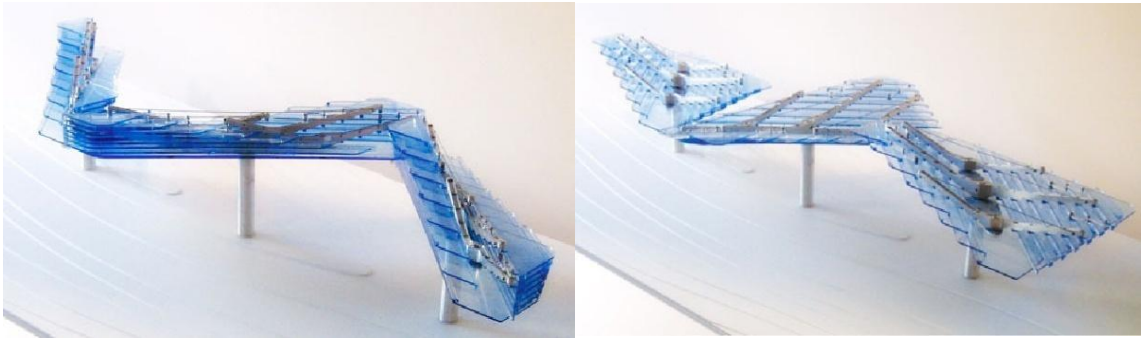
ABI'nın uzmanlaştığı alan, çevre verilerine adapte olabilen yapı kabuklarıdır. Projelerde adapte olabilen sistemlerin kullanımı ile hedeflenen ışık seviyesi, ısı performansı, güneşten faydalanma gibi verilerin optimize edilmesi ve buna bağlı olarak enerji kazanımının sağlanmasıdır.

ABI'nın tasarlamış ve uygulamış olduğu cephelerden biri Tokyo'daki POLA Ginza binasının cephesidir. (Şekil 2.19) 14 katlı yapının çift cidarlı cephesi üzerine kurulmuş olan gölgelendirme sistemi, 3 metreye 1 metrelik eğrisel yüzeyli akrilik levhalardan oluşmaktadır. Levhalar güneşin konumuna göre hareket ederek iç mekanda istenen ışık seviyesini korumaktadır. Geceleri ise farklı renkteki LED aydınlatmalar ve levhaların hareketleri ile yapının cephesi farklı kombinasyonlarda kullanılmaktadır. [12]



Şekil 2.19 POLA Ginza binası. [12]

ABI'nın geliştirmiş olduğu projelerden bir diğeri Londra'daki Centre Trust yapısının yürüyüş yolları için geliştirdikleri gölgelendirme sistemleridir. (Şekil 2.20) Sistem alüminyum strüktür ve cam panellerden oluşmaktadır. Sistem bir kuşun kanadındaki tüylere benzer şekilde düşünülmüştür. Alüminyum kollara bağlı cam paneller birbirleri üzerine binerek gölgelendirme alanının azalması sağlar. Sistem farklı formasyonlarda bir araya gelebilecek şekilde tasarlanmıştır. Hedeflenen, sistemin yürüyüş yolları dışında yapının farklı alanlarında da kullanılabilmesidir. [12]



Şekil 2.20 Kinetik gölgelendirme sistemi. [12]

3. YAPI PERFORMANSI ve KİNETİK MİMARLIK İLİŞKİSİ

3.1 Yapı Performansı

Evren, varlıkların ve varlıkların gerçekleştirdiği eylemlerin bütünüdür. Varlıklar gerçekleştirdikleri eylemler ile dolaylı ya da dolaysız ilişki içerisindeyler. Bu ilişkilerin ve varlıkların birbirleri ile olan etkileşimlerinin incelenmesi, ancak eylemlerin tanımlanması ile mümkün olmuştur.

Eylemler bir sebep-sonuç ilişkisi içerisinde meydana gelir. Sebep ya da sebeplerin tetiklediği özne, tanımlı bir zaman aralığı içerisinde eylemi gerçekleştirir. Eylem, ortaya konduğu andan itibaren sonuçlar doğurmaya başlar. Bu yüzden zaman, eylemin sonuçlarının tanımlanabilmesi için gerekli olan en önemli olgudur. Eylemi tanımlayan denklemler zaman ögesini kullanmadan çözmek mümkün değildir. Zaman, eylemin süresini belirlemenin ötesinde, eylemin tanımlanması için bir referans oluşturur.

Eylemler, özne, zaman ve sebep-sonuç ilişkisi ile tanımlanabilir, fakat eylemler diğer eylemler ile ilişki içerisinde olduğundan her zaman aynı öğeler aynı sonuçları vermezler. Dış etkenler eylemlerin başarımını değiştirir.

Eylemin başarımı performans olarak adlandırılmaktadır. Öznenin, belirli bir zaman aralığı içerisinde gerçekleştirdiği eylemin sonuçlarının, belirli bir referansa göre değerlendirilmesi, öznenin gerçekleştirdiği eylemdeki performansını belirler. Eylemin türüne ve değerlendirme referansına göre öznenin performansı niceliksel ya da niteliksel olabilir.

Özetle performans, öznenin eylemi gerçekleştirmedeki görece kalite ölçütüdür. Günlük kullanımda makinelerin, motorların, bilgisayarların, çalışan insanların hatta sanatçıların performansları değerlendirilir ve karşılaştırılır.

Performansın ölçülebilmesi için referans noktası ve ölçümün çerçevesinin belirlenmesi gerekir. Ölçümün sınırları eylemin öğelerine göre belirlenir. Örneğin motorlar geniş bir perspektiften bakıldığında enerjinin dönüştürülmesi eylemini üstlenir. Fakat motorlar bu işlemi gerçekleştirirken birçok alt eylemi kullanır. Motorun elemanları enerjiyi dönüştürmek için farklı hareketlerde bulunur ve sonuç olarak motorun ana hedefi olan, yakıtı harekete dönüştürme işlemini sağlarlar. Eğer değerlendirme motorun bütünü için yapılacaksa, motorun gerçekleştirdiği alt eylemler, enerjinin dönüştürülmesi eyleminin alt öğeleri olarak değerlendirmede kullanılır. Bu örnekte motorun yakıt-ekonomisi performansını değerlendirecek olursak değerlendirmenin çerçevesini motorun en verimli çalıştığı devir ve

motorun bulunduğu ortam verileri(sıcaklık, basınç, v.b), referans noktasını ise daha önce deneylerle belirlenmiş olan beygir gücü olarak belirleyebiliriz. Dolayısıyla değerlendirme sonucunda motorun birim zaman içerisinde x birim yakıt ile y birim beygir gücü ürettiği bilgisini elde ederiz. Bu bilgiyi motorun performansının değerlendirilmesi için kullanabiliriz

Performans karşılaştırılmalarında ise aynı özelliklerdeki öznelerin aynı değerlendirme çerçevesinde ölçülmüş performans değerleri karşılaştırılabilir. Eğer performansları karşılaştırılacak özneler aynı eylemleri gerçekleştirmelerine rağmen farklı özellikler taşıyor ise ortak paydaları bulunur ve eşit şartlar altında ortak referans çerçevesinde değerlendirilir. Örneğin enerji üreten iki farklı sistemin ilk yatırım maliyetleri ve harcadıkları yakıt maliyetleri toplanarak referans bir maliyet oluşturulabilir. Bu referans maliyet karşılığında iki sisteminde ürettiği enerji karşılaştırılıp ekonomik performans analizi yapılabilir.

Sonuç olarak performans, öznelerin eylemlerdeki başarısının göreceli ölçütüdür. Görecelide olsa ölçülebilir olması öznelerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması açısından önemlidir. Zamanın ve kaynakların verimli kullanımı sağlamak adına öznelerin hangi eylemlerde başarılı olduğunu belirlemek ya da hangi öznenin hangi eylemde performans gösterdiğini analiz etmek gereklidir.

Performans eylemle birebir ilişkili bir kavramdır. Bir eylem mevcut değil ise performanstan bahsedilemez. Peki, yapı performansı ya da mimarlıkta performans ne demektir. Bu sorunun cevabını bulmak için öncelikle “yapılar ne yapar?” sorusunun cevabını aramak gerekir. (Kolarevic ve Malkawi, 2005)

Yapılar insanoğlunun çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak için inşa ettiği yapay ortamlardır. Bu ortamlar karşılayacakları fonksiyonlara göre tasarlanırlar. Fakat bu yapay ortamlar fonksiyonları karşılamak için ne gibi eylemlerde bulunurlar? Yapıların gerçekleştirdiği en önemli eylem var olmaktır. Doğadaki pek çok varlık da yapılar gibi durağandır fakat hayatın akışı içerisinde önemli işlevlere sahiptir. Geniş açıdan bakıldığında yapılar durağan nesneler gibi görünse de pek çok ana ve alt işlevleri içlerinde barındırırlar. Bu çok işlevliliğin analiz edilmesi yapıların ne gibi eylemleri gerçekleştirdiğini ortaya koyacaktır.

Yapılar teknik ve estetik çalışmaların ürünüdür. Bunun sebebi, yapıların yalnızca fonksiyonel ihtiyaçlara değil, sosyo-kültürel ihtiyaçlara ve arzulara da cevap vermesi gereksinimidir. Bu gereksinimlerin karşılanması, birçok eylemin bir arada gerçekleştirilmesini gerektirir. Eylemlerin başarısı yapının varoluşunu destekler. Yapılar bu eylemler silsilesinin bütünü ile işlevlerini gerçekleştirebilir. Yapıların değerlendirilmesi de bütün üzerinden yapılmalıdır.

Yapıların gerçekleştirdiği en önemli eylem ise içinde barındırdığı ve bulunduğu ortamdaki öznelere etkileşimde bulunmasıdır. İşte bu etkileşim yapıların eylemlerini anlamlı kılar. Aksi takdirde yapılar bulundukları ortamdan bağımsız olarak hiçbir şey ifade etmezler.

Yapıların bu kadar çok eylemi bir arada gerçekleştirebilmelerinin bir karşılığı vardır. Yapıların gerek inşaları sırasında gerekse kullanım süreçlerinde pek çok maddi ve manevi kaynak harcanır. Bunun yanında yapılar görece uzun ömürlüdür. Yani gerçekleştirdikleri eylemleri uzun bir zaman aralığı boyunca sürdürürler. Kaynakların ve zamanın fazlaca harcanması durumu yapıların gerçekleştirdikleri eylemlerde kesinlikle başarılı olması gerekliliğini ortaya koyar. Yapıların başarımı kaynaklar ve zaman açısından önemlidir fakat pek çok işlevi olan yapıların performansı hangi çerçeveler içerisinde değerlendirilebilir?

Yapılar gibi karmaşık sistemlerin performans analizlerinde, değerlendirme çerçevelerinin oluşturulabilmesi için sınıflandırma yöntemi kullanılır. Sınıflandırmalar, belirlenecek referans noktaları ve değerlendirme çerçevelerinin gruplandırılması ile oluşur. Sistemin alt öğelerinin birbirleri ile olan ilişkileri de sınıflandırmayı şekillendirir. Bunların dışında, eylemlerin süreçleri de sınıflandırmanın şekillendirmesinde rol oynar. Sınıflandırmalar yapılacak performans değerlendirmelerine göre birden fazla sınıflandırma şekli olabilir.

Yapıların performans değerlendirilmelerinde pek çok alt başlık oluşturulabilir. Bu alt başlıkları ana başlıklar altında toplayarak değerlendirme çerçevelerini daraltmak daha sağlıklı performans analizi yapılmasını sağlar. Yapıların, niceliksel ve niteliksel özelliklerini de farklı başlıklar altında incelemek referans noktalarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Yapı performansının incelenmesindeki sınıflandırmaların temeli, yapı ömrünün sınıflandırılmasıdır. Bu sınıflandırmadaki amaç, performans analizlerinin süreçlerini belirlemektir.

Yapı ömrü üç başlık altında incelenebilir;

- İnşa Aşaması
- Kullanım Aşaması
- Yıkım Aşaması

İnşa aşaması, yapıda kaynakların en hızlı harcandığı aşamadır. Yapının ömrünün tümüne bakıldığında ise genellikle yapı ömrünün çok küçük bir parçasını kapsar. Fakat yapının varoluşunu sağlayan kısım yapının inşasıdır. İnşa aşamasında harcanan kaynaklar ve yapının inşa edildiği çevre, yapının genel performansını etkileyen en önemli faktörlerdir. Dolayısıyla

inşa aşamasının performansı, yapının performansı ile doğrudan ilişkilidir. Buradaki anahtar nokta inşa eylemi ile yapının varoluş eyleminin karıştırılmamasıdır. Çünkü inşa eyleminin öznesi yapı değildir fakat harcanan kaynaklar ve zaman, yapının varoluşu için kullanıldığından inşa aşaması yapı performansının önemli alt öğelerinden biridir.

Yapının eylemlerini gerçekleştirdiği süreç ise kullanım aşamasıdır. İnşa aşamasında harcanan kaynaklar bu aşamada eyleme dönüşür. Bu aşama, yapının inşa ediliş amacına göre çok farklı eylemler sergiler. Bu eylemlerin çeşitliliği de referans noktalarının belirlenmesini güçleştirir. Bu yüzden yapının kullanım sürecindeki performans değerlendirmelerini de alt başlıklar altında incelenmektedir.

Yapılar fonksiyonel ve kültürel öğelerin bütünleştiği eylemleri bir arada yürütürler. Bu iki öğenin ortak paydasında ise ekonomi faktörü bulunmaktadır. Fonksiyonel öğeler, kültürel öğelere göre daha nicel özellikler taşıdığından gerek ekonomik gerekse diğer açılardan performans değerlendirmesine müsaittir. Kültürel öğelerin değerlendirilmesi ise ancak istatistiki verilerle mümkün olabilir.

Kullanım aşamasındaki referans çerçevelerinin belirlenmesi projelerin özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Fakat her yapının barındırdığı ortak özellikler vardır. Tüm yapılar bir ya da birden fazla fonksiyona hizmet etmek için inşa edilir. Her yapı, bulunduğu çevre ve içinde barındırdığı öğelerle etkileşim içerisindedir ve yapıların inşa edilmesi için zaman ve kaynak harcanmak zorundadır. Bu temel öğeler, yapıların kullanım performansının sınıflandırılmasını mümkün kılar.

Yapılarda kullanım performansı üç başlık altında incelenebilir;

- Fonksiyonel Performans
- Sosyo-Kültürel Performans
- Ekonomik Performans

Fonksiyonel performans yapının en önemli değerlendirme alanıdır. Yapılar, fonksiyonlarının gereksinimlerini sağlayamıyorsa başarısız olarak nitelendirilirler. Fonksiyonel performansı değerlendirilebilmesi için değerlendirilecek olan yapının veya yapı bölümünün fonksiyonuna bağlı olarak çeşitli referans noktaları belirlenmelidir. Örneğin bir mutfakın fonksiyonel performansı değerlendirilirken, mekanın ölçülerinin insan boyutlarına ve hareketlerine uyumu, dolapların mutfak gereçlerine uygun olup olmadığı, pişirme, yıkama, saklama gibi mutfaka ilişkin fonksiyonların birbirleri ile olan ilişkileri gibi birçok konu başlığı ele alınır. Mutfakın fonksiyonel performansı, tüm konularda gösterdiği başarımlarla değerlendirilir.

Fonksiyonel gereksinimler belirli standartlara bağılı olarak tasarlandığından, fonksiyonel performansın değerlendirilmesinde referans noktaları nicel verilere bağılıdır. Niceliksel veriler matematiksel olarak değerlendirilebildiği için fonksiyonel performans değerlendirmelerinden net sonuçlar elde edilebilir.

Sosyo-kültürel performans ise fonksiyonel performanstan farklı olarak yalnızca niceliksel verilerle değerlendirilemez. Sosyo-kültürel performansın değerlendirilmesinde, istatistiki veriler ve zaman içerisinde oluşmuş kurallar kullanılır. Kurallar performansı değerlendirilecek yapının bulunduğu çevreye ait olmalıdır. Örneğin Türk kültürel yapısında konuk ağırlamak önemlidir. Konuk ağırlamanın getirmiş olduğu sonuçlardan biri tercih edilen konutların fazladan bir odasının olmasıdır. Bu sebeple konuk odasına sahip konutlar sosyo-kültürel açıdan başarıyı yüksek yapılarıdır. Fakat aynı konut tipi farklı kültürel yapılarda tercih edilmeyebilir. Benzer örnekler estetik yargılar içinde verilebilir. Farklı çevreler ve kültürel oluşumlar içindeki yapıların estetiği için yapılacak olan performans karşılaştırmalarında çelişkili sonuçlar elde edilebilir.

Ekonomik performans dolaylı ya da dolaysız olarak diğer performans öğeleri ile ilişkilidir. Yapının ekonomik performansını değerlendirmek için diğer alanlarda gösterdiği performans verilerine de ihtiyaç duyulur. Yapıların kullanım aşamalarındaki ekonomik performanslarının değerlendirmelerinde yapının ilk yatırım maliyeti ile kullanım maliyetleri toplanarak karşılaştırılır. Yapı ömrü boyunca toplam maliyeti belirlenen referans noktalarına göre düşük olan yapılar ekonomik açıdan başarıyı yüksek yapılarıdır.

Bahsi geçen başlıkların her biri kendi içinde değerlendirilebilir, fakat bu üç kümenin kesişim noktaları yapının genel performansının belirlenmesi açısından önem taşır.

Yapının yıkım aşaması da yapının kullanım eylemlerinin son bulduğu aşamadır. Yapının varoluşunun sona ermesi, yapı performansının değerlendirilmesinin sonu olduğu anlamına gelmez. Yapının yıkımından sonra çevresine bıraktığı etkiler ve yıkımda ortaya çıkan kaynaklar, yapının genel performansının değerlendirilmesinde rol oynar.

Bahsedilen süreçler içerisinde değerlendirilmiş olan performans verilerini bir araya toplayıp yapının genel performansını analiz etmek mümkündür. Fakat yapıların birbirlerinden farklı ortamlarda ve fonksiyonlarda olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapıların genel performanslarını karşılaştırmak, referans noktalarının ve değerlendirme çerçevelerinin belirlenmesinde sıkıntılara yol açacaktır. Bu sıkıntıların bertaraf edilmesi adına, yapıların genel performanslarının karşılaştırılması için kullanım aşamasındaki sınıflandırmaya benzer

bir sınıflandırma kullanılmalıdır. Bu sınıflandırmadan yola çıkarak değerlendirmenin yapılacağı yapılar arasındaki ortak paydalar tespit edilip yapıların bu konulardaki performans analizleri karşılaştırılabilir. (Kolarevic, 2003)

Sonuç olarak, yapılar başarımları değerlendirilebilen eylemleri gerçekleştirirler. Fakat bu eylemler rastgele ortaya çıkan eylemler değildir. Yapılar inşa edilmeden önce tasarlanır ve bu tasarım sürecinde, yapının ömrü boyunca sergileyeceği eylemler ve bu eylemlerin başarımları planlanır. Yapı gibi, ömrü uzun ve karmaşık sistemlerin tasarım süreçleri, mimarlık formasyonunun temel çalışma alanıdır.

Çok sayıdaki çevre verisi nedeniyle yapıların her konuda tam performans göstermesi mümkün değildir. Yapı tasarımı sürecinde çevre verileri ortak bir şekilde analiz edilerek tasarım tüm performans verileri açısından optimize edilmelidir. Optimizasyonun başarımları ise tasarımcıların bilgi ve tecrübelerine bağlıdır. Yapı tasarımı çok disiplinli bir çalışma alanı olduğundan optimizasyon süreci iyi organize edilmesi gereken bir süreçtir.

Çoğu zaman, gerek çevre verilerinin zorluğu gerekse kaynakların kısıtlı olması yapının performans optimizasyonunun denge içerisinde olmasını engeller. Dengenin sağlanamadığı durumlarda çözüm, en baskın veriyi analiz ederek, baskın veriyi karşılayan tasarım kriterlerinin performansını en üst düzeyde tutmaktır. Belirli kriterlerde maksimum performansın hedeflendiği tasarımlar, 'performansa yönelik tasarım' olarak adlandırılabilir.

Örneğin günümüzde enerji önemli bir tasarım kriteri haline gelmiştir. Bu durum, yapıların kullanım süreçlerinde maksimum enerji tasarrufu yapma gereksinimini doğurmuştur. Maksimum enerji tasarrufunun sağlanabilmesi için enerji kayıplarının en aza indirildiği enerji performansına yönelik tasarımlar geliştirmek gereklidir. (Kolarevic, 2003)

Belirli bir performans kriterine göre tasarım geliştirmenin dezavantajı, diğer kriterlerin performansının düşmesidir. Performanstaki bu düşüşün nedeni yapının adaptasyonunu sağlayacak hareket kabiliyetine sahip olmamasıdır. Buradan çıkarılacak soru: Yapıların hareket kabiliyetinin olması yapı performansını olumlu yönde etkiler mi?

3.2 Kinetik Mimarlık ve Yapı Performansı

Yapıların performans değerlendirmeleri yapılırken göz önünde bulundurulacak veriler, yapıların inşa edildikleri çevreden alınan verilerdir. İklim verileri, çevrenin kültürel özellikleri ve yakın çevre yapısı gibi faktörler yapının tasarımı doğrudan etkiler. Yapı ancak çevre faktörleri ile uyum içerisinde olursa başarılı olur. Mimarlar ve mühendisler yapıları tasarlarken analiz

ettikleri çevre faktörlerini kullanırlar.(Lawson, 1980) Tasarım sürecinde kullanılan veriler analiz edilen verilerin ortalamaları veya azami düzeyde olanlarıdır. Çünkü çevre verileri sürekli değişkenlik gösterir. Tasarımcılar edindikleri ortalama verilerle optimize edilmiş bir tasarım geliştirmeye çalışırlar veya belirledikleri bazı konularda performansı üst düzeyde tutarken bazı konularda da performanstan feragat etmek zorunda kalırlar. Tasarımcıların yaşadığı bu zorunluluğun temel sebebi, yapıların ve yapı elemanlarının statik olarak düşünülmesidir. Statik olarak tasarlanan yapılar ancak tek bir çevre verisinde tam performans gösterebilir. Verilerin değişmesiyle birlikte yapı performans kaybına uğrar. Bu durumun çözümü ise adaptasyon ile mümkündür.

Zaman içerisinde değişkenlik gösteren verilere adapte olabilmek için tasarımların da değişkenlik göstermesi gerekir. Tasarımı oluşturan temel öge tasarımın formudur. Gerek fonksiyonel gerekse estetiğe yönelik tüm çözümler form ile sağlanır. Tasarımın zaman içerisinde değişkenlik gösterebilmesi için de formun değişkenlik göstermesi gereklidir.

Tasarım içerisinde adaptasyonu sağlayabilecek diğer bir çözüm ise tasarımı oluşturan malzemelerin değiştirilmesidir. Tasarımı oluşturan malzemenin zaman içerisinde değişkenlik göstermesi formun değişkenlik göstermesine oranla daha karmaşık bir çözümdür.

Adaptasyona yönelik form değişikliklerinin incelenmesi için başvurulacak en geniş kaynak doğadır. Doğadaki canlılar hayatta kalabilmek için yaşadıkları çevre ile uyumlu olmak zorundadır. Bu zorunluluktan dolayı canlıların formları iki türlü adaptasyona uğramaktadır.

Adaptasyon türlerinin ilki, evrim olarak adlandırılan uzun zamanlı form değişiklikleridir. Yaşadığı çevreyle uyumlu olan canlılar hayatta kalırlar ve ancak hayatta kalan canlılar üreyebilir. Hayatta kalan canlıların üremesiyle birlikte hayatta kalan canlıların formu da kalıtsal olarak sonraki nesillere aktarılır. Zaman içerisinde hayatta kalmayı başarmış canlılar yaşadıkları çevreye en uygun formu elde etmişlerdir.

İkinci adaptasyon türü ise canlıların hızlı değişen çevre verilerine karşı gösterdikleri adaptasyondur. İklim, hava şartları,basınç, güneş hareketi gibi yıllık, aylık hatta günlük değişimler evrim süreci için yeterli olmayan bir zaman aralığındadır. Canlılar bu değişikliklere ayak uydurabilmek içinse ya form değişikliğini ya da hareketi kullanır. Örneğin ağaçlar yer değiştiremedikleri için mevsimsel değişikliklerde yapraklarını dökerler. Kuşlar ise uzun menzilli hareket kabiliyetine sahip olduklarından aynı mevsimsel değişikliklerde bulundukları yerden göç ederler. Kısa süreli adaptasyonlara örnek vermek gerekirse yine bitkiler incelenebilir. Çoğu bitki güneş ışığından faydalanabilmek için yapraklarını veya

çiçeklerini güneşe doğru yönlendirirler.

Aynı ortamda yaşayan farklı canlılarda birbirleri için birer çevre verisidir. Bazı canlılar kendilerinden daha güçlü canlılardan korunmak için formlarını değiştirirler. Örneğin bir kirpi herhangi bir tehlike ile karşı karşıya kaldığında dikenlerini dikleştirerek kendine bir koruma oluşturur. Benzer özellikler çeşitli böcek ve bitkilerde de bulunmaktadır .

Sonuç olarak doğadaki tüm canlılar değişken çevre verilerine adapte olabilmek için ya hareket ederler ya da formlarını değiştirirler. Yapılar da canlılar gibi evrime uğramış ve zaman içerisinde teknolojik ve kültürel farklılıklara bağlı olarak belirli formlar kazanmıştır. Geçirdikleri evrime karşılık yapılar, statik olarak tasarlanmaları nedeniyle kısa süreli değişikliklere adapte olmakta yetersiz kalmıştır. Çevre etkilerine gösterdikleri direnç dolayısıyla da yapılar verimli olmaktan uzaklaşmaktadır.

Sağladıkları fonksiyonlara bağlı olarak çoğu yapı bir yerden bir yere hareket edemeyecek ölçekte dir. Yapıların hareket edememeleri bulundukları çevreye adapte olabilmeleri için tek bir şans bırakmaktadır. Yapılar veya yapı elemanları adaptasyon sağlayabilmek için formlarını değiştirmelidir.

Yapı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken çevre verileri yapının fonksiyonlarına ve bulunduğu çevreye bağlı olarak farklılıklar gösterir. Çoğu zaman birden fazla fonksiyonu bir arada barındıran yapıların tasarımına etki eden çevre faktörleri de oldukça fazladır. Bütün değişken çevre verilerine karşılık, yapının her konuda tam performans göstermesi mümkün değildir.

Performansa yönelik tasarımlarda bozulan performans dengesinin sağlanabilmesi ancak adaptasyon ile mümkündür. Sabit formun ve özelliklerin getirdiği dezavantajlar değişken formlar ile çözülebilir. Değişken formdaki yapılar veya yapı elemanları değişken çevre verilerine adaptasyon sağlamak amacıyla kullanılabilir. Örneğin kinetik özelliklere sahip güneş kırıcılar cephe de kullanıldığında yapıda büyük ölçekli cam yüzeylerin kullanılması mümkün olmaktadır. Aksi taktirde ya daha küçük ölçekli cam yüzeyler kullanılıp görsel ve mekansal performanstan feragat edilmelidir ya da sabit güneş kırıcılar kullanılmalıdır. Sabit güneş kırıcıların dezavantajı ise güneşin mevsimsel hareketlerine ayak uyduramamasıdır. Kinetik güneş kırıcı sistemin harcadığı enerji ve ilk yatırım maliyeti sabit olana oranla daha yüksek olacaktır. Burada hesaplanması gereken durum maliyetler arasındaki farkın artan konfor performansı ve düşen iklimlendirme maliyetlerine denk olup olmadığıdır.

Kinetik mimari öğelerin performans açısından sağlayabileceği en avantajlı durumlar ise çok fonksiyonlu kullanımı sağlayabilecek tasarımlardır. Tek yapıda çok kullanımın sağlandığı yapılarda ekonomik performans en üst seviyeye çıkmaktadır. Ekonomik performansın üst seviyelerde olması tamamen kinetik öğelere bağlı olduğundan diğer performans kriterlerinde düşüş yaşanmamaktadır.

Kinetik sistemlerin kullanımı ile çok fonksiyonlu kullanımın sağlandığı başarılı örneklerden biri de Schalke Arena stadyumudur.(Şekil 3.1) Stadyumun alışıl gelmiş stadyumlardan farkı iki kinetik bileşene sahip olmasıdır. Bileşenlerden ilki açılıp kapanabilen çatı örtüsü, ikincisi ise hareketli çim sahadır.



Şekil 3.1 Schalke Arena stadyumu. [13]

Futbol stadyumları ölçekleri gereği büyük yatırımlar gerektiren yapılardır. Yapılan büyük yatırımlara karşılıksa yılda en fazla 20-25 organizasyona ev sahipliği yaparlar. Bunun dışındaki günlerde ise kullanılmamaktadırlar.

Schalke Arena stadyumunun mimarı olan Hentrich, Petschnigg und Partner firması bu sorunu ortadan kaldıracak bir çözüm geliştirmiştir. Çözüm stadyumun futbol müsabakası dışında kullanılacağı günlerde çim sahayı dışarı taşımaktır. Sahayı dışarı taşımanın en önemli avantajı yaklaşık 55,000 oturma kapasitesi olan bir alanın farklı organizasyonlar için kullanılabilmesidir. Diğer bir avantajı ise güneşlenme seviyesi düşük olan Almanya gibi bir ülkede çimlerin rahatça güneş görerek sağlıklı büyümesidir.

Stadyumun çimleri mekanik raylı bir sistem üzerinde yaklaşık 4,5 saatlik bir sürede yapı dışına taşınmaktadır. Futbol maçlarının oynandığı günlerde ise çim sahanın yapı dışında kullandığı alan otopark olarak kullanılmaktadır. [14]

Mimari ekibin çözmesi gereken ikinci bir sorun ise futbol kurallarının getirmiş olduğu bir sorundur. Futbol kuralları gereğince hava şartları elverdiği sürece üzeri açık bir alanda müsabaka gerçekleşmelidir. Bu kurala karşılık mimarların ön görmüş olduğu alternatif fonksiyonlar kapalı bir üst örtüye ihtiyaç duymaktadır. Çözüm olarak açılıp kapanabilen bir çatı tasarlanmıştır.

Schalke stadyumu toplamda 192 milyon €'ya mal olmuştur. Benzer ölçekteki stadyumların ortalama maliyetleri ise 100-150 milyon € arasında değişmektedir. İlk yatırım maliyetinde benzer stadyumlara oranla yüksek maliyetli görünmesine karşılık futbol dışında, buz hokeyi karşılaşmaları, konserler ve araba yarışmaları organizasyonları ile yılda toplam 80 civarında karşılaşmaya ev sahipliği yapan stadyum elde ettiği gelirlerle aradaki maliyet farkını hızla kapatmaktadır.

İnşasının tamamlandığı 2001 yılında FIFA'dan en modern stadyum ödülünü alan Schalke Arena, kinetik mimari elemanların başarılı olarak kullanıldığı örneklerden biri olarak kinetik mimarlık açısından önemli bir örnektir.

Sonuç olarak, kinetik sistemler, kullanıldığı alandaki performans kriterlerini yukarı taşımaktadır. Kurulması gereken denge ise kinetik sistemlerin getirdiği avantajların dezavantajlarına karşı üstün ya da denk olmasıdır. Doğru alanda, doğru şekilde kullanılan kinetik sistemler, yapının toplam başarımını üst düzeylere taşımaktadır.

3.3 Kinetik Mimarlık, Performans ve Parametrik Tasarım

Kinetik sistemler, yapıların çevre etkilerine adapte olarak, yapı performansının arttırılmasını hedefler. Kinetik sistemlerin değişken çevre verilerine verimli bir şekilde adapte olabilmesi, sistemi oluşturan öğelerin değişken verilerle ilişkili biçimde tasarlanması ile mümkündür.

Kinetik sistemi oluşturan her öğe, belirli bir fonksiyona ve forma sahiptir. Öğelerin fonksiyonları ve formları çevre verilerine bağlı olarak değişkenlik göstermelidir. Bu nedenle kinetik sistemleri oluşturan öğeler değişken ölçülere, özelliklere ve ilişkilere sahiptir. Değişken özelliklere sahip öğelerin bir bütün içerisinde fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için tüm öğelerin birbirleri ve çevre verileri ile olan ilişkilerinin tanımlanması gereklidir.

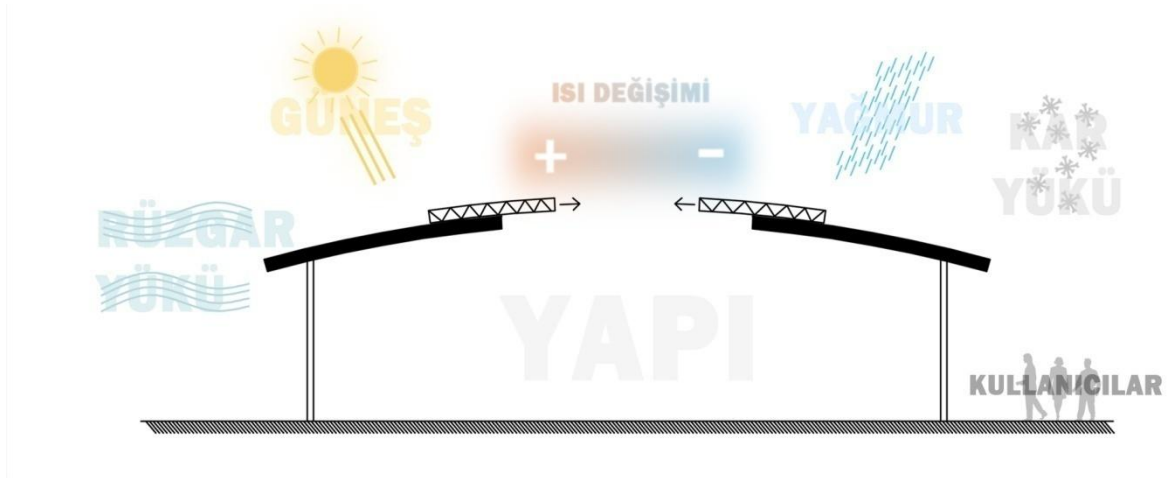
Tasarımda, tasarımı oluşturan öğelerin niceliksel özelliklerinin, birbirleri ile ilişkili olarak tanımlanması parametrik tasarım olarak adlandırılmaktadır. Parametrik tasarımda, tasarımı oluşturan öğelerin özellikleri, sayısal olarak tanımlanmak yerine değişken parametreler ile ilişkilendirilerek formüle edilir. Elde edilen formüller ve ilişkiler sayesinde, tasarımı oluşturan

öğelerin özellikleri, bir bütün içerisinde tanımlanmış olur. Bu sayede, tasarım içerisindeki herhangi bir değişiklik tüm öğelere yansır ve tasarımın denklemi sabit kalır.

Parametrik tasarım yöntemleri, mühendislik dalları tarafından sıkça kullanılmaktadır. Mimaride ise tasarım tanımının formüle edilmesi mühendislik dallarına oranla daha güçtür. Kinetik yapı elemanlarının tasarımı ise çok disiplinli bir çalışma alanı olduğundan parametrik tanımlamalara uygun bir tasarım alanıdır.

Parametrik tasarım yöntemlerinin kinetik sistem tasarımına sağladığı en önemli avantaj, değişken ölçü ve özelliklerin, çevre verileriyle ilişkili olarak tanımlanabilmesidir. Bu sayede çevre verilerinin değişimleri, tasarımın hareketlerini şekillendirmektedir.

Örneğin hareketli bir üst örtünün sistem tasarımını ele aldığımızda, karşımıza birden fazla değişken çevre verisi ve sistem ögesi çıkmaktadır. Sistemi oluşturacak olan tüm elemanların boyutları ve özellikleri değişken çevre verilerine uyum göstermek durumundadır. Sistemin hareketi sırasında da sistemi oluşturan elemanların boyut veya pozisyonları değişiklik gösterir. Bütün değişken verilerin başarılı biçimde tanımlanması ve ilişkilendirilmesi, parametrik tasarım yöntemlerinin kullanılması ile mümkündür. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Kinetik sisteme etkiyen değişken çevre verileri.

Kinetik sistemin kinematik çözümlerinde de parametrik tanımlamalar tasarım sürecine kolaylıklar sağlamaktadır. Kinetik sistemi oluşturan elemanlar genellikle birbirleri ile ilişkili olarak hareket ederler. Bu sebeple elemanların hareketleri, pozisyon, zaman ve hız denklemleri ile matematiksel ve grafiksel olarak tanımlanır. Tanımlamaların parametrik olarak yapılması, tasarım sürecinde, ilişkili hareketlerin çözümlenmesini matematiksel olarak mümkün kılar.

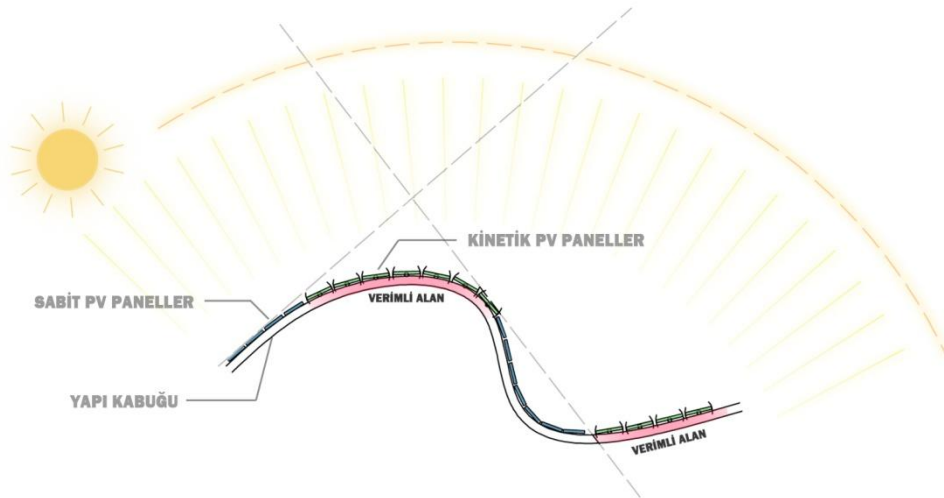
Parametrik tasarım yöntemleri ve araçları çok disiplinli tasarım süreci için gerekli platformu oluşturmaktadır. Farklı disiplinlerden gelen kısıtlamaların ve ilişkilerin parametrik olarak tanımlanması tasarım sürecinde kolaylıklar sağlamaktadır.

Örneğin teleskopik olarak uzayıp kısalabilen bir sistemin tasarımında teleskopik elemanın uzunluğu ve kalınlığı arasındaki ilişki statik mekanik ve mimari disiplinlerinin tümünü ilgilendirmektedir. Mekanik açıdan elemanın kalınlığı ve ağırlığı hareketi sağlayacak olan motor ya da pistonun kuvvetini belirlerken, statik olarak da kalınlık uzunluk oranı sistemin taşınabilirliğini belirler. Aynı zamanda elemanın boyutları mimari fonksiyon ve estetik açısından da belirleyicidir. Bu sebeple kinetik sistemi oluşturan elemanların ve elemanlara etkiyen kuvvetlerin parametrik olarak tanımlanması çok disiplinli çalışmanın yürütülebilmesi açısından önemlidir.

Parametrik tasarım araçlarının sağladığı diğer bir avantaj, kinetik sistemin performans analizi sürecindeki ilişkilendirme olanağıdır. Sistemi oluşturan öğelerin boyut, ağırlık, pozisyon gibi özellikleri sistemin performansı ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkilidir. Bu ilişkilerin tanımlanması sonucunda sistem içerisindeki öğelerin hangi performans verisini etkilediği kolaylıkla takip edilebilir.

Örneğin, yapı kabuğunda güneşin pozisyonuna göre hareket eden güneş pili (PV) kaplı panel sistemi tasarımında, tasarımı oluşturan 3 öğe parametrik olarak ilişkilendirilerek, sistemin fonksiyonel ve ekonomik performansı optimize edilebilir. (Şekil 3.3)

- Güneşin yıllık ve günlük hareketi
- PV kaplı panellerin boyutları, sayısı ve yapı üzerindeki konumu
- PV kaplı panellerin ve kinetik sisteminin birim fiyatları



Şekil 3.3 Kinetik PV panel sisteminin performans optimizasyonu

Tasarlanacak kinetik sistemde, PV kaplı panellerin güneşe göre pozisyonları sistemin verimini etkileyen en önemli veridir. Bu nedenle panellerin pozisyonları güneşin günlük ve yıllık hareketi ile ilişkilendirilerek panellerin hareketleri şekillendirilir. Panellerin yapı üzerindeki konumu da PV panellerin verimini etkileyecek önemli verilerden biridir. Eğer panelin konumu güneşin hareketini takip edemeyecek bir pozisyonda ise panelin hareketli olarak tasarlanması verimli değildir. Bu nedenle yapının avantajlı bölgeleri güneşin hareketine bağlı olarak belirlenerek, hareketli ve büyük boyutlu paneller yapının avantajlı bölgelerine yerleştirilmelidir. Yapı üzerinde güneş alımı açısından avantajlı bölgelere yeteri sayıda ve büyüklükte hareketli PV paneller yerleştirilebiliyorsa dezavantajlı konumlara panel yerleştirilmez. Panellerin boyutları ve sayısı arasındaki ilişki ise panel ve kinetik sistemin fiyatları ile ilişkilidir. Panellerin hareketini sağlayacak olan kinetik sistem, toplam maliyeti arttıracak nitelikte ise kinetik sistemlerin sayısını azaltmak için panellerin sayısı azaltılarak boyutları büyütülür. Hareketli ve hareketsiz panellerin sayısı da fiyat - performans ilişkisinin incelenmesi ile optimize edilir. Özetle kinetik sistemi oluşturan öğelerin, sisteme etkileyen verilerle ilişkilendirilmesi, optimizasyon sürecinde tasarım kararlarının doğru şekillenmesini sağlar.

Parametrik tasarım yöntemlerinin kinetik sistem tasarımına sağladığı bir diğer avantaj, tasarlanan sistemlerin farklı projelere kolaylıkla uyarlanabilmesidir. Kinetik sistemlerin tasarım süreçleri statik sistemlere oranla daha çok zaman ve emek gerektiren bir süreçtir. Bu sebeple geliştirilen sistemlerin tek bir projeye yönelik olarak geliştirilmesi zaman ve emek israfına yol açar. Geliştirilen kinetik sistemlerin veya kinetik elemanların parametrik olarak tasarlanmaları, tasarımın birden fazla projeye uyarlanabilmesini kolaylaştırır. Parametrik olarak tasarlanan sistemler, farklı ölçeklere ve çevre verilerine sahip projelere uyarlanırken tasarım prensipleri değişmez.

Sonuç olarak parametrik tasarım yöntemleri ve parametrik tasarım araçları, değişken ilişkilerin tanımlanması açısından kinetik sistem tasarımında önemli rol oynamaktadır.

4. KİNETİK MİMARLIĞIN SINIFLANDIRILMASINDA YENİ YAKLAŞIM

4.1 Kinetik Sistemlerin Sınıflandırılmasında Künye Yöntemi

Bilim dünyasında, üzerinde araştırma yapılan niceliksel veya niteliksel tüm konular inceleme ve dokümantasyon kolaylığı açısından sınıflandırmaya ihtiyaç duyar. Sınıflandırmanın amacı, konuyu oluşturan öğelerin ve öğelerin birbirleri ile olan ilişkilerinin sistematik bir biçimde gruplandırılmasıdır. Oluşturulan gruplar, benzer özellikler gösteren öğelerin oluşturduğu kümeleri tanımlar. İnceleme ve dokümantasyon açısından benzer öğelerin bir arada bulunması, araştırmacıya karşılaştırma ve değerlendirme yapma olanağı sağlar.

Sınıflandırma süreci içerisinde oluşturulacak kümelerin içeriği ise konuyu oluşturan öğelerin çeşitliliği ve öğelerin ilişkilerinin karmaşıklığına bağlı olarak, farklı referans çerçeveleri dahilinde belirlenir. Örnek olarak canlıların sınıflandırılmasına yönelik ilk çalışmalarda canlılar yaşadıkları ortamlara göre kara, hava ve su olarak sınıflandırılmıştır. İlerleyen zamanlarda ise farklı ortamlarda yaşayan canlıların benzer özellikler gösterdiği ortaya konulmuş ve buna bağlı olarak türlerin üreme şekilleri, beslenme şekilleri, formları gibi birçok referans çerçevesi oluşturularak canlılar sistematik bir biçimde sınıflandırılmıştır.

Kinetik mimarlık, diğer araştırma alanları gibi sistematik bir sınıflandırmaya ihtiyaç duyar. Mimarlık, mekanik, statik, elektronik ve malzeme gibi birçok mesleki formasyonun bir arada çalışması gereken bir alanda, sistemi oluşturan öğelerin ve ilişkilerin karmaşıklığı, alanın sınıflandırılmasını da doğrudan etkiler. Yapıda kullanılan kinetik sistemlerin sınıflandırılması, ilişkilerin doğru olarak tanımlanabilmesi ve incelenebilmesi açısından doğru referans çerçeveleri dahilinde sistematik olarak yapılmalıdır.

Kinetik mimarlığın sınıflandırılması konusunda daha önce yapılmış olan çalışmalarda, araştırmacılar, belirledikleri referans çerçeveleri içerisinde konuyu ele alarak, hiyerarşik bir sistem ile sınıflandırmayı oluşturmuştur. Hiyerarşik düzende yapılmış olan çalışmalarda kinetik sistemler, ölçekleri, kontrol mekanizmaları ya da strüktürel özellikleri gibi ana başlıklara ayrılmış ve bu başlıklar mevcut projelerden yola çıkılarak alt başlıklar oluşturulmuştur.

Yapıda kullanılan kinetik sistemlerin alt sistemleri, birbirleriyle mutlak ilişkili olarak tasarlanır ve çalışır. Alt sistemlerin oluşturduğu ilişkilerin sayısı alt sistemlerin sayısının kombinasyonuna eşittir. Örneğin 5 alt elemanı bulunan bir sistemin ilişki sayısı 10'dur. Fakat bu elemanlardan biri 5 farklı opsiyona sahip olursa toplam 50 farklı ilişki tanımlamak gerekir. İlişki sayısının büyük sayılara ulaşması, sınıflandırılacak öğelerin sayısının da artması

demektir. Tasarım gibi sınıflandırılacak öge sayısı fazla ve artabilecek olan sınıflandırmalarda hiyerarşik bir düzen yerine canlıların sınıflandırmasına benzer nitelikte bir künye sistemi kullanmak daha esnek bir tanımlama alanı yaratır. Esnek tanımlama alanı, yeni geliştirilen sistemlerin de sınıflandırma dahilinde yer alabilmesine imkan verir.

Geliştirilen sınıflandırma önerisinin amacı, yapıda kullanılan mevcut kinetik sistemlerin ve geliştirilebilecek olan yeni kinetik sistemlerin belirli bir tanıma sahip olmasıdır. Geliştirilen künye sistemi sayesinde, kinetik sistemler, oluşturulan alt başlıklar içerisinde farklı kategorilerde incelenebilir. Üretilen yeni tasarımlar da belirli bir sınıfa dahil olmak zorunda kalmadan yeni sınıflar ya da alt sınıflar oluşturabilirler. Künye sistemi, modern dokümantasyon yöntemleri içinde uygun bir sınıflandırma yöntemidir. Oluşturulan veritabanını içerisinde başlıklara göre araştırma yapmak veya veritabanına yeni bir başlık ekleyebilmek sistemin esnekliğini artırır.

Mimaride kinetik sistemleri tanımlayan künye sistemi beş ana başlıktan oluşmaktadır. Künyeyi oluşturan bu 5 başlık kinetik sistemin ana kurgusunu belirler. Ana başlıklar yalnızca mimari bilgileri değil tüm disiplinleri ilgilendiren bilgileri barındırmaktadır. Ana başlıkların genel bilgilere sahip olması, künye sistemini bir sınıflandırma yöntemi olmanın yanında, yapıda kullanılan kinetik sistemlerin tasarımında disiplinler arası bir iletişim aracı olma özelliğini de katmaktadır.

Künye sistemini oluşturan ana başlıklar;

- Kinetik Sistemin Ölçeği ve Yapıdaki Konumu
- Kinetik Sistemin Fonksiyonu
- Kinetik Sistemin Transformasyon Tipolojisi
- Kinetik Sistemin Strüktürü ve Malzemesi
- Kinetik Sistemin Kontrol Mekanizması

olarak belirlenmiştir. Ana başlıklar, bütün kinetik sistemlerin barındırdığı ve barındırması gereken özellikleridir. Alt başlıklar ise projeden projeye farklılıklar gösterebilir. Eğer üretilen projeye uygun alt başlık yoksa sınıflandırmaya yeni bir alt başlık eklenir.

Künye sistemini birkaç örnekle aktarmak mümkündür. İlk örnekte Santiago Calatrava'nın tasarlamış olduğu Milwaukee Sanat Müzesi Quadracci Pavilyonunu ele alınmıştır. Projede kullanılan kinetik sistem yapı bileşeni ölçeğindedir ve yapının çatısında bulunmaktadır. Sistem güneş kontrolü ve gölgelendirme fonksiyonlarını üslenmektedir. Fakat sistem zorunluluk ya da performansa yönelik nedenlerden değil estetik kaygılardan ötürü seçilmiştir.

Sistem mafsallardan taşınan çelik konsollardan oluşmaktadır ve döndürme operasyonu ile hareket etmektedir. Sistemin kontrol mekanizması yarı otomatiktir. Elle açılıp kapanan sistem, üzerindeki algılayıcılar aracılığı ile rüzgar hızını ölçer ve rüzgar hızı 50 km/s 'i geçtiğinde sistem kendini otomatik olarak kapatır. [10] (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Milwaukee Art Museum Quadracci pavyonu. [10]

İkinci örnekte ise FISHTNK'ın geliştirmiş olduğu Tuneable Sound Cloud projesi incelenmiştir. Kullanılan kinetik sistem yapı elemanı ölçeğindedir. Yapının tavanında kullanılmaktadır. Sistem fonksiyonel olarak kontrol edilebilir akustik bir hacim yaratmayı hedeflemektedir ve akustik performansa yönelik bir sistemdir. Sistem döndürme ve öteleme operasyonları ile hareket etmektedir. Sistem ahşap çubuk strüktür arasına polikarbonat filmler ile oluşturulmuştur. Hareket ise kablo sistemleri sağlanmıştır. Sistem, algılayıcılardan aldığı bilgileri önceden programlanmış mikro işlemcide analiz ederek motorlara gerekli bilgilerin aktarılması yöntemi ile çalışan ön programlı otomatik kontrollü bir sistemdir. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Tuneable Sound Cloud projesi. [15]

4.2 Künye Yönteminin Alt Öğeleri

Kinetik sistemler, fonksiyonlarına bağlı olarak yapının herhangi bir bölümünde farklı ölçeklerde kullanılabilir. Kinetik sistemlerin ölçeği ve konumu, tasarımda ve performans analizlerinde kullanılacak verilerin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Kinetik Sistemin Ölçeği ve Yapıdaki Konumu başlığı, künyesi oluşturulan kinetik sistemin ölçek ve yapıdaki konumu ile ilgili bilgileri içerir ve iki alt başlık altında incelenir;

- Ölçek
- Konum.

Künyesi oluşturulan kinetik sistemin ölçeği, yapının küçük bir detayını ya da yapının tümünü kapsayabilir. Kinetik sistemin ölçeği tanımlanırken ilk olarak sistemin kapsamı belirtilmelidir. Oluşturulan künyenin detayına bağlı olarak, sistemin ve sistemi oluşturan öğelerin boyutları da künye kapsamında yer alabilir.

Kinetik sistemin konumu da sistemin tanımlanması açısından önemli bir alt başlıktır. Sistemin yapı üzerindeki konumu, sistemin ölçeği ile birlikte değerlendirildiğinde sistemin maruz kaldığı çevre verilerin tanımlanmasını sağlar. Örneğin kinetik sistemin konumu yapının çatı bölümü ise, sistem dış çevre etkilerinin kısıtlamaları dahilinde tasarlanmıştır ya da tasarlanacaktır.

Kinetik sistemin tanımlanmasında kullanılan künye yönteminin diğer bir ana başlığı ise *Kinetik Sistemin Fonksiyonu* başlığıdır. Kinetik sistemin fonksiyonu başlığında sistemin hedefini tanımlayan iki alt başlık bulunmaktadır;

- Kinetik sistemin temel fonksiyonu
- Kinetik sistemin gerçekleştirdiği hareketin fonksiyonu.

Kinetik sistemin temel fonksiyonu, sistemin hangi amaçla tasarlandığını ve inşa edildiğini tanımlar. Örneğin ABI'nin Madrid adalet sarayı projesi (Şekil 4.3) için tasarlamış oldukları kinetik sistemin fonksiyonu güneş kontrolünü sağlayarak yapı içerisinde istenmeyen ısı artışlarını engellemektir. Kinetik sistemler, birden fazla fonksiyona sahip olabilir. Sistemin sahip olduğu fonksiyon, sistemin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Sistemin temel fonksiyonundaki değişkenlik doğru değerlendirme açısından kesinlikle künyede belirtilmelidir.

Kinetik sistemin gerçekleştirdiği hareket fonksiyonu, sistemin neden hareketli olarak tasarlandığını tanımlayan bir alt başlıktır. Sistemin hareketinin hedefleri ve getirilerinin

tanımlandığı künyenin bu bölümü, sistemin temel fonksiyonu ile karıştırılmamalıdır. Künyenin bu bölümünde tanımlanan bilgiler, sistemin fonksiyonel ve ekonomik performans dengelerinin değerlendirilmesi açısından önem arz eder.



Şekil 4.3 Madrid adalet sarayı projesi. [12]

Kinetik Sistemin Transformasyon Tipolojisi başlığı, kinetik sistemin gerçekleştirdiği hareketlerin geometrik tanımlamalarını içerir. Künyenin bu bölümünde sistemin bütünü gerçekleştirdiği transformasyonlar dışında sistemi oluşturan elemanların transformasyon operasyonları da geometrik olarak tanımlanmalıdır. Tanımlanan transformasyonlar sayesinde sistemin hareketini sağlayan mafsallar ve tahrik elemanlarının özellikleri değerlendirilebilir. Kinetik sistemlerin transformasyon tipolojileri, mekanik ve statik açıdan sistemlerin karşılaştırılmasındaki en önemli verileri içerir.

Kinetik sistemlerin künyesini oluşturan diğer bir ana başlık, *Kinetik Sistemin Strüktürü ve Malzemesi* başlığıdır. Künyenin bu bölümünde kinetik sistemi oluşturan öğelerin malzeme özellikleri ve strüktürel özellikleri iki alt başlık altında tanımlanır.

- Kinetik sistemin strüktürel özellikleri
- Kinetik sistemin malzeme özellikleri.

Kinetik sistemin ölçeği ne olursa olsun sistem bir strüktüre sahiptir. Strüktür sayesinde sistem, kendi ağırlığını ve sisteme etkiyen hareketli veya hareketsiz yükleri, bağlı bulunduğu yapı bileşenine ya da zemine aktarır. *Kinetik Sistemin Strüktürel Özellikleri* alt başlığında, künyesi oluşturulan kinetik sistemin strüktürüne ait malzeme özellikleri, birleşim detayları ve mafsal tipleri gibi tanımlamalar bulunur. Künye çalışmasının detayına göre strüktürün ölçüleri de künye içerisinde yer alabilir.

Kinetik Sistemin Malzeme Özellikleri alt başlığında ise sistemi oluşturan tüm öğelerin malzeme özellikleri oluşturulan künyenin detayına göre tanımlanır. Künyedeki malzeme tanımları, sistemin yapı içerisindeki konumu ile birlikte ele alındığında, performans karşılaştırmaları için gerekli bilgileri ortaya koymaktadır. Kinetik sistemi oluşturan malzemelerin detayları, sistemin teknoloji seviyesi hakkında da yol gösterici niteliktedir.

Kinetik sistemler, fonksiyonlarına bağlı olarak değişken zaman aralıklarında ve farklı biçimlerde hareket ederler. Sistemin hareketi tasarım sürecinde veya sistemin çalıştığı süreçte çevreden alınan verilerle şekillenir. Kinetik sistemin ne zaman ve ne şekilde hareket edeceği, sistemi kontrol eden öğeler aracılığıyla sisteme aktarılır.

Kinetik Sistemin Kontrol Mekanizması başlığı altında sistemin kontrolünü sağlayan öğelerin özellikleri tanımlanmaktadır. Kinetik sistemin kontrol mekanizması beş alt başlık altında incelenebilir;

- Sisteme veriyi ileten öğeler
- Sistemde veriyi işleyen öğeler
- İşleticiye verileri aktaran öğeler
- Verileri işleten öğeleri
- İşlenen verileri kontrol eden öğeler

Sistemin hareketinin ne zaman ve ne şekilde gerçekleşeceğine dair verilerin sistem dışı ortamdan alınarak sisteme iletilmesi gerekir. Bu veriler tasarım sürecinde veya kullanım sürecinde, kullanıcılar ya da çeşitli alıcılar vasıtası ile sisteme iletilir. Kinetik sistemin kontrol mekanizmasının işleyişinin tanımlanabilmesi için *sisteme veriyi ileten öğelerin* künye içerisinde açıkça belirtilmesi gereklidir.

Kinetik sisteme gelen veriler, sistemi işleten öğelerin algılayacağı formatta olmayabilir. Bu verilerin işlenerek sistemi oluşturan işletim sisteminin algılayabileceği bir formata dönüştürülmesi gereklidir. Alınan veriler, kullanıcı tarafından ya da önceden programlanan bilgisayar araçları ile işlenerek işleticinin algılayabileceği formata dönüştürülür. Örneğin hareket algılayıcısına sahip, otomatik açılıp kapanan bir kapı sisteminde, algılanan hareket, önceden programlanmış elektronik devrelerde işlenerek gerekli bilgi hareketi sağlayan motora iletilir.

Sistem içerisinde veriyi işleyen öğeler kontrol sisteminin işleyişinde önemli bir yere sahiptir. Veriyi işleyen öğelerin künye içerisinde detaylı olarak tanımlanmaları gereklidir.

İşlenen veriler, sistemde hareketi sağlayan öğelere iletilmelidir. Bu veri iletimi, kullanıcılar tarafından ya da otomatik bir sistem tarafından gerçekleştirilir. İletimin zaman aralığı sistemin işleyişini ve performansını belirler. Örneğin, işlenmiş veriler kullanıcı aracılığı ile sisteme iletiildiğinde sistemin zamanlama aralığının geniş olması gerekir. Elektronik sistemlerin ilettiği veriler ise çok kısa zaman aralıklarında verileri işleyen öğelere iletilebilir. *İşleticiye verileri aktaran öğeler* sistemin çalışma hızını ve sürekliliğini doğrudan etkiler. Bu sebeple iletimi gerçekleştiren öğelerin künye içerisinde tanımlanması gerekir.

İşlenen veriler, iletimi gerçekleştiren öğe aracılığıyla verileri işleyen öğeye iletilir. *Verileri işleyen öğeler* sistemin hareketini sağlayan öğelerdir. Hareketi sağlayan öğeler, kullanıcılar ya da farklı özelliklere sahip mekanik sistemler olabilir. Verileri işleyen öğelerin özellikleri verileri aktaran öğelere bağlı olarak değişir. Eğer sistemin hareketi kullanıcının kuvveti ile sağlanıyorsa, iletilen verilerin insanın algılayabileceği formatta olmalıdır. Motor veya hidrolik sistemler ile hareket sağlanıyorsa, bu öğelerin özellikleri de veriyi ileten öğenin özellikleri ile uyumlu olmalıdır. Örneğin hareketi sağlayan bir motor elektronik devreden dijital veriler alabiliyorsa, bu motorlar tam otomatik elektronik kontrollü bir sistem içerisinde kullanılabilir. İşletim öğeleri kontrol sisteminin çalışma prensibini doğrudan ilgilendirmektedir. Bu sebeple verileri işleyen öğeler künye sistemi içerisinde detaylı olarak tanımlanmalıdır.

İşlenen verileri kontrol eden öğeler sistemin gerçekleştirdiği hareketin sonuçlarını kontrol ederek sonuçları sistemde veriyi işleyen öğelere aktarır ya da kaydeder. Bu sayede sisteme gelen veriler ile alınan sonuçlar ilişkilendirilerek sistemdeki aksaklıklar belirlenir. İlişkilendirilen sonuçlar sistemin öğrenmesini de sağlar, böylelikle sistem tekrarlanan verilere karşı farklı stratejiler geliştirebilir. İşlenen verileri kontrol eden öğeler kullanıcılar olabileceği gibi alıcılar ve bilgisayarlardan da oluşabilir.

Kinetik sistemin kontrol mekanizmasını oluşturan tüm alt başlıklar sistemin çalışma prensibini ve akışını belirler. Bu sebeple künye içerisinde ilişkili olarak tanımlanmalıdır. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Kontrol mekanizması akış şeması

Sonuç olarak, kinetik sistemleri tanımlayan 5 ana başlığın içeriği oluşturulduğunda, sistemin tüm özellikleri künye dahilinde yer alacaktır. Bu sayede istenilen başlıklar çerçevesinde, benzer özelliklerdeki projeler karşılaştırılabilir ya da incelenebilir. İncelemenin detayına bağlı olarak birden fazla başlık ya da alt başlık, referans çerçevesi olarak kullanılabilir.

Tezin Ek 1 bölümünde Milwaukee Art Museum Quadracci pavyonu projesinin künye yöntemi ve diğer sınıflandırma yöntemleri ile ifade edilmiş tanımları incelenebilir.

5. KİNETİK SİSTEM TASARIMI İLE İLGİLİ ÖRNEK ÇALIŞMA: AMS-S

5.1 AMS-s Projesinin Hedefi

Doğadaki formlar, sayısız çevre etkisi altında şekillenmektedir. Çevre etkilerinin çeşitliliği ve değişkenliği, doğadaki formların karmaşık geometrilere sahip olmasına yol açmıştır. Doğadaki karmaşık geometrilerin bir kısmı çevre etkilerine tepki vermeksizin şekillenirken, bir kısmı da bulundukları ortama uyum sağlayabilecek ve çevre etkilerine karşı koyabilecek biçimde şekillenmiştir. (Şekil 5.1) Yapılar da doğadaki canlılar gibi bulundukları çevreye uyum gösterebilecek ve çevre etkilerine karşı koyabilecek nitelikte tasarlanmalıdır.

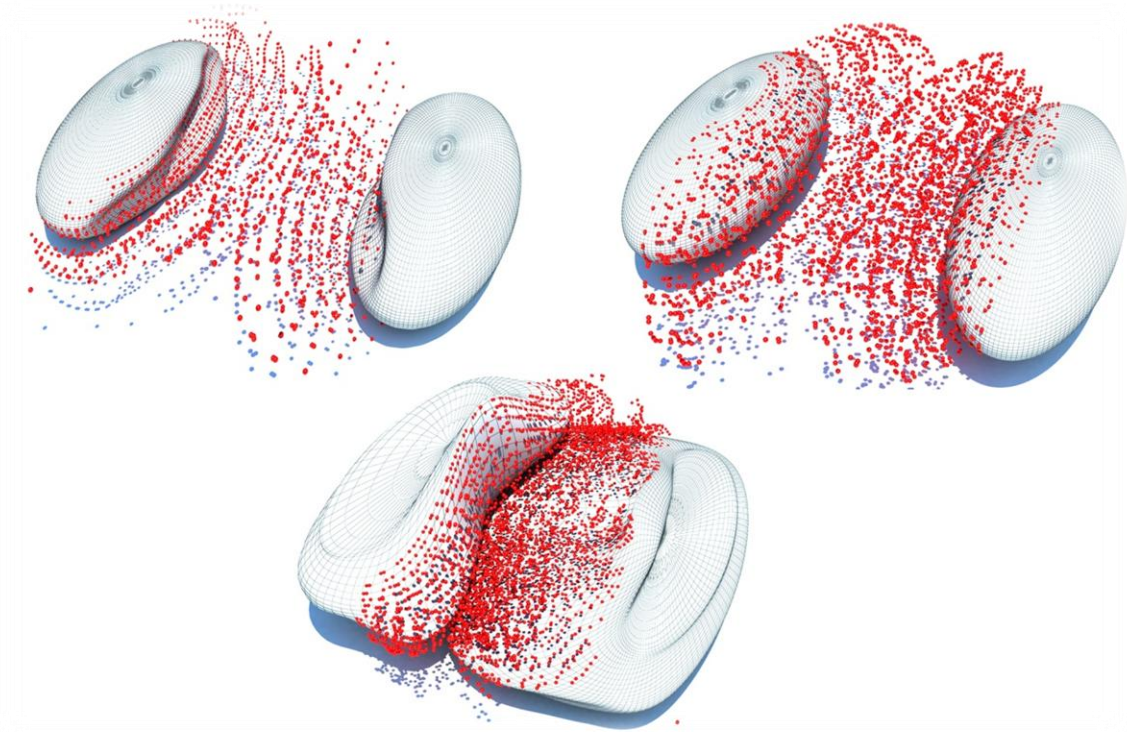


Şekil 5.1 Çevre etkilerinin şekillendirdiği karmaşık geometriler. [16]

Yapı tasarımının sınırsız ihtiyaçlarına karşılık, basit geometrik formlar gerekli esnekliğin sağlanmasında yetersiz kalabilir. Serbest formlar ise tasarımcıya geniş bir geometrik tanımlama alanı sağlar. Sağladığı avantajlara rağmen tasarım ve üretimdeki zorluklar, serbest formların yapı tasarımındaki kullanımını kısıtlamıştır. Konvansiyonel tasarım yöntemleri ile çalışılması güç olan serbest formlar, bilgisayar destekli tasarım araçlarının yaygınlaşması ile birlikte yapı tasarımında daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Üretim ve malzeme teknolojilerinin gelişmesi de serbest formların kullanımını arttırmıştır.

Serbest formlar tasarımcının kullanabileceği geometri kümesini oldukça genişletmektedir. Serbest formların, hareket ve adaptasyon kabiliyeti kazanması, projelerde ulaşılabilecek sonuç ürün kümesini daha da geniş bir alana yaymaktadır. Serbest formların değişken bir yapıda olması, projelerde fonksiyonel dönüşümlerin ve performans optimizasyonunun daha geniş perspektifte ele alınabilmesini sağlar. Serbest formların çevre verilerine adapte olmasının getirdiği performans artılarına doğadaki canlılardan sayısız örnek verilebilir.

'Adaptable Mesh Structure System' (AMS-s) projesinin hedefi değişken çevre koşulları ve fonksiyonlara uyum gösterebilecek mimari elemanların, strüktürlerini oluşturabilecek bir sistem geliştirmektir. Geliştirilen strüktür sisteminin yapıların iç ve dış kabuklarında ihtiyaç duyulan tüm yüzey tiplerine (düzlemsel, tek eğrilikli ve çift eğrilikli) uyarlanabilecek bir yapıda olması amaçlanmıştır. AMS-s'nin serbest formlara sağlayacağı hareket kabiliyeti, yapıların ve yapı elemanlarının, çevre etkilerine tepki verebilmesini sağlayacaktır. Bu sayede yapılar çevre ile uyum içerisinde form değiştirebilecektir. (şekil 5.2) Yapıların çevre etkileri ile uyum içerisinde form değiştirmesinin, yapı performansını olumlu şekilde etkileyeceği düşünölmektedir. Serbest formların uyarlanabilir yapıda olmasının, yapılarıdaki ve yapı elemanlarındaki fonksiyonel değişimlere de imkan verebileceği düşünölmektedir.



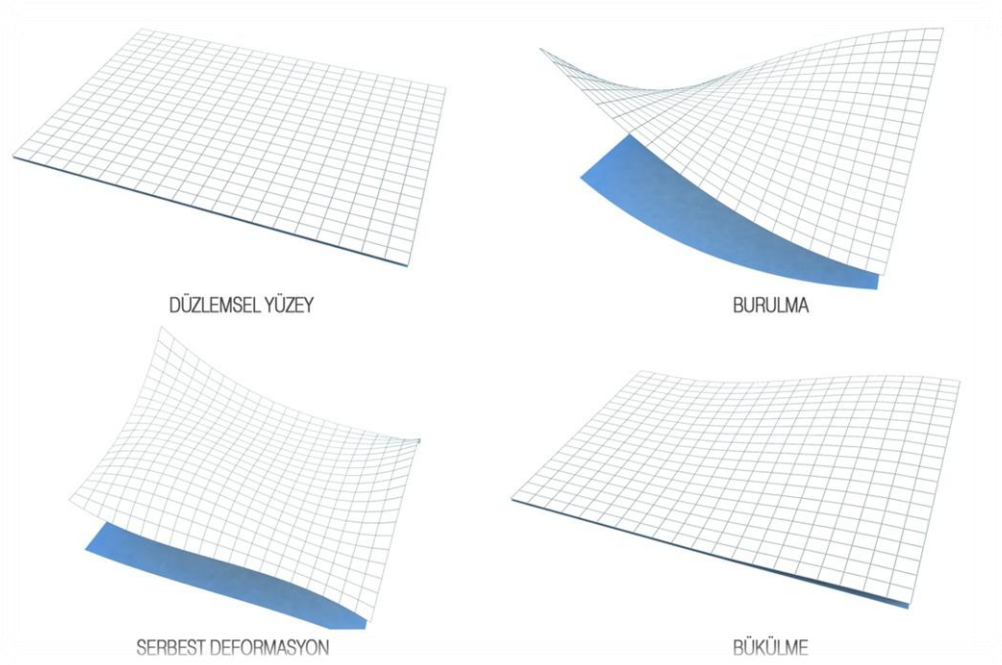
şekil 5.2 Formların çevre verileri ile etkileşim içerisinde şekillenmesi.

Tez kapsamında yazar tarafından geliştirilen AMS-s projesi;

- Mimari kinetik sistemlerin, yapı performansı üzerindeki etkilerini,
 - Parametrik tasarım araçlarının, mimari kinetik sistemlerin tasarım süreçleri üzerindeki etkilerini,
 - Serbest formlu kinetik sistemlerin, yapı tasarımıındaki kullanım alanlarını
- incelemek ve sonuçları okuyucuya aktarmak için geliştirilmiş bir projedir.

5.2 AMS-s Projesi Sistem Tasarımı

Yüzeylerdeki ve katı cisimlerdeki form değişiklikleri, geometride transformasyonlar ve deformasyonlar ile tanımlanır. Öteleme, döndürme ve aynalama operasyonları, yüzeylerin formunu ve boyutlarını değiştirmez. Yalnızca yüzeyin taşınmasını sağlar. Ölçeklendirme ve eğilme operasyonları ise şeklin formunu ve ölçülerini değiştirirler. Bükülme (bending), sivrilme (tapering) ve burulma (twisting) gibi deformasyon operasyonları ise yalnızca yüzeylerin formunda ve ölçülerinde değişiklik yaratmazlar. Yüzey tiplerini de değiştirirler. (Pottmann, Asperl, Hofer, Kilian, 2007) Örneğin, düzlemsel bir yüzey, burulma operasyonuna uğradığında yüzey tek eğrilikli bir yüzeye dönüşmektedir. Aynı düzlemsel yüzey serbest deformasyona uğradığında ise ortaya çift eğrilikli bir yüzey çıkmaktadır. (Şekil 5.3)

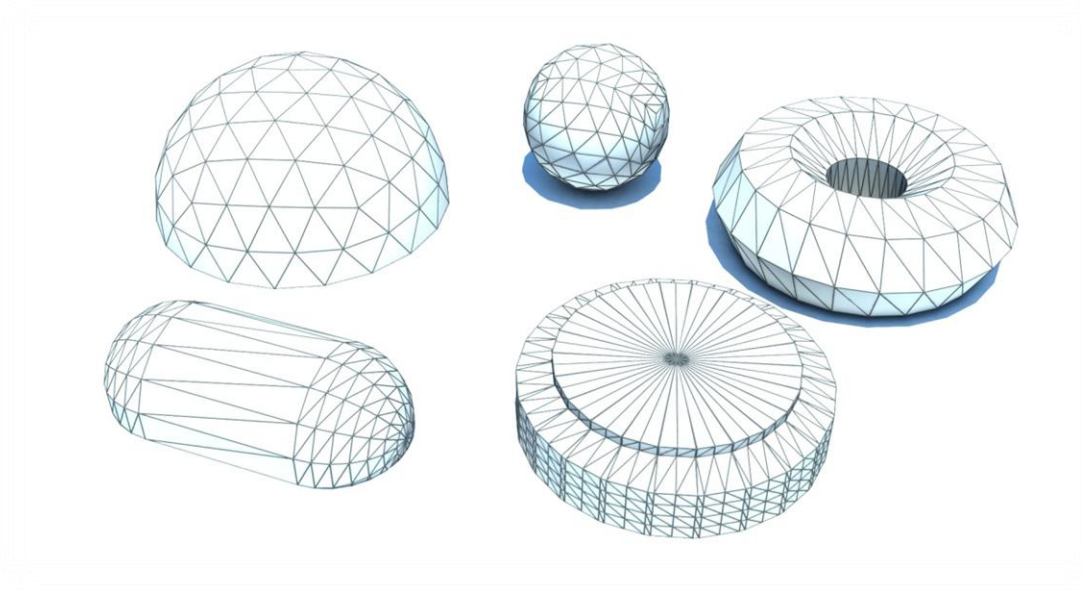


Şekil 5.3 Düzlemsel bir yüzeyin deformasyonlara uğraması

Yüzeyler transformasyona ya da deformasyona uğradığında, yüzeyleri oluşturan noktalar uzay içerisinde yer değiştirir ve noktalar arasındaki ilişkiler değişir. Sürekli yüzeyler olarak isimlendirilen eğrilikleri devamlı yüzeylerin formlarının kontrol edilebilmesi için sayısız nokta tanımlanması ve tüm noktaların kontrol altında olması gerekir. Sürekli yüzeylerin kontrolü ancak yüzey üzerinde belirli sayıda kontrol noktasının belirlenmesi ile mümkündür.

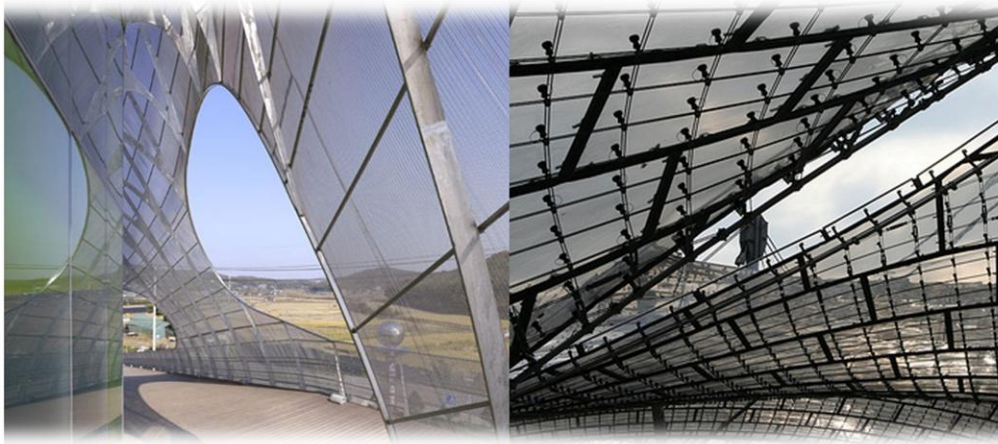
Serbest formlu geometrileri belirli sayıda nokta ile tanımlamanın yolu ise, örgü sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sebeple AMS-s projesinin geliştirilmesinde örgü sistemlerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Örgü sistemleri, herhangi bir geometrik formu ifade etmek için yan yana gelen yüzler ve noktalar kümesi ile tanımlanır. Örgü sistemleri genellikle, farklı boyutlardaki bir tip çokgenin (üçgen, dörtgen, altıgen v.b.) yan yana gelmesi ile serbest formlu bir geometriyi oluşturur. Örgü sistemleri eğrisel yüzeyleri ifade etmek için kullanılmalarına rağmen sistemi oluşturan çokgenlerin kenarları ve köşeleri nedeniyle, sürekli eğrisel yüzeyleri oluşturmazlar. (Pottmann, Asperl, Hofer, Kilian, 2007) (Şekil 5.4)



Şekil 5.4 Örgü sistemleri ile oluşturulmuş geometriler.

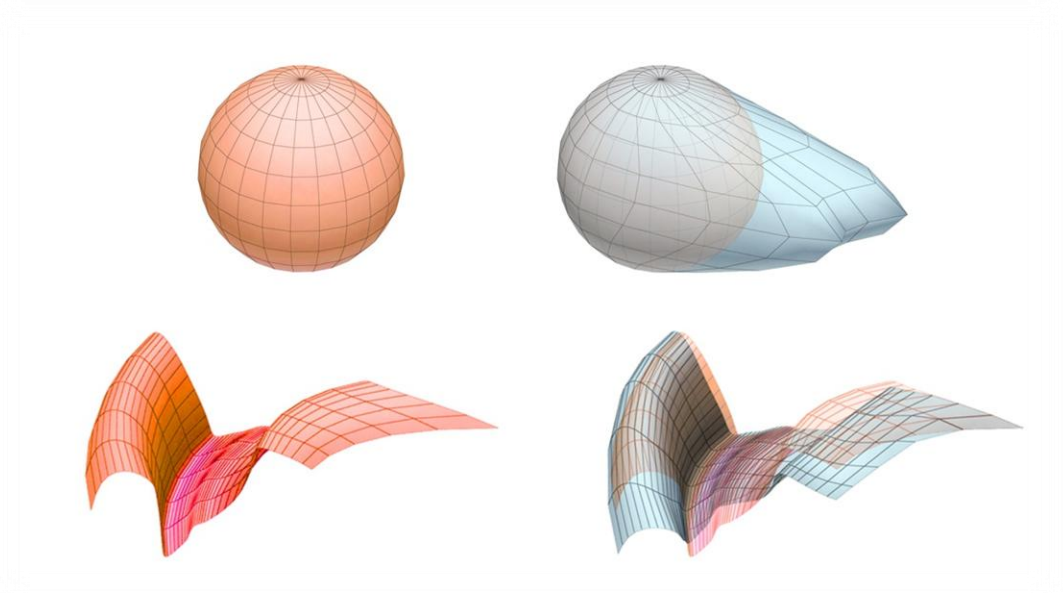
Örgü sistemlerinin serbest formlu geometrileri basit geometrik formlara ayırması, tasarım ve üretim aşamalarında tasarımcılara kolaylıklar sağlar. Bu sebeple örgü sistemleri yapı tasarımında sıkça kullanılmaktadır. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5 Örgü sistemlerinin mimarideki kullanımları. [17] [18]

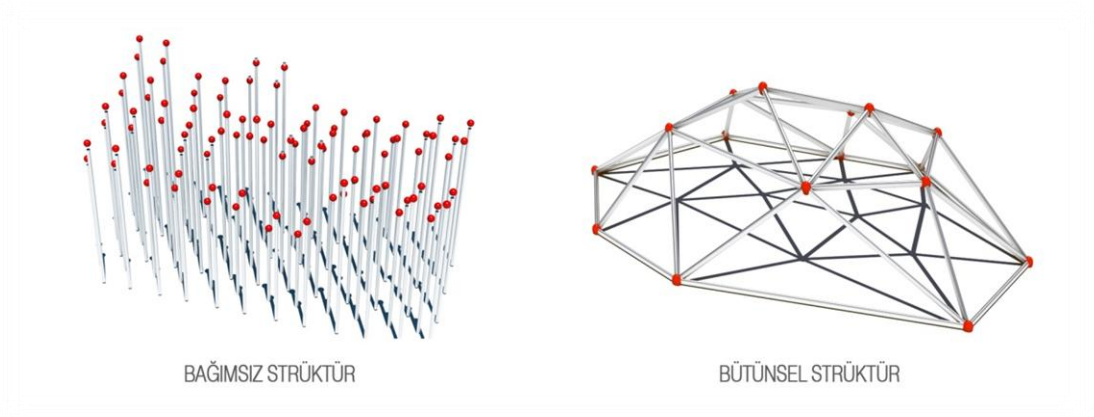
Örgü sisteminin ifade ettiği sürekli yüzeye yakınlığı, sistemin sahip olduğu nokta ve yüz sayısına göre değişkenlik gösterir. Yakınlığa etki eden diğer unsur ise ifade edilen yüzeyin eğrilidir. Çift eğrilikli yüzeylerin örgü sistemi ile oluşturulduğu durumlarda düzlemsel olmayan yüzlerin eğrilikleri sürekli yüzeyin eğriligi ile ters yönde olabilir.

Örgü sistemleri ile oluşturulmuş geometriler, transformasyona ve deformasyona uğradıklarında sistemi oluşturan noktalar, sürekli yüzeylerde olduğu gibi yer değiştirir. Sürekli yüzeylerden farklı olarak örgü sistemlerinde noktalar arası birleşimler doğrusal elemanlardan oluştuğu için yalnızca noktaların tanımlanması örgü sisteminin tanımlanması için yeterli olmaktadır. (Şekil 5.6) AMS-s projesinin ana fikri, örgü sistemlerinin yalnızca nokta tanımları ile kontrol edilebilmesi özelliğine dayanmaktadır.



Şekil 5.6 Örgü sistemlerinin transformasyon ve deformasyonlara uğraması.

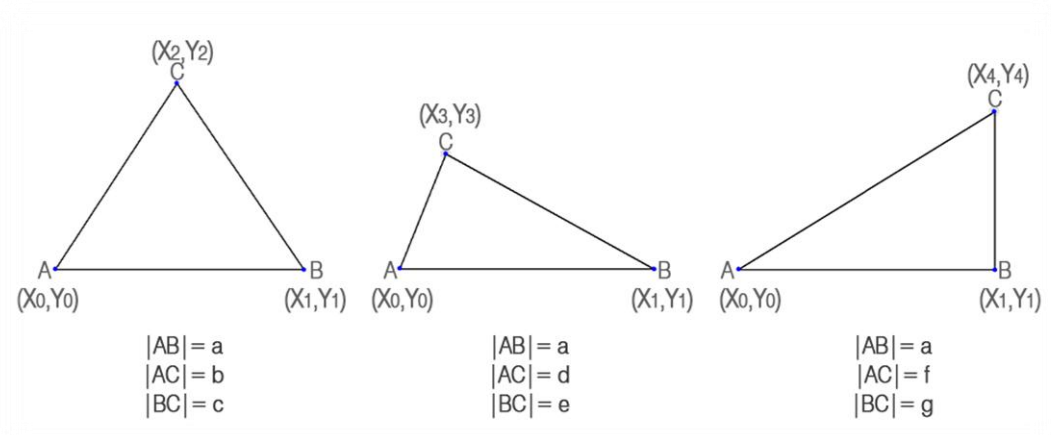
AMS-s, çubuk elemanlarla oluşturulmuş örgü sistemlerinin kontrollü biçimde form değiştirmesini sağlayacak bir sistem önermektedir. Sistem teorik olarak örgü sistemini oluşturan noktaların kontrolüne dayanmaktadır. Sistemi oluşturan tüm noktaların uzaydaki yerini kontrol etmek, sanal ortamda ya da kağıt üzerinde mümkündür fakat uygulamada sistemi oluşturan noktaların tümünü kontrol etmek için her noktanın farklı bir taşıyıcı elemanla kontrol edilmesi gereklidir. (Şekil 5.7) AMS-s projesinde ise oluşturulan örgü sisteminin taşıyıcı özellikte olması gerekmektedir. AMS-s projesinde örgü sisteminin form kontrolünü sağlamak için ortaya koyulan fikir ise örgü sistemini oluşturan doğrusal elemanların boyutlarının kontrol edilmesidir.



Şekil 5.7 Noktaların farklı taşıyıcılar ile kontrol edildiği örgü sistemleri.

Kapalı bir örgü sistemi içerisinde sistemi oluşturan noktaların yer değiştirmesi sistemin formunu değiştirir. Noktalar yer değiştirdiğinde noktalar arasındaki doğrusal elemanların boyutları değişir. Dolayısıyla örgü sistemini oluşturan doğrusal elemanların boyutlarının değişmesi de sistemin formunun değişmesi anlamına gelir. AMS-s'nin çalışma prensibi örgü sistemlerinin bu özelliğinden yararlanılarak geliştirilmiştir.

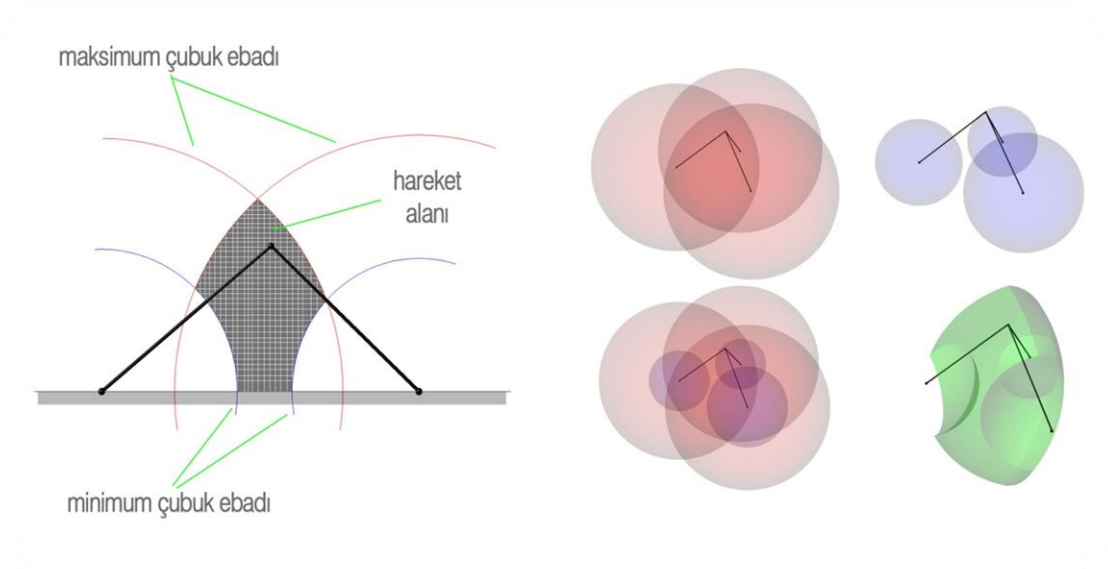
Sistemin çalışma prensibi, bir üçgenin kağıt üzerine çizimi üzerinden kolaylıkla anlaşılabilir. Örneğin A, B, C noktalarından oluşan, A ve B noktalarının konumu belirli bir üçgenin çizimini ele alalım. Üçgenin tanımlanabilmesi için ya C noktasının konumunun bilinmesi ya da üçgeni oluşturacak diğer iki ayrıtın boyutlarının bilinmesi gerekir. Eğer ayrıtların boyutları değişirse, C noktasının konumu da değişir. Böylelikle üçgenin formu değişmiş olur. Üçgenin bu özelliğinden yararlanılarak üçgenlerden oluşturulmuş örgü sistemleri de kontrol edilebilir. (Şekil 5.8)



Şekil 5.8 Üçgende ayrıt uzunlukları ve nokta konumları arasındaki ilişki.

AMS-s, ilk olarak iki boyutlu örgü sistemleri ile oluşturularak, sistem içerisindeki ilişkiler ve kısıtlamalar tanımlanmıştır. Tanımlanan ilişkiler ve kısıtlamalar üç boyutlu eğrisel örgü sistemlerine uyarlanarak test edilmiştir. Sistemin kontrol mekanizmasına ve detaylarına yönelik öneriler, ilişkiler ve kısıtlamalar dahilinde geliştirilmiştir.

AMS-s'yi şekillendiren en önemli ilişki, doğrusal çubuk elemanların uzama oranları ile örgü sisteminin alabileceği formların ilişkisidir. Sanal ortamda ya da kağıt üzerinde doğrusal elemanların uzama oranları sınırsız olarak kabul edilebilir, fakat uygulama aşamasında kullanılacak teleskopik çubuk elemanlar minimum ve maksimum boyutlara sahiptir. Teleskopik elemanların getirdiği bu sınırlamalar örgü sisteminin alabileceği formların aralığını belirler. (Şekil 5.9)

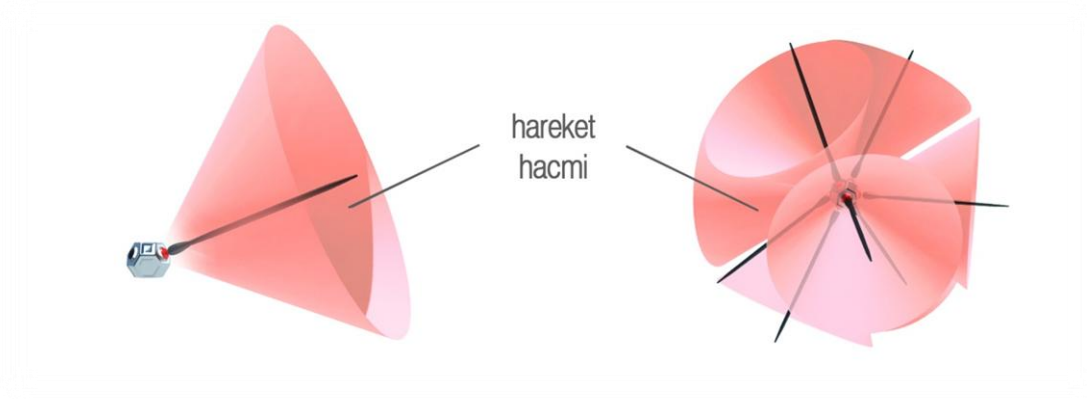


Şekil 5.9 Teleskopik elemanların uzama sınırlarının getirdiği kısıtlamalar.

Sistemin oluşturabileceği form kümesini sınırlayan diğer bir etken ise doğrusal elemanların birbirleriyle ve sistemin sabitlendiği zemin ile yaptığı açılardır. AMS-s projesinde kullanılan hareketli teleskopik çubukların tümü mafsallar ile birbirlerine bağlanmak zorundadır. Sistem mafsalların sağladığı esneklik doğrultusunda hareket edebilir. Dolayısıyla sistemde kullanılan mafsalların hareket aralığı sistemin alabileceği formların aralığını belirleyen etkenlerden biridir.(Şekil 5.10)

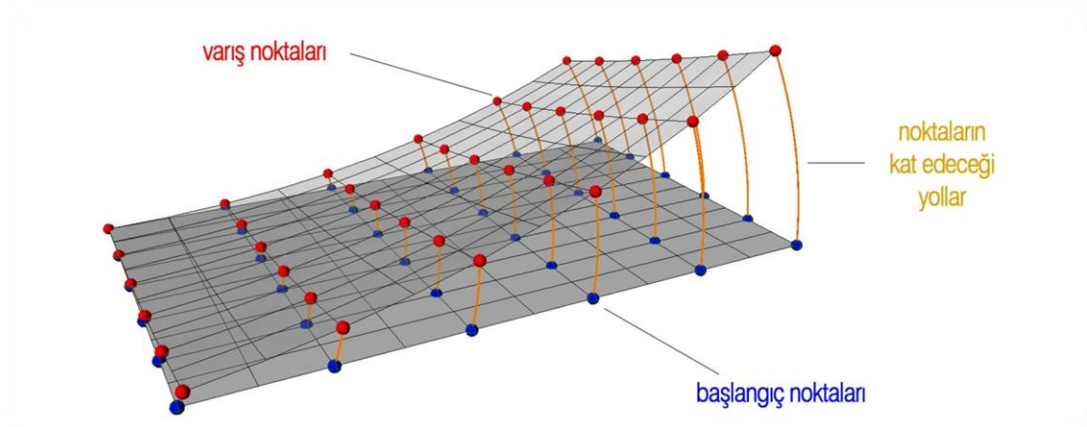
Sistemin hareket alanını ve buna bağlı olarak sistemin oluşturacağı form kümesini kısıtlayan diğer bir etken ise sistemi oluşturan noktaların kat edebileceği yollardır. Teleskopik çubukların ve mafsalların limitleri dahilinde belirlenen hareket alanında örgü sisteminin hareketini engelleyebilecek fiziksel dış etkenler bulunabilir ya da sistemi oluşturan noktalar

sistem hareketinin fonksiyonuna bağı olarak belirli noktalardan geçmek zorunda olabilir. Örneğin, ahşap bir plakaya bağı örgü sistemi ancak ahşap plakanın bükülebileceği formlar dahilinde hareket edebilir. (Şekil 5.11)



Şekil 5.10 Mafsalların getirdiği kısıtlamalar.

Sonuç olarak AMS-s'nin hareket aralığını belirleyen üç temel etken bulunmaktadır. Sistemin hareket aralığının hesaplanabilmesi için bu üç etken parametrik olarak ilişkilendirilmelidir. Üç temel kısıtlayıcının ilişkisi paralelinde mevcut bir sistemin hareket aralığı hesaplanabilir ve sistemin kontrol mekanizması bu sınırlar dahilinde programlanabilir. AMS-s'yi kullanarak yeni bir sistem oluşturulacaksa, ilk olarak sistemin oluşturacağı formlar kümesi belirlenir. Daha sonra belirlenen formlar kümesi içerisinde, sistemin hareketini engelleyen kısıtlamalar belirlenir. Elde edilen gerekli formlar kümesinin ihtiyacını karşılayacak nokta konumlarına bağı olarak, teleskopik çubuk elemanların ve mafsalların limitleri belirlenir. Sınırları ve eleman özellikleri belirlenen sistemin kontrol mekanizması da bu kısıtlamalar dahilinde elemanların ilişkileri üzerinden oluşturulur.

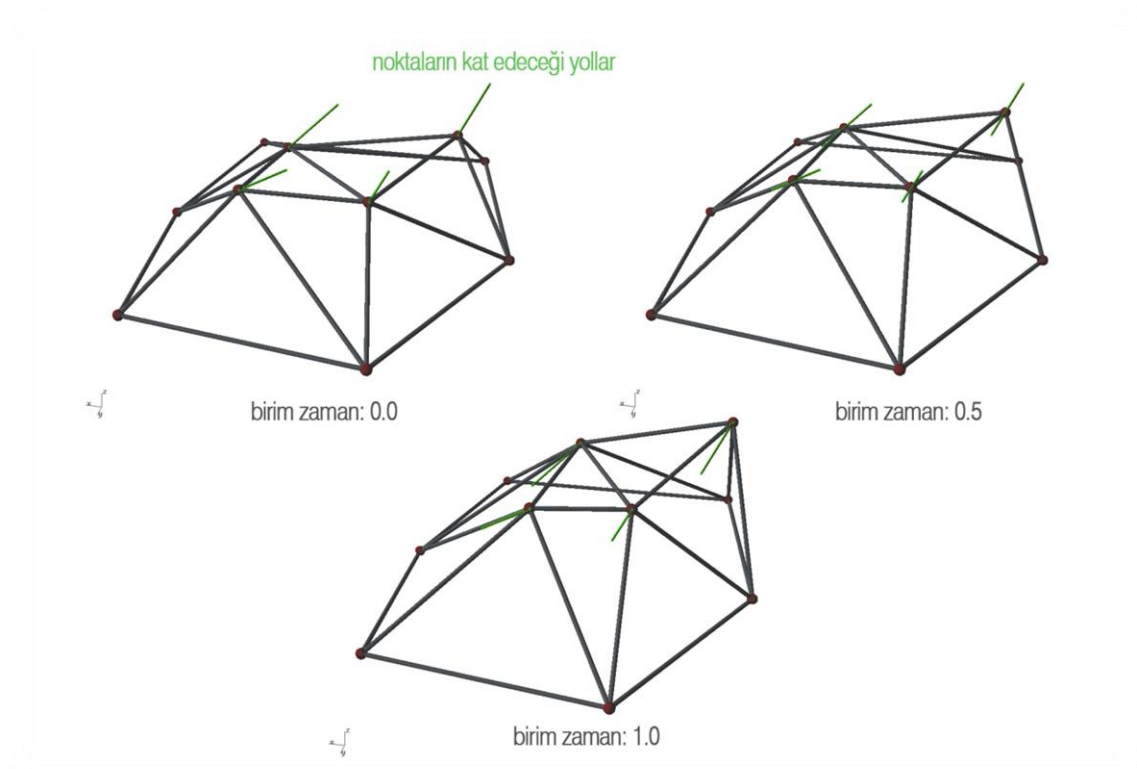


Şekil 5.11 Noktaların sistemin hareketi sırasında kat edeceği yollar.

AMS-s'nin kontrol mekanizmasını şekillendiren en önemli unsur sistemdeki teleskopik elemanların eşzamanlı olarak hareket etme zorunluluğudur. Sistem içerisindeki bir noktanın belirli bir yol üzerinde hareket ederek belirli bir noktadan başka bir noktaya hareket edebilmesi için noktaya bağlı tüm doğrusal elemanların eş zamanlı olarak boyut değiştirmeleri gereklidir. Eş zamanlı değişimin sağlanabilmesi için sistem içerisinde hareket eden teleskopik elemanlar farklı tahrik elemanları ile kontrol edilmelidir. Sistemin hareketini sağlayacak olan tahrik elemanlarının eş zamanlı kontrolü ise ancak bilgisayar kontrollü elektronik sistemlerin kullanılması ile mümkündür.

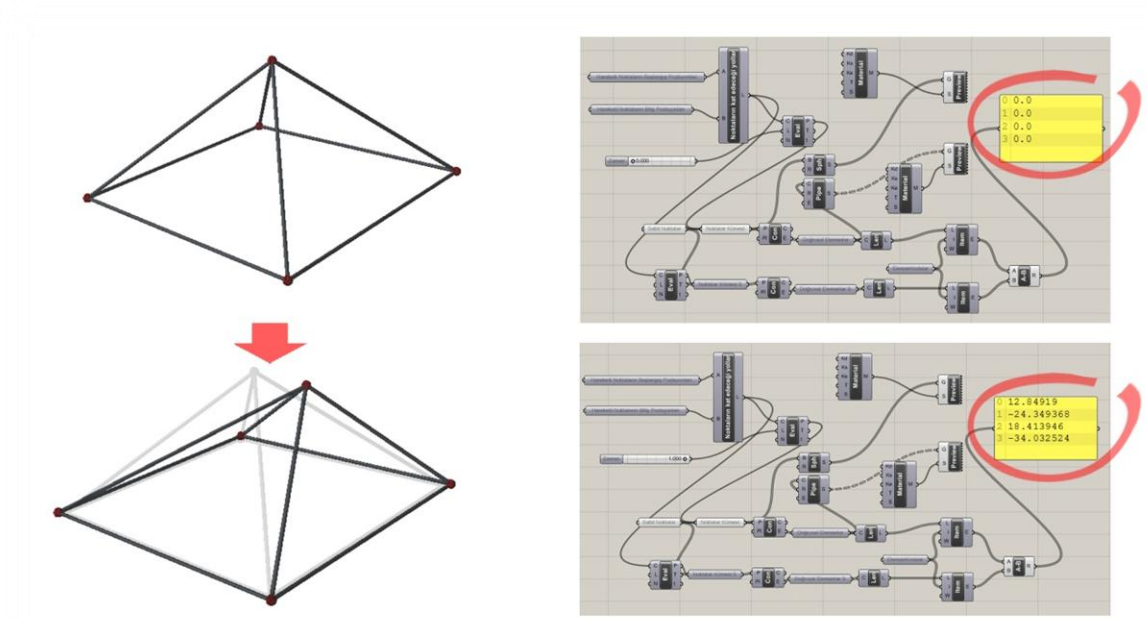
Sistem içerisindeki noktaların belirlenen zaman aralığında kat edecekleri yollar, sistemdeki form değişimine bağlı olarak bilgisayar tarafından hesaplanmalıdır. Hesapların yapılabilmesi için tasarlanan sistemdeki tüm elemanlar, parametrik olarak ilişkilendirilerek sanal ortamda oluşturulmalıdır. Sanal ortamda oluşturulan sistemdeki değişikliklerin sonucunda ortaya çıkan veriler sistemin hareketini sağlayacak olan tahrik elemanlarına aktararak sistemin fiziksel hareketi sağlanabilir. (Şekil 5.12)

Sistemin kontrolünü sağlamak üzere oluşturulmuş örnek modelin, Rhinoceros programının Grasshopper eklentisi içerisindeki parametrik tanımı, tezin Ek 2 bölümünden incelenebilir.



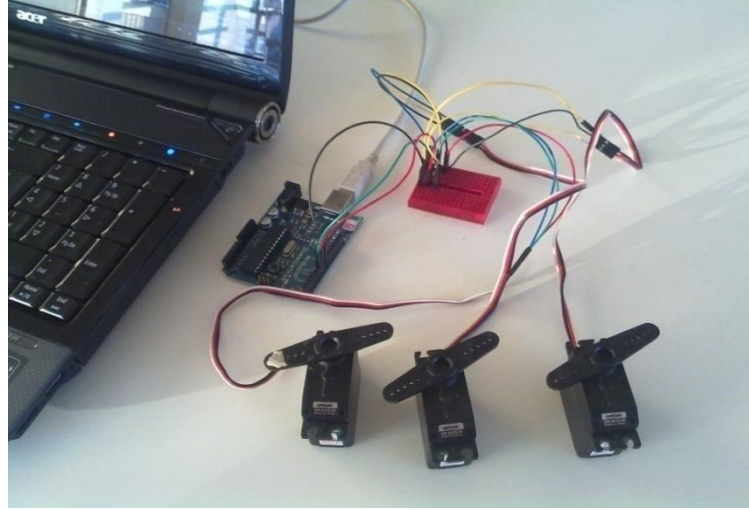
Şekil 5.12 Formlar arası değişikliklerin sanal ortamda oluşturulması.

Geliştirilen kontrol mekanizmasının detaylandırılması ve çalışabilirliğinin test edilmesi için oluşturulan prototipte, bilgisayar platformu olarak Rhinoceros programı ve Grasshopper eklentisi kullanılmıştır. Kontrolü sağlanacak form, Grasshopper ile parametrik olarak tanımlanmıştır. Bu sayede sistem formunda yapılan değişikliklerin, çubuk boyutlarında yarattığı fark matematiksel olarak elde edilmiştir. Çubukların boyutlarındaki farklar, sistemin çalışması için gereken tek geometrik bilgidir. (Şekil 5.13)



Şekil 5.13 Formlar arası geçişte çubuk boyutlarındaki farkların hesaplanması.

Bilginin servo motorlara aktarılabilmesi için gerekli elektronik platform, Arduino firmasının geliştirmiş olduğu mikro işlemciler ile sağlanmıştır. [19] Arduino platformu, basit bir programlama diline sahiptir. Bu sayede istenilen komutlar kolaylıkla servo motorlara iletelebilmektedir. Prototip çalışmasında kullanılan üç servo motorun eş zamanlı olarak istenilen dönüş hareketlerini gerçekleştirebilmesi için Arduino platformu programlanarak servo motorlara bağlanmıştır. (Şekil 5.14) Geliştirilen programlama kodu, dışarıdan koda iletilecek üç sayısal veri ile çalışmaktadır. Gerekli sayısal veriler çubuk boyutlarındaki farklardır. Veriler Grasshopper içerisindeki Firefly eklentisi ile Arduino platformuna aktarılmıştır. Geliştirilen kod sayesinde veriler işlenmiş ve motorların eş zamanlı olarak farklı devirlerde ve farklı turlarda dönme işlemini gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Servo motorların gerçekleştirdikleri farklı dönme hareketleri sayesinde, motorlara bağlı vidalı kayar miller eş zamanlı olarak farklı boyutlara ulaşmıştır. Arduino için geliştirilen programlama kodu Ek3 bölümünden incelenebilir.



Şekil 5.14 AMS-s kontrol mekanizması prototipi.

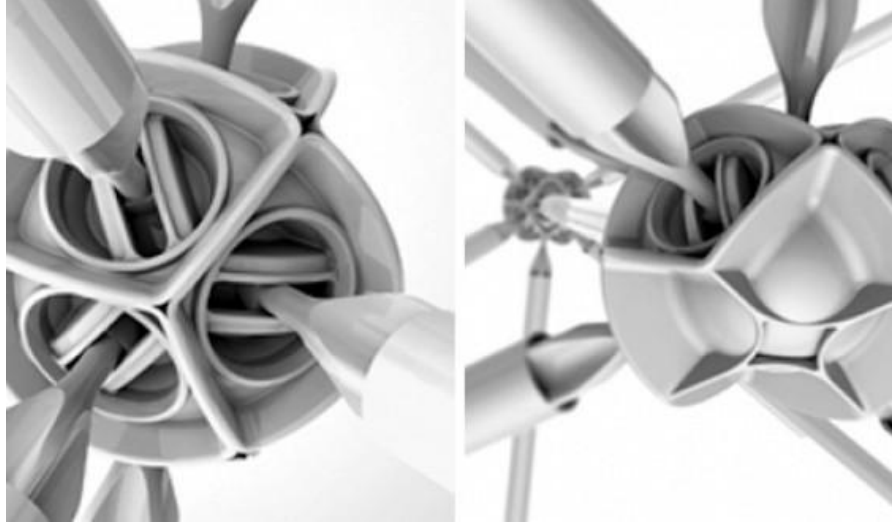
AMS-s projesi teorik olarak geliştirilmiş bir projedir. Sistem, sanal ortamda oluşturularak test edilmiştir. Sistemin fiziksel olarak uygulanabilmesi için sistemin üretim detaylarına ait öneri niteliğinde çözümler üretilmiştir. Detay önerilerin bir kısmı prototipler üzerinde denenmiştir.

Mafsalların detaylandırılması aşamasında, benzer nitelikteki hareketli sistemlerin mafsalları araştırılmıştır. Makine endüstrisinin kullandığı elemanların incelendiği süreçte, AMS-s'nin mafsalları noktasında kullanılabilecek iki eleman fark edilmiştir. Elemanlardan ilki kardan mafsalıdır. (Şekil 5.15) Kardan mafsalları çeşitli makinelerde kuvvetin yönünü değiştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Diğer eleman ise genellikle market arabalarının ve mobilyaların imalatlarında kullanılan tekerleklerin, çift rulmanlı milleridir. İki eleman da iki yönde dönme hareketini sağlayabilecek mafsallara sahiptir. Buna karşılık, iki yöndeki mafsalları kesişmemektedir. Mafsalları noktalarının çakışık olmaması, birden çok elemanın yan yana kullanıldığı durumlarda sistemin kontrol dışı hareketlerde bulunmasına sebep olmaktadır. Bu problem üretilen mekanik prototipin test edildiği süreçte ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.15 Kardan mafsalları. [20]

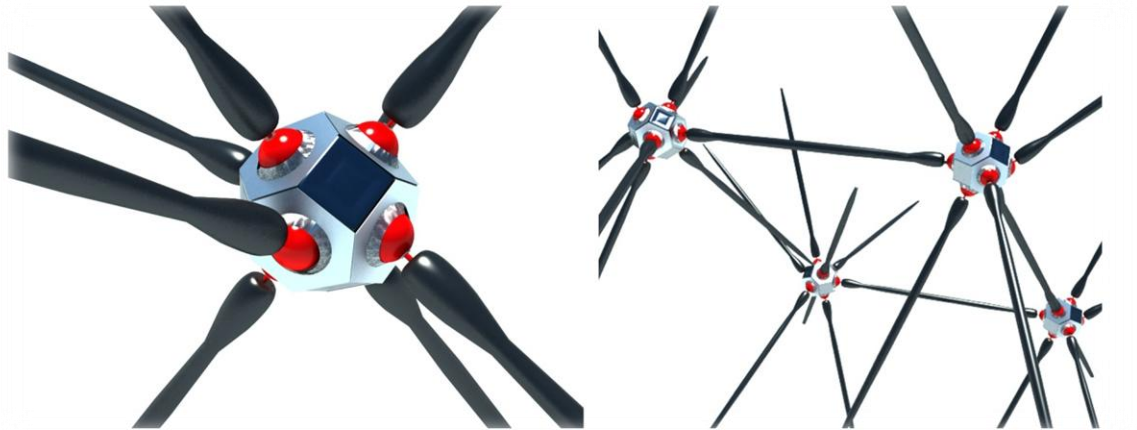
Konu ile ilgi akademik çalışmaların araştırılması sürecinde Yan Chen'in (2003) portatif mimari sistemlerle ilgili çalışmaları ve Alexis Rochas'ın geliştirmiş olduğu 'I/O Still Robot' projesi (2010) öne çıkmıştır. [18] (Şekil 5.16) Özellikle 'I/O Still Robot' projesinin birleşim detayları AMS-s projesinin gerekliliklerini karşılayacak nitelikte bulunmuştur.



Şekil 5.16 I/O Still Robot projesi. [21]

Rochas'ın projesinden yola çıkılarak, makine endüstrisinde kullanılan transfer bilyesi olarak adlandırılan elemanın, AMS-s projesinin mafsal noktaları için uygun olacağı düşünülmüştür.

Transfer bilyesi, metal bir küre ve kürenin içinde serbestçe dönebildiği bir hazneden oluşmaktadır. Transfer bilyelerinin birleştirilmesinden oluşan bir mafsal noktası AMS-s projesinin gerekliliklerini karşılayabilecek niteliktedir. (Şekil 5.17) Sistemde kullanılacak transfer bilyesinin çapı ve teleskopik çubukların mafsallara birleşim şekli, sistem hareketinin sınırlarını belirleyecek faktörlerdir.



Şekil 5.17 AMS-s projesi mafsal noktası detay önerisi.

Teleskopik çubukların detaylandırılması ile ilgili çalışmaların ilk aşamasında, sistemin fiziksel çalışabilirliği test edilmiştir. Çalışmalara düzlemsel örgü sistemine ait bir prototipin oluşturulması ile başlanmıştır. Oluşturulan prototipte, teleskopik çubukların için çekmece montajında kullanılan rulmanlı yataklar kullanılmıştır. Alınan olumlu sonuçlara bağlı olarak, rulmanlı yataklar, çift rulmanlı tekerlek milleri ile birleştirilerek üç eksenli hareket edebilen bir prototip oluşturulmuştur. (Şekil 5.18)



Şekil 5.18 AMS-s mekanik sistem prototipi.

Teleskopik çubukların hareketlerini sağlayacak olan kuvvet sağlayıcı elemanlar, çubukların form ve detaylarını belirleyecek önemli faktörlerden biridir. Bu sebeple, çubukların teleskopik hareketini sağlayacak elemanlarla ilgili bir değerlendirme yapılmıştır. Kuvvet sağlayıcı elemanlarla ilgili iki seçenek üzerinde durulmuştur. İlk seçenek hareketin hidrolik veya pnömatik tahrikli pistonlar tarafından sağlanmasıdır. İkinci seçenek, vidalı kayar millerin kullanılması ve gerekli hareketin elektrikli servo motorlar tarafından sağlanmasıdır. Hidrolik veya pnömatik piston sistemlerine yağ ya da hava aktaracak olan hortumlar, servo motorun ihtiyacı olan elektrik kablolarına oranla daha kalın elemanlardır. Hortumların, sistem hareketine bağlı olarak esnek olmaları gerekebilir. Elektrik kabloları, hortumlara oranla daha hafiftir ve esnekliği sağlanabilir. Bu nedenle AMS-s projesinde servo motorlar ile hareketi sağlanan vidalı kayar millerin kullanılması uygun görülmüştür.

Sonuç olarak AMS-s, serbest formlu yüzeylerin geometrilerinin kontrollü biçimde değişmesini sağlayan bir sistemdir. Sistemin taşıyıcı özellikte olması, mimaride farklı ölçeklerde kullanılabilmesini sağlar. Sistemin sağladığı gerçek zamanlı adaptasyonun, yapı performansını olumlu biçimde etkileyeceği düşünülmektedir.

5.3 AMS-s Projesi Örnek Kullanım Alanları

AMS-s'nin mimaride hangi alanlarda kullanılabileceğinin ve sistemin sağladığı esnekliğin yapı performansına etkilerinin incelenmesi amacı ile üç adet fikir projesi geliştirilmiştir. Yazar tarafından geliştirilen projelerde, AMS-s'nin kullanılabileceği alanlar örneklenmiş, sunulan fikirlerin ekonomik uygulanabilirlikleri göz önünde bulundurulmamıştır.

İlk Proje, işitsel etkinliğin ön planda olduğu konser salonu, opera salonu ve konferans salonu gibi mekanlarda kullanılan ses yansıtıcı yüzeylerin salondaki etkinliğe adapte olabildiğini hedeflemektedir.

Akustik açıdan uygun özelliklere sahip bir salon tasarımı, yansıtıcı tavanın formu, belirli akustik parametreler göz önünde bulundurularak şekillendirilir. (Şekil.5.19) Akustik parametreler müzik ve konuşma açısından belirgin farklılıklar gösterir. Müzik yapısal olarak karmaşık, konuşma ise daha tanımlıdır. Bu sebeple salon tasarımlarında kullanılan formlar konuşma amaçlı ve müzik amaçlı salonlarda farklılık gösterir. Konuşma, müzik ya da iki işlevin bir arada bulunduğu aktivitelerde akustik parametrelerin oluşturulmasında, hacmin yüzeylerinde oluşan yansımalar ve yansıma süreleri önemli rol oynar. Hacimde işleve göre gerekli akustik kriterlerin sağlanması, konuşma ve müziğin tüm özelliklerinin algılanmasını, yani ses kalitesini artırır. (Can, 1991)



Şekil 5.19 Salonlardaki akustik yansıtıcı tavanlar

Salonlardaki yansıtıcıların biçimi, salonların işlevlerine göre düzenlenmektedir. Sahne tavanında, sahneye yakın duvarlarda ve salon tavanında kullanılan yansıtıcı yüzeyler, sesin salonun her noktasına homojen biçimde dağılmasını sağlar. Çok amaçlı salonlarda farklı işlevlere uyum sağlayabilecek hareketli yansıtıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sayede salon içerisinde farklı işlevlere maksimum uyum sağlayacak yansıtıcılık elde edilmektedir. Salonlarda kullanılan hareketli sistemler salonların yutucu olan yan ve arka yüzeylerinde de kullanılarak salonun formu fonksiyona uygun biçime getirilebilir.

Konser, müzikal ve tiyatro gibi müzik ve konuşmanın iç içe olduğu fonksiyonlarda, sesin anlaşılabilirliğini sağlamak amacıyla belirli frekans aralığındaki seslerin belirli oranda yutulup belirli oranda yansıtılması gereklidir. Performans sırasında konuşma ve müziğin eş zamanlı olduğu ya da birbirlerine göre daha ön planda olduğu durumlarda sesin algılanabilirliği sistemlerin hareket ettirilerek uygun pozisyonlara getirilmesiyle sağlanabilmektedir.

Salonlarda kullanılan mevcut hareketli sistemler yalnızca panellerin açılarını değiştirebilmektedir. Yansıtıcı panellerin açıları dışında yansıtıcı panellerin eğrilikleri de hacimdeki akustik değerlerin değişiminde etkili olmaktadır. Yansıtıcı ve yutucu panellerin açılarının ve eğriliklerinin değiştirilebilir olması, salonun işlevine bağlı olarak akustik değerlerin maksimum düzeyde olmasını sağlar. Panellerin mekanik olarak hareket ettirilebilmesi ve eğriliklerinin değiştirilmesi, akustik değerlerin performans içerisinde de değiştirilebilmesi anlamına gelir. Bu sayede bir konser içerisindeki farklı şarkılarda ya da bir tiyatro oyununun farklı bölümlerinde salonun akustiği değiştirilebilir.

Panellerin eğriliklerinin değiştirilebilmesi için panellerin bükülebilir malzemelerden üretilmesi gereklidir. Bükülebilir plakalar, AMS-s ile oluşturulmuş bir örgü sistemine bağlanarak plakaların eğrilikleri kontrol edilebilir hale getirilebilir. Bu tip bir bağlantıda, AMS-s'nin hareket sınırlarını belirleyecek parametreler;

- Panellerin bükülebilme sınırları,
- Panellerin alabileceği formlar,
- Akustik sınırlar.

Panellerin bükülebilme sınırları panelin üretildiği malzemeye ve malzemenin kalınlığına bağlıdır. Panellerin alabileceği formlar ise yalnızca düzlemsel ve tek eğrilikli formlar ile sınırlıdır. Bunun sebebi çift eğrilikli formların üretiminde kalıba ihtiyaç duyulmasıdır. Akustik sınırlar ise salonun formuna, büyüklüğüne, sesin kaynağına ve dinleyicilerin pozisyonuna bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle salonlarda içbükey yansıtıcı yüzeyler

tercih edilmez bunun sebebi içbükey yansıtıcı yüzeylerin sesi tek noktada odaklamasıdır. Dolayısıyla yansıtıcı panellerin alabileceği formlar çoğunlukla dışbükey formlardır.

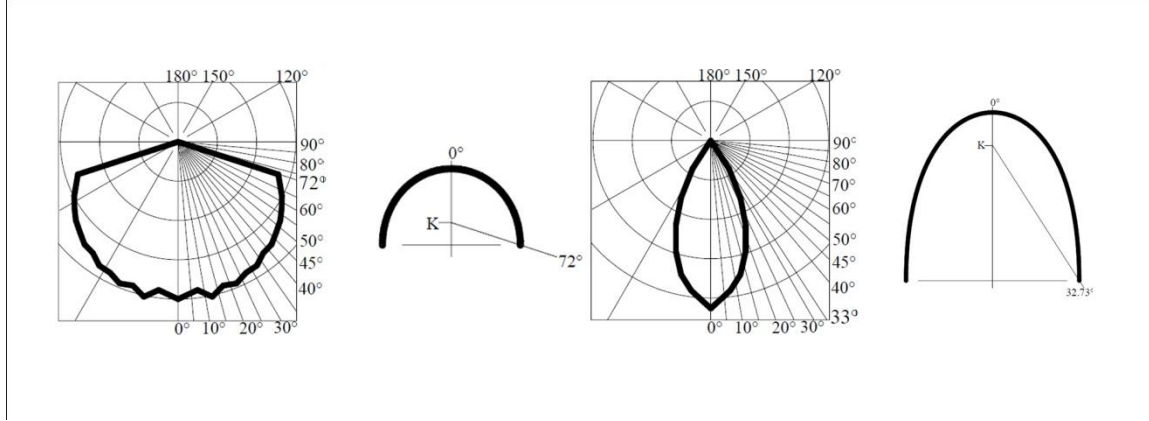
Sonuç olarak AMS-s ile kontrol edilecek yansıtıcı akustik paneller, salon içindeki akustik değerlerin gerçek zamanlı olarak değiştirilmesine imkan vermektedir. Bu sayede mekanın akustik performansı mekanın kullanıldığı tüm zamanlarda maksimum seviyeye çıkarılabilir. Sistemler özellikle çok amaçlı salonlarda ve akustik deneylerin yapıldığı alanlarda kullanılabilir. (Şekil5.20)



Şekil 5.20 Akustik tavanın AMS-s ile form değiştirmesi.

İkinci projede ele alınan konu aydınlatma aygıtlarının tasarımı ile ilgilidir. Mekanlardaki aydınlatma düzeni hacmin işlev ve özelliklerine bağlı olarak kurulur. Mekanlardaki aydınlatma düzeni, seçilen aydınlatma aygıtlarının tasarımına ve aygıtların yerleşimine bağlıdır. Aydınlatma aygıtlarının tasarımında genel amaç, lambanın çeşitli doğrultulara yayımladığı ışığı istenilen doğrultulara yönlendirmektir. Aydınlatma aygıtlarında kullanılan

yansıtıcılar, lambalardan yayılan ışıkların gerekli doğrultulara yönlendirilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Lambalardan çıkan ışığın yönlendirilmesi, gerekli nicelik ve nitelikte aydınlıkların elde edilmesini sağlar. Yansıtıcıların tasarımında yansıtıcı elemanların formu, lambanın cinsi ve lambanın yansıtıcı elemana göre konumu, elde edilecek aydınlatma biçimini belirleyen faktörlerdir. (Şekil 5.21) (Öztürk, Tong, Yağmur 2008)



Şekil 5.21 Farklı yansıtıcılara sahip aygıtların oluşturduğu yeğinlik grafikleri

Mekanlarda aydınlatma düzenlemesinin yapılış amacı, ışığın yayılış biçiminin ve kuvvetinin, mekanın ihtiyaçlarına uygun olmasıdır. Mekanlarda, ışığın yayılış biçimi ile ilgili gereklilikler, mekanın fonksiyonuna göre değişkenlik gösterir. Bazı mekanlarda düzün yayılmış bir aydınlatma düzeyi istenirken, bazı mekanlarda ise aydınlığın belirli bir noktada odaklanması tercih edilir. (Şekil 5.22)



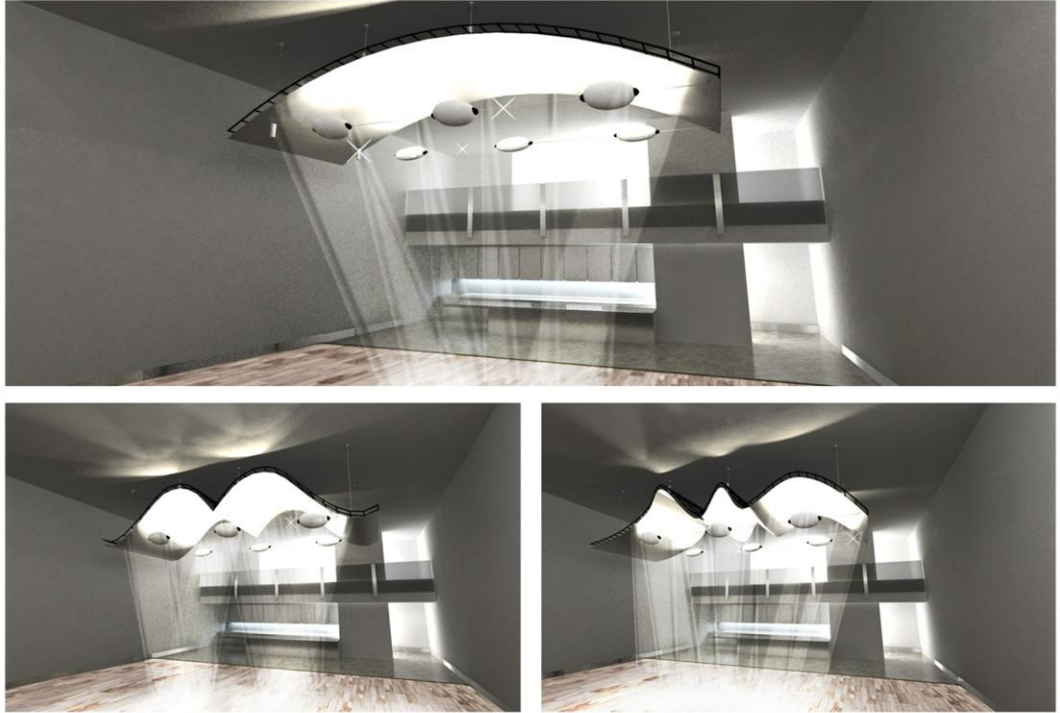
Şekil 5.22 Fonksiyonlara bağlı olarak ışığın yayılış biçimi. [22]

Çok amaçlı mekanlarda ise ışık yayılımı, mekandaki fonksiyon ile birlikte değişmelidir. Bu sorun farklı yansıtıcılara sahip aydınlatma aygıtlarının bir arada kullanımı ile çözülmektedir.

Yansıtıcıların dışında, lambaların formu da yaydıkları ışığın biçimini belirlediğinden, aygıt tasarımında önemli rol oynar. Akkor, flüoresan ve halojen gibi cam çeperli lambalar genellikle silindirik ve küresel formlarda üretilirler. Dolayısıyla bu tip lambaların yaydıkları ışık biçimleri belirli bir aralıkta sınırlanmıştır. LED grubundan oluşturulmuş bir lamba ise farklı formlarda tasarlanabilir. Bu sayede yansıtıcının ve lambanın alabileceği formlar kümesi geniş bir alana yayılır.

Aydınlatma aygıtlarındaki yansıtıcı ve lamba formlarının kontrol edilebilir ve adapte olabilir bir yapıda olması, çok amaçlı mekanlarda ihtiyaç duyulan farklı aydınlatma düzenlerinin oluşturulmasına çözüm getirebilecek bir sistem önerisidir.

Yansıtıcıların formunun AMS-s ile kontrol edilebilmesi için aygıtlarda kullanılacak yansıtıcı yüzeylerin esnek bir yapıya sahip olması gereklidir. Bükülebilir malzemeler ile tek eğrilikli yüzeylerin oluşturulması mümkündür. Buna karşılık aydınlatma tasarımında kullanılan yansıtıcılar genellikle çift eğrilikli yüzeylerden oluşmaktadır. Bunun sebebi ise aygıtlarda kullanılan lambaların formudur. AMS-s ile LED dizilerinden oluşturulacak ışık kaynaklarının formları da kontrol edilebilir. Böylelikle tek bir aygıt ile çok farklı ışık düzenleri oluşturulabilir. (Şekil 5.23)



Şekil 5.23 Aydınlatma aygıtının AMS-s ile form değiştirmesi.

AMS-s'nin kullanıldığı aydınlatma aygıtlarının tasarımı, aygıtın kullanılacağı mekanın formuna ve fonksiyonlarına bağlı olarak yapılmalıdır. Mekanda istenilen aydınlık düzeni ile aydınlatma aygıtının yansıtıcıları ve lambaları, parametrik olarak ilişkilendirilerek gerekli hesaplamalar bilgisayar programları ile yapılabilir. Yapılacak hesaplar doğrultusunda aydınlatma aygıtının özellikleri ve alması gereken formlar kümesi belirlenerek AMS-s'nin mekanik düzeni ve kontrol mekanizması tasarlanabilir.

AMS-s'nin kullanım alanları ile ilgili üçüncü projede ise eğrisel formların üretimi ile ilgili bir öneri geliştirilmiştir.

Akrilik, pleksiglas, polikarbonat gibi plastik esaslı malzemeler, esneklikleri, geçirgenlik özellikler ve düşük ağırlıkları nedeniyle mimaride farklı alanlarda kullanılmaktadır. (Şekil 5.24) Plastik esaslı bu malzemeler, esnekliklerine bağlı olarak belirli çaplara kadar herhangi ısı bir işleme tabi tutulmadan bükülebilirler. Serbest bırakıldıklarında da eski hallerine geri dönerler. Küçük çaptaki bükümler ve kalıcı formların üretilebilmesi için malzemeler ısıllı şekillendirme (thermoforming) işlemine tabi tutulmalıdır.

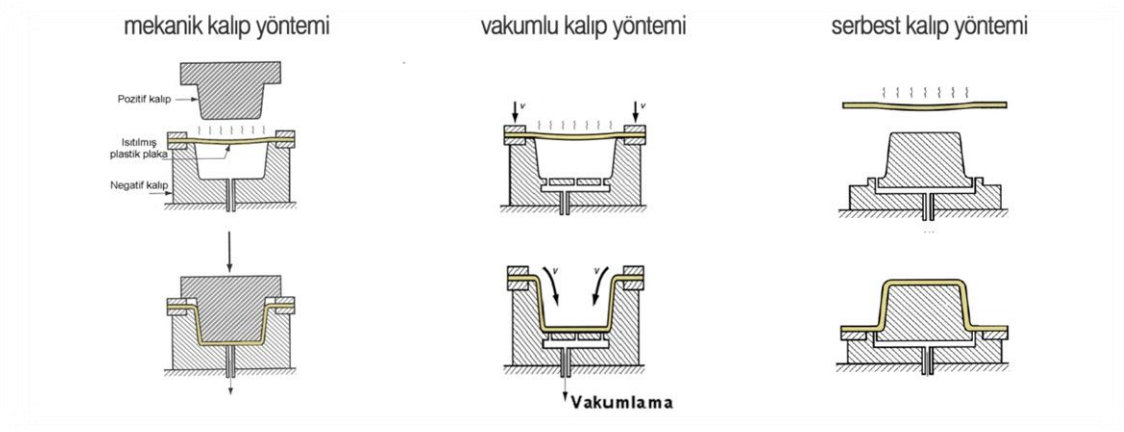


Şekil 5.24 Polikarbonat ve plaksiglasın mimarideki kullanımları. [23] [24]

Akrilik ve polikarbonat gibi malzemeler 100-200 santigrat derece sıcaklığına getirildiğinde yumuşak bir hal alır. Bu sayede malzemeler kalıp ile şekillendirilebilir. Isıl şekillendirme adı verilen bu işlemde kullanılan üç temel yöntem vardır;

- mekanik kalıp,
- vakumlu kalıp,
- serbest kalıp.

Mekanik kalıp yönteminde çift taraflı kalıp kullanılır. Şekillendirilecek levha gerekli sıcaklığa ulaştığında iki kalıp arasına sokularak gerekli şekil verilir. Vakumlu kalıp sisteminde ise tek taraflı kalıp kullanılmaktadır. Levha ısıtıldıktan sonra kalıp üzerine yerleştirilir. Kalıp vakumlanarak levhanın kalıp içerisinde şekillenmesi sağlanır. Serbest kalıp sisteminde ise levha kalıp üzerinde ısıtılır ve yer çekimi ile kalıp üzerinde şekillenir. (Şekil 5.25)

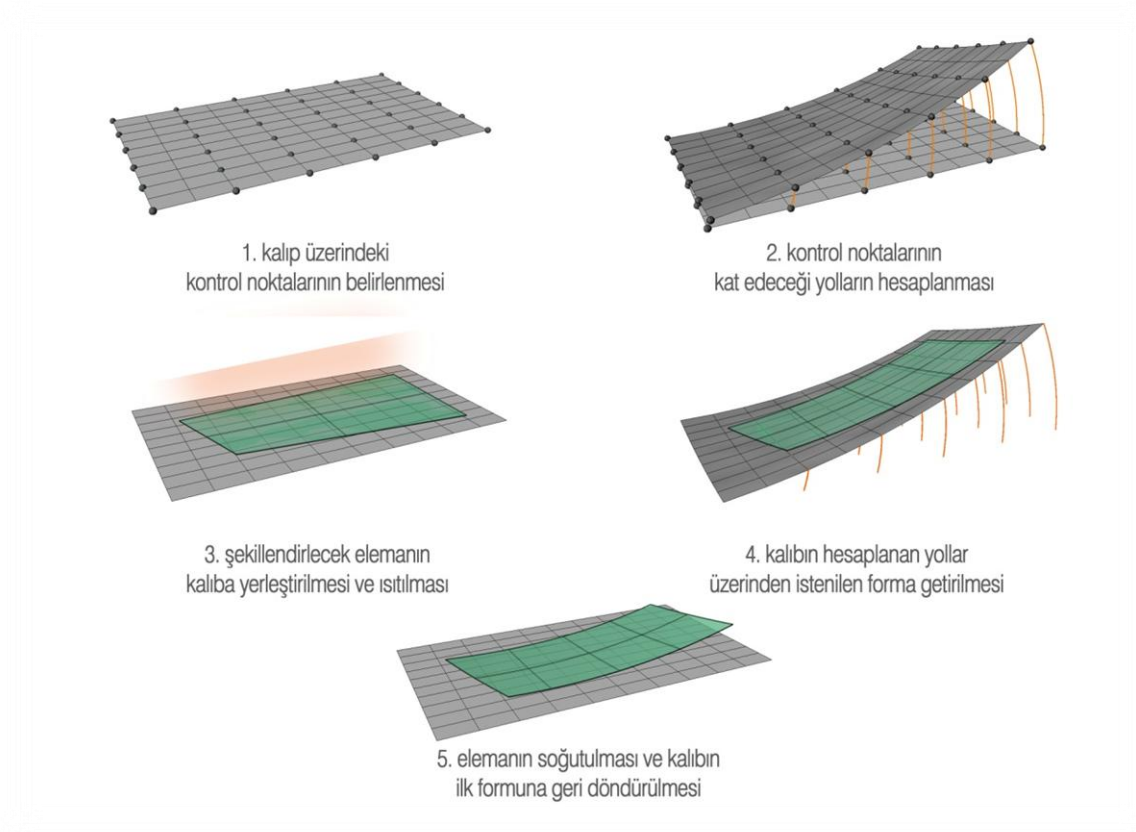


Şekil 5.25 Isıl şekillendirme yöntemleri.

Isıl şekillendirme yöntemlerinde üretim maliyetini arttıran önemli etkenlerden biri kalıp maliyetidir. Bu sebeple değişken formların üretiminde bu tip üretim yöntemleri tercih edilmez. Değişken formları üretebilmek için değişken kalıplara ihtiyaç duyulmaktadır. Esnek bir kalıp sistemi ile ısıl işlemlerde değişken formlar üretmek mümkündür.

Tek eğrilikli yüzeyler, plaka malzemelerin bükülmesi ile elde edilebilir. Önerilen esnek kalıp sisteminin çalışma prensibi, plakaların AMS-s ile kontrollü biçimde bükülerek formlarının değiştirilmesine dayanır. Önerilen sistem beş adımda tanımlanabilir;

- Kalıp yüzeyini oluşturacak plakanın arka yüzü üzerinde kalıbın formunu tanımlayacak düzenli noktalar kümesi oluşturulur.
- Kalıbın başlangıç formu ile sonuç formu arasında noktaların kat edeceği yollar bilgisayar programlarının yardımı ile belirlenir
- Şekillendirilecek olan levhanın açılmış hali hazırlanarak kalıp üzerindeki doğru konuma yerleştirilerek sabitlenir ve ısıtılır.
- Kalıp üzerindeki noktalar AMS-s sistemi ile kat edecekleri yollar üzerinden sonuç noktalarına ulaştırılır, bu sayede kalıp istenilen forma deforme olmadan ulaşmış olur.
- Şekillendirilen levha soğutulduktan sonra, kalıp AMS-s kontrolünde başlangıç formuna geri döndürülür.(Şekil 5.26)



Şekil 5.26 Isıl şekillendirme kalıbının AMS-s ile form değiştirmesi.

Sistemde kullanılan olan kalıp yüzeyini oluşturacak malzeme, şekillendirilecek plastik malzemenin ısıl şekillendirme sıcaklığına dayanıklı bir malzemeden üretilmelidir. Aksi takdirde ısıl şekillendirme sırasında kalıp deformasyona uğrar. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise kalıbın genişlemesidir. Form değişimi sırasında kalıbın genişmesi hesaba katılarak kalıp üzerindeki kontrol noktalarının hareketleri planlanmalıdır.

Kalıp malzemesinin bükülebilirliği kalıbın alabileceği formlar kümesini belirler. Kalıp yüzeyini oluşturacak malzemenin esnekliği ile malzeme üzerinde oluşturulacak kontrol noktası sayısı doğru orantılı olduğundan kalıbın malzemesi kontrol noktalarının sayısını belirler. Kalıp malzemesi ve kontrol noktaları arasındaki bu ilişki malzeme mühendisleri ve makine mühendisleri tarafından incelenerek çözümlenmelidir.

AMS-s sisteminin hareket aralığı mekanik olarak kısıtlı olduğundan kalıp sistemindeki noktaların kontrolü alternatif bir mekanik sistem ile çözümlenebilir. Geliştirilecek olan alternatif sistemde noktaların hareketini sağlayan doğrusal elemanların uzama oranları mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır. Bu sayede sistemin alabileceği formlar kümesi genişletilmiş olur.

Önerilen esnek kalıp sistemi ile çift kalıplı ve tek kalıplı ısıtılma işlemleri uygulanabilir. Sistem geliştirilerek farklı plastik şekillendirme yöntemlerinde kullanılabilir. Sistem ile üretilebilecek formlardan örnekler tezin Ek 4 bölümünden incelenebilir.

Geliştirilen üç fikir projesinde AMS-s'nin serbest formlara sağladığı adaptasyon imkanının kullanım alanları gözlemlenmiştir. Bükülebilir malzemelerin ve membran tipi malzemelerin serbest formlar içerisinde kontrol edilebilmesi, mimarinin farklı alanlarında estetiğe ve performansa yönelik avantajlar sağlamaktadır.

6. SONUÇLAR

Tez çalışmaları boyunca, kinetik mimarlık ile ilgili yapılan incelemelere dayanarak, yapı tasarımında kullanılan kinetik sistemlerin, yapıların başarımını olumlu yönde etkilediği yargısına varılabilir. Yapı tasarımında kullanılan kinetik sistemlerin sağladığı adaptasyon imkanın, yapıların fonksiyonel başarımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, hareketli öğelerin yapının ilk yatırım maliyetine ve işletme maliyetlerine getirdiği yükler, kinetik sistemlerin yapı tasarımı alanındaki kullanımını kısıtlamaktadır. İncelenen mimari projelerdeki kinetik sistemlerin sağladığı kazanımlara bağlı olarak, yatırım maliyetlerindeki artışın zaman içerisinde geri kazanıldığı görülmüştür. Yapı tasarımında kullanılan kinetik sistemlerin, uygulanabilir olmaları, sistemlerin fonksiyonel ve ekonomik performanslarının dengesine bağlıdır. Dengenin kurulabilmesi, mimari kinetik sistemlerin tasarım süreçlerindeki disiplinler arası çalışmanın başarımı ile doğrudan ilişkilidir.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak geçtiğimiz yüzyıl içerisinde toplumların yapısı ve ihtiyaçları hızlı bir biçimde değişmiştir. İhtiyaçların değişimine bağlı olarak, yapıların karşılaması gereken fonksiyonların da değişken olması bir gereklilik halini almıştır. Yapılarda kullanılan kinetik sistemlerin, yapı başarımına sağladığı olumlu etkiler de göz önünde bulundurulduğunda, kinetik mimarlık önemli bir çalışma alanı olarak nitelendirilebilir.

Kinetik mimarlık alanındaki gelişimin, profesyonel alandaki uygulamalara paralel olarak akademik alanda da takip edilmesi gereklidir. Bu bakımdan, kinetik mimarlık alanında yapılan proje çalışmalarının değerlendirilmesi, karşılaştırılması ve sistematik şekilde sınıflandırılması önemli bir çalışma konusudur.

Tez kapsamında geliştirilmiş olan öneri niteliğindeki sınıflandırma yöntemi, mimari kinetik sistemleri oluşturan öğeleri, sistematik olarak gruplandırmaktadır. Sistematik gruplandırma, hem kinetik sistemleri oluşturan öğeleri ve öğelerin ilişkilerini hem de kinetik mimarlık konusundaki çalışma alanlarını tanımlamaktadır. Mimari kinetik sistemlerin sistematik gruplar altında tanımlanması, sistemin tüm özelliklerini içeren bir künye yönteminin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Künye yöntemi sayesinde mimari kinetik sistemler istenilen bir ya da birden fazla referans başlık altında değerlendirilebilir veya karşılaştırılabilir. Künye sisteminin başlıklarını ve alt başlıklarını kullanarak mimari kinetik sistemlerle ilgili bir veritabanı geliştirmek mümkündür. Geliştirilebilecek veritabanı sayesinde kinetik mimarlıkla ilgili araştırmaların özellikle bilgisayar ortamında kolaylıkla sürdürülebileceği düşünülmüştür.

Sınıflandırmanın oluşturduğu gruplar, mimari kinetik sistemleri beş ana başlığa ayırmıştır. Oluşturulan ana başlıklar, başlıkların konularına bağlı olarak alt başlıklar içermektedir. Ana başlıklar ve alt başlıklar kinetik mimarlık konusunda yapılabilecek akademik çalışmalara yön verebilecek niteliktedir.

Tez kapsamında geliştirilen AMS-s projesinde, sistemdeki tüm elemanlar birbirleriyle ilişkili olarak hareket etmektedir ve elemanların limitleri birbirlerini etkilemektedir. Bu bağlamda kinetik sistemleri oluşturan elemanların birbirleriyle ilişkili olarak tasarlanmasının önemi açıkça görülmektedir. Parametrik ve ilişkilendirilmiş tasarım araçlarının, kinetik sistemlerin tasarım sürecindeki rolü de bu açıdan önem teşkil etmektedir.

AMS-s projesinin örnek kullanım alanları ile ilgili önerilerde kinetik sistemlerin, yapıların performansını etkileyen yapı bileşenlerinde kullanılabileceği görülmüştür. AMS-s ile sağlanan hareketli serbest formların, yapı performansı ve üretim yöntemleri üzerindeki etkilerinin olumlu sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir. Önerilen fikirlerin disiplinler arası çalışmalar ile incelenerek detaylandırılması ve fikirlerin uygulanabilirliklerinin analiz edilmesi gereklidir. Uygulanabilirlik konusunda alınacak olumlu sonuçlar neticesinde, sistemler hayata geçirilerek güncel uygulamalarda kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Can, Z.Y., (1991), "Mimari Akustik İle İlgili Başlıca Tanım Terim Formül ve Büyüklükler", Y.T.Ü Mimarlık Fakültesi Baskı İşliği, İstanbul.
- Chen, Y., (2003), "Design of Structural Mechanisms", Doktora Tezi, University of Oxford, Oxford.
- Chen, Y., You, Z. ve Tarnai, T., (2005), "Threefold-symmetric Bricard Linkages for Deployable Structures", International Journal of Solids and Structures, 42: 2287-2301.
- Fox, M.A., (1996), "Novel Affordances of Computation to the Design Process of Kinetic Structures", Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Fox, M.A. ve Yeh, B. (1999), "Intelligent Kinetic Systems", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Fox, M.A., (2001), "Beyond Kinetic", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Fox, M.A., (2001), "Ephemerization", Kansas State University Press, Manhattan, Kansas.
- Kolarevic, B., (2003), "Architectural in the Digital Age: Design and Manufacturing", Spon Press, New York.
- Kolarevic, B., (2005), "Performative Architecture: Beyond Instrumentality", Spon Press, New York.
- Korkmaz, K., (2004), "An Analytical Study of the Design Potentials in Kinetic Architecture", Doktora Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Korkmaz, K., (2005), "Generation of a New Type of Architectural Umbrella", International Journal of Space Structures, 20: 35-42
- Kronenburg, R. ve Klassen, F. (2006), "Transformable Environments 3", Taylor and Francis Inc, Oxon.
- Lawson, B., (1980), "How Designers Think: The Design Process Demystified", Architectural Press, Oxford.
- Lawson, B., (2004), "What Designers Know", Architectural Press, Oxford.
- Öztürk, H., Tong, T. ve Yağmur, Ş.A. (2008), "Mimari Aydınlatmaya Yönelik Elipsoit Yansıtıcı Tasarımı", Megaron Yıldız Teknik Üniversitesi Mim Fak. E-Dergisi, 3(1): 1-12
- Pottman, L.D., Asperl, A., Hofer, M. ve Killian A., (2007), "Architectural Geometry", Bentley Institute Press, Exton.
- Yeh, B., (1998), "Kinetic Wall", Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Zuk, W. ve Clark, R., (1970), "Kinetic Architecture", Van Nostrand Reinhold Press, New York.

- [1] <http://www.archigram.net> (Temmuz 2010)
- [2] <http://u.arizona.edu/~shunter/tblock.html> (Mayıs 2010)
- [3] <http://www.hoberman.com> (Mayıs 2010)
- [4] <http://www.robotecture.com/kdg/> (Nisan 2010)
- [5] <http://www.orambra.com> (Temmuz 2010)
- [6] <http://mecart.iyte.edu.tr> (Ağustos 2010)
- [7] <http://smu-edu/newsinfo/releases/m0011.photos-b.html> (Nisan 2010)
- [8] <http://en.wikiarquitectura.com> (Nisan 2010)
- [9] <http://arcspace.com/architects/calatrava/planetarium/> (Mart 2010)
- [10] <http://www.mam.org/info/details/quadracci.php> (Nisan 2010)
- [11] <http://www.foxlin.com> (Mayıs 2010)
- [12] <http://www.adaptivebuildings.com> (Ağustos 2010)
- [13] <http://www.fussballtempel.net> (Temmuz 2010)
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/veltins-arena> (Mart 2010)
- [15] <http://www.fishtnk.com/tuneable-sound-cloud/> (Temmuz 2010)
- [16] <http://desktopwallpaper-s.com/15/-/Armadillo/> (Ağustos 2010)
- [17] <http://www.sbp.de/> (Ağustos 2010)
- [18] <http://www.dezeen.com/> (Ağustos 2010)
- [19] <http://www.arduino.cc/> (Ağustos 2010)
- [20] http://www.nskeurope.com.tr/cps/rde/xchg/eu_tr/hs.xsl/ara-miller.html (Temmuz 2010)
- [21] <http://www.sciarc.edu/exhibition.php> (Temmuz 2010)
- [22] <http://www.balkantravellers.com/read/article/982> (Ağustos 2010)
- [23] <http://www.franken-architekten.de/> (Ağustos 2010)
- [24] <http://magiclightimaging.com/commercialintera.html> (Ağustos 2010)

EKLER

Ek 1 Quadracci pavyonu projesinin farklı sınıflandırma yöntemleri ile tanımlanması

MILWAUKEE ART MUSEUM QUADRACCI PAVYONU



William ZUK - Roger CLARK 1970

MAKİNE SEVİYELERİ

- 1. Seviye Makineler: Tek fonksiyonlu
- 2. Seviye Makineler: Değişken fonksiyonlu ve çok fonksiyonlu
- 3. Seviye Makineler: Otomatik kontrollü, değişken fonksiyonlu
- 4. Seviye Makineler: Otomatik kontrollü, öğrenebilen ve değişken fonksiyonlu

MİMARİDE UYGULAMALAR

- Kinetik Kontrollü Statik Yapılar
- Dinamik Olarak Kendi Kendine Kurulabilen Yapılar
- Kinetik Bileşenler
- Dönüşebilen Yapılar
- Adım Adım Değişebilen Yapılar
- Deforme Olabilen Yapılar
- Mobil Yapılar

MAKİNE SEVİYELERİ

- 3. seviye makineler: otomatik kontrollü, değişken fonksiyonlu

MİMARİDE UYGULAMALAR

- kinetik bileşenler

MILWAUKEE ART MUSEUM QUADRACCI PAVYONU



Michael A. FOX - Bryant YEH 1999

YAPISAL YENİLİKLER ve MALZEME TEKNOLOJİSİNDEKİ GELİŞMELER

- yollar
- araçlar

MİMARİDEKİ KİNETİK TİPOLOJİLER

- gömülü kinetik yapılar
- kurulabilir yapılar
- dinamik kinetik yapılar



Gömülü Kinetik Yapılar



Kurulabilir Kinetik Yapılar



Kurulabilir Kinetik Yapılar

KONTROL MEKANİZMALARI

- Dahili Kontrol Mekanizmaları
- Direkt Kontrol Mekanizmaları
- Dolaylı Kontrol Mekanizmaları
- Tepkili (Duyarlı) Dolaylı Kontrol Mekanizmaları
- Çoklu Tepkili (Duyarlı) Dolaylı Kontrol Mekanizmaları
- Öğrenebilen Tepkili (Duyarlı) Dolaylı Kontrol Mekanizmaları

YAPISAL YENİLİKLER ve MALZEME TEKNOLOJİSİNDEKİ GELİŞMELER

- yollar: döndürme (rotasyon) transformasyonu kullanılmıştır
- araçlar: çelik profiller tek noktadan mafsallı olarak tasarlanmıştır

MİMARİDEKİ KİNETİK TİPOLOJİLER

- gömülü kinetik yapılar

KONTROL MEKANİZMALARI

- tepkili dolaylı kontrol mekanizmaları

MILWAUKEE ART MUSEUM QUADRACCI PAVYONU



Koray KORKMAZ 2004

DEĞİŞKEN GEOMETRİYE VE HAREKETE SAHİP YAPILAR

- rijit formlu yapılar
- esnek formlu yapılar

DEĞİŞKEN KONUMA SAHİP MOBİL YAPILAR

- portatif yapılar
- konumu değiştirilebilir yapılar
- sökülebilir yapılar



DEĞİŞKEN GEOMETRİYE ve HAREKETE SAHİP YAPILAR

- rijit formlu yapılar

MILWAUKEE ART MUSEUM QUADRACCI PAVYONU



Künye Yönetemi 2010

- KİNETİK SİSTEMİN ÖLÇEĞİ ve YAPIDAKİ KONUMU

- ölçek: yapı bileşeni ölçeğinde
- konum: çatı

- KİNETİK SİSTEMİN FONKSİYONU

- sistemin temel fonksiyonu: güneş kontrolü / estetik
- sistemin gerçekleştirdiği hareketin fonksiyonu: ışık seviyesinin ayarlanması / estetik

- KİNETİK SİSTEMİN TRANSFORMASYON TİPOLOJİSİ

- sistemin transformasyon tipolojisi: dönme (rotasyon)
- sistemi oluşturan elemanların transf. tipolojisi: dönme (rotasyon)

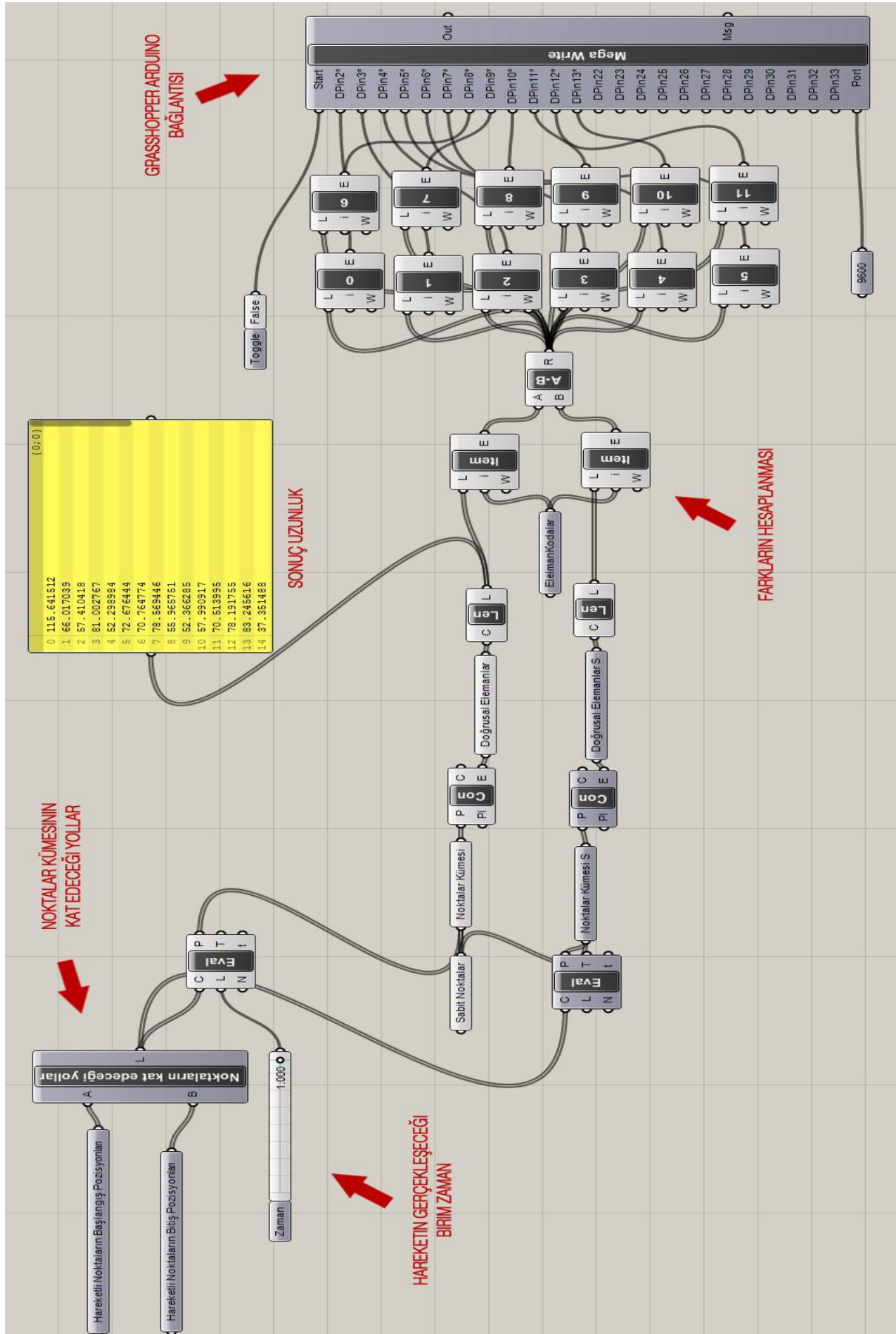
- KİNETİK SİSTEMİN STRÜKTÜRÜ ve MALZEMESİ

- sistemin strüktürel özellikleri: kapalı eğrisel profil konsol kirişler
- sistemin malzeme özellikleri: çelik konstrüksiyon

- KİNETİK SİSTEMİN KONTROL MEKANİZMASI

- sisteme veriyi ileten öğeler: kullanıcı (manuel) / rüzgar hızı algılayıcı (rüzgar sensörü)
- sistemde veriyi işleyen öğeler: bilgisayar sistemi
- iletilen verileri aktaran öğeler: elektronik
- verileri işleyen öğeler: mekanik

Ek 2 AMS-s projesine ilişkin modelin, Grasshopper içerisindeki parametrik tanımı



Ek 3 AMS-s projesi kontrol mekanizmasına ilişkin Arduino kodu

```
//motorun donus yonu sadece cw, motorhizi degikeni ile motorun yonu belirlenecek
// delta x sifirin altindaysa motorhizi 90 nin altinda bir deger alacak

#include <Servo.h>
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
long d1 = 100;
long d2 = 200;
long d3 = 300;
int a = 5; //kac seferde islemin gerceklesecegi
long biggest = 0; //en büyük mesafeyi tutacak olan degisken
long zaman=500; //sistemin toplam caliscagi sure, milisecond
int RPS=1; // 1 round kac saniye suruyo, maksimum hizda
long DPR= 100; // distance per round, 1 donuste alinan yol
int tursayisi = 1; // void setupta en fazla mesafe uzerinden hesaplanacak
long zaman1 = 0; // 1. motorun calisma suresi
long zaman2 = 0; // 2. motorun calisma suresi
long zaman3 = 0; // 3. motorun calisma suresi
int motorhizi=150; //0-180 arasinda deger daha sonra donus yonu ile ilgili calisma yapiacak

int x1=1; //dongu degiskeni
int x2=1; //dongu degiskeni
int x3=1; //dongu degiskeni
int ledPin =13; // deneme ledi

int hizcarpani1=1;
int hizcarpani2=3/2;
int hizcarpani3=3;

int birincihiz=150;
int ikincihiz=120;
int ucuncuhiz=100;

int birincimotorunhizi=0;
int ikincimotorunhizi=0;
int ucuncumotorunhizi=0;
```

```

long beklemezamani1=0;    //motor maksimum hızda çalışmayacaksa çalışmaya başlamadan önce beklemesi
gereken süre
long beklemezamani2=0;
long beklemezamani3=0;
int pos = 0;
void setup()
{
  pinMode (ledPin, OUTPUT);
  myservo1.attach(9);
  myservo2.attach(10);
  myservo3.attach(11);
  Serial.begin(9600);

  // asagidaki 3 tane if, en büyük mesafe degiskenini belirleyip bunun biggest isimli degiskene atiyor
  if (d1>=d2 & d1>=d3) {
    biggest = d1;
  }
  if (d2>=d1 & d2>=d3) {
    biggest = d2;
  }
  if (d3>=d2 & d3>=d1) {
    biggest = d3;
  }

  zaman=(biggest*RPS*1000)/DPR; //en fazla hareket edecek motorun maksimum hızda çalışması gereken süre
  // en fazla olan mesafe belirlendi, bütün motorlar maksimum hızda çalışırsa asagidaki süreler kadar
  çalışacaklar
  zaman1 = (d1*RPS*1000)/DPR; // 1. motorun çalışması gereken toplam süre
  zaman2 = (d2*RPS*1000)/DPR; // 2. motorun çalışması gereken toplam süre
  zaman3 = (d3*RPS*1000)/DPR; // 3. motorun çalışması gereken toplam süre

  //asagidaki iflerle hızlar arası karşılaştırma yapılacak, birinci hız, ikinci hız üçüncü hız dan biri seçilerek
  motorhız degiskenine atanacak.

  //birincihız en hızlı, üçüncühız en yavaş
  birincimotorunhizi=birincihız;
  ikincimotorunhizi=birincihız;
  üçüncumotorunhizi=birincihız;

  if (d1 != biggest)
  {
    beklemezamani1=(zaman-zaman1)/2;
    if (d1*hızcarpani2<biggest){
      birincimotorunhizi=ikincihız;
      zaman1=hızcarpani2*zaman1;
    }
  }
}

```

```

    beklemezamani1=(zaman-zaman1)/2;
  }
  if (d1*hizcarpani3<biggest){
    birincimotorunhizi=ucuncuhiz;
    zaman1=hizcarpani3*zaman1;
    beklemezamani1=(zaman-zaman1)/2;
  }

}
if (d2 != biggest)
{
  beklemezamani2=(zaman-zaman2)/2;
  if (d2*hizcarpani2<biggest){
    ikincimotorunhizi=ikincihiz;
    zaman2=hizcarpani2*zaman2;
    beklemezamani2=(zaman-zaman2)/2;
  }
  if (d2*hizcarpani3<biggest){
    ikincimotorunhizi=ucuncuhiz;
    zaman2=hizcarpani3*zaman2;
    beklemezamani2=(zaman-zaman2)/2;
  }
}
if (d3 != biggest)
{
  beklemezamani3=(zaman-zaman3)/2;
  if (d3*hizcarpani2<biggest){
    ucuncumotorunhizi=ikincihiz;
    zaman3=hizcarpani2*zaman3;
    beklemezamani3=(zaman-zaman3)/2;
  }
  if (d3*hizcarpani3<biggest){
    ucuncumotorunhizi=ucuncuhiz;
    zaman3=hizcarpani3*zaman3;
    beklemezamani3=(zaman-zaman3)/2;
  }
}

Serial.println(biggest);

```

```

for (x1 = 0; x1 <= zaman+55; x1=x1+25) {
    //döngüde önce döngü sayacının toplam çalışma zamanına ulaşip ulaşmadığına bakıyor, eğer ulaşırsa
    motorları kapatıp işlemleri yapmıyor
    //bu if kontrolüne girebilmesi için de zamana 55 ms eklendi. aksi halde if kontrolüne girmeden doğrudan
    çıkacak ve motorları kapatamayacak
    if (x1>=zaman){
        myservo1.detach();
        myservo2.detach();
        myservo3.detach();
    }
    //bu else den sonra işlemler yapılacak
    else{
        if (d1=biggest){
            myservo1.write(birincimotorunhizi);
        }
        else {
            if (x1>=beklemezamani1 & x1<=beklemezamani1+zaman1){
                myservo1.write(birincimotorunhizi);
            }
            if (x1>=beklemezamani1){
                myservo1.detach();
            }
        }

        if (d2=biggest){
            myservo2.write(ikincimotorunhizi);
        }
        else {
            if (x1>=beklemezamani2 & x1<=beklemezamani2+zaman2){
                myservo1.write(ikincimotorunhizi);
            }
            if (x1>=beklemezamani2){
                myservo2.detach();
            }
        }

        if (d3=biggest){
            myservo1.write(ucuncumotorunhizi);
        }
        else {
            if (x1>=beklemezamani3 & x1<=beklemezamani3+zaman3){

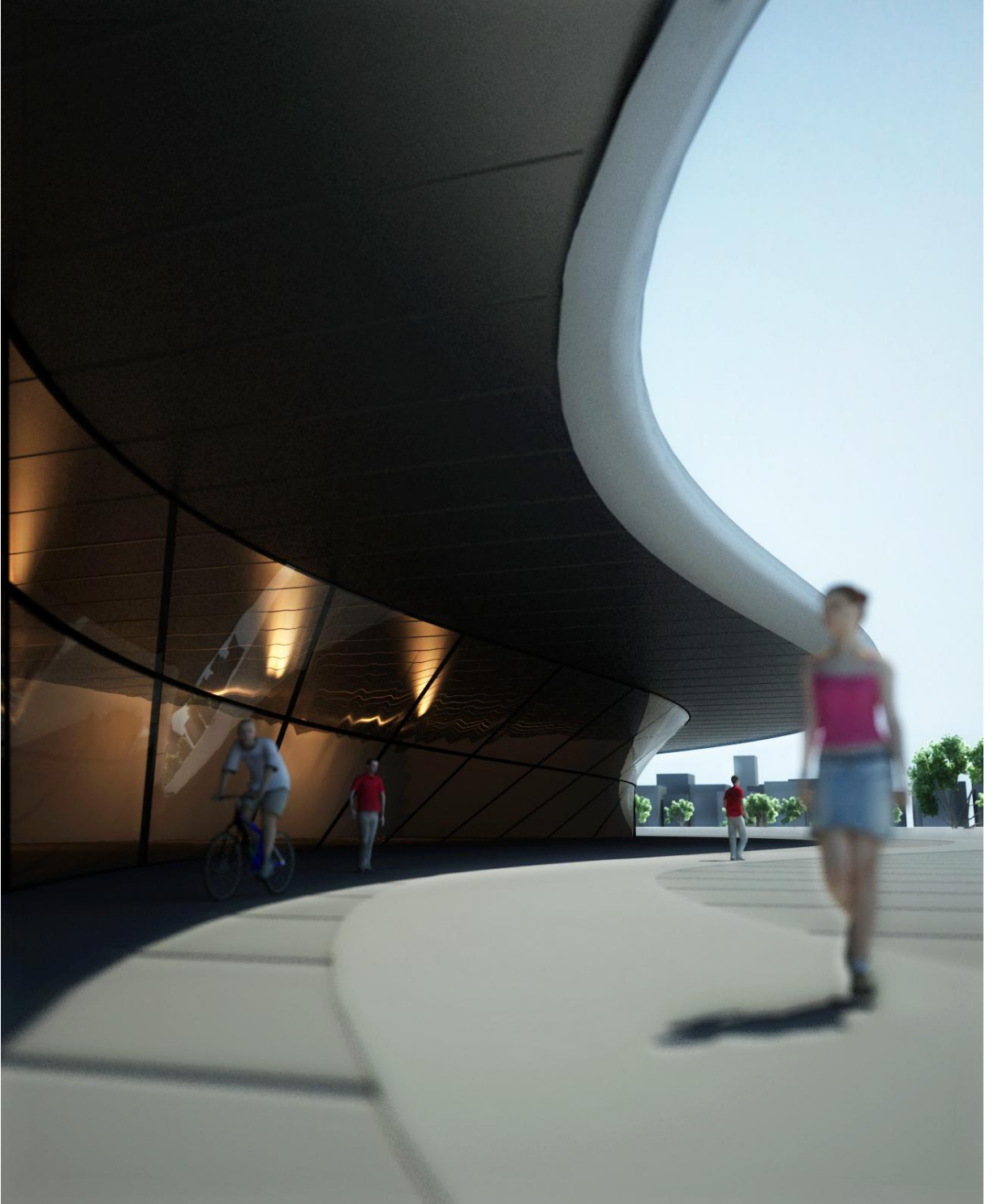
```

```

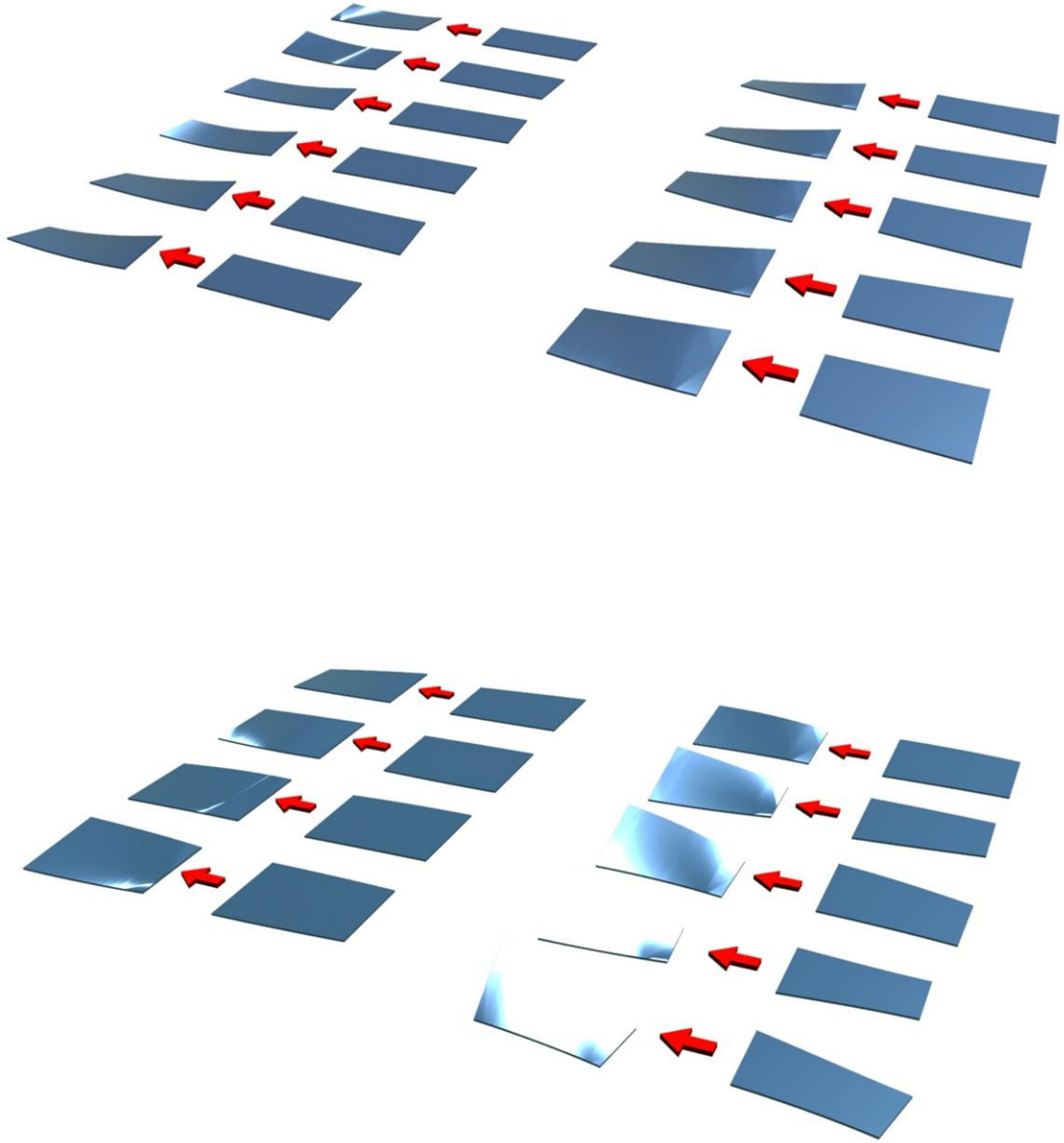
        myservo1.write(ucuncumotorunhizi);
    }
    if (x1>=beklemezamani3){
        myservo3.detach();
    }
}
} //en buyuk if in parantezi
} //for un parantezi

/*
delay(beklemezamani1);
myservo1.write(birincimotorunhizi);
delay(zaman1);
myservo1.detach();
    delay(beklemezamani2);
myservo2.write(ikincimotorunhizi);
delay(zaman2);
myservo2.detach();
    delay(beklemezamani3);
myservo1.write(ucuncumotorunhizi);
delay(zaman3);
myservo3.detach();
*/
}
void loop()
{
}

```

Ek 4 Esnek kalıp sistemi ile oluşturulabilecek tek eğrilikli yüzeyler

GRAFİKTEKİ POLİKARBONAT YÜZEYLERİN OLUŞTURULMASI İÇİN
GEREKLİ YÜZEYLERİN PLANLARI VE BÜKÜMLERİ



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.03.1984

Doğum yeri Eskişehir

Lise 1995-2003 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı, Bilgisayar Ortamında
Mimarlık Programı

Çalıştığı kurumlar

2008 İdemim Mimarlık
2009 Sözüneri Mimarlık
2009 A2 Tasarım