

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOMİMETİK TEPKİSEL YÜZEY ÖRTÜSÜ TASARIMI
İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ : HEXA-MYOSIS**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mert CİĞİZOĞLU**

Anabilim Dalı : Bilişim

Programı : Mimari Tasarımda Bilişim

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Hakan TONG

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BIYOMİMETİK TEPKİSEL YÜZEY ÖRTÜSÜ TASARIMI
İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ : HEXA-MYOSIS**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mert CİĞİZOĞLU
(523071014)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. Hakan TONG (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ (İTÜ)
Doç. Dr. Hakan YAMAN (İTÜ)**

OCAK 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca benimle paylaştığı değerli bilgileri, önerileri ve zamanı için tez danışmanım Sayın Öğr.Gör.Dr. Hakan TONG'a, desteğini esirgemeyen Sevgili Beril AKKAN'a ve sevgisini ve güvenini her zaman yanımda hissettiğim aileme her şey için sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2010

Mert CİĞİZOĞLU
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Yöntem	2
2. BENZER ÇALIŞMA ALANLARINDAKİ GELİŞMELER.....	5
2.1 Mimaride Biyomimikri	5
2.1.1 Biyomimetik nedir?.....	5
2.1.2 Tasarımda Biyomimetik Yaklaşım	7
2.1.3 Biyomimikri uygulamalarının genel çerçevesi	9
2.1.3.1 Organizma düzeyi	9
2.1.3.2 Davranış düzeyi	11
2.1.3.3 Ekosistem düzeyi	12
2.1.4 Mimaride biyomimikri uygulamaları	13
2.2 Tepkisel Mimarlık	17
2.2.1 Tepkisel mimarlığın tanımı	17
2.2.2 Tepkisel mimarinin tepki mekanizması	18
2.2.3 Tepkisel mimarinin gelişimi	21
2.3 Hafif Strüktürler	25
2.3.1 Gergi-kablo sistemler	26
2.3.2 Pnömatik sistemler	28
2.3.3 Kabuk sistemler	31
2.3.4 Jeodezik sistemler	34
2.4 Sonuç	37
3. İHTİYAÇ DUYULAN MEKANİK SİSTEMLER, MALZEMELER VE YAZILIMLAR	41
3.1 Mekanik Sistemler.....	41
3.1.1 Merkezi işlem birimi	41
3.1.2 Algılayıcılar	41
3.1.3 Güneş pilleri	43
3.2 Kullanılacak Malzeme Seçimi	47
3.3 Yazılım	51
3.4 Sonuçlar	53
4. BİYOMİMETİK TEPKİSEL YÜZEY ÖRTÜSÜ TASARIMI	55
4.1 Projenin Gelişim Süreci	55
4.2 Önerilen Modelin Bileşenleri ve Çalışma Prensibi	57
4.3 Programın Kullanımı	60
5. SONUÇ.....	71

KAYNAKLAR.....	75
-----------------------	-----------

KISALTMALAR

A/D	: Analog - Dijital
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CO₂	: Karbondioksit
EAP	: Elektro Aktif Polimer
ETFE	: Ethylene Tetrafluoroethylene
LED	: Light Emitting Diode
TWh	: Terawatt / Saat

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Eski ve yeni yapılarda strüktürel açıklık ile kabuk kalınlığı ilişkisi	33
Çizelge 3.1 : Sensör tipleri.....	43
Çizelge 3.2 : Aktivasyon mekanizmalarına göre sınıflandırılan akıllı malzemeler (Addington ve Schodek, 2005).....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Clement Ader tarafından tasarlanan ilk uçan araç.....	7
Şekil 2.2	: Daimler Chrysler'in biyonik araç tasarımı.....	8
Şekil 2.3	: Kendini temizleme özelliğine sahip Lotusan boyası.....	9
Şekil 2.4	: Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi.....	10
Şekil 2.5	: Waterloo Uluslararası Terminal tasarımı ve pangolin.....	10
Şekil 2.6	: Eastgate binası ve akkarınca yuvası.....	11
Şekil 2.7	: Llyod Crossing projesi.....	12
Şekil 2.8	: Farklı coğrafi konumlardaki yapılar ve doğadaki benzerleri.....	13
Şekil 2.9	: İnsan iskeleti ile ters payanda ilişkisini gösteren çizimi.....	14
Şekil 2.10	: Melbourne'de bulunan CH2 Belediye binası.....	16
Şekil 2.11	: Yusufçuk böceğinden esinlenilerek tasarlanan The Dragonfly.....	17
Şekil 2.12	: Tepkisel dolaylı kontrol sistemi.....	19
Şekil 2.13	: Yaygın tepkisel dolaylı kontrol sistemi.....	20
Şekil 2.14	: Buluşsal tepkisel dolaylı kontrol sistemi.....	20
Şekil 2.15	: Paris Arap Enstitüsü cephe tasarımı.....	21
Şekil 2.16	: dECOi tarafından tasarlanan Aegis Hyposurface.....	22
Şekil 2.17	: Freshwater Pavilion.....	23
Şekil 2.18	: Sterk'in hibritleşmiş kontrol modeli ve meydana gelen mimari form ...	24
Şekil 2.19	: Rolf Disch tarafından tasarlanan Heliotrop evi.....	24
Şekil 2.20	: Nowicki tarafından tasarlanan Raleigh Arena.....	27
Şekil 2.21	: Ingalls Buz Hokeyi Binası.....	28
Şekil 2.22	: Pnömatik sistem ile tasarlanan Fuji Pavilion.....	30
Şekil 2.23	: Kabuk sistem türleri.....	32
Şekil 2.24	: Los Manatiales Restoranı'nın hiperbolik paraboloid çatı kabuğu.....	33
Şekil 2.25	: DG Bankası projesinin serbest formlu çatı strüktürü.....	34
Şekil 2.26	: Fuller'in jeodezik kubbesi ve sinerji konsepti.....	35
Şekil 2.27	: Kaiser Dome Hawaii.....	35
Şekil 2.28	: a) Walt Disney b) Climatron.....	36
Şekil 2.29	: AAMI Park Melbourne stadyumu strüktürü.....	37
Şekil 2.30	: AAMI Park'ın kubbelerinde kullanılan üçgen elemanlar.....	37
Şekil 3.1	: Biyolojik ve mekanik algılama sistemleri.....	42
Şekil 3.2	: Güneş sensörleri.....	43
Şekil 3.3	: a) Fotovoltaik hücresi b) Fotovoltaik hücrenin katmanları.....	44
Şekil 3.4	: Fotovoltaik hücrenin işleyiş şeması.....	45
Şekil 3.5	: Xicui Entertainment Complex binası cephesi.....	47
Şekil 3.6	: Shapeshift Projesinde kullanılan EAP malzeme katmanlaşması.....	51
Şekil 3.7	: Shapeshift projesinde kullanılan elektro aktif polimer yüzeyler.....	51
Şekil 4.1	: Göz bebeğinin ışığa göre büyümesi-küçülmesi.....	57
Şekil 4.2	: Hexa-myosis çekirdek biriminin bileşenleri.....	58
Şekil 4.3	: Önerilen modelin akış şeması.....	58
Şekil 4.4	: Hexa-myosis çekirdek biriminin çalışma prensibi.....	59
Şekil 4.5	: a) Yas Marina Otel Projesi b) Water Cube projesi.....	60

Şekil 4.6 : CAD programlarıyla hazırlanmış yüzeylerin programa aktarılması	61
Şekil 4.7 : Yüzey oluşturmak için çizilen çizgiler	61
Şekil 4.8 : Komut yardımı ile oluşturulan yüzey	62
Şekil 4.9 : Grasshopper'ın Rhinoceros programına çağırılması	62
Şekil 4.10 : Hexa-myosis dosyasının çağırılması	63
Şekil 4.11 : Grasshopper'da gözüken işlem akışı	63
Şekil 4.12 : Yüzeyin tanıtılması.....	64
Şekil 4.13 : Yüzeyin altıgenlere bölünmesi	64
Şekil 4.14 : Altıgenlerin boyut ve oran ayarlama önizlemesi.....	65
Şekil 4.15 : Kapladığı alan ve çerçeve malzemesi uzunluğu.....	65
Şekil 4.16 : Hexa-myosis simülasyon dosyasının çağırılması	66
Şekil 4.17 : Hexa-myosis simülasyon biriminin Grasshopper'da görünümü	66
Şekil 4.18 : Yüzeyin tanıtılması.....	67
Şekil 4.19 : Güneş eğrisinin oluşturulması	67
Şekil 4.20 : Güneş eğrisinin tanıtılması	68
Şekil 4.21 : Hexa-myosis çekirdek panellerinin güneşe tepkileri.....	68
Şekil 4.22 : Hexa-myosis'in uygulandığı bir cephenin olası görünüşü	69
Şekil 4.23 : Hexa-Myosis'in cephede bölgesel ışığa tepkisi	70
Şekil 4.24 : Hexa-Myosis'in çatı örtüsü olarak tasarlandığında ışığa tepkisi.....	70

BİYOMİMETİK TEPKİSEL YÜZEY ÖRTÜSÜ TASARIMI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: HEXA-MYOSIS

ÖZET

İnşaat sektöründe üretilen ürün “yapılar”dır ve yapılar bir defaya mahsus üretilerek yüzyıllar boyunca kullanılabilirler. İnşaat sektörünü diğer sektörlerden ayıran bu özellik mimari tasarım için önemli bir kriterdir. İnsanların sosyo-kültürel ihtiyaçları ve yapının içinde bulunduğu çevre koşulları sürekli değişmekte ve günümüzdeki yapıların neredeyse tamamı bu değişime adapte olamamaktadır. Teknolojideki ilerlemeler ise yapılara birçok yenilik ve pratiklik kazandırmakla birlikte yapıya getirdikleri enerji yükü nedeniyle çevrenin daha fazla kirlenmesine ve doğal kaynakların tükenmesine katkıda bulunmaktadırlar.

Tez kapsamında yapılan araştırmalarda bu soruna önerilebilecek çözüm ile doğanın 3,8 milyar yıldır test ederek geliştirdiği stratejilerden ve oluşumlardan yararlanma olarak özetlenebilecek “mimarlıkta biyomimetik”, ölü yük ile hareketli yük oranını giderek düşüren ve taşıyıcı sistemi optimum kaynak ile çözebilen “hafif strüktürler” ve dış etmenlere tepki verebilen yapıların geliştirilebildiği “tepkisel mimarlık” başlıklarının ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Önerilen biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü modeline değişken etken olarak konumu gün içerisinde ve yıl içerisinde sürekli değişen “güneş” tanımlanmış ve örtünün kontrol mekanizmasına tanımlanan parametreler doğrultusunda güneş ışığını yapıya alıp almayacağına karar vermesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda sistemin karar verme mekanizması ve bu mekanizmanın gerektirdiği mekanik ekipmanlar incelenerek modele sistemin enerji yükünü karşılaması için güneş pilleri eklenmiştir. Önerilen model, yüzeyinde bulunan güneş sensörleri ile hangi modüllerine güneş ışığı geldiğini algılayacak ve memelilerin göz bebeğinin değişen ışık miktarına verdiği tepkiye benzer bir şekilde açılıp kapanacaktır. Model sadece tepkisel özelliğiyle değil aynı zamanda strüktürü ve açılıp-kapanan malzemenin hareket özelliğiyle de biyomimetiktir. Modelde kullanılan altıgen panellerin birbirine arada boşluk bırakmadan birleşebilmesi ve üç yönlü 120 derecelik açıların getirdiği stabilite ile daha az taşıyıcı malzemeye ihtiyaç duyulacaktır. Açılma – kapanma hareketini yapan tıpta yapay kaslarda sıklıkla kullanılan elektro aktif polimer (EAP) malzemeler ise göz kasının açılıp kapanmasına benzer bir hareket ile ışık miktarı değişikliklerinde daha doğal bir geçiş sağlayacaktır.

Sonuç olarak bütüncül bir biyomimetik yaklaşıma sahip olan bu tepkisel yüzey örtüsü modeli kontrol mekanizmasına tanımlanan parametreler doğrultusunda tepki verecek ve binaya ilave ısıtma – soğutma yükü getirilmemesine katkı sağlayacaktır. Tez kapsamında modelin mimari tasarımda nasıl kullanılabileceği ve yazılımsal olarak hangi aşamaların izlenebileceği de örnekleri ile birlikte açıklanacaktır. Önerilen bu sistem statik, mekanik, elektrik ve altyapı bileşenlerini barındıran geleneksel ve durağan yapılardan çok farklı olup geliştirilme ve uygulanma

aşamalarında nanoteknoloji, biyoloji, elektronik, yazılım, donanım gibi birçok alandan profesyonelin tasarım sürecine dahil olmasını gerektirmektedir.

A MODEL PROPOSAL FOR A BIOMIMETIC RESPONSIVE SURFACE DESIGN : HEXA-MYOSIS

SUMMARY

Product of the construction industry is buildings and structures which are uniquely produced to be used for hundreds of years. This property, which distinguishes construction industry from other industries, is an important criterion for architectural design. Socio-cultural requirements of the community and environmental conditions keep changing and almost all buildings don't have the ability to adapt this change. Although technological developments provide many important innovations and abilities to the buildings, the energy load of the technological devices results in an increase in natural resource use and pollution.

The researches made as a part of the thesis exposed that "biomimetic architecture", which can be summarized as learning from 3,8 billions of years of field testing and research of the nature; "lightweight structures" that are able to decrease dead load – live load ratio and provide optimized solutions in terms of material use and resources and; "responsive architecture" that enables building to respond to changing environmental conditions and user requirements are deemed as related subjects for the defined problem.

Sun is defined as an agent, since its location changes during day and year, for the biomimetic responsive surface model proposed within this thesis and it is intended that the decision to let the sunshine come into the building or not can be given by the surface itself in accordance with the parameters defined in its control mechanism. In this direction, the control mechanisms required for decision making and mechanical equipments needed are investigated and photovoltaic panels are added to the model to provide the energy that will be used by these systems. Sun sensors located on each surface module will detect which panels receive sun light and change their size by opening or closing like the reflex of the mammals' pupils which regulate the amount of light passing through to the retina. The model is not only biomimetic for its responsive property but also for its structure and movement principle of the opening – closing material. Hexagonal panels used for the structure of the model will result in an optimized use of materials through the stability gained by three-way 120-degrees angle and the combination of the panels without leaving extra spaces. Electro active polymer materials (EAP), which are widely used in artificial muscles, will provide controlling light amount more naturally by acting as the pupil dilator muscle.

As a result, the responsive surface will have holistic biomimetic approach and be able to respond in accordance with the parameters defined in its control mechanism to provide contribution for the elimination of excess cooling or heating loads of the building. The use of the model in architectural design and software related paths and processes that can be followed will also be investigated within the thesis. It should be noted that proposed model is not a conventional approach which only includes structural, electrical, mechanical and infrastructure components; it also requires

professionals from nanotechnology, biology, electronics, and hardware and software systems to be incorporated into the development and application phases of the model.

1. GİRİŞ

Günümüzde mimarlık disiplini gerek bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi, gerekse sürdürülebilirlik kavramının öne çıkması ile hem uygulamada hem de kuramsal düzeyde önemli dönüşümler geçirmektedir. Teknolojideki ilerlemeler sayesinde kalıplaşmış form ve yaklaşımlar geride bırakılarak hayal gücünün sınırları zorlanırken, çevresel sorunlar göz ardı edilemez boyuta gelmiştir. Bir yandan teknolojideki ilerlemeler sayesinde daha akıllı ve donanımlı binalar yapabilen mimarlar, bir yandan da bu binaların nasıl doğayla daha uyumlu yapılar olabileceklerini araştırmaya başlamışlardır.

Mimarlık, ortaya çıkan ürünün kullanım süresinin çok uzun yıllar olması ve ürünün bir defaya mahsus üretilmiş olması ile diğer disiplinlerden ayrılmaktadır. Geleneksel mimaride -şu anda da çevremizde gördüğümüz neredeyse tüm yapılarda olduğu gibi- üretilen yapı ömrü boyunca durağandır. Ancak, en basit şekilde mevsimlerin değişmesiyle bile yılda birkaç kez değişen insanların ihtiyaçlarının onlarca yıl boyunca sürekli aynı kalması mümkün değildir. Bu bağlamda, günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde değişen çevre koşullarına tepki verebilen ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre adapte edilebilen sistemlerin mimaride uygulama alanları bulabilmesi onlarca yıl kullanılacak olan yapıların istenilen konfor koşullarını sağlayabilmesi açısından önemlidir.

İnsanoğlunun Dünya üzerinde bulunduğu günden itibaren yaşadığı enerji ihtiyacı, su ihtiyacı vs. gibi tüm sorunları doğa deneyimlemektedir. Doğal seleksiyona uğramış canlılardan sadece adaptasyonu en yüksek, en dayanıklı olanları günümüze kadar neslini sürdürmeyi başarabilmiştir. Dolayısıyla, doğa insanların sorunlarına çözüm arayabilecekleri çok büyük ve önemli bir örnek havuzudur.

1.1 Amaç

Yukarıda açıklanan sorunlar ve tespitler doğrultusunda, hazırlanan tez kapsamında değişen çevresel koşullara tepki verebilecek ve vereceği tepkide doğada bulunan bir prensibi baz alacak bir model önerilmesi amaçlanmıştır. Önerilecek modelin içinde

bulunduğu çevresel koşullardaki değişimi algılayabilen, buna karşı adaptasyon geliştirebilen, söz konusu tepkiyi verirken ihtiyacı olan enerjiyi doğal kaynaklardan elde edebilen bir yapı olması hedeflenmiştir. Çevresel koşullardan güç içerisinde bile konumu sürekli değişmekte olan güneşin önerilen modele etmen olarak tanımlanması ve güneşe en çok maruz kalan alanların ise dış yüzeyler olması nedeniyle modelde dış mekanlarda kullanılabilecek yüzeylerin önerilmesi kararı verilmiştir.

1.2 Yöntem

Tez kapsamında önerilen örtü modelinin durağan olmayan, çevresel koşullara adapte olabilen ve bu adaptasyon kabiliyetinde doğanın işleyişinden de faydalanan bir model olması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tezin ikinci bölümünde birçok araştırma alanından destek alınmıştır. Bunlardan ilki farklı organizmaların barınma ihtiyaçlarını nasıl giderdiklerini, enerji ihtiyaçlarının hangi yollarla karşıldığını, formları sayesinde hangi avantajlara sahip olduklarını ve bu gibi araştırmaların mimariye ne faydalar sağlayabileceğini inceleyen *biyometik mimarlıktır*. İkinci olarak minimum malzeme, dolayısı ile minimum kaynak tüketerek maksimum açıklık geçmeye yarayan *hafif strüktürler* incelenmiş ve hangi hafif strüktürel sistemlerin doğadan esinlenerek geliştirildiği araştırılmıştır. Son olarak ise mimarlıkta son yılların en önemli araştırma alanlarından biri olan, yapıların çevrelerine ve kullanıcı isteklerine cevap verebilen adapte edilebilir sistemler olarak tasarlanmalarını araştıran *tepkisel mimarlık* ile tepkisel mimarlığın tepki prensibi ve bu alanda yapılan önemli yapılar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde öncelikle önerilen örtü modelinin çevresel koşullara tepki verebilmesi için ihtiyaç duyulan mekanik sistemler araştırılmış olup hareketin sağlanması dışarıdan gelecek verilerdeki değişiklikleri ölçecek *algılayıcılar*, algılayıcılardan gelen verileri işleyecek *merkezi işlem birimi* ve hareketli parçaların harekete geçirilmesi için gerekecek enerjiyi depolayacak *güneş pilleri* incelenmiştir. Daha sonra, önerilen örtü modelinde kullanılacak malzemenin belirlenmesi için akıllı malzemeler incelenmiş ve tersinir hareket kabiliyetinin olması, hareketin doğada bulunan sistemlere uygun bir şekilde gerçekleşmesi, harekete geçmek için aktüatöre ihtiyaç duymaması ve geliştirilebilir olması nedeniyle seçilen *elektro aktif polimerler* açıklanmıştır. Bu bölüm, yukarıda açıklanan sistemlerin tasarlanabilmesi ve işler hale getirilebilmesi için gereken yazılımların tanıtılması ile sonuçlandırılmıştır.

Dördüncü bölümde ise tez kapsamında önerilen “Hexa-myosis – biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü modeli” tanıtılacak olup ikinci ve üçüncü bölümlerde yapılan araştırmaların önerilen modele katkılarının neler olduğu incelenecektir. Bu bölümde ayrıca modelin kendisine etken olarak tanımlanan güneşten alacağı parametrik bilgilere göre vereceği biyomimetik tepkinin prensipleri ve modelin oluşturulmasında hangi yazılımların ne şekilde kullanılması gerektiği açıklanacaktır.

Tez kapsamında önerilen biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü modeli çevresel etkenlerden en önemlisi olan güneşin kendi enerjisinden faydalanarak yapının ısı ihtiyacına göre güneş ışığını almasını ya da bloke etmesini sağlayacak ve yapıya ilave ısıtma/soğutma yüklerinin gelmesine engel olacaktır. Bu modelde kullanılan mekanik sistemlerdeki gelişmeler ve elektro aktif polimer malzemelerin kullanım alanlarındaki genişlemeler ile malzeme özelliklerinde yapılabilecek modifikasyonlar sayesinde, modelin ileride öğrenebilen bir sistem olması ve daha farklı kullanım alanları bulabilmesi beklenmektedir.

2. BENZER ÇALIŞMA ALANLARINDAKİ GELİŞMELER

2.1 Mimaride Biyomimikri

2.1.1 Biyometrik nedir?

Yunancada bios (yaşam) ve mimesis (taklit etme) kelimelerinin birleşiminden gelen ve ilk olarak 1950 yılında Amerikalı mühendis Otto Schmidt tarafından kullanılan biyometrik (Eggermont, 2007) insanlığın problemlerine doğanın yüzyıllardır test ettiği dokuları ve stratejileri inceleyerek sürdürülebilir çözümler arayan bir tasarım prensibidir. Türkçede biyo taklit olarak da kullanılan biyomimikri ilk kez biyoloji bilimleri yazarı Janine Benyus'un 1997 yılında yayımlanan "Biomimicry: Innovation Inspired by Nature (Biomimicry: Doğadan İlham Alan Yenilik)" kitabında somutlaştırılmıştır. Benyus'a göre doğa 3,8 milyar yıllık araştırmalar ve geliştirmelerden sonra neyin işlediğini, neyin uygun olduğunu ve en önemlisi neyin Dünya üzerinde bozulmadan kalacağını öğrenmiştir. Doğada insanoğlunun çözmeye çalıştığı birçok sorun hâlihazırda çözülmüş durumdadır, önemli olan insanların aradıkları çözüm için doğaya bakmalarıdır (Benyus, 1997).

Doğa, prensipleri ve hiyerarşik sistemi sayesinde milyarlarca yıldır kendini devam ettirmeyi başarmıştır. Doğa güneşe bağlı yaşar, ihtiyacı olduğu kadar enerji sarf eder, formu işleve uygun hale getirir, her şeyi geri dönüştürür, birlikteliği ve uyumu ödüllendirir ve çeşitliliği destekler (Benyus, 1997). Doğanın bu özellikleri ve doğadaki malzemelerin ve formların gereksinim duyulan sağlamlık, hafiflik, dinamik ve statik yüklere dayanım, enerji korunumu sağlayan biçimsel ve yapısal özellikleri, sessizlik, kendini onarabilme gibi özelliklerinin gözlemlenmesi, çözümlenmesi ve modellenmesi birçok bilim insanının dikkatini doğadaki canlı ya da cansız oluşumlara yöneltmiştir (Selçuk ve Sorguç, 2004). Benyus (1997) birçok tasarımı etkileyen kitabında tasarımların ve yeniliklerin faydalı olup olmadığının test edilebilmesi ve doğada bunun örneğinin olup olmadığının anlaşılması için sıraladığı soruların cevabına "Evet" yanıtının verilebiliyor olması gerektiğini belirtmiştir.

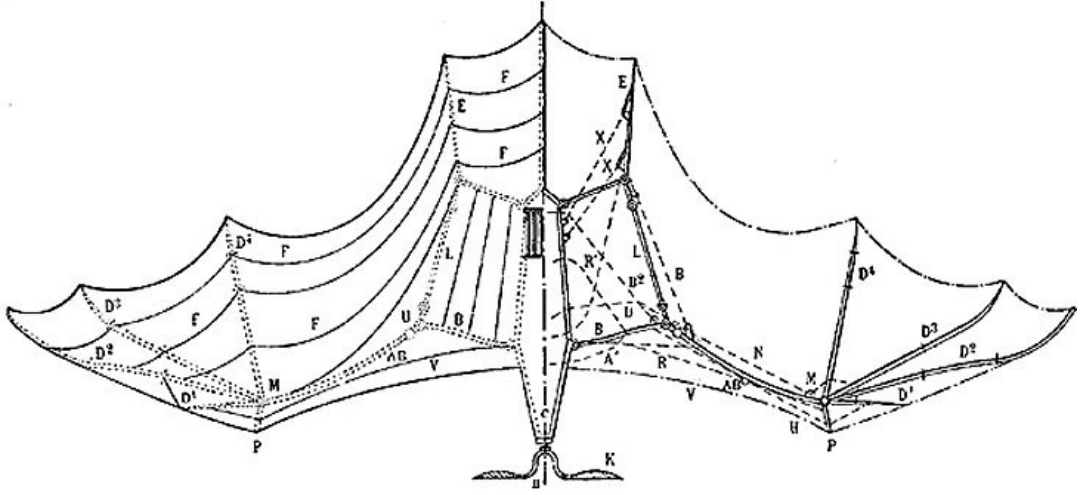
- Gün ışığında çalışıyor mu?

- Yalnızca ihtiyacı olan enerjiyi mi kullanıyor?
- Fonksiyonuna uyan bir biçimi var mı?
- Her şeyi geri dönüştürebiliyor mu?
- İşbirliğinin karşılığını veriyor mu?
- Çeşitliliğe imkân veriyor mu?
- Yerel uzmanlıktan faydalıyor mu?
- Kendi aşırılıklarını engelliyor mu?
- Güç sınırlarının üstünde mi?
- Güzel mi?

Biyomimikri her ne kadar 20. ve 21. yüzyıllarda ortaya çıkmış olarak gözüke de aslında tarih boyunca insanlar doğadan etkilenmiş ve bilim ve teknoloji alanındaki ilerlemelerinde doğayı örnek almışlardır. Günlük hayattaki ihtiyaçlarına çözüm arayan insanlar akıl ve sezilerini kullanarak bilgileri olmasa dahi sorunlarına doğada var olan çözümleri üretmişlerdir (Senosiain, 2003). Örneğin Yunan mitolojisinde Daedalus'un kaz kanatları kullanarak uçan bir kuşu taklit edip hapsedildiği Girit adasından kaçmaya çalışması oldukça bilinen bir efsanedir (Yiatros vd., 2007). Milattan önce 400 yılında bir antik Yunan filozofu olan Democritus ise "Biz hayvanları taklit ederek önemli şeyler öğreniriz. Bizler kıyafet dokuma ve hazırlamada örümceklerin onları taklit eden çıraklarıyız. Kırlangıçlardan yuva yapmayı, tarlakuşları ve kuğulardan şarkı söylemeyi öğreniriz" demiştir (Senosiain, 2003).

Biyomimikri tarih boyunca birçok bilim dalında kullanılmış ve günlük hayatımızda kullandığımız birçok aracın bugünkü şeklini almasında rol oynamıştır. Daha önceleri doğayı gözlemleyerek deneyimler elde eden insanoğlu artık doğayı bir model olarak görmenin ötesinde, ondan bir karşılaştırma ölçütü ve bir akıl hocası olarak dersler almaya başlamıştır. Örneğin, 1933 yılında Buckminster Fuller tarafından dizayn edilen araba istenen performansı sağlamayınca Fuller bir yağmur damlasının aerodinamik özelliklerini incelemiş ve atmosfere giren yağmur damlasının küresel şeklinin modifiye olduğunu, ön kısmının yuvarlak kalmaya devam ettiğini fakat yan yüzeylerinin hava akımına göre daralarak uzadığını tespit etmiştir (Yiatros vd., 2007). Leonardo da Vinci ise yarasayı örnek alarak tasarladığı uçuş makinesi ile

bilinen en önemli mucitlerden biridir. Her ne kadar Leonarda da Vinci'nin buluşu başarılı olamamış olsa da, kendisinden 400 yıl sonra çalışmalarından etkilenen Clement Ader yarasanın uçuş prensibini inceleyerek çizimleri Şekil 2.1'de verilen ilk uçabilir aracı tasarlamıştır (Senosiain, 2003).



Şekil 2.1 : Clement Ader tarafından tasarlanan ilk uçan araç

Özellikle askeri alanda kullanılan birçok malzeme ve ekipman da doğadan esinlenilerek yapılmıştır. Örneğin askerlerin kullandığı kasketlerde kaplumbağa kabuğundan esinlenilmiştir, helikopterlerin ise şekil ve çalışma mekanizmasında ise helikopter böceğinden ilham alınmıştır. Denizaltıların tasarımında ise balıklar incelenmiş ve kum balığının solungaçlarına su alarak batma, aldığı bu suyu boşaltarak yüzeye çıkma eylemi insanoğluna model olmuştur (Akbulut vd., 2009).

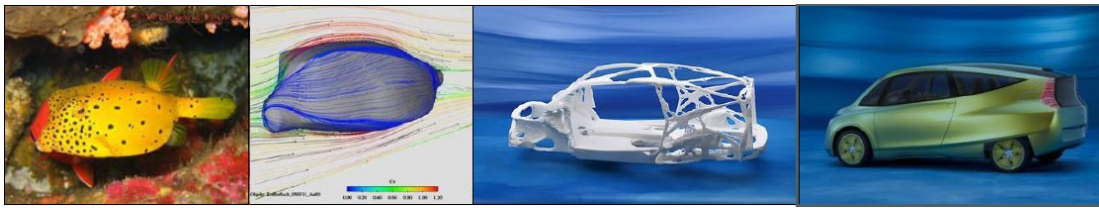
2.1.2 Tasarımda Biyomimetik Yaklaşım

Tasarımda iki farklı biyomimetik yaklaşım kullanılabilir. Bunlardan ilki Panchuk (2006) tarafından “dolaysız yaklaşım”, Zari (2007) tarafından ise “biyolojiye bakan tasarım (design looking to biology)” olarak tanımlanan bir ihtiyacın ya da tasarım probleminin tanımlanması ve çözüm için doğadaki organizma ya da ekosistemlerin incelenmesi yöntemidir. Diğer yöntem ise Panchuk (2006)’un “dolaylı yaklaşım”, Zari’nin (2007) ise “tasarımı etkileyen biyoloji (biology influencing design)” olarak tanımladığı bir organizma ya da ekosistemin belirli bir karakteristik, davranış ya da işleyişini inceleyerek elde edilen verileri tasarımda uygulama yaklaşımıdır.

Dolaysız yaklaşımda belirli bir tasarım probleminin doğada nasıl çözüldüğü

araştırılarak tasarımda ne şekilde uygulanabileceği belirlenir. Tasarımcıların sorunlarına biyomimetik bir çözüm bulmaları için derin biyoloji bilgisine sahip olmaları gerekli değildir. Bu yaklaşımda tasarımcıya düşen görev sorunu doğru bir biçimde tanımlamak ve ihtiyacın ne olduğunu belirlemektir. Tasarımcı olarak doğadan esinlenilen bir formun ya da organizmanın mekanik özelliklerini taklit etmek zor olmamakla birlikte, kimyasal süreçler gibi bilimsel konuların taklit edilmesinde tasarım sürecine biyologların da dahil edilmesi uygun olacaktır (Panchuk, 2006).

Tasarım probleminin tanımlanarak çözümün doğada arandığı bu yaklaşım Daimler Chrysler'in biyonik aracında uygulanmıştır (Şekil 2.2). Bu örnekte tasarım problemi minimum malzeme kullanarak maksimum hacimde, küçük tekerlekli bir araç üretmektir. Araca şeklini verirken kutubalığı (ostracion meleagris) adı verilen balıktan esinlenilmiştir. Balığın hareket özellikleri ile şekli arasındaki ilişkinin incelenerek biyonik araca uygulanması, aracın aerodinamiğini arttırmış ve daha az yakıt tüketerek daha fazla mesafe alabilmesini sağlamıştır. Aracın şasi ve strüktürü için ise ağaçların gerilim yoğunluklarına maruz kalmadan sürekli nasıl büyüydiklerini incelenmiş ve gözlemlenen özellikler kullanılarak minimum malzeme kullanımı ile araç strüktürü oluşturulmuştur (Badarnah, 2007). Bu araç ulaşım – taşıma alanına yeni bir yaklaşım getirmese de, mevcut sistemlerin yeniden incelenerek nasıl daha efektif sonuçlara ulaşılabileceği konusunda önemli bir gelişmedir (Vincent vd., 2006).



Şekil 2.2 : Daimler Chrysler'in biyonik araç tasarımı.

Dolaylı yaklaşımda ortak tasarım sürecinde bulunan kişilerin tasarım probleminin ne olduğuyla ilgili bilgi sahibi olmalarından ziyade ilgili biyolojik ve ekolojik araştırma bilgisine sahip olmaları gerekmektedir. Bu yaklaşımın en önemli avantajı biyolojinin bir tasarım sorununa daha önce hiç düşünülmemiş bir çözüm üretebilme olasılığıdır. Tasarım açısından dezavantajı ise bu yaklaşımın kullanılması için biyolojik bir araştırmanın yapılmış olması ve sonuçların tasarım bağlamında kullanılabilir şekilde belirlenmiş olması gerekliliğidir (Zari, 2007).

Nilüfer yaprağının üzerinde bulunan metrenin birkaç milyonda biri boyutundaki pürüzler sayesinde kendini temizleyebildiğinin tespit edilmesi üzerine bu özelliğin camlarda ve dış cephe boyalarında kullanılması dolaylı yaklaşım için önemli örneklerdir. Ohio Eyalet Üniversitesi'nden bilim adamı Prof. Bharat Bhushan nilüfer yaprağının bu özelliğini kullanarak kendini temizleyebilen cam geliştirmiştir. İsmi nilüfer çiçeğinden (Lotus) alan ve aynı prensibi kullanan bir diğer ürün ise kurduğunda nilüfer yaprağının kendini temizleme özelliğini taklit eden Lotusan dış cephe boyasıdır (Dunster, 1997).



Şekil 2.3 : Kendini temizleme özelliğine sahip Lotusan boyası

2.1.3 Biyomimikri uygulamalarının genel çerçevesi

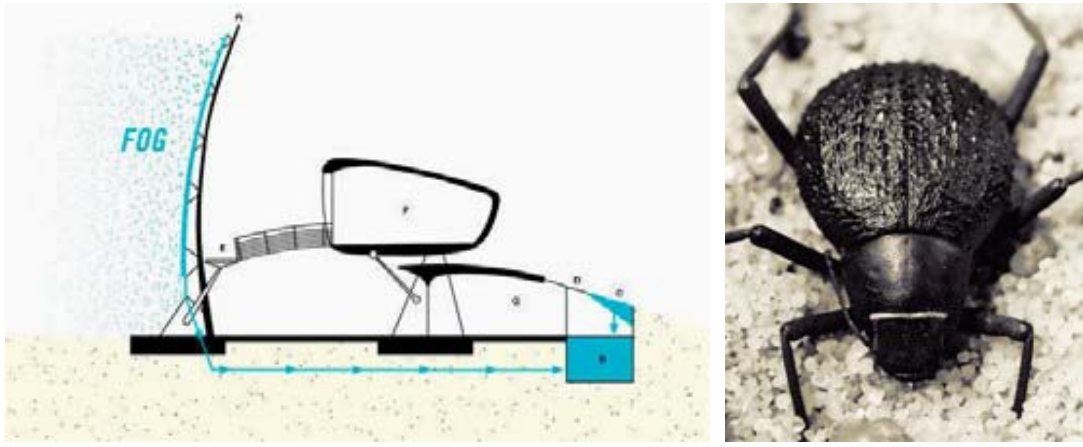
Mimaride tasarım probleminin çözülmesi için doğa üç düzeyde taklit edilmektedir: (1) organizma düzeyi, (2) davranış düzeyi, (3) ekosistem düzeyi. Organizma düzeyinde belirli bir organizma taklit edilirken, davranış düzeyinde organizmanın nasıl davrandığı ve daha geniş bağlamda neyle ilişkilendirildiği incelenir. Ekosistem düzeyinde ise tüm ekosistemin ve ona başarılı fonksiyonlar kazandıran genel prensiplerin taklit edilmesi söz konusudur (Zari, 2007).

2.1.3.1 Organizma düzeyi

Yaşayan organizmalar milyonlarca yıldır evrim geçirmekte ve sürekli değişen koşullara adapte olarak hayatta kalmalarını sağlayacak kurtulma mekanizmaları geliştirmektedirler. Doğal seleksiyon sayesinde doğa sadece en kolay adapte olabilen ve en güçlü canlıların türlerini devam ettirebilmelerini sağlamıştır. Dolayısıyla, insanlar başka organizmalar tarafından yaşanan ve adaptasyon sağlanan birçok sorun için doğayı inceleyerek geniş bir bilgi havuzuna sahip olabilmektedirler (Wilson, 2008).

Organizma düzeyinde biyomimikri için Namibian çöl böceğinden etkilenilerek tasarlanan sis yakalayıcı özelliği ile Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi iyi bir

örnektir. Namibian çöl böceği çölde az bir miktar yağış ile yaşar. Hızlı hareket eden sisten faydalanabilmek için vücudunu rüzgâra döndürerek nemi alır ve sırtındaki pürüzlü yüzeyden kanatlarına ve oradan da ağzına gelen damlacıklarla su ihtiyacını karşılar böylece yüzeyde herhangi bir su birikintisi bulma ihtiyacı ortadan kalkmış olur. Namibian çöl böceğinden etkilenen KSS Architects'den Matthew Parkes böceğin sis yakalayıcı özelliğini Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi projesinde kullanmıştır (Şekil 2.4). Ravilios (2007) ve Knight (2001) ise böceğin bu özelliğini spesifik olarak havalimanı pistlerinden nemi uzaklaştırmak ve ekipmanların nemlenmemesini sağlamak üzerine kullanmaya çalışmaktadırlar.



Şekil 2.4 : Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi

Nicholas Grimshaw & Partners'ın Waterloo Uluslararası Terminal tasarımında ise organizma düzeyinde form ve süreç taklit edilmiştir. Terminalin gelen ve giden trenlerin yaratacağı hava basıncı değişikliklerine dayanıklı olabilmesi için cam paneller pangolinlerin değişik ölçek düzenlemelerine olanak sağlayan esnek yapılarından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 2.5).



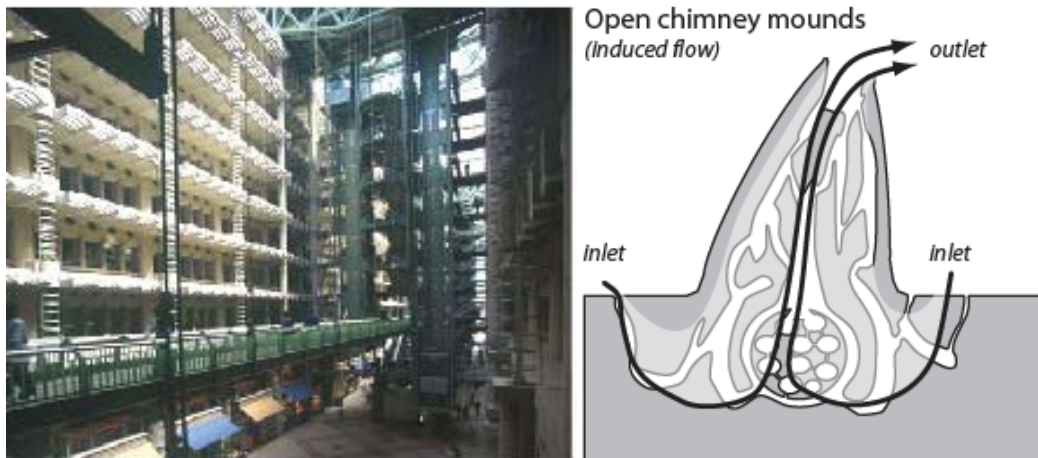
Şekil 2.5 : Waterloo Uluslararası Terminal tasarımı ve pangolin

Organizma düzeyinde taklit uygulamaları sistemin bütününden ziyade tek bir özelliğini taklit etmeye yönelik uygulamalardır. Fakat bir organizmanın daha geniş bir ekosistem bağlamında nasıl kendine yer edindiğini ve katkılarının neler olduğunu işin içine katmadan taklit etmek tasarımın geleneksel kalmasına ya da çevresel etkiler açısından ortalamanın altında bir performans göstermesine neden olabilir. Her ne kadar organizma düzeyinde taklit yenilikçi teknolojiler ya da malzemeler ortaya çıkarabilecek olsa da sürdürülebilirlik bağlamında aynı etkiyi göstermesi çok mümkün değildir (Zari, 2007).

2.1.3.2 Davranış düzeyi

Birçok organizma insanların karşılaştıkları çevresel koşullarla karşılaşır ve benzer sorunları çözmeye çalışır. İçlerinden bugüne kadar gelmeyi başaranlar ekosistemin kısıtlı kapasitesi içerisinde, kısıtlı enerji ve malzemeyle yaşamını devam ettirebilmiş olanlardır. Dolayısıyla organizma davranışlarının incelenmesi ve tasarımlara aktarılması doğadan öğrenmenin etkili yöntemlerinden biridir.

Davranış düzeyinde süreç ve fonksiyonu taklit eden Mick Pearce'in Harare'deki Eastgate binasında akkarıncaların pasif iklimlendirme ve sıcaklık düzenlemesinden esinlenilerek termal olarak daha stabil bir iç mekan yaratılmaya çalışılmıştır. Akkarıncalar yuvalarını dışarıdaki ortamın sıcaklığı çok daha yüksek olmasına rağmen 29 derecede sabitlemeyi başarmışlardır (Turner ve Soar, 2008). Eastgate binasında akkarıncaların yuvalarında kullandıkları sıcak havanın yukarı çıkarak soğuk havanın aşağı çökmesi prensibi ile hava akımının oluşması ve yuvada biriken CO₂'nin baca işlevi gören boşluklardan dışarı atılması sağlanmıştır (Hawken, 2006).



Şekil 2.6 : Eastgate binası ve akkarınca yuvası

Sürdürülebilirlik için davranış düzeyinde taklitte insani bağlamda neyin taklit edileceğine dikkatli karar verilmelidir. Her organizmanın sergilediği davranış insanlık için uygun olmayabilir. Örneğin termal olarak stabil bir ortam yaratmak için karınca yuvaları taklit edilebilir. Ancak daha sürdürülebilir olacağı düşüncesiyle insanları koloniler şeklinde yaşamaya zorlamak insan hakları açısından uygun olmayacaktır. Bu bağlamda, canlıların sosyal yaşayış biçimlerini taklit etmekten ziyade spesifik bir yapıyı ya da hayatta kalma davranışlarını inceleyerek daha sürdürülebilir ve yaratıcı ortamlar üretmek daha doğru olacaktır (Zari, 2007).

2.1.3.3 Ekosistem düzeyi

Ekosistem düzeyinde taklit biyomimikrinin önemli bir bileşeni olup literatürde ekomimikri olarak da adlandırılmakta ve biyomimikrinin sürdürülebilir bir formu olarak ekosistemin ve insanların iyiliğini hedefleyen bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır.

Tasarımda ekosistem düzeyinde taklit olarak sınıflandırılabilir en yakın örnek Mithün Architects ve Green Works Landscape Architecture Consultants tarafından tasarlanan Llyod Crossing Project'tir. Portland, Oregon'da tasarlanan bu projede mimarlar proje arsasının eskiden nasıl bir ekosisteme sahip olduğunu araştırarak benzer ekolojik performansı uzun yıllar devam ettirebilecek bir proje üretmeyi hedeflemişlerdir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Llyod Crossing projesi

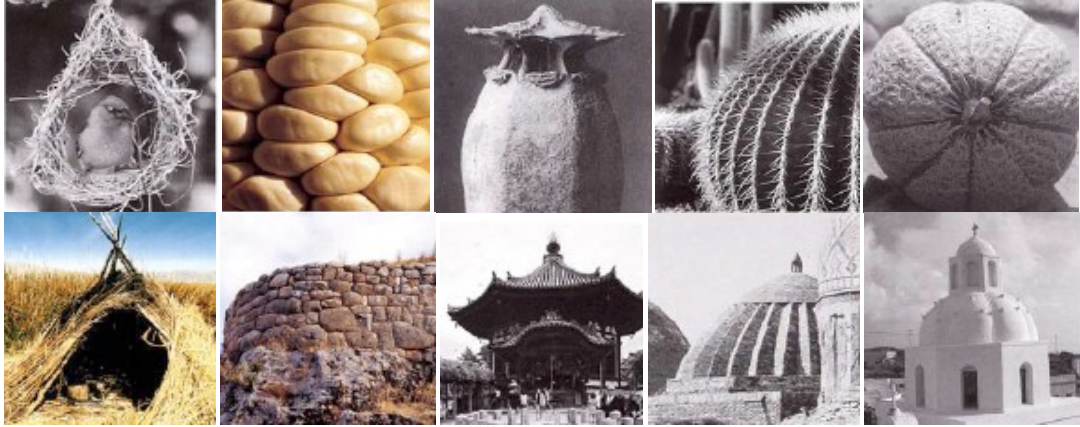
Ekosistem düzeyinde taklidin en önemli avantajı bu yaklaşımın organizma ve davranış düzeyi taklit yaklaşımları ve mevcut sürdürülebilir yapılar ve metotları ile birlikte kullanılabilmesidir. Buna bir örnek olarak John ve Nancy Todd'un Living Machines ya da Eco Machines adını verdikleri atık su arıtma süreci taklitleri ve bunun arıtma tesisleri ile entegrasyonu verilebilir. Geliştirilen Biolytix sistem gri ve

siyah suların toprak bazlı ayrıştırma ile ıslah edilmesini taklit eder ve sürece gerçek kurtçukları ve toprak mikroplarını da entegre eder.

Ekosistem düzeyinde taklidin tasarımda kullanılması oldukça zor olsa da, ekosistemin metaforik olarak incelenmesi tasarımın bir bütün olarak daha doğru ve işler bir yöne gidebilmesi açısından faydalıdır. Ekosistem düzeyinde taklit metaforik olarak çok fazla biyoloji bilgisi gerektirmese de, fonksiyonel açıdan tasarıma entegre edilmesi düzeyinde birçok uzmanın projeye dahil olmasını gerektirecek bir yaklaşımdır (Zari, 2007).

2.1.4 Mimaride biyomimikri uygulamaları

Ateşin bulunmasıyla topluluklar halinde yaşamaya ve barınma ihtiyacına çözüm bulmaya çalışan insanlar bilinçli ya da bilinçsiz olarak doğadaki yapılaşmaları taklit etmeye başlamışlardır. Bu noktada, bina yapma teknikleri geliştirilirken doğadan “canlı”, “cansız” ve “canlı organizmalar tarafından üretilen” yapılaşmalardan esinlenilmiştir. Günümüzden yüzyıllar öncesine dayanan Şekil 2.8’de gösterilen farklı coğrafyalarda yapılmış mimarlık örneklerinin doğal yapılaşmalarla benzerliğinin tesadüf olmadığı düşünülmektedir (Selçuk ve Sorguç, 2007).

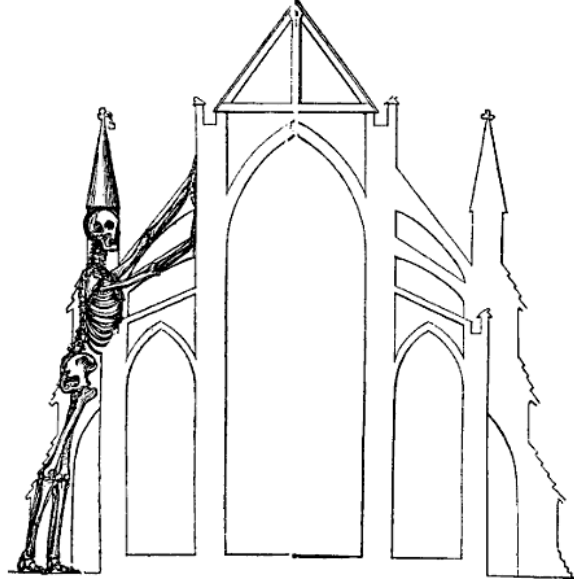


Şekil 2.8 : Farklı coğrafi konumlardaki yapılar ve doğadaki benzerleri

Bir ağaçta büyüme ve dallanarak çoğalma prensibi 1759 yılında John Smeaton tarafından Plymouth’da yapılan Eddystone fener kulesinde kullanılmıştır. Smeaton, yapının strüktüründe esinlendiği meşe ağacının doğadaki yüklere karşı koyabilen en iyi yapılanma olduğunu belirtmiştir.

Doğadaki anatomik özelliklerin mimaride uygulanması 1770li yılların gotik katedrallerine dayanmaktadır. Kâgir malzemeler kullanılarak mümkün olan en

yüksek yapıların en hafif şekilde tasarlanmaya çalışıldığı bu dönemde iskelet – kemik yapısından esinlenilerek yapılara payandalar eklenmiş ve yapılar Roma dönemindeki benzerlerine göre çok daha hafif olarak tasarlanabilmişlerdir (Steadman, 2008).



Şekil 2.9 : İnsan iskeleti ile ters payanda ilişkisini gösteren çizimi

Gotik mimaride iskelet sistemleri ve kemik analogilerini kullanan zamanın önemli mimarlarından biri de Gaudi'dir. Gaudi, yapılarında farklılık ve estetiği yakalamak ve işlevselliğin gerektirdiği statik sorunlara çözüm bulabilmek için yumuşakçaları, hayvan iskeletlerini, kabuklu canlıları ve bitkileri inceleyerek doğadaki yapılaşmaların dinamik veya statik yüklere nasıl karşı koyduğunu gözlemlemiştir.

Mimarlık tarihinde ağaç dallarından, çiçeklere, kristallerden kabuklara kadar daha pek çok analogiden söz etmek mümkündür. Ancak, 20.yüzyılın ortasına kadar karşılaşılan yapılarda esinlenilen, uyarlanan örneğin formla kısıtlı kaldığı görülmektedir. Endüstri devriminden sonra üretimde ve teknolojiye hızlı gelişmeler sayesinde günümüzde doğada karşımıza çıkan bal arası peteklerinin geometrileri, örümcek ağının hafifliğinin yanı sıra yapısal rijitliği, yaprakların güneşe yönelişi, yarasa kanatlarının kinetiği gibi birçok örnek incelenmeye ve yapılarda kullanılmaya başlanmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007). Bu anlamda Londra'daki doğadan esinlenilerek tasarlanan Crystal Palace (1851) mimariye yeni bir yön kazandıran bir dönüm noktası olarak addedilmektedir. Botanik uzmanı Joseph Paxton tarafından tasarlanan yapı, nilüfer çiçeğinin alt yapraklarının çatallı yapısı temel alınarak

oluşturulan çelik kaburga sistemi üzerine geniş camlar yerleştirilerek inşa edilmiştir (Eggermont, 2007).

20. yüzyılın başlarında Peter Bahrens, Hans Poelzig Max Berg, Otto Bartnin ve Rudolph Steiner gibi birçok önemli mimar tasarımlarında kristal ve organik formlar kullanmışlardır. Rudolph Steiner, bitkilerin büyüme prensibini ilke edinmiş ve gridal formlar yerine organik düzenlemeleri benimsemiştir. Steiner'den sonra Bruno Taut, Alp doruklarının kristalize görünüşünden etkilenecek zamanının kemikleşmiş mimari formlarını kullanmak yerine canlı ve cansız form ve yapılaşmaları eserlerine taşımıştır. Modern mimarlığın önemli isimlerinden Frank Lloyd Wright ise yazılarında doğayla uyumlu bir mimarlıktan söz etmektedir (Selçuk ve Sorguç, 2007).

20. yüzyılın ortalarından sonra ve 21. yüzyılda, artan çevre kirliliği, küresel ısınma, doğal kaynakların yok olması gibi birçok etken mimarları daha doğayla barışık tasarımlar yapmaya yöneltmiş ve bu dönemde doğadan esinlenen sayısız bina tasarlanmıştır. Avustralya'nın ilk biyomimetik yapısı olarak bilinen Hidrokarbon (CH₂) binası son dönemlerde yapılan en başarılı biyomimetik uygulamalarından biridir. Projede akkarıncalarından esinlenilmesinin yanı sıra cephe kaplamasının seçiminden başlayarak, suyun nasıl kullanıldığı, güneş enerjisinden faydalanma ve korunma vb. tüm hususlar atmosferik olaylar gibi, belli bir dinamiği olan, sürekli bir süreç olarak ele alınmıştır.

Güney batıda asansör ve merdivenlerin oluşturduğu çekirdek, kuzey doğuda ise, servis mekanları konumlandırılmış olup bu mekanlar doğrudan güneş ışığı alacak biçimde, açık mekanla ilişkilendirilmişlerdir. Doğada koyu renklerin ışığı emmesi ve ısınan havanın yükselmesi kuralından yola çıkılarak, CH₂'nin kuzey cephesinde koyu renk boyanmış hava emiş mazgalları konumlandırılmıştır. Bu mazgallar ısıyı emerek binanın içinde ısınan havayı dışarı çekmektedirler. Benzer şekilde, güney cephesinde de açık renge boyanmış olan mazgallar temiz havayı çatıdan alarak binanın içine doğru dağıtmaktadırlar. Bu hava sirkülasyonu, kullanıcılar tarafından istenirse kontrol ve müdahale edilebilecek şekilde düzenlenmiştir.

Cephede güneşin konumu ve açısına göre otomatik olarak hareket edebilen ahşap plakalar kullanılmıştır. Plakaların hareketi için gerekli enerji çatıda konumlandırılmış olan fotovoltaik çatı panellerinin güneş enerjisini emerek elektrik enerjisine

dönüştürmeleri sayesinde elde edilmektedir. Ayrıca, binanın çatısında doğanın önemli bir gücü olan rüzgardan faydalanmak için rüzgar tribünleri bulunmaktadır (Url – 1).



Şekil 2.10 : Melbourne’de bulunan CH2 Belediye binası

Biyomimikrinin daha futuristik bir modeli de Belçikalı bir mimarlık şirketi olan Vincent Callebaut Mimarlık tarafından hayata geçirilmiştir. Yusufçuk böceği (The Dragonfly) isimli proje New York’un merkezinde, genişleyen nüfusa yönelik olarak bünyesinde barındırdığı bahçelerle yemek ihtiyacını karşılayacak, doğal kaynakları tekrar kullanacak ve biyolojik olarak ayrıştırılabilir atıklar oluşturacak şekilde tasarlanmıştır.

Eşsiz yaklaşım Callebaut Mimarlık tarafından tasarlanmaya başlandığında, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve gelgit türbünü kullanımı gibi yenilenebilir enerji türlerinin yusufçuk böceğinin kanatlarının taklit edilmesi ile estetik bir şekilde uygulanabileceğine karar verilmiştir (Şekil 2.11). Aynı zamanda, kanatların arasında kalan alanın kışın sera etkisi göstermesi nedeniyle bahçeler burada konumlandırılmış, böylece fazladan ısıtma enerjisi kullanımına gerek kalmamıştır. 600 metre yüksekliğinde tasarlanan 132 katlı yapının içerisinde 28 farklı şekilde ziraat alanları, konaklama birimleri, ofisler ve laboratuvarlar bulunmaktadır.

Benyus’a göre doğadan öğrenme süreci farklı disiplinlerde yaygınlaşarak devam ederse önümüzdeki yıllarda “biyomimetik bir devrim” yaşanacaktır. Tıpkı Benyus’un öngörüsünde olduğu gibi doğadaki malzemelerin ve formların gereksinim duyulan sağlamlık, hafiflik, dinamik ve statik yüklere dayanım, enerji korunumu sağlayan

biçimsel ve yapısal özellikleri, sessizlik, kendini onarabilme, tepki verebilme gibi özelliklerinin gözlemlenmesi, çözümlenmesi ve modellenebilmesi birçok bilim insanının dikkatini doğadaki canlı ya da cansız oluşumlara yöneltmiştir (Benyus, 1997). Bu devrimin teknolojisi, endüstriyel devrimin tersine doğa insan ilişkisini düzenleyecek ve gelecek kuşaklara aktarılabilir sürdürülebilir çevrelerin yaratılmasında önemli bir rol oynayacaktır.



Şekil 2.11 : Yusufçuk böceğinden esinlenilerek tasarlanan The Dragonfly

Biyomimetik araştırmalar laboratuvarlarında devam eden çalışmalarda, yeni sistemler ve sürdürülebilir malzeme gereksinimlerine çözüm üretmeye katkıda bulunacak birçok ipucu ortaya çıkmaktadır ve diğer disiplinlerden insanlarla bilgi alışverişini sağlamak amacıyla ara yüzler oluşturulmaktadır (Arslan Selçuk, 2007). Watson (2004)'a göre gelecekte yaşayacağımız evler ve çalışacağımız ofisler yaşayan organizmalar gibi tasarlanacak, enerji ve su ihtiyaçlarının tamamı ise güneş, rüzgar ve yağmurdan karşılanacaktır. Mimarlık ve tasarım 20. yüzyılda olduğu gibi makinelerden değil, doğada bulunan güzel çiçeklerden esinlenilerek tasarlanacaktır.

2.2 Tepkisel Mimarlık

2.2.1 Tepkisel mimarlığın tanımı

Tepkisel mimarlık (responsive architecture) mimari tasarımın geleneksel statik dünyasıyla insan – bilgisayar etkileşim paradigmaları ve somut tasarım ara yüzlerinin boşluğunu dolduran, tasarımcıların daha çevreci, sürdürülebilir ve anlamlı tasarımlar yapmalarını sağlayan önemli bir araştırma alanıdır (Telhan v.d., 2010). Tepkisel yapılar, gerçek çevresel koşullara form, şekil, renk, karakter vs. gibi özelliklerini değiştirerek adapte olma yeteneğine sahip yapılardır. Tepkisel mimarlıkta ortaya

çıkan ürün – çıktı (output), yapının sibernetik geribildirim döngüsünden aldığı girdinin (input) etkisiyle oluşmaktadır (Grünkranz, 2009).

Literatürde tepkisel mimarlık çevreci/sürdürülebilir mimarlık ile kinetik mimarlığın buluşma noktası olarak tanımlanmaktadır (Fotiadou, 2010). Tepkisel mimarlık, sürdürülebilir mimarlıktan ekolojik prensipleri alarak bunları kinetik mimarlığın hareket özellikleri ile birleştirir ve bilgisayar teknolojilerinin de yardımıyla dış etkilere duyarlı ve onlara göre adapte olabilen strüktürler/ortamlar yaratır. Dolayısıyla tepkisel mimarinin iki bileşeninin olduğu söylenebilir: (1) ne yapabileceğine karar verebilen kontrol sistemleri (2) şekil değiştirme yeteneğine sahip strüktürel bileşenler. Günümüzde kontrol sistemlerindeki gelişmeler yeterli olgunluğa erişmiş olsa da, şekil değiştirebilen malzemelerle ilgili teknolojiler yeni yeni gelişmeye başlamıştır.

Şekil değiştirebilen malzemelerin araştırılmasında ve geliştirilmesinde doğanın taklit edilmesi sıklıkla kullanılabilen bir yöntemdir. Örümcek ağı, hücresel örtüler gibi yapılar birçok bileşenin entegrasyonu ile bir araya gelerek bükülebilir ve döndürülebilirler fakat aynı özellikleri insan ürünü malzemelerin vermesi oldukça zordur (The Economist, 2006). Tepkisel Mimarlık İçin Robotik Mimari Bürosu'nun (Robotic Architectural Media & Bureau for Responsive Architecture) başkanı olan Tristan d'Estree Sterk (2006), tepkisel mimarlıkta şekil değiştirebilen formlar yaratabilmek için hafif strüktürlerin gelişmesinin ve sağlamlaşarak daha da hafiflemesinin önemli olduğunu belirtmiştir. Sterk'e göre tepkisel bir bina kabuğu; 1) kontrol edilebilir bir rijitliğe sahip olmalı, 2) hafif olmalı, 3) asimetrik deformasyonları kaldırabilmelidir.

Günümüzde tepkisel mimari birçok amaç için araştırma konusu olmaktadır. Müzeler, ziyaretçilere tepki verebilen sergilerin arayışındayken, bir takım araştırmacı da yaşlılar ya da kronik hastaların otonom hayatlarına devam edebilmelerine yardımcı olacak ve bir sorunla karşılaştığında acil sağlık yardımı çağırabilecek “bilinçli evler” üzerinde çalışmaktadırlar (Sparacino, 2009).

2.2.2 Tepkisel mimarinin tepki mekanizması

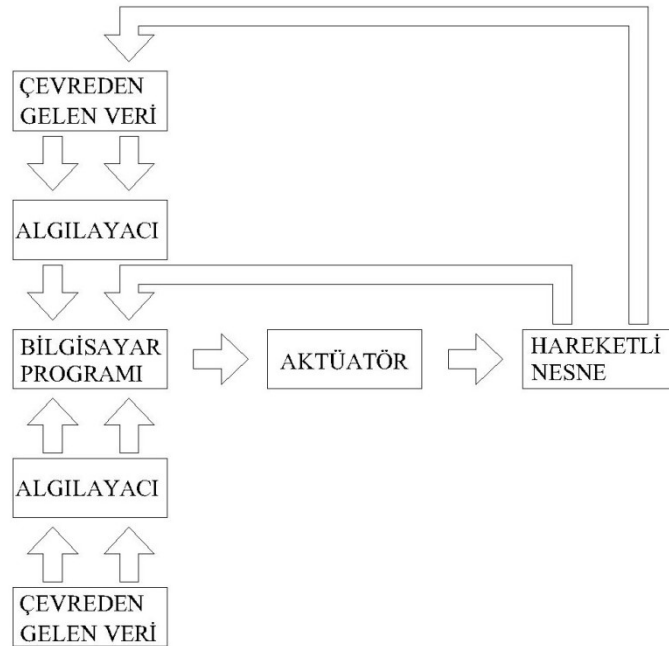
Tepkisel mimaride dış etmenden alınan bilgilere göre tepki verilmesi, yeni duruma adapte olunması ya da önceden programlanan parametrelerin sağlanması için

aktüatörler, işlemciler ve sensörler ile sağlanması istenen parametrelerin girildiği kontrol programlarına ihtiyaç bulunmaktadır (Senatore, 2010).

Tepkisel mimarinin tepki mekanizması temelde şöyledir: çevreden gelen veriler sisteme uygun olarak yerleştirilmiş sensörler (algılayıcılar) yardımıyla algılanır ve işlenmek üzere bilgisayar programına gönderilir. Bilgisayar programı ile kontrol edilen veri, programın parametreleri ile karşılaştırılır ve yapının programda kayıtlı parametrelere göre hareket edebilmesi için aktüatörlere bilgi gönderilir. Bilgisayar programından aldığı bilgilerle tetiklenen aktüatörler sistemdeki hareketli parçaları programda tanımladığı şekilde harekete geçirerek sistemin dış ortamdan aldığı veriye fiziksel tepki vermesini sağlar.

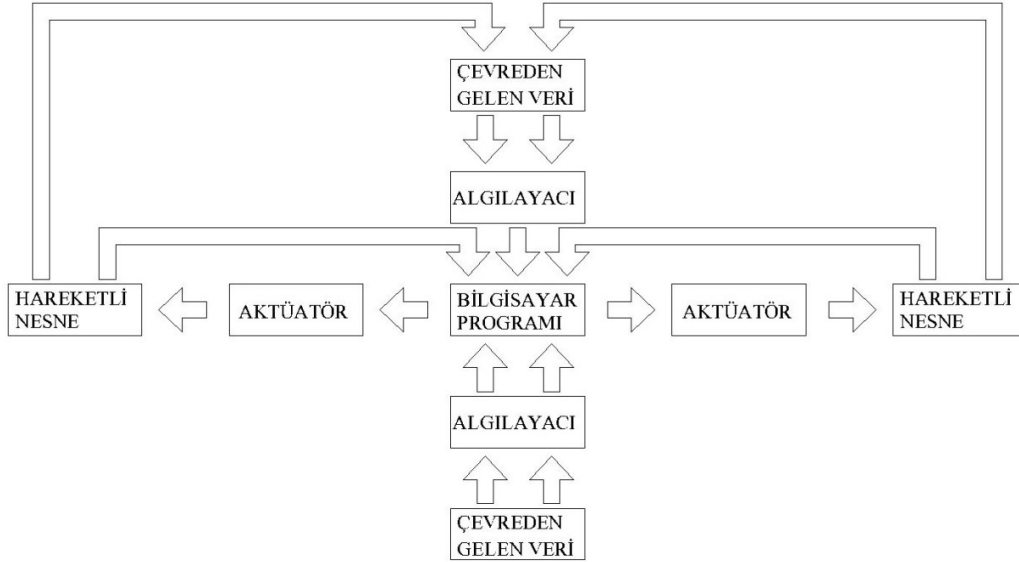
Tepkisel mimaride kullanılan kontrol mekanizmaları tepkisel dolaylı kontrol, yaygın tepkisel dolaylı kontrol ve buluşsal tepkisel dolaylı kontrol olmak üzere üç çeşittir (Fox, 2002):

Tepkisel Dolaylı Kontrol: Tepkisel dolaylı kontrol sisteminde, hareket dolaylı olarak sensör geribildirim sistemiyle başlatılır. Sensör dışarıdan aldığı uyarıyı bilgisayar programına gönderir, program da enerji kaynağı olan aktüatörlere hareketi kontrol etmek üzere aç/kapa komutları iletir. Bu kontrol sisteminde sistemin ara kararları işlemesi mümkün değildir. Komut ya bir hareketin yapılması ya da yapılmaması yönünde olacaktır.



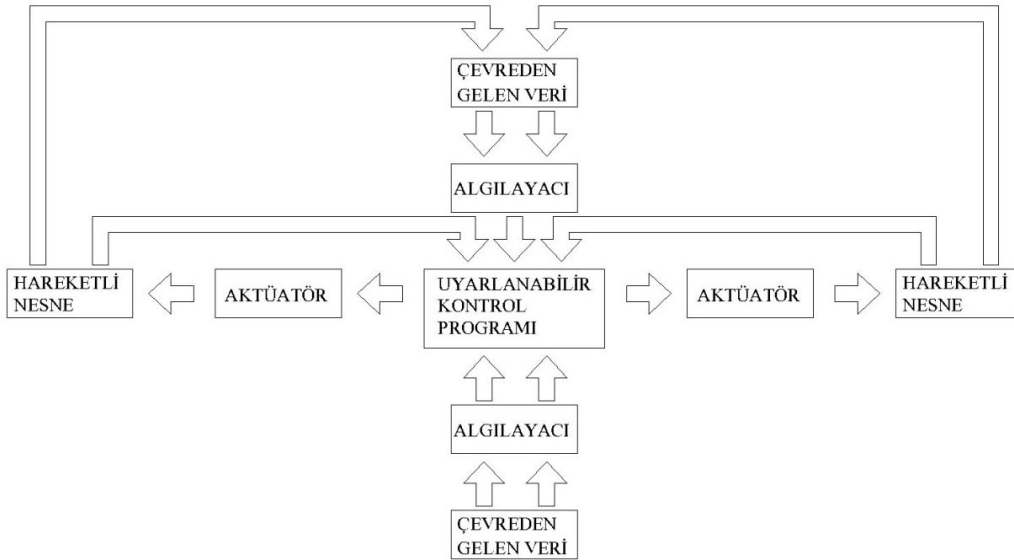
Şekil 2.12 : Tepkisel dolaylı kontrol sistemi

Yaygın Tepkisel Dolaylı Kontrol: Yaygın tepkisel dolaylı kontrol sisteminin isleyişi tepkisel dolaylı kontrol sistemi ile benzerdir. Fakat bu sistemde bilgisayar programı farklı sensörlerden aldığı bilgileri işleyerek enerji kaynağı olan aktüatöre optimize edilmiş bir karar komutu gönderme yeteneğine sahiptir.



Şekil 2.13 : Yaygın tepkisel dolaylı kontrol sistemi

Buluşsal Tepkisel Dolaylı Kontrol: Buluşsal tepkisel dolaylı kontrol sisteminde hareket birçok otonom sensör ve aktüatör grubunun bütüncül bir ağ olarak çalışması sonucu gerçekleşir. Kontrol sistemi hareketi belirleyebilmek için tahminsel ve adapte olabilir bir geribildirim kontrol algoritmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu sistem öğrenebilme ve geliştirilebilme yeteneğine sahiptir.



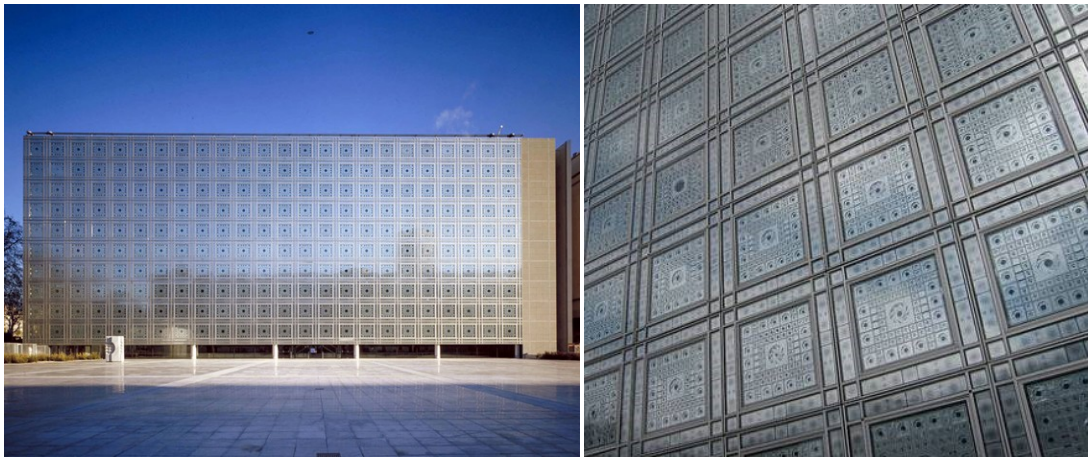
Şekil 2.14 : Buluşsal tepkisel dolaylı kontrol sistemi

2.2.3 Tepkisel mimarinin gelişimi

Tepkisel mimarlık (responsive architecture) terimi ilk olarak Nicholas Negroponte tarafından 1970 yılında yayınladığı “Mimarlık Makinesi (The Architecture Machine)” kitabında kullanılmıştır. Yine 1970 yılında yayınlanan “The Sementic of Architecture” makalesinde ve 1975 yılında yayınlanan “The Soft Architecture Machine” kitabında Negroponte, tepkisel mimarlığı tanımlamada ve üretmede ilk önemli girişimi başlatmıştır. Negroponte’nin çalışmalarında tepkisel mimarlığın bilgisayar gücüyle strüktür ve yapıların doğal entegrasyonu sonucu ortaya çıktığı belirtilmektedir (Sterk, 2005).

Her ne kadar Negroponte’nin fikirleri konsept olarak hala geçerli ve alanında önemli fikirler olsalar da, Negroponte bu fikirlerin gerçek hayatta nasıl uygulanabileceği ile ilgili yeterli açıklama ve öneri ortaya koymamıştır (Sterk, 2003). Negroponte’nin çalışmalarından sonra yapılan birçok araştırma ve geliştirmede ise fonksiyonellikten ziyade estetik kaygılar güdüldüğü için tam olarak tepkisel mimarlık kavramını karşılayan yapılar ortaya çıkmamıştır. Günümüzde robotik sistemler ve yapay zeka alanındaki ilerlemeler sayesinde tepkisel mimarlık fonksiyonellik açısından da uygulanabilir bir noktaya gelmiştir.

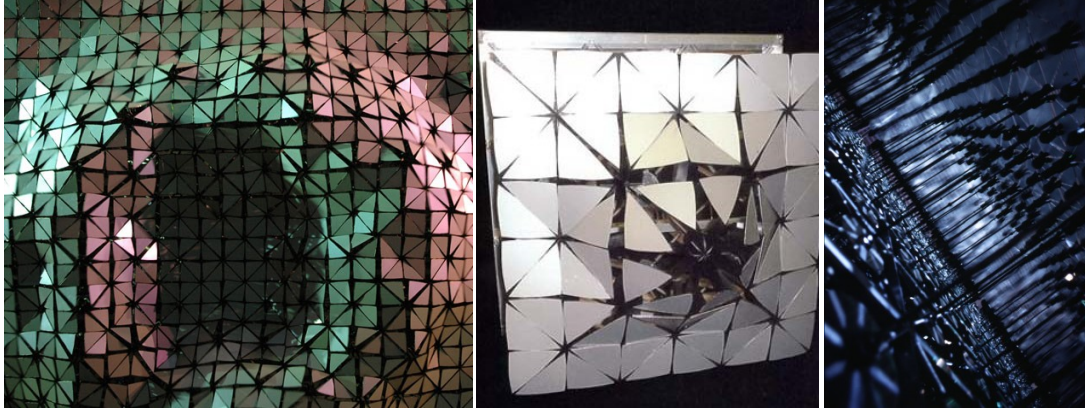
Tepkisel mimarinin yapılan bilindik ve önemli örneği ünlü mimar Jean Nouvel tarafından 1988 yılında tasarlanan Arap Enstitüsü’nün cephesidir. Paris’de bulunan yapının güney cephesi güneşten farklı ölçülerdeki 30.000 adet ışığa göre hareket eden metalik diyaframalar ile korunmaktadır (Moloney, 2007).



Şekil 2.15 : Paris Arap Enstitüsü cephe tasarımı

Günümüz mimarlığında salt işlev biçim ilişkisi kurulmaktan ziyade etkileşim, ara yüz, deneyim gibi kavramlar bireyle etkileşime giren, tepki veren mekanlar kurgulamak açısından önem kazanmaktadır. 1999 yılında açılan bir yarışmada Birmingham Hipodrum Tiyatro Binasının fuayesinde kullanılmak üzere tasarlanan tepkisel yüzey de bu bağlamda sadece sınırlandırma, belirleme, tarifleme, kuşatma işlevlerini değil, değişken, uzaklaşan, yakınlaşan, tepki veren, deneyimi zenginleştiren bilgi yüzeyleri olma özelliğini kazanmıştır. (Şekil 2.16). dECOi Mimarlık'dan Mark Goulthorpe öncülüğünde tasarlanan bu yüzey hareket, ses, ışık vs. gibi çevresel verilere göre hareket edebilen parçalardan oluşmaktadır. Aegis Hyposurface'in hareketi bir bilgisayar tarafından kontrol edilen 896 pnömatis piston ile sağlanmaktadır.

Aegis Hyrosurface, tepkisel mimarlık alanında önemli bir eser olmasına karşın, tepkisel mimarinin fonksiyonelliğini taşımamaktadır. Hareket edebilen yüzeylerin hareketi dış çevre ile fonksiyonel bir iletişim kurmamakta, sadece algılanan iletiye önceden belirlenen şekilde (hareket, renk değiştirme vs.) tepki vermektedir.



Şekil 2.16 : dECOi tarafından tasarlanan Aegis Hyposurface

Hollanda'da yapılan Fresh Water Pavillion yapısında ise sistem biraz daha karmaşıktır. Şekil 2.17'da görüldüğü üzere bu yapıda, yatayın düşeye, tavanın zemine karışması gibi yapısal elemanlar bilgi iletişim elemanlarıyla; katı malzemeler akışkan malzemelerle; yazılımlar donanımlarla bütünleşerek ışık, renk ve seslere dönüşmüşlerdir. Sensörler ve aktüatörlerden oluşan sistem ortam deneyimini daha etkili kılmaktadır. Ortamı deneyimlemekte olan ziyaretçi gruplarının niteliklerine göre farklılaşan sensörler ve sensörleri de içeren birbirine bağlı sistemler, mekan içinde interaktif bir yerleştirme olarak ortamda etkin bir göreve sahiptir. Sensörler ziyaretçilerin sayılarına göre farklı tepkiler vermektedir. Kalabalık gruplar için ışık

sensörleri etkin duruma geçerken, küçük gruplar için çekme sensörleri, her bir birey için ise dokunma sensörleri işlemektedir (Spuybroek, 1998).

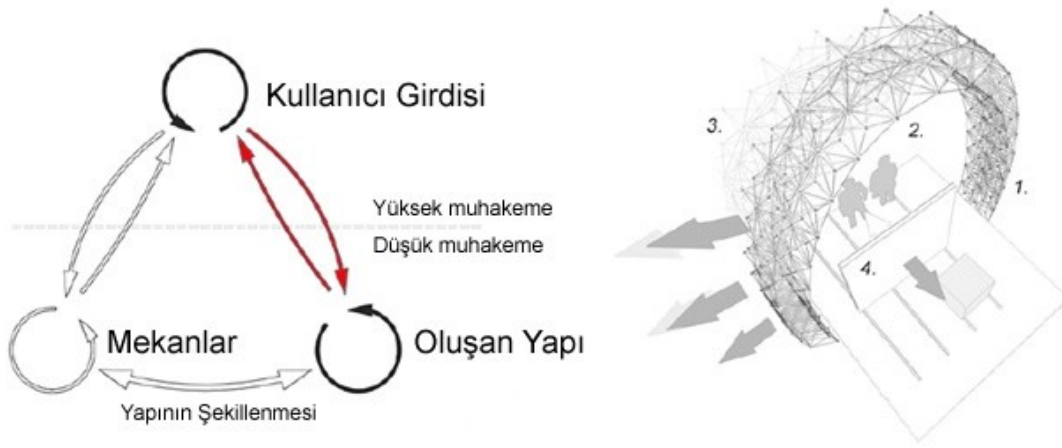


Şekil 2.17 : Freshwater Pavilion

Her ne kadar tepkisel mimarlığın bütün öğelerini barındırdığı söylenemese de Freshwater Pavilion kullanılan bilgisayar teknolojisi açısından tepkisel mimarlık açısından önemli bir noktadadır. Yapıda 190 adet farklı ışık kaynağı, 190 farklı mikroişlemci tarafından işlenerek birbirinden bağımsız tepkiler verebilme özelliğine sahiptir. Yine de, tam olarak değişen çevre ihtiyaçlarına/koşullarına çözüm üretme gibi bir çıkış noktası olmadığı için Freshwater Pavillion da tepkisel mimarinin birebir karşılık geldiği bir yapı olamamıştır.

21.yüzyılda tepkisel mimarlık alanında en önemli çalışmalar Tepkisel Mimarlık İçin Robotik Mimari Bürosu'nun (Robotic Architectural Media & Bureau for Responsive Architecture) başkanı olan Tristan d'Estree Sterk tarafından yapılmaktadır. Negroponte'nin konseptini makine zekâsı ve robotik alandaki güncel gelişmelerle harmanlayan Sterk sensörler, işlemciler ve aktüatörlerden oluşan ve hibrit kontrol ağları ile yönetilen değişebilir strüktürel gergi elemanları tasarlamıştır. Sterk'in (2005) bu çalışma ile ilgili yaptığı açıklamaya göre hibritleşmiş kontrol modelinin Şekil 2.18'de görülen üç ana parçası bulunmaktadır:

1. Kullanıcı bilgisi: Binada verilecek olan tepkilere kullanıcının müdahale edebilmesini ve istediği gibi yönlendirebilmesini sağlamaktadır.
2. Çevresel tepkilere karşılık verme yeteneğine sahip yapı strüktürü
3. Yüzeyin bölümlenmesini kontrol eden uzamsal tepkiler



Şekil 2.18 : Sterk'in hibritleşmiş kontrol modeli ve meydana gelen mimari form

Teknolojideki ilerlemeler ve yapılan araştırmalar sayesinde 1970li yıllarda sadece teoride tartışılan tepkisel mimari günümüzde fiziksel olarak da yapılabilir hale gelmiştir. Henüz bu alanda tam anlamıyla tepkisel mimari ürünü olarak görülebilecek yapıların sayısı fazla değilse de Mimar Rolf Disch tarafından Almanya'da yapılan Heliotrop evi tepkisel mimarinin gerçeğe dönüşmesindeki motive edici örneklerinden biridir. Çatısında büyük bir güneş paneli bulunan ve korkuluk olarak güneş vakumlayan tüpler (Şekil 2.19) kullanan bu ev, dünyadaki ilk harcadığından daha fazla enerji üretmeyi başaran ev olmuştur.



Şekil 2.19 : Rolf Disch tarafından tasarlanan Heliotrop evi

Ortadaki büyük bir kolon etrafında bulunan düşük voltajlı elektrik motoru ile çalıştırılan dairesel dişli sayesinde güneşe göre kendi açısını ayarlayabilen bu ev, gün boyunca güneşten maksimum enerji kazanımını sağlamaktadır. Evin güneşten enerji elde etmeye çalışan cephesi saydam, güneşe dönük olmayan cephesi ise opak malzemeden yapılmıştır. Böylece, soğuk kış günlerinde saydam cephe güneş yönlendirilerek evin direk güneş ışığından ısınmasını sağlarken, sıcak yaz günlerinde opak olan arka cephe güneşe dönerek istenmeyen ışınların içeri alınmasını

engellemektedir. Yaz günlerinde evin ihtiyacı olan elektrik enerjisi ise çatıda bulunan güneş pillerinden sağlanmaktadır.

Tepkisel mimarlık alanında 1980lerden bu yana önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde dış etkenler daha kolay algılanmaya başlanmış olup bu etkenlere cevap verebilecek yapılar ve malzemeler geliştirilmeye çalışılmıştır. İlk ortaya atıldığı dönemlerde geliştirilemeyeceği ve yaygınlaştıramayacağı düşünülen asma köprüler, asansörler gibi strüktür ve elemanların günümüzde geldiği nokta düşünüldüğünde, gelecekte yapıların şekillendirilmesinde tepkisel mimarinin önemli bir yaklaşım olacağı açıktır.

2.3 Hafif Strüktürler

Mimaride biyomimetik tasarımların gelişebilmesinde ve tepkisel mimarlıkta hareket kabiliyetinin arttırılabilmesinde hafif strüktürlerin payı büyüktür. Doğada gözlemlenen oluşumların ölçek, işlev ve oluşum süreçleri insan yapımı strüktürlerden farklı olmasına rağmen, malzeme, enerji korunumu, hafiflik ve bu hafifliğin yanı sıra sahip oldukları dayanıklılık pek çok mimar ve mühendise esin kaynağı olmuştur.

Günümüzde yapılarda kullanılan bileşenlerin üretim metotları ile doğadaki üretim metotları karşılaştırıldığında insanoğlunun doğadan öğreneceği daha pek çok tekniğin olduğu açıktır. Sanayideki ilerlemeler ve üretim hızının artması insanlık tarafından bir “devrim” olarak görülürken, doğada kısa sürede, en az malzeme ile en etkili tasarımları yaratmak yüzyıllardır süregelen bir oluşumdur. Mimaride önemli bir gelişme olarak gördüğümüz çelik üretime baktığımızda, üretim metodu Benyus’un biyomimikri ile ilgili yazılarında da sıklıkla bahsettiği “erit, haddele ve işle (heat, beat and treat)”dir. Yüksek ısı altında ciddi miktarlarda fosil yakıt ve enerji kullanılarak gerçekleştirilen bu işlemin sonucunda ortaya çıkan ürünün benzeri doğada örümcekler tarafından oda ısısında ve çok kısa bir sürede üretilmekte olup üretilen örümcek ağı oldukça esnek ve sağlam bir yapıya sahiptir.

Tepkisel mimarlıkta ortaya çıkan yapının kendisinin veya parçalarının algıladıkları değişenlere göre tanımlanan parametreler doğrultusunda mümkün olan en az enerji harcanımıyla tepki verebilmeleri için hareketli parçaların ağırlıklarının minimumda tutulması önemlidir. Tepkisel Mimarlık İçin Robotik Mimari Bürosu’nun (Robotic

Architectural Media & Bureau for Responsive Architecture) başkanı olan Tristan d'Estree Sterk (2006)'e göre tepkisel mimarlığın gelişebilmesi ve şekil değiştiren formların yaratılabilmesi için strüktürler mümkün olduğunca hafifleşirken, sağlamlıklarının da arttırılması gereklidir.

Yerçekimi insan gücünü sınırladığı sürece, ondan kurtulmak da insanların en büyük çabası olmaya devam edecektir. İnsan tarihinin her çağında tüm olanaklarını bu hedefe yöneltmiş, hem kendi ağırlığını, hem de konstrüksiyon sanatında kullandığı yapı malzeme ağırlıklarını gittikçe hafifletmeye çalışmıştır. On metre kalınlığındaki Babilonya duvarlarından birkaç santimetre kalınlığındaki kabuk konstrüksiyonlara erişinceye kadar, insanoğlu, kesintisiz bir araştırma hırsı ile ağırlık ekonomisi üzerine araştırmalar yapmış ve her gün biraz daha hafif, her gün biraz daha az malzeme kullanmıştır. Sonuç olarak ulaşılan konstrüksiyon sistemlerinde yapının kendi ölü ağırlığı hareketli ağırlığın altına inmiş ve strüktürler eski masif yöntemlere göre 100 kat daha hafif olarak tasarlanabilmişlerdir (Majowiecki, 2005).

Senosianin (2003)'e göre temel olarak doğadan türetilen dört tip hafif strüktür bulunmaktadır:

(1) Gergi – Kablo sistemler

Esin kaynağının örümcek ağı olduğu düşünülmektedir.

(2) Pnömatik sistemler

Pnömatik sistemlerin tasarımında köpüklerden etkilenilmiştir.

(3) Kabuk sistemler

Sistemlere ismini veren kabuklulardan ve yumurtalardan esinlenilmiştir.

(4) Geodezik sistemler

Işnılılar (radiolaria) olarak bilinen canlılardan ve bal peteklerinin altıgen yapısından esinlenilmiştir.

Bu bölümde yukarıda listelenen hafif strüktürlerin gelişim süreçleri ve uygulandıkları projelerde yapının ağırlığına olan katkıları açıklanacaktır.

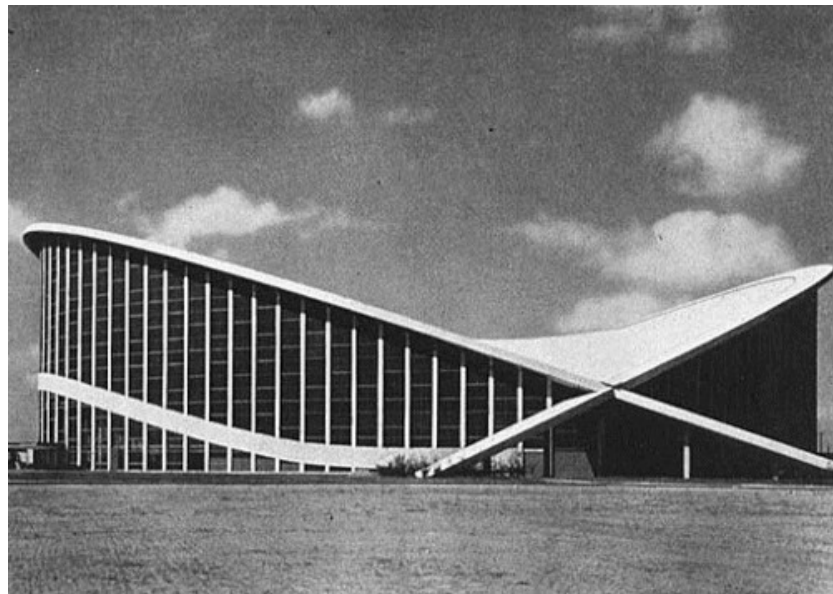
2.3.1 Gergi-kablo sistemler

Gergi sistemleri ilk kullananlar temel ihtiyaçlarını doğanın kaynaklarını kullanarak sahip oldukları sınırlı malzeme ile ilkel yollardan karşılamaya çalışan milattan önce sekiz binli yıllarda yaşayan göçebe kabilelerdir. Bu insanlar örümcek ağının statik prensiplerinden faydalananarak kendilerini rüzgârdan ve yağmurdan korumak için

avladıkları hayvanların derilerini tente olarak kullanmışlardır. Daha sonraki yüzyıllarda hayvan derisinin yerini sentetik malzemeler almış ve teknoloji ilerledikçe insanlar örümcek ağından esinlenilen bu basit gergi prensibini kullanıp üzerini akrilik, kanvas ve fiberglas gibi membranlarla kaplamaya başlamışlardır (Senosianin, 2003).

İlkel kavimler gergi sistemleri sadece barınmak için değil aynı zamanda sarmaşıklardan yaptıkları köprülerle ulaşım için de kullanmışlardır. Kablo sistemlerin en önemli kullanım alanlarından olan köprülerde özellikle İngiltere, Fransa ve Almanya’da 18. ve 19. yüzyıllarda ciddi gelişmeler yaşanmıştır.

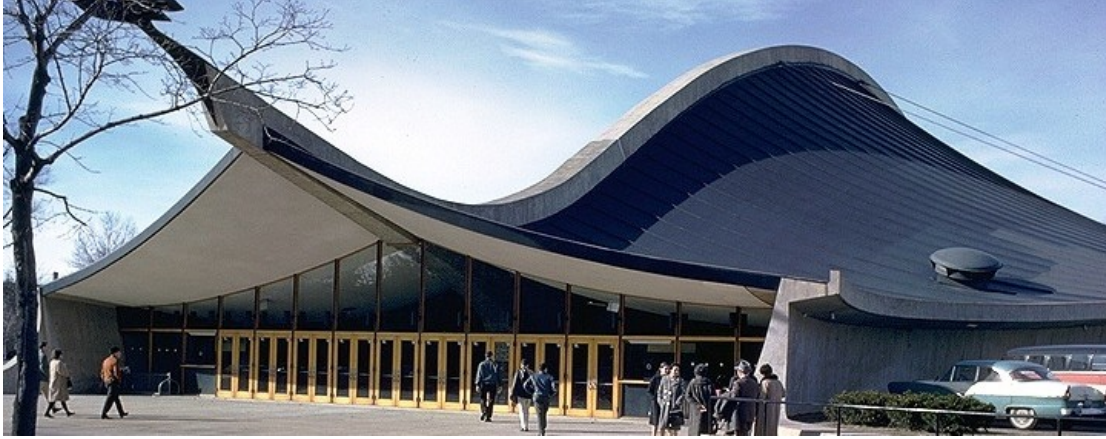
Gergi – kablo sistemlerin köprüler dışında kapalı veya yarı kapalı mekanları örten biçimdeki kullanımı çok daha geç dönemlerde uygulanmıştır. 19.yüzyılın sonunda Rusya’da kablonun ana taşıyıcı olduğu bir asma çatının imal edildiği bilinmektedir fakat bu konudaki ilk önemli uygulama örneğinin 1951 yılında yapılan Raleigh Arena Binası olduğu kabul edilmektedir (Şekil 2.20). Eğik, birbirini kesen iki basınç kemeri arasına gerilim halindeki asma strüktür ağı Polonyalı mühendis Nowicki tarafından Amerika Birleşik Devletleri’nin North Carolina eyaletinde uygulanmıştır (Gürel, 1968). Geleneksel sistemlerle çözülmesi durumunda metrekareye 160 – 170 kg ağırlık düşeceği hesaplanan bu yapı, kablo sistemler sayesinde 30kg/m² ağırlıkta tamamlanabilmiştir (Türkçü, 1997). Eski yapı formları ile hiçbir benzerliği olmayan bu projeden sonra birçok mühendis ve mimar bu matematiksel formu membran ve kabuk sistemlerde uygulamışlardır (Çamlıbel, 2003).



Şekil 2.20 : Nowicki tarafından tasarlanan Raleigh Arena

Gerilimli membran örtüler, konstrüksiyon sistemlerine büyük bir etkilik oranı getirmişlerdir. Örneğin geleneksel yapı sistemleri ile 100 metre açıklığında bir alanın geçilmesi için metrekareye 150kg malzeme kullanılması gerekmektedir. Oysaki gergi – membran sistemlerde bu oran 1kg/m²'ye kadar inebilmektedir (Gürel, 1968).

Gergi sistemlerin bir diğer önemli örneği olan yapımı 1958'de tamamlanan Ingalls Buz Hokeyi Binası, salonun ortasından geçen, merkezi tek bir kemerin iki yanında yer alan iki ayrı semer yüzeyinden oluşur (Şekil 2.21). 67 metre uzunluğunda ve 55 metre genişliğindeki yapıda taşıyıcı kablolar, bir uçlarından salonu ikiye ayıran kemere, diğer uçlarından kenardaki perde duvarlar tarafından taşınan kirişlere asılmıştır. Kablo çapları yaklaşık 24 mm olup kablo ağının üzerine yaklaşık 22cm – 5cm ebadında ahşap elemanlar, ısı izolasyonu ve bitümlü yalıtım tabakaları gelmektedir (Türkçü, 1997).



Şekil 2.21 : Ingalls Buz Hokeyi Binası

2.3.2 Pnömatik sistemler

Pnömatik Yunancada pneuma, yani nefes anlamına gelir. Buradan hareketle basınçlı havanın davranışlarını inceleyen bilim dalı olarak da tanımlanmıştır. Doğada içi basınçlı hava dolu birçok form bulunmaktadır. Bu formların sabun köpüğüne benzer şekilleri yüzeylerindeki basınç gerilmeleri ile oluşmaktadır. Pnömatik sistemlere etki eden yüzey gerilmeleri minimum yüzey alanı yaratarak, dolayısıyla minimum malzemeye ihtiyaç duyarak, oldukça esnek, plastisitesi yüksek formlar oluşturabilmektedir (Senosianin, 2003). Örneğin, klasik yapı sistemleri ile 100m açıklığındaki bir alanın örtülmesi için bir metrekareye 15kg çelik malzeme gerekirken, pnömatik sistemler sayesinde bu değer 1 – 6kg/m²'ye kadar inmiştir. Bu

nedenle, paslanmaz çelik ipliği ile takviye edilmiş ince membranlardan şişme ve pnömatik uygulama alanları gittikçe artmaktadır (Çamlıbel, 2003).

Pnömatik bir sistemde yüzey gerilmesi, basınç fazlası veya basınç eksikliği yaratılarak sağlanır. Basınç fazlası için kapalı bir hacim içine, akışkan bir madde veya gaz doldurulur. Kapalı bir hacim içinden hava boşaltılacak olursa, atmosferin basıncı ile yüzey içeri doğru itilir. Mimarlıktaki uygulamalarda genellikle basınç fazlası uygulamak yaygın kullanılan bir yöntemdir (Türkçü, 1997). Pnömatik sistemler iç basınca göre davranış gösteren ve kendini çevreleyen ortama göre kolaylıkla formunu değiştirebilen kolay adapte olur sistemler oldukları için sıklıkla tercih edilmektedirler (Perez Garcia ve Gomez Martinez, 2009).

Doğada pnömatik sistemlerin kullanım alanları çok yaygındır ve günlük hayatta bile çok sayıda örneğe rastlamak mümkündür. Meyveler, hava kabarcıkları, kan damarları, solucanlar, sis damlacıkları, denizanasları bu tür sistemlere ilişkin en basit örneklerdir (Roland, 1970). Dolayısıyla insanların doğadan esinlenerek pnömatik sistemler tasarlamış olmaları bir tesadüf değildir. Özellikle 1970'li yıllardan itibaren soyut matematiksel düşünceden uzaklaşmaya başlayan tasarımcılar, organik yaşamın canlı biçimlerine benzer şekilde yap-gör esasına dayanan yapı tekniklerini daha sık kullanmaya başlamışlardır (Çamlıbel, 2003).

Önceleri İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, Amerika Birleşik Devletleri'nde askeri radar istasyonlarındaki radar antenlerini dış etkilerden, buzlanmadan v.b. korumak amacıyla küresel biçimli pnömatik yapılar yapılmaya başlanmıştır. Radar ışınlarını geçirdikleri ve metal plakların aksine anten enerjisini etkilemedikleri için radar istasyonlarını örtmekte de membran bezle örtülü pnömatik strüktürler tercih edilmiştir. 1948 yılında, Amerikan ordusu tarafından desteklenen Cornel Aeronautical Laboratuvarında çalışan Walter Bird liderliğindeki bir grup araştırmacı 15 metre çapında pnömatik bir kubbe yapmayı başararak bu kubbelere radome adı vermişlerdir. Kısa sürede Avrupa ve Japonya'ya da yayılan bu sistem zamanla, depo, geçici örtüler, spor salonlarının v.b. üzerlerinin örtülmesinde de kullanılmıştır (Pauletti, 2010).

Pnömatik sistemlerle taşınabilir binalar, geçici binalar, acil afet binaları, büyük açıklık gerektiren yapılar, askeri, ticari, sosyal binalar yapılabilir. Membran

malzemenin ömürlerinin kısalığından ötürü en uygun uygulama alanları geçici yapılar olmaktadır (Türkçü, 1997).

1970 yılında Japonya'nın Osaka kentinde düzenlenen Expo için Yutaka Muratama tarafından tasarlanan Fuji Pavilion'u pnömatrik sistemlerin çağdaş mimarideki ilk ve en önemli örneklerinden biri olmuştur (Şekil 2.22). Yapı, her bölmesi 4 metre olan 16 bölmeden oluşmaktadır. Yüksekliğı 25 metreyi bulan yapının en önemli özelliğı iç basınç yükseltilerek yapının kasırgaların şiddetine dayanımının artırılabilmesidir (Senosianin, 2003). Her iki uçta şişirme hortumlarla desteklenmiş membran duvarlar, kemerlerin üstüne tutturularak; hem giriş yüksekliğı azaltılmış, hem de bu hortumlar, kablolarla binanın uzun eksenini boyunca gerilerek giriş çıkış istikametinde strüktürel rijitlik artırılmıştır. Bütün hortumlar, tokalı geniş şeritlerle birbirlerine kenetlenerek yapı tüm statik etkilere karşı bütünleştirilmiştir (Türkçü, 1997). Aynı fuar için tasarlanan bir diğeri pnömatrik sistem ise Amerikan Pavillionu'dur. Davis Brody, David Geiger ve Walter Bird tarafından tasarlanan Amerikan Pavilion'u 142 metre uzunluğunda, 83 metre genişliğinde, düşük aerodinamik profilli, oval planlı bir kubbeye sahiptir (Pauletti, 2010).



Şekil 2.22 : Pnömatrik sistem ile tasarlanan Fuji Pavilion

Düşük maliyetleri ve estetik özellikleri nedeniyle ilk kullanıldıkları yıllarda genellikle ufak çaplı ve daha az kalıcı binalarda tercih edilen pnömatrik sistemler, sonraları daha geniş alana yayılan ve daha özellikli binalarda da kullanılmaya başlanmıştır (Pauletti, 2010).

2.3.3 Kabuk sistemler

Doğadaki en ilginç strüktürlerden biri yumurtadır. Yumurta kabuğunun iki önemli özelliği vardır: eğrisel formu ve sağlamlığı. Doğada fındık, ceviz, badem vs. kabuğu, böceklerin dış kabuğu, çekirdeklerin kabukları gibi benzer oluşumlar da bulunmaktadır. Eğrisel yüzeyler düz yüzeylere göre daha rijittir ve bu nedenle doğa daha savunmasız, korunması gereken şeyleri aynen iç organları koruyan omurgalar ya da beynimizi koruyan kafatası gibi eğrisel ve rijit formların içine saklamaktadır (Senosiain, 2003).

Kabuklar, önemli eğilme gerilmeleri oluşturmayacak kadar ince, fakat yükleri basınç, kayma ve çekme ile taşıyabilecek kalınlıkta olan iki boyutlu eğrisel taşıyıcılardır. Kabuklar, kubbe ya da diğer biçimlerdeki eğrisel çatıların çeşitli biçim ve estetikte yüksek dayanım ve ekonomi sağlayarak yapılmalarına olanak sağlarlar. Bu tür sistemler, çağdaş yapı projelerinin en gelişmiş örnekleri arasındadır. Kabukların sağlamlığı strüktürleriyle açıklanabilir. Kabukların ince plaklarındaki gerilmeler eğrisel yüzeyleri ile kendisini destekleyen elemanlara aktarılır. Kabuklar beton, plastik, kil gibi kalıba dökülen malzemelerle yapılabildikleri gibi, birbirine birleştirilerek eğrisel form verilen ahşap, metal, tuğla ya da taş gibi malzemelerle de yapılabilirler.

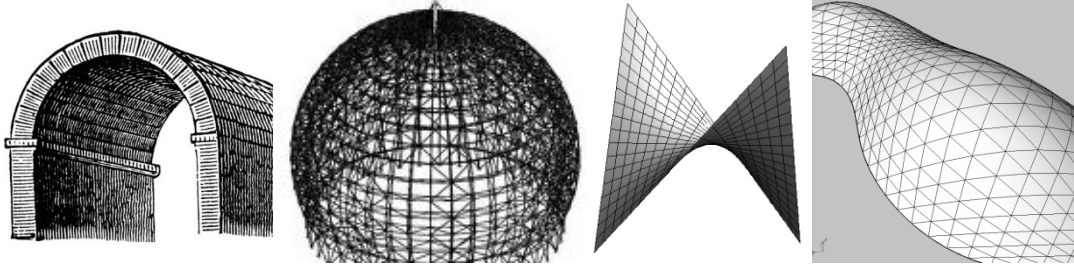
Kabuklar şekilleri sayesinde ciddi yükler taşıyabilirler. Bunun en klasik örneği yumurtadır. Yumurta kabuğu oldukça ince olup içine gerilen esnek zarın oluşturduğu ikinci katman sayesinde strüktürel açıdan dengede durabilmektedir. Yumurta strüktüründen etkilenilerek tasarlanan Dakar Tiyatro Binası'nda yapı dıştan daha rijit bir kabukla çevrelenmiş, içten ise gerilmiş bir membran ile bağlanmıştır. Böylece iki sistem bir arada dengede tutulmuştur (Çamlıbel, 2003).

Mimaride kullanılan kabuk sistemler ile doğada yer alan kabukların yapısal prensipleri aynıdır. Her iki alanda da kabuklar, rijit bir malzemenin üç boyutlu eğrisel bir formda, minimum malzeme ve yük ile maksimum efektifliği sağladığı yapılardır. Bu sistemin kullanılmasıyla birçok geniş alan, çok hafif bir strüktür ve minimum malzeme kullanımı ile kapatılabilmektedir.

Kabukların eğriselliği ne kadar düze yaklaşırsa yük taşıma kapasiteleri de o kadar azalır. Bu prensip doğrultusunda kabuk sistemler dört gruba ayrılabilir (Şekil 2.23):

a.Kemerler (Tek yöne kavisli kabuklar)

- b.Kubbeler (İki yöne kavisli kabuklar)
- c.Hiperbolik paraboloidler
- d.Serbest formlar



Şekil 2.23 : Kabuk sistem türleri

Kemerler yukarıda belirtilen diğer üç kabuk sisteme göre rijitliği en az olan sistemdir. Binlerce yıldır kullanılmakta olan kubbe sistemler ise genel olarak kemerlere göre en az iki kat daha fazla mukavemet sağlamaktadır.

Kubbelerin bir yapı sistemi olarak, çok eski zamanlardan beri, büyük açıklıkları örtmek amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle estetik ve ekonomik açıdan sağladığı faydalar, mühendislerin her zaman kubbelerle karşı özel bir ilgi duymalarına sebep olmuştur İlk zamanlar, dairesel plandaki yapıları örtmek için uygun bir çatı sistemi olmaları bakımından tercih edilen kubbeler, günümüzde, çok çeşitli geometrik şekillerde plana sahip yapıların örtülmesinde de yaygın olarak kullanılabilmektedirler (Çöne, 2001).

Kubbelerin çalışma prensibi yukarıdan etki eden yüklerin kubbenin uç kenarlarında gerilim ve basınç oluşturmalarıdır. Uçlarda oluşan bu basınç ve gerilimler kubbenin alt tarafının çelikle güçlendirilmiş bir halka ile takviye edilmesiyle çözülmüştür. Günümüzde birçok yapıda kullanılan bu sistem sayesinde çatıların kalınlıkları ve kullanılan malzemeler azalmış, fakat geçilen açıklıklar artmıştır. Çizelge 2.1’de belirtildiği üzere yüzyıllar önce yapılan kubbe sistemlerde kabuk kalınlığı ile geçilen açıklık oranları 1:13’ü bulmakta iken 1900’lü yıllarda bu oran 1:570’e kadar yükselebilmektedir (Senosiain, 2003).

Geçmişten günümüze gelen teknolojik gelişmeler sayesinde hafif strüktür kabuk sistemlerin gelişimi, geçilmek istenen alanın boyutuna oranla kullanılan malzemelerin hafifliği arasındaki ters orantı ile rahatlıkla görülmektedir. Çizelge 2.1’de gösterildiği üzere teknolojinin uzun yıllardır ulaşmaya çalıştığı oranlar doğa tarafından uzun zaman önce keşfedilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır.

Çizelge 2.1 : Eski ve yeni yapılarda strüktürel açıklık ile kabuk kalınlığı ilişkisi

Yapı	Açıklık (Kubbenin Yüksekliği)	Kubbenin kalınlığı	Kalınlık/açıklık oranı
St. Peter Katedrali Roma, İtalya	40,00m	3,00m	1:13
Church of Our Lady Dresden, Almanya	24,00m	1,25m	1:19
Zeiss Planetarium Jena, Almanya	40,00m	6,00cm	1:66
Basel Market Basel, İsviçre	60,00m	8,50cm	1:70
Tavuk yumurtası Exposition Salon Paris, Fransa	4,00cm 205,00m	0,40mm 13,00cm	1:100 1:570

Bir diğer kabuk sistemi olan hiperbolik paraboloid sistemler ise yapılara uygulanmış matematiksel formların en önemlisi olan semer eğrisini temel almaktadır. Felix Candela doğadan esinlenen strüktürleri ve deneysel çalışmaları ile hiperbolik paraboloid sistemlerin önemli örneklerini mimariye kazandırmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007). Meksika’da bulunan Los Manatiales Restoranı hiperbolik paraboloid strüktürün kullanıldığı en estetik binalardan biridir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 : Los Manatiales Restoranı’nın hiperbolik paraboloid çatı kabuğu

Kabuk sistemlerin son çeşidi ise genellikle iki çift yöne eğimin kombine edildiği serbest formlardır. Günümüz mimarlığında teknolojiye ileri adımlar ve mimari tasarımın giderek dijitalleşmesi avantajlarını kullanan Frank Gehry serbest formları tasarımlarında en çok kullanan mimarlardan biridir (Pottman, 2008). Gehry Almanya’da yapılan DG Bankası Projesi’nin konferans oditoryumunun çatısını tamamen gün ışını geçiren 29 metre uzunluğunda, 12 metre derinliğinde ve 10 metre yüksekliğinde cam bir strüktürle kapatmıştır (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 : DG Bankası projesinin serbest formlu çatı strüktürü

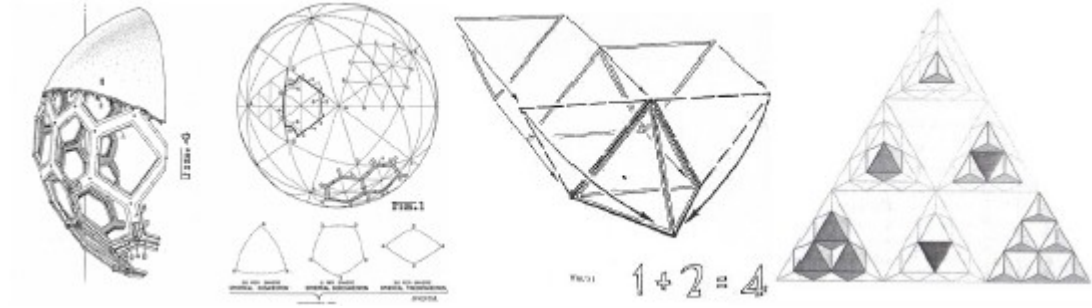
2.3.4 Jeodezik sistemler

Jeodezik kelimesi Latince kökenli bir kelime olup, dünyayı bölen anlamına gelmektedir. Bu kavram, matematikte ise; bir küre üzerinde bulunan iki noktayı birleştiren en kısa çizgi, yani jeodezik çizgi olarak anlam kazanmıştır. Jeodezik çizgileri kullanarak, bir küre yüzeyine atanan noktaları birleştirme fikri, yüzeyi üçgenler ve altıgenlerden oluşan jeodezik kubbelerin doğmasına sebep olmuştur (Senosinain, 2003).

Altıgenin doğal kökeni köpüklerde ve küresel hücrelerde bulunmaktadır. Küresel görünen bu formlar birbirlerine bastırıldığında ya da sıkıştırıldığında birbirlerine 120 derecelik açılarda konumlanan altıgen şekiller alırlar. 120 derecelik açılar doğada sıklıkla karşılaşılan ve rijitliği yüksek olan açılardır.

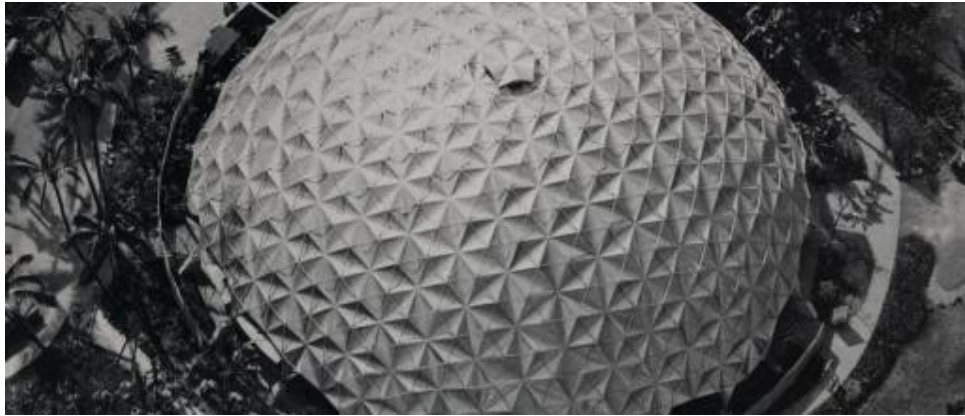
Altıgen form doğada arı peteklerinde de görülmektedir. Arı peteklerinin inşasında son derece önemli detaylar vardır. Bu detaylardan biri de peteklerin dayanıklılığıdır. Arılar birbirlerine yön tarif ederken kovanda, bu boyutlarda bir yapı için deprem kabul edilebilecek titreşimler oluştururlar. Peteğin duvarları bu ufak depremleri emecek rijitliktedir. Altıgen yapıyı kullanan bir diğer organizma ise ışınılılar olarak da bilinen radiolarian mikroskobik canlılarıdır. Mimaride bu yapılardan hareketle jeodezik kubbeleri ilk kullanan Buckminster Fuller'dir. Fuller'in jeodezik kubbelerinde hep en az malzeme ile en büyük açıklıkları geçme, sürdürülebilir bir çevre için daha hafif yapılar üretme kaygısı görülür (Jirapong, 2002). Fuller, üçgen, tetrahedron ve altıgenleri kullanarak (Şekil 2.26) oluşturduğu şeklin kalitesinin onu oluşturan parçaların toplamından daha fazla “sinerji”ye sahip olduğu alternatif bir

geometri teorisi üzerine araştırmalar yapmıştır (Perez Garcia ve Gomez Martinez, 2009).



şekil 2.26 : Fuller'in jeodezik kubbesi ve sinerji konsepti

Buckminster Fuller'in jeodezik kubbeler usulünün endüstrileştirilmesi mahiyetinde olan Kaiser Dome'u, hiçbir dış taşıyıcısı olmayan yani kendi kendine taşınan prefabrike metalik inşaata olanak sağlamıştır (şekil 2.27). Paris'te P. Dufau tarafından inşa edilmiş olan yeni Spor Sarayı 61 metre çapında, 1110 alüminyum panodan oluşan bir kaiser kubbesidir (Hasol, 1966). Yine Fuller tarafından tasarlanan Ford'un La Ratonde kubbesinde ise çap 27 metre olması ile birlikte kullanılan alüminyum sadece 7,7 tondur. Oysa aynı alanın geleneksel bir yapı sistemi ile örtülebilmesi için 145 ton elik gerekmektedir (Gürel, 1968).



şekil 2.27 : Kaiser Dome Hawaii

Ayrıca Fuller, jeodezik strüktürleri, doğal afetler nedeniyle sayıları gittikçe artan konutsuz aileler için kolayca taşınabilir, monte edilebilir, standart elemanlardan oluşan kubbe evlerinde de kullanmıştır. “Geospace” ya da “am Kozalağı” olarak adlandırılan bu konutlar ilk kez Porto-Riko'da geçici barınak olarak uygulanmışlardır. Yalıtımlarına çok özen gösterilmiş olan bu konutların hem kutup hem de tropik bölgelerde kullanılmaları mümkündür (Çamlıbel, 2003). Karton

panolar şeklinde tasarlanmış olan konutları büyük bir kağıt fabrikası yılda bir milyon adet üretebilmektedir. Karton panoların bir diğer özelliği ise montaj sürecinin, numaralandırma ve şartname ile ilgili kayıtların bu elemanların üzerinde basılı olarak bulunabilmesidir (Gürel, 1968).

Bir jeodezik deforme edilemeyen ve bir küre oluşturan tetrahedron serilerden oluşur. Bu kombinasyon rijit, temiz ve birkaç prefabrike elemanla tasarlandığı için nispeten düşük maliyet ve kısa sürelerde üretilebilen bir yapıdır.

Fuller'e göre jeodezik strüktürün sürekli mükemmelleştirilmesi ile oluşmuş ve bazı vakalarda mimariye şekilci bir yaklaşım kazandırmıştır. Felix Candela "In Defence of Functionalism and Other Writings" kitabında şöyle yazmıştır "Bu süreç sıradan mimari projelerden farklıdır... Önce strüktürel form seçilir, daha sonra bu formun fonksiyonla nasıl entegre edileceği araştırılır" (Senosinain, 2003).

Fuller tarafından geliştirilen jeodezik kubbeler sadece Fuller tarafından kullanılmamıştır. Günümüz mimarisinde gerek ünlü mimarlar, gerekse kendi depolarını, satış alanlarını yaratmaya çalışan firmalar kolay ve nispeten ucuz bir sistem olduğu için jeodezik strüktürleri kullanmaktadırlar. Fuller'in tasarladıkları dışında Florida'da Walt Disney World parkında (Şekil 2.28a) ve Morgan Associates tarafından Fuller'in çalışmalarından esinlenerek tasarlanan Missouri Botanik Bahçeleri'nde yer alan Climatron binası da (Şekil 2.28b), jeodezik sistemlerin kullanıldığı projelerden bazılarıdır.



Şekil 2.28 : a) Walt Disney b) Climatron

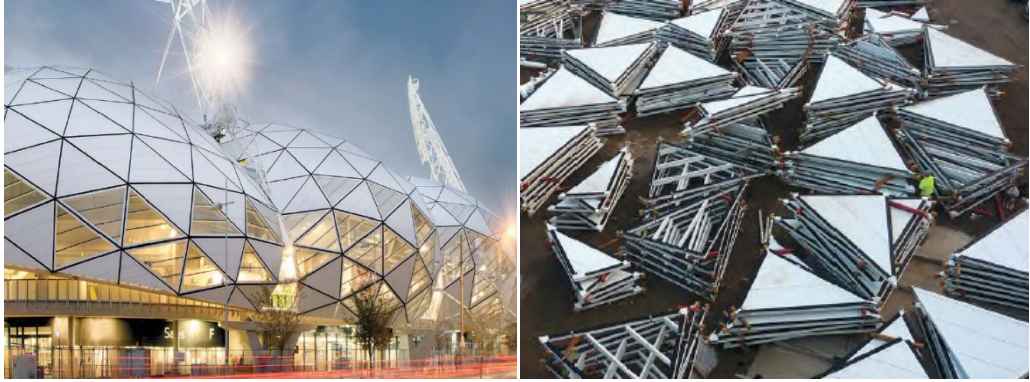
21. yüzyılda jeodezik strüktürler kullanılarak yapılan bir diğer önemli proje ise Melbourne'de bulunan AAMI Park Stadyumu'dur. Strüktürel tasarımı Arup Mühendislik tarafından yapılan stadyumun çelik çatısı doğu-batı yönünde toplamda

182m uzunluğunda, kuzey-güney yönünde ise toplamda 130m genişliğinde olan 20 adet jeodezik kubbeden oluşmaktadır. Jeodezik kubbeler, Şekil 2.29’da de görüldüğü üzere stadyumun uzun cephelerinde beş adet, kısa cephelerinde üç, köşelerde ise birer adet olacak şekilde konumlandırılmışlardır (Brown, 2010).



Şekil 2.29 : AAMI Park Melbourne stadyumu strüktürü

Çatıda kullanılan üçgenlerden oluşan jeodezik form sayesinde (Şekil 2.30) AAMI Park Stadyumu’nun çatısı sadece 50kg/m² ağırlığa sahip olup, bu değer benzer büyüklükteki stadyumların yaklaşık %50’si kadar daha hafiftir (Brown, 2010).



Şekil 2.30 : AAMI Park’ın kubbelerinde kullanılan üçgen elemanlar

2.4 Sonuç

Günümüzde çevresel kaygılar, teknolojiye ilerlemeler ve doğadaki oluşumların daha iyi izlenebilmesini sağlayan araçlardaki gelişmeler birçok farklı disiplinden araştırmacıyı doğadan öğrenmeye sevk etmiştir. Sürdürülebilirliğin yeni bir yaklaşım olmaktan çıkıp yönetmeliklerde de zorunlu hale getirilmeye başlandığı 21.yüzyılda doğadaki yapılaşmanın form – strüktür – malzeme ilişkilerini anlayarak mimari

tasarıma yansıtmak mimarların tasarımlarını içinde bulundukları çevreyle daha uyumlu, daha bütüncül hale getirebilmeleri açısından önemlidir.

Mimarlıkta biyomimetğin gelişiminin açıklandığı Bölüm 2.1.4’de de görüleceği üzere mimarlar önceleri sadece doğada bulunan bir formu ya da organizmayı taklit etme eğiliminde olmuşlardır. Fakat mimarlıkta biyomimikri yaklaşımlarını inceleyen ve biyometik yaklaşımlara yeni bir sınıflandırma sistemi getiren Zari (2007)’ye göre biyometik yaklaşım ne kadar bütüncül (holistik) olursa ortaya çıkacak tasarım o kadar doğanın bir parçası olacaktır.

Mimaride birçok yeni çıkan malzemenin, taşıyıcı sistemin yaşam süresinin ne kadar uzun olduğu sorgulanır. Amaç -çoğu zaman- en uzun süre ayakta kalabilecek yapılar inşa etmektir. Fakat insan ve içerisinde bulunduğu çevresel şartlar sürekli değişim göstermektedir. Geleneksel sistemlerle inşa edilen yapıların bu değişime ayak uydurması ve adapte olmaları mümkün değildir. Bu ihtiyaca cevap vermek üzere 20.yüzyılın ikinci yarısından itibaren mimarlar değişen koşullara tepki verebilecek yapılar tasarlamaya çalışmışlardır. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve yeni yapısal sistemlerin sunduğu avantajlar sayesinde yapıların bileşenleri tanımlanan parametreler doğrultusunda çevrelerine tepki verebilir duruma gelmişlerdir.

Bölüm 2.2.3’de verilen örneklerle bakıldığında tepkisel mimarının hareket mekanizmasında da doğa önemli bir esin kaynağı olmuştur. Doğada neredeyse her hareket bir etmene, uyarana tepki olarak verilmektedir. Bu bağlamda, güneşe yönlenen evler tasarlamak, ısı kontrolünü sağlamak açısından iç ortam ısısıyla dış ortam ısısını kıyaslayarak cephe elemanlarının hareketini ayarlamak gibi yaklaşımlar çevreyle daha uyumlu ve çevre koşullarına daha iyi adapte olabilen yapıların tasarlanması için önemli motivasyon kaynakları olmuşlardır.

Mimarlık tarihi boyunca sürekli azalan yapı ağırlıkları günümüzde yüzyıllar öncesine göre 100 kat daha hafif hale gelmişlerdir. Yapının desteklemesi gereken ağırlığın önemli bir bileşeni olan metrekareye düşen ölü yükün hareketli yük ile aynı mertebelere gelmesi daha geniş açıklıkların daha hafif ve narin bir şekilde geçilebilmesine olanak sağlamıştır. Hafif strüktürlerdeki bu gelişmeler biyometik ve tepkisel mimarlıkta önerilen tasarımların en ekonomik ve en adapte edilebilir şekilde çözülebilmesi açısından önemli gelişmelerdir.

Tez kapsamında tasarlanacak olan Hexa-myosis bu bölümde incelenen günümüz mimarisinin üç önemli araştırma alanından da faydalanan bir yaklaşım içermektedir. Şehir hayatının giderek kalabalıklaşmasıyla daha büyük ve dayanıklı yapılara olan ihtiyacın artması ve daha çok enerji gereksinimi yaşanması nedeniyle mimarlıkta biyomimetik yaklaşımlardan faydalanılması uygun olacaktır. Hexa-myosis’de mümkün olduğunca bütüncül bir biyomimetik yaklaşımda bulunulmaya çalışılmıştır. Tasarlanacak sistemin en önemli biyomimetik özelliği değişen çevresel koşullarına tepki verebilmesi, adapte olabilmesidir. Bu bağlamda sisteme etmen olarak güneş tanımlanmıştır. Sistem yüzeyine yerleştirilecek güneş pilleri ile güneş ışığını hareket için gerekecek elektrik enerjisini sağlamak üzere depolayacaktır. Sistemin çalışma prensibinin göz bebeğinin artan / azalan ışık miktarına verdiği tepki mekanizmasıyla benzer olması planlanmıştır. Güneş ışığını algılayacak güneş sensörleri sayesinde sisteme tanımlanacak ideal iç ortam sıcaklığı parametreleri doğrultusunda dış cephe elemanları ısınmanın istendiği dönemlerde açık kalacak, ısınmanın istenmediği dönemlerde ise iç ortam soğutmasına yük olmamak üzere kapanacaktır. Strüktürel olarak sistemin kendi ağırlığını azaltmak ve yapıyı daha az malzeme ve enerji harcayarak üretmek için Bölüm 2.3’de incelenen doğadan esinlenilerek geliştirilmiş hafif strüktürlerden birçok kaynakta formunun getirdiği stabilitesinden bahsedilen altıgenlerin kullanılması uygun görülmüştür.

Özetle, tez kapsamında tasarlanacak olan Hexa-myosis’in gerek enerji üretim yöntemi, gerekse strüktürel özellikleri ve tepki mekanizması ile bütüncül bir biyomimetik ve tepkisel model olması hedeflenmiştir.

3. İHTİYAÇ DUYULAN MEKANİK SİSTEMLER, MALZEMELER VE YAZILIMLAR

Tez kapsamında tasarlanan Hexa-myosis hareketli bir örtü sistemi olduğu için sistemin tasarımında ve harekete geçirilmesinde bir takım yazılım ve donanımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bölümde öncelikle hareket mekanizmasını sağlayan mekanik sistemler ve bu sistemlere enerji sağlayacak güneş pilleri açıklanacak olup planlanan hareketi gerçekleştirebilecek uygun malzeme belirlenecek ve sistemin bütününde kullanılması gerekecek yazılımlar tanıtılacaktır.

3.1 Mekanik Sistemler

3.1.1 Merkezi işlem birimi

Küçük bir çip üzerinde binlerce transistör barındıran ve programlanan parametre bilgilerine göre karar akışlarını kontrol eden ünitelere merkezi işlem birimi adı verilir. Merkezi işlem biriminin temel görevi sensörlerden gelen bilgileri sistemi harekete geçirecek ve aksiyonu gerçekleştirecek olan aktüatörlere aktarmaktır. Bu kritik görevleri dolayısıyla merkezi işlem birimleri elektronik sistemlerin beyni olarak kabul edilirler (Erjavec, 2005).

Günümüzde nanoteknoloji alanındaki gelişmeler sayesinde merkezi işlem birimleri de ciddi oranda küçülmüştür. Sanılanın aksine mikroişlemciler sadece bilgisayarlarda kullanılmaz. Yerleşik ağ uygulamaları, beyaz eşyalar, elektronik motor kontrol üniteleri, otomobiller gibi birçok alanda mikroişlemcilere ihtiyaç duyulmaktadır.

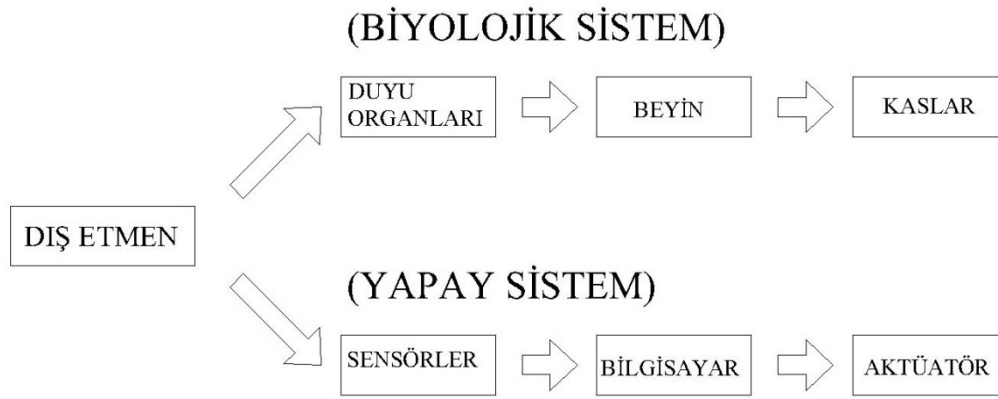
Tez kapsamında mikroişlemciler güneş sensörlerinden gelecek verileri işleyerek güneş pillerinde depolanan enerjiyi sistemi harekete geçirecek aktüatörlere iletmek üzere kullanılacaklardır.

3.1.2 Algılayıcılar

Algılayıcı (sensör) kelimesi genellikle ölçülen değişken ile merkezi veri işlemcisine verilen girdi arasındaki süreçleri kapsar. Bu süreçlerdeki bileşenler şöyledir:

- Algılayıcı eleman: Ölçülen bir değişkene göre ölçülebilir bir değişiklik gösteren bileşendir.
- Dönüştürücü: Algılayıcı elemandaki değişikliğe göre elektrik sinyali üreten aktif cihazdır.
- İletici: Fiziksel değişkendeki değişikliğin standart fonksiyonu olarak elektrik sinyali üreten cihazdır. Genellikle dönüştürücü ve iletici cihazlar bir bütündür (Warburton, 2009).

Algılayıcılar canlılarda olduğu gibi dış ortamdan gelen çeşitli etkileri algılayarak bunlara cevap veren sistemlerdir. Nasıl ki insanlar ve hayvanlar dışarıdan gelen tepkileri beş duyu organları ile algılayıp beyinlerinde işleyerek kaslarıyla tepki veriyorlarsa, yapay sistemlerde de dış etkilere benzer şekilde tepki oluşturulur. Sensörler yardımıyla algılanan etken bir işlemciden geçerek mekanik hareketi sağlayacak aktüatöre iletilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Biyolojik ve mekanik algılama sistemleri

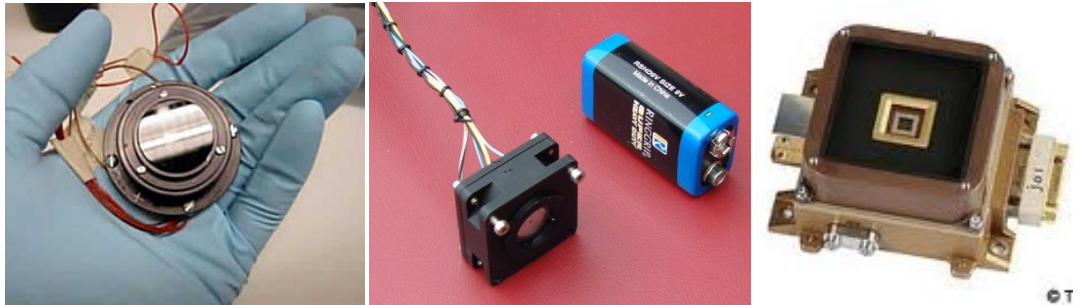
Günümüzde birçok farklı alanda farklı amaçlar için çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Beş duyu organlarımıza benzer işlevler sağlayan bu sensörlerin en yaygın kullanılanları ve hangi organın işlevini gördüğü Çizelge 3.1’de verilmektedir (Toko, 2000).

Görme, duyma ve dokunma özelliğine sahip olan sensörler kantitatif veriler aldıkları için fiziksel sensörler olarak adlandırılırlar. Fiziksel sensörler iki başlıkta incelenmektedir: aktif sensörler ve pasif sensörler. Aktif sensörler sinyallerini kendileri üretilip bu sinyalin dış ortamla etkileşimlerini ölçen sensörlerdir. Pasif sensörler ise sadece çevrelerinden aldıkları sinyalleri ölçerler (Niemueller ve Widyadharma, 2003).

Çizelge 3.1 : Sensör tipleri

Beş Duyu	İlgili Organ	Obje	Algılayıcı	Prensip
Görme	Göz	Işık	Optik sensör	Fotovoltaik etkisi
Duyuma	Kulak	Ses dalgası	Basınç sensörü	Piezoelektrik etkisi
Dokunma	Deri	Basınç / Isı	Basınç sensörü / Isı sensörü	Piezoelektrik / ısı değişimi etkisi
Koku Alma	Burun	Kimyasal maddeler	Gaz sensörü / Koku sensörü	Kimyasal reaksiyon /adsorbsiyon etkisi
Tat Alma	Dil	Kimyasal maddeler	İyon / tat sensörü	Seçici iyon permeasyonu / elektrokimyasal etki

Bu tez kapsamında tasarlanan örtü sisteminin güneş ışınlarına göre açılıp kapanması istendiği için yukarıda belirtilen sensör türlerinden çeşitli örnekleri Şekil 3.2’de verilen güneş sensörleri kullanılacaktır. Üzerlerinde bulunan fotoseller sayesinde güneşin açısını ve frekansını ölçen güneş sensörleri analog ve dijital olarak ikiye ayrılırlar. Analog sensörlerin A/D Çevirici olmadan bilgisayarla işlenmesi mümkün değildir. Ayrıca, analog sensörlerin dijital sensörlere göre doğruluk payı çok düşüktür. Bu nedenle Hexa-myosis’de dijital güneş sensörlerinin kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 3.2 : Güneş sensörleri

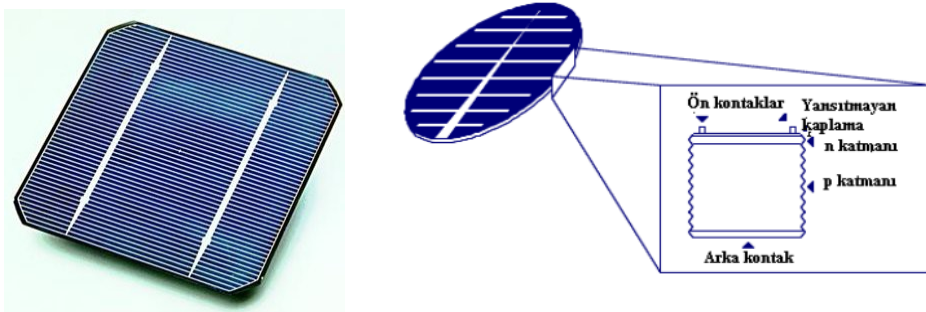
3.1.3 Güneş pilleri

Günümüzde enerji ihtiyacı büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Teknolojik ilerlemeler, elektrikli aletlerin yaygınlaşması, dünya nüfusunun hızla artması gibi etkenler enerji ihtiyacını artırırken, fosil yakıtların kullanım oranı da artmakta ve buna bağlı olarak fosil yakıt rezervleri tükenirken, hava, su kirliliği gibi çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Küresel ısınmanın gelecek yüzyıllarda insanlık için büyük tehdit haline geleceğiyle ilgili farkındalığın hızla artmaya başladığı

günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak önem kazanmaktadır (Demircan, 2008).

Bir yıl içerisinde Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisi ile ilgili tahminler değişkenlik göstermekle birlikte yaklaşık 700 milyon TWh ile 900 milyon TWh arasında bir değer olduğu hesaplanmaktadır. Günümüzde tüm dünyanın toplam enerji ihtiyacının 50.000 TWh olduğu düşünülürse (Bunun kabaca üçte biri enerji üretmek için harcanmaktadır), Dünya yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi, toplam enerji ihtiyacının 14.000 - 18.000 katı, küresel elektrik üretiminin ise 42.000 – 54.000 katıdır (Breeze, 2008). Ayrıca, bu değer Dünya'nın bilinen kömür rezervinin 157 katı, bilinen petrol rezervinin 516 katıdır (İnan, 1996). Dolayısıyla, bu kadar bol bulunan bir enerjinin yapılarda kullanılması küresel bazda harcanan fosil yakıttan sağlanan enerjide ciddi bir tasarruf sağlayacaktır.

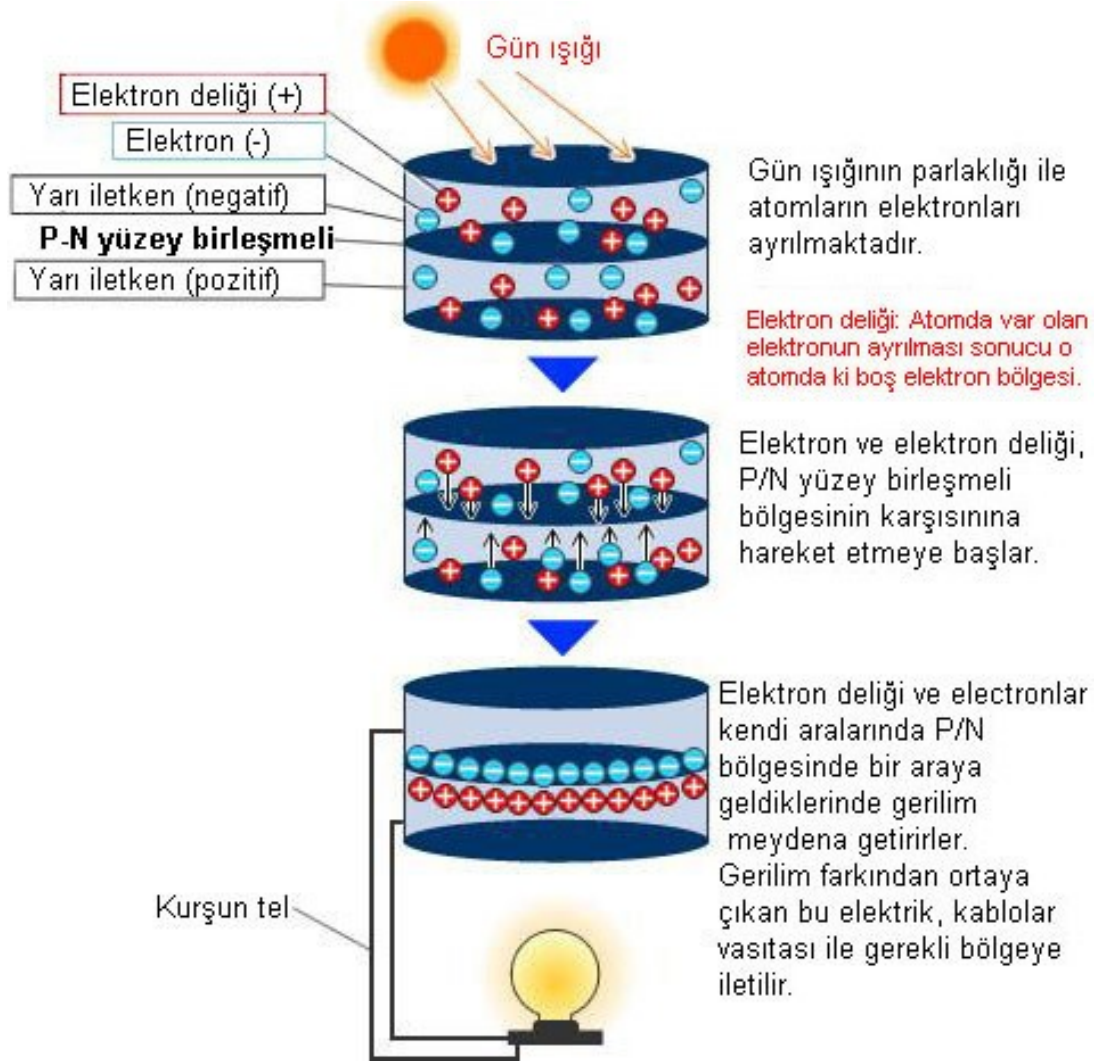
Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretilmesinin en basit ve zarif yolu güneş pilleri kullanılmasıdır. Güneş pilleri fotovoltaiik etkiyle güneşten soğurdukları enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Fotovoltaiik etki silisyum gibi yarı iletken maddelerin içinde oluşur (Prasad ve Snow, 2005). Güneş hücreleri olarak da bilinen fotovoltaiik hücrelerin boyutları ve formları üretim özelliklerine göre değişse de genelde boyutları 10x10cm'dir ve kalınlıkları ise mikron metre ile ölçülecek kadar incedir. Bunların birden fazlasının bir araya getirilmesiyle fotovoltaiik modüller oluşturulmaktadır (Altın, 2003).



Şekil 3.3 : a) Fotovoltaiik hücresi b) Fotovoltaiik hücrenin katmanları

Fotovoltaiik hücreler bir P-N denklemi, yani iki katmanlı bir yarı iletken bölge içerir. Bunların birindeki elektron azlığı ve diğerindeki fazlalığı, bu bölgenin her iki tarafında bir elektrik alanının oluşmasına yol açar. Yarı iletken tarafından emilen ışık akısının fotonları, yarı iletken parçanın iki tarafında ayrı ayrı toplanan elektron delik çiftlerini oluşturur. Bunun sonucunda, eklemin aydınlanan yüzüyle ve buraya düşen

ışığın yoğunluğuyla orantılı bir elektrik akımı meydana gelir (Breeze, 2008). Verimi kullanılan malzemeye göre değişmekle birlikte, açık ve güneşli bir havada bir desimetre çapında bir fotopil yaklaşık olarak bir watt üretebilmektedir.



Şekil 3.4 : Fotovoltaik hücrenin işleyiş şeması.

Güneş pili yapımında en çok silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi anorganik yarı iletken malzemeler kullanılır. (Kıncay vd., 2010). Tipik bir silisyum güneş pili hücresi kullanılan malzemesine ve boyutuna göre 0,5 ile 50 volt ve 0,3 ile 2 watt arasında elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak olasıdır (Şenol, 2005).

Bu fotovoltaik modüller, bir yapı bileşeni olarak yapılarda farklı bölümlerde ve farklı şekillerde kullanılabilirler. İlk etapta kullanımları “çatıda”, “cephede” ve “farklı yapı bölümlerinde (giriş saçağı, parapet, korkuluk, vb)” olmak üzere üçe ayrılabilir. Ayrıca bu bileşenlerin, modüler, çerçeveli hazır panel eleman olarak veya mimarın

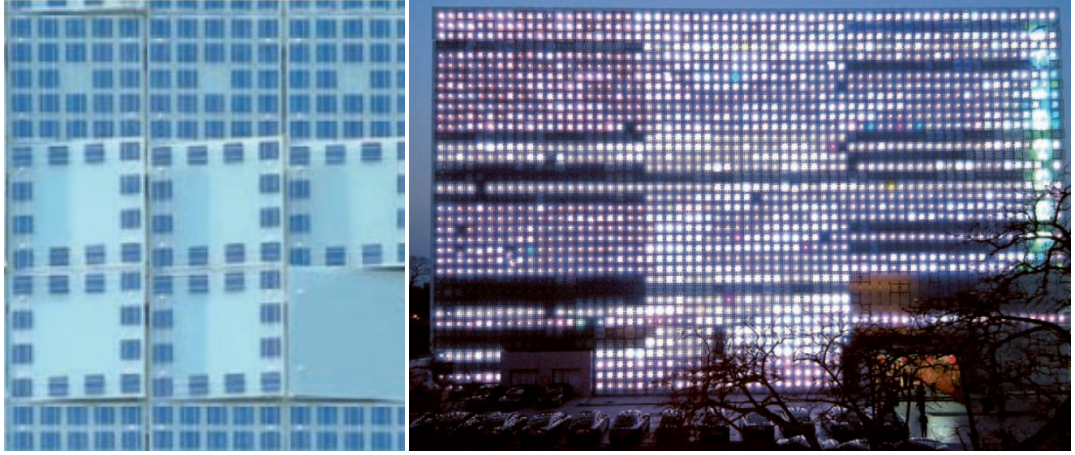
tasarımına göre hazırlanmış, iki cam tabaka arasında lamine olarak veya ince metal levha kaplama malzemesinin üzerine monte edilmiş halde veya hazır shingle şeklinde kullanımları mümkündür (Altın, 2004).

Mimarlıkta fotovoltaiik kullanımı dünyada hızla yayılmaktadır. Önceleri estetik kaygılarla sadece yapıların çatılarında, dışarıdan çok algılanmayacak noktalara yerleştirilen güneş pilleri günümüzde farklı modülasyonların mümkün olabilmesi ve farklı geçirgenlik özelliklerine sahip modüllerin üretilebilmesi sayesinde cephelerde ve yapıların en prestijli noktalarında da kullanılmaya başlanmıştır.

Güneş pilleri sadece yapılarda kullanıcıların ihtiyaç duyacakları enerjiyi değil, aynı zamanda tepkisel ve interaktif mimarideki hareketli/tepki veren elemanların ihtiyaç duydukları elektrik enerjisinin üretilmesinde de kullanılmaktadırlar. Tepkisel mimarinin binaya ek bir enerji yükü getirmemesi için güneş paneli kullanımı hem ekonomik hem de bütüncül yapıyı destekleyen bir seçenektir.

Pekin’de 2005 yılında dokuz katlı Xicui Entertainment Complex binasının Simone Giostra Mimarlık ile Arup tarafından tasarlanan cephesinde kullanılan tüm LED aydınlatmalarının enerji ihtiyaçları güneş pilleri ile karşılanmaktadır. İşveren talebi üzerine tasarlanan bu ilginç, yenilikçi ve interaktif cephe, ışık oyunlarının yapılabilmesi için yerleştirilen 2.300 adet LED aydınlatma elemanı ile bugüne kadar yapılmış en büyük interaktif cephe. Mimarlar, yapıya ciddi bir enerji yükü getiren bu tasarım için daha organik bir çözüm yolu aramış ve Şekil 3.5(a)’da gösterilen 89cm x 89cm ebatlarında güneş pili kullanımına göre farklılık içeren üç ayrı tip cephe modülleri tasarlamışlardır. Tasarlanan modüllerin birinde hiç güneş pili bulunmamakta, diğerlerinde ise on iki ve yirmi dört adet güneş pili bulunmaktadır. LED elemanların önlerine yerleştirilen bu paneller, gündüzleri güneşten soğurdukları enerjiyi geceleri LED elemanlara vererek cephenin aydınlatmasını sağlamakla birlikte, cephenin tasarımında da estetik bir mimari unsur olarak kullanılmışlardır (Şekil 3.5b).

Gün içerisinde değişen güneş ışığı açılarından daha fazla yararlanabilmek için güneş pili içeren modüllerin yarısı beşer derece sağa ya da sola çevrilmiş, böylece cephede ışıklandırma olmadan da bir hareket sağlanmıştır. Polikristalin silikon tipi güneş panellerinin kullanılması sayesinde Xicui Entertainment Complex binası yılda 38.929 kWh enerji üretilebilmektedir (Roberts ve Guariento, 2009).



Şekil 3.5 : Xicui Entertainment Complex binası cephesi

Günümüzde enerji açısından çok ciddi iki sorun yaşanmaktadır. Birincisi, en ucuz enerji elde etme yolu olan fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. İkincisi ise, fosil yakıtlar küresel ısınmanın birincil nedenidir. 20.yüzyılda zengin ülkelerin ekonomik refah düzeylerinin ölçülmesinde ucuz fosil yakıtlara ulaşımının kolaylığı önemli bir kriterken 21.yüzyılda çevresel sorunlara olan farkındalığın da arttırılmasıyla Amerika, İngiltere gibi ülkeler kendi enerjilerini üretmenin yollarını aramaya başlamışlardır. Amerika, 2050 yılında elektrik ihtiyacının %69'unu, toplam enerji tüketiminin ise %35'ini güneşten karşılamayı hedeflemektedir. Avrupa Birliği ise 2012 yılında toplam elektrik ihtiyacının %22'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaya çalışmaktadır (Breeze, 2008).

Küresel olarak harcanan enerjinin %80 – 85'inin fosil yakıtlardan sağlandığı günümüzde güneşin dünyaya 1,5 günde sağladığı enerjinin fosil yakıtlardan sağlanabilmesi için üç trilyon varil yakıtı ihtiyaç vardır. Henüz fosil yakıttan elde edilen enerji kadar ucuza mal edilemese de, güneşten elde edilen enerji gerek sağlığa ve çevreye zararsız olması, gerekse sınırsız olması nedeniyle mümkün olduğu kadarıyla desteklenmeye ve uygulanmaya çalışılmalıdır.

3.2 Kullanılacak Malzeme Seçimi

Malzeme yapının karakterinin önemli bir bileşenidir. Tarihi binalara bakıldığında, dönemin malzeme seçeneklerinin kısıtlı olması nedeniyle mimarlar kullanabilecekleri malzemenin izin verdiği ölçüde esnek ve farklı tasarımlar yapabilmişlerdir. Böylece, malzeme seçeneklerinin arttığı 19.yüzyıla kadar dünyanın birçok yerinde birbirine benzer karakterde yapılar üretilmiştir. Yakın geçmişimizde

ise, malzeme alanındaki gelişmeler önceleri mümkün olmayan birçok tasarımın gerçekleştirilebilmesini sağlamış ve mimarlar artık yeni formlar üretebilmeye, değişen sosyal ve çevresel ihtiyaçlara cevap verebilen yapılar tasarlayabilmeye başlamışlardır. 19.yüzyılda çeliğin geliştirilmesiyle mimaride ciddi bir atılım gerçekleşmiş ve daha geniş açıklıklı, daha yüksek binaların yapılması mümkün olmuştur (Addington ve Schodek, 2005).

Günümüzde mimarlar uzun süredir çözölemeyen tasarım sorunlarında, yeni fonksiyonlar, formlar ve tepkiler üretmede akıllı malzemeleri kullanmaktadırlar. Kimyasal ve fiziksel özelliklerini değıştirebilme, aynı anda hem sensör hem de aktüatör görevi görebilme, şekil hafızalarının bulunması gibi farklı özelliklere sahip olabilen bu akıllı malzemeler mimariye esneklik kazandırmaları açısından önemlidirler (Larena ve Vera, 2009).

Akıllı malzemeleri geleneksel malzemelerden ayıran dört temel özellik bulunduğu söylenebilir. Akıllı malzemeler özelliklerini değıştirebilirler (1), enerji transferi yapabilirler (2), farklı boyut/lokasyonlarda olabilirler (3), tersinir özellik gösterebilirler (4). Malzemelerin akıllı malzeme olarak tanımlanmaları için mutlaka dört özelliğı de aynı anda barındırmaları şart değildir.

Yüksek mühendislik ürünü olarak görölen bu malzemeler 21. yüzyılın teknolojik ve akıllı yapılarında birçok alanda kullanılarak önemli sorunlara çözüm getirmişlerdir (Addington ve Schodek, 2005). Son yıllarda icat edilen ve patenti alınan akıllı malzemeler üç grupta incelenmektedir:

- Özellik değıştirme
- Enerji dönüşümü yapabilen tersinir (reversible) malzemeler
- Enerji dönüşümü yapabilen tersine çevrilemez (irreversible) malzemeler

Çizelge 3.2’de verilen türlerine göre ayrılan akıllı malzemelerden mimaride en çok ilgi uyandıranı enerji dönüşümü yapabilen polimer malzemelerdir. Bu malzemeler girdi olarak aldıkları enerjiyi, farklı bir enerji çıktısına dönüştürebilirler. Günümüzde bu prensip en çok güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için fotovoltaiiklerde kullanılmaktadır. Enerji dönüşümü sağlayan malzemelerin kullanımında daha uzun ömürlü olabildikleri için tersinir polimer malzemeler daha çok tercih edilmektedir (Berardi, 2010).

Çizelge 3.2 : Akıllı malzemeler sınıfları (Addington ve Schodek, 2005)

Akıllı Malzeme Türü	Girdi	Çıktı
Tip 1 - Özellik değiştirme		
Termokromatikler	Sıcaklık değişikliği	Renk değişikliği
Fotokromatikler	Radyasyon ışığı	Renk değişikliği
Mekanokromatikler	Deformasyon	Renk değişikliği
Kemokromatikler	Kimyasal doyumluk	Renk değişikliği
Elektrokromatikler	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişikliği
Sıvı kristaller	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişikliği
Asılı tanecikler	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişikliği
Elektrorheolojik	Elektrik potansiyel farkı	Katılık/viskozite değişikliği
Magnetorheolojik	Elektrik potansiyel farkı	Katılık/viskozite değişikliği
Tip 2 - Enerji dönüşümü yapabilen tersinmez malzemeler		
Elektro-ışıldama	Elektrik potansiyel farkı	Işık
Foto-ışıldama	Radyasyon	Işık
Kemo-ışıldama	Kimyasal doyumluk	Işık
Termo-ışıldama	Sıcaklık değişikliği	Işık
Fotovoltaiçler	Radyasyon	Elektrik potansiyeli farkı
Tip 3 - Enerji dönüşümü yapabilen tersinir malzemeler		
Piezoelektrik Polimerler	Deformasyon	Elektrik potansiyel farkı
Piroelektrik	Sıcaklık değişikliği	Elektrik potansiyel farkı
Termoelektrik	Sıcaklık değişikliği	Elektrik potansiyel farkı
Elektrorestriktif	Elektrik potansiyel farkı	Deformasyon
Magnetorestriktif	Manyetik alan	Deformasyon

1970li yılların öncesinde yalıtkan olduğu fikri kabul edilen polimer malzemelerdeki gelişmeler ve araştırmalar iletkenlik vasfından bahsedilmeyen bazı polimerlerin, şartlara bağlı olarak elektrik akımını ilettebildiğini göstermiştir. Sonrasında, iletken polimerlere artan ilgiyle beraber araştırma alanı da genişletilmiş ve ilk örneklerine göre çok daha iletken olan elektro aktif polimerler üretilmiştir.

1999ların ilk yıllarından itibaren malzeme bilimcileri ve mühendisler elektro aktif polimer malzemeleri birçok alanda kullanmaya başlamışlardır. Günümüzde, elektro aktif polimerlerin en yoğun olarak kullanıldığı alan biyomimetiktir. Kendilerine etki eden bir voltaj – elektrik akımı ile kompozisyonları ve moleküler yapıları değişen, genişlemeye ve bükmeye başlayan elektro aktif polimerlerin hareketi mekanik olarak yaratılan birçok aletten çok daha doğal ve yumuşaktır. Nasıl ki doğada güneşe yönelen çiçekler birden hareket etmiyorsa ya da çiçekler birden açılmıyorsa, elektro aktif polimerlerin hareketi de aynı hafiflik ve yumuşaklıktadır. elektro aktif

polimerlerin yapısal olarak doğaya uyumlu olan bu hareketi, birçok alanda mekanik ekipmanlar yerine tercih edilmelerini sağlamıştır (Cohen, 2004).

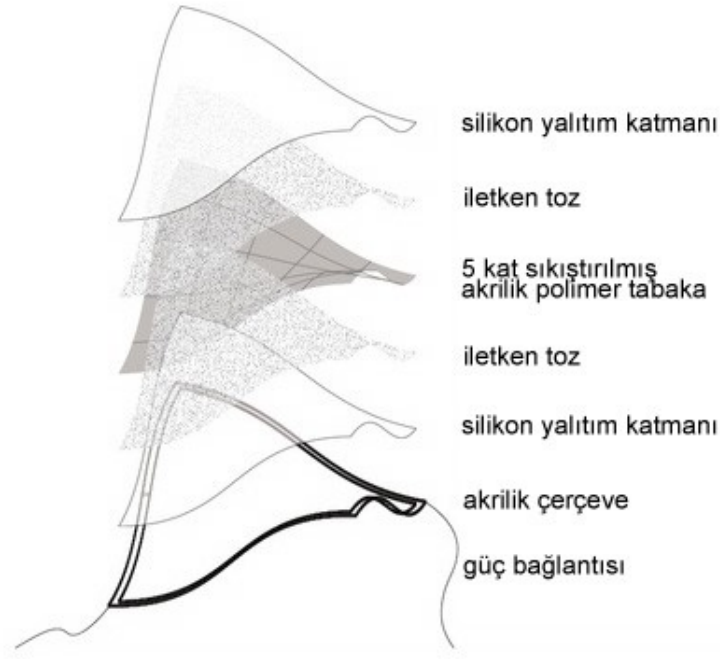
elektro aktif polimerler hafiflikleri ve küçük boyutları sayesinde birçok mühendislik sorununa da çözüm getirmişlerdir. Elektrik iletkenliği özellikleri ile aldıkları elektriği mekanik bir harekete dönüştüren bu malzemeler hareket etmesi istenen sistemlerde aktüatöre gerek kalmadan, yapıları gereği istenilen hareketi sağlamak için de kullanılabilirler (Dotson, 2009).

Son yıllarda elektrik enerjisini mekanik bir harekete dönüştürebilen, tersinir şekil değiştirme yeteneğine ve doğal yaşama uygun hareket özelliğine sahip olan elektro aktif polimerlerin mimaride kullanımı üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Her ne kadar çelik, ahşap gibi geleneksel malzemeler kadar yaygın kullanılabilir olabilmeleri için daha çok araştırma yapılması gerekse de elektro aktif polimer malzemelerin binalarda aşağıdaki uygulamalarda kullanılabileceği düşünülmektedir (Berardi, 2010):

- İklimlendirme ekipmanlarının performansının artırılmasında mekanik parça olarak
- Cephe ve bina kabuğunun performans kontrolünün sağlanmasında
- Binaların sismik izolasyonunun sağlanmasında
- Yapıların ve bina elemanlarının deformasyonlarının izlenmesinde

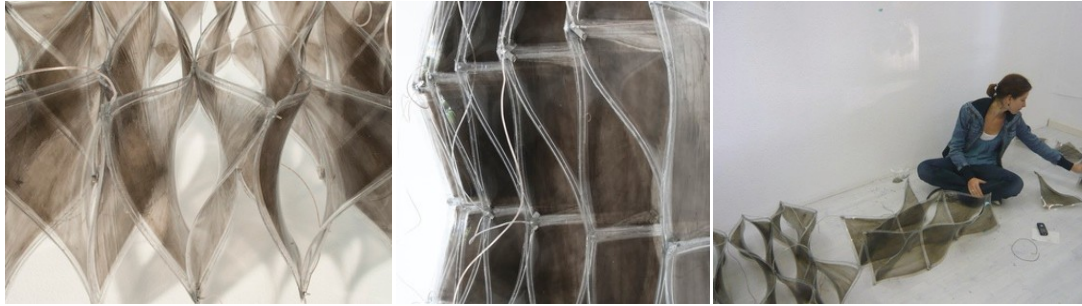
elektro aktif polimer malzemelerin bina kabuğunda kullanılmaları ile ilgili en önemli araştırma Zürih Eidgenössische Teknik Üniversitesi'nin Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım birimi ile İsviçre Federal Malzeme Bilimi ve Teknoloji Laboratuvarının ortak projesi olan ShapeShift'dir. Proje kapsamında katmanlaşması Şekil – 3.6'da verilen elektro aktif polimerler kullanılarak cephe malzemelerinde geleneksel malzemelerin dışına çıkılmaya ve elektro aktif polimerlerin voltaja göre şekil değiştirebilme özelliklerinin cephelere uygulanmasına çalışılmaktadır.

Bu projede mimaride kullanılan diğer hareketli strüktürlerin aksine hareketi sağlamak için aktüatörler yerine elektro aktif polimerlerin aldıkları elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştürebilme potansiyellerinden yararlanılmıştır. Böylece ek bir birim olan aktüatör ihtiyacı ortadan kaldırılıp, işleyiş kolaylaştırılmış olmakta aynı zamanda ciddi bir ağırlık ve hacim kaybı engellenmiş olmaktadır.



Şekil 3.6 : Shapeshift Projesinde kullanılan EAP malzeme katmanlaşması

Henüz laboratuvar ortamında yaratılan ve çeşitli bienallerde sergilenmenin ötesine geçmemiş olan bu projenin ilave kaynak desteği ile dış ortamda da uygulanması beklenmektedir. Projede kullanılan yüzeyler ve yüzeylerin birleştirilmesi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Shapeshift projesinde kullanılan elektro aktif polimer yüzeyler

Mimaride yeni ve geliştirilmeye açık, hareket edebilmek için aktüatörlere ihtiyaç duymayan, hafif ve biyomimetik bir malzeme olması nedeniyle tez kapsamında oluşturulacak sistemde malzeme olarak elektro aktif polimerlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.3 Yazılım

Günümüzde mimaride neredeyse tüm projelerde en az bir adet yazılım kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarımın ilk uygulamaları sadece iki boyutlu

izimler üretebilirken 21.yüzyılda üç boyutlu tasarım için bile birçok yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılımlar sadece tasarım alanında değil, aynı zamanda tasarlanan malzemeyi üretecek makinenin üretim sürecine de etki etmektedir. Son yıllarda birçok projede kullanılacak malzemeler üretilirken her bir parçanın özellikleri bilgisayar yazılımları tarafından belirlenip üretime aktarılmaktadır. Mimaride kullanılan yazılımlardaki bu gelişmeler önceleri zor grlen ve ciddi sorunlar çıkaran birçok formun kolaylıkla retilibilmesini ve malzemelerin mümkün olduğu kadar efektif kullanılabilmesini sağlamıştır.

Tez kapsamında tasarlanan Hexa-myosis sisteminin oluşturulabilmesi için iki çeşit yazılıma ihtiyaç vardır:

- Mimari tasarıma yönelik kullanılacak yazılımlar (Bilgisayar destekli tasarım – CAD)
- Sistemin hareket etmesini sağlayacak yazılımlar

Hexa-myosis sisteminin formunun oluşturulmasında kullanılacak yazılımlar bilgisayar destekli – CAD – yazılımlarıdır. Bu yazılımlar sayesinde tasarımcılar daha az çaba sarf ederek daha nitelikli çizimler elde edebilir hale gelmişlerdir. Aynı zamanda tasarımlar kolaylıkla üç boyutlu olarak da görülebilmektedirler.

Tasarımın belirli parametreler içereceği durumlarda bir yazılımdan yardım alınması tasarım sürecine hız açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Parametrik tasarımda, özellikle mimaride kullanılabilecek birçok bilgisayar yazılımı mevcuttur. 3D Studio Max, Rhinoceros gibi bilgisayar yazılımlarının ana ara yüzlerinin yanı sıra kullanıcının kendine ait eklentiler (plug-in) oluşturabilmesi için yazılım bölümleri de bulunmaktadır. Bu tez kapsamında tasarlanacak olan sistemin tasarımı da parametrik olarak gerçekleştirilecek ve bunun için bir bilgisayar destekli tasarım programından yardım alınacaktır. Mevcut bilgisayar destekli tasarım programlarının incelenmesi sonucu tez kapsamında önerilen yüzey örtüsü için kullanılacak en uygun programın Rhinoceros olduğuna karar verilmiştir.

Rhinoceros parametrik yüzey tasarımı yapmak için en elverişli programlardan biridir. Her türlü karmaşık şekle rahatça hkimiyet sağlamaya olanak vermesi ve her ölçekte çalışmayı gerekleştirebilmesiyle geniş bir kullanıcı kitlesine hitap edebilmektedir. Bu program tasarıma n proje aşamasından üretim aşamasında yapılacak analizlere kadar her basamakta kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca diğer program

formatlarıyla da uyum içinde çalışabilmektedir. Kullanılacak program olarak Rhinoceros seçilirken göz önünde bulundurulmuş en önemli etken Rhinoceros'un ürettiği Grasshopper adlı eklentinin kullanımının sağlayacağı kolaylık olmuştur. Yapılan araştırmalar neticesinde önerilen modelin istenilen strüktürel şekle sokulmasında ve modele etmen olarak güneşin tanımlanmasıyla yüzey örtüsünün modüllerinin hareketinin simule edilmesinde Grasshopper eklentisinin kullanılması kolaylık sağlayacaktır. Bunlara ek olarak Grasshopper, Rhinoscript ile kıyaslandığında grafik bir ara yüze sahip olması açısından daha az yazılım bilgisiyle aynı oranda karmaşık algoritmalar oluşturulmasına da olanak sağlamaktadır.

Sistemin hareket etmesini sağlamak için de çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlar önceki bölümlerde açıklandığı gibi algılayıcıdan alınan bilgilerin aktüatörler tarafından harekete geçirilmesinde doğru kararların verilmesi ve doğru akışın izlenmesi için kullanılırlar. Sistemi harekete geçirmeye yarayacak yazılım C++, java gibi yazılım dillerinde oluşturulabileceği gibi kullanılacak mekanik parçalara özel olarak üretilmiş yazılımlar da olabilirler. Bu yazılımlar, çalışma mekanizmasının prensibini göz önünde bulundurarak mühendisler tarafından özel olarak hazırlanmaktadır.

3.4 Sonuçlar

Üçüncü bölüm kapsamında yapılan araştırmalardan da görüleceği üzere günümüz mimarlığı yapıldığı gibi kalan, sabit mimarlardan gerek yapı bileşenleri, gerekse yapının kendisi anlamında giderek uzaklaşmaktadır. Önceleri mimaride hareketi sağlayacak parçaların büyüklüğü ve pahalılığı nedeniyle yapılamayan birçok yenilik, nanoteknolojideki gelişmeler ve üretim hacmindeki artış sayesinde artık çok daha az maliyetli ve çok daha küçük hale gelmektedir.

Malzeme bilimindeki yenilikçi yaklaşımlar ve son yıllarda ciddi gelişme gösteren “akıllı malzemeler” mimaride alışlagelmiş yöntemlerin geride bırakılmasına, istenilen kullanıcı konforunun çok daha pratik şekillerde sağlanabilmesine olanak tanımıştır. Biyoloji ve mekanikte sıklıkla kullanılan elektro aktif polimer malzemelerin mimaride kullanım alanlarının araştırılması ve malzemenin elektrik iletkenliği özelliğinin tepkisel mimari için önemli bir potansiyel barındırması sektörden birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve deneysel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Tez kapsamında tasarlanan Hexa-myosis’de ikinci bölümde de açıklandığı üzere doğaya uygun olarak hareket edebilen, strüktürel açıdan doğada olduğu gibi minimum malzeme ile maksimum fayda sağlayabilen ve hareketi için ihtiyaç duyduğu enerjiyi doğal yollarla temin edebilen bir sistem önerilmiştir. Bu bağlamda, güneşten aldığı ışınlarla göre yazılımında tanımlanan parametreler doğrultusunda açılıp kapanabilecek olan yüzey örtüsü, hareketini sağlamak için gereksinim duyacağı enerjiyi her bir panelinin ortasına yerleştirilen güneş pillerinden alacaktır. Güneş pillerinde depolanan enerji, güneş sensörlerinden gelen bilgiler doğrultusunda merkezi işlem birimine sinyal gönderecek ve merkez işlem birimi de tanımlanan parametrelere bağlı olarak depolanan enerjinin malzemeye gönderilerek açılma/kapanma işleminin başlatılmasını sağlayacaktır.

Sistemin yüzey örtüsünün malzeme seçiminde de yeni ve geliştirilmeye açık bir malzeme seçilmesinin uygun olacağı düşünülmüş ve altıgen panellerin elektrik akımı aldığı anda aktüatöre ihtiyaç duymadan kendi kendine hareket edebilen elektro aktif polimerler ile kaplanmasına karar verilmiştir. Merkezi işlem biriminden gönderilecek veriyle elektrik akımı alacak ya da akımı kesilecek olan bu malzeme, panel içerisinde açılacak ya da kapanacaktır. Hexa-myosis için bu malzemenin seçilmesinin en temel nedenleri geliştirilmeye açık, hareket etmek için aktüatöre ihtiyaç duymayan ve tersinir hareket kabiliyetine sahip biyomimetik bir malzeme olmasıdır.

Hexa-myosis’de kullanılan kendi bağlamlarında önemli gelişmişlik düzeyindeki bu ekipman ve malzemeler, gelecek araştırmalara göre Hexa-myosis’in de geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle elektro aktif polimer malzemelerin mimaride daha çok yer bulması, yapay zeka çalışmalarındaki gelişmeler ve hareket mekanizmalarında mimari kullanım için gerçekleştirilebilecek cihazlar doğrultusunda tasarlanan sistem için daha esnek kullanım alanları oluşması beklenmektedir.

4. BİYOMİMETİK TEPKİSEL YÜZEY ÖRTÜSÜ TASARIMI

4.1 Projenin Gelişim Süreci

Tez konusu seçilirken yüzyıllarca ayakta duran ve kullanılan yapıların yapıldıkları gibi kalmaları, çevrelerinde değişen koşullara ya da yıllar içerisinde değişen sosyo-kültürel ihtiyaçlara cevap verememeleri bir problem olarak görülmüş ve son yıllarda mimaride bu soruna nasıl çözümler üretildiği araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda doğayı taklit ederek sorunlara çözüm üretme olarak tanımlanabilecek “biyomimikri” ile yapıların değişen etmenlere göre tepki verebilme kabiliyeti kazanmasını araştıran “tepkisel mimarlık” başlıklarının tanımlanan soruna çözüm üretmede yardımcı olabileceği fikrine varılmıştır.

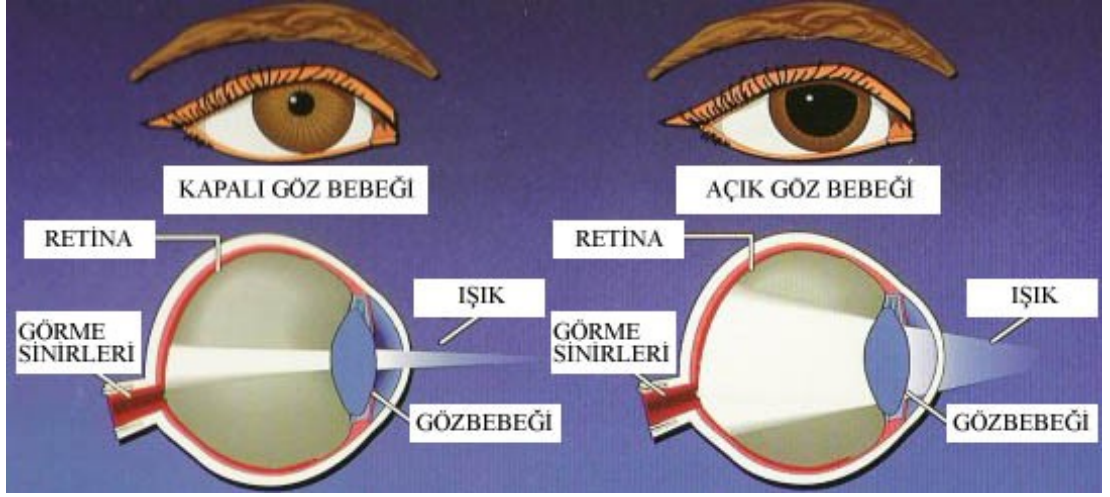
Mimarlıkta biyomimikri başlığı incelenirken doğadaki birçok canlının gerek barınmak gerekse avlanmak / yiyecek bulmak için çeşitli yapılar ürettiği ve tarih boyunca insanların üretilen bu yapıları farkında olarak ya da olmayarak taklit ettikleri ve böylece çevrelerinde daha gelişmiş yapılar meydana getirdikleri öğrenilmiştir. Biyomimikri ile ilgili yapılan araştırmalarda günümüzde kullanılan dört tip hafif strüktürün doğanın taklit edilmesiyle geliştirildiği ve minimum kaynak kullanarak maksimum yüzey örtbildikleri bilgisine ulaşılmıştır. Tepkisel mimarlık ile ilgili araştırmalarda ise yapının çevrede ya da kullanıcı isteklerinde tanımlanan değişkenlere göre hareket edebilmesi için hafif strüktürlerin kullanımının önemli olduğu ve hafif strüktürlerdeki gelişmelerin tepkisel mimarinin önünü açabileceği sonucuna varılmıştır. Böylece, tez kapsamında tanımlanan soruna çözüm üretmek için mimarlıkta biyomimetik, hafif strüktürler ve tepkisel mimarlık konularının araştırılmasına ve yapılan önemli örneklerin / dönüm noktası olarak tanımlanan olayların incelenmesine karar verilmiştir.

Tez kapsamında önerilecek modelin değişen çevre koşullarına tepki verebilen, adapte olabilen, strüktürel açıdan hafif bir yapı olmasına ve tanımlanan soruna biyomimetik bir çözüm oluşturmaya karar verildikten sonra modelin işlevinin ne olacağı düşünülmüştür. Bu noktada güneş, yılın farklı zamanlarına ya da yapının bulunduğu iklim koşullarına göre istenilen ya da istenilmeyen bir unsur olarak nitelendirilmiş ve

gün içerisinde bile sürekli değişiklik gösterdiği için oluşturulacak modelin değişen güneş ışığına tepki verebilir olması uygun görülmüştür. Böylece, tez kapsamında önerilecek modelin bir yüzey örtüsü olmasına karar verilmiştir.

İkinci bölümde mimarlıkta biyomimetik ve hafif strüktürler ile ilgili yapılan araştırmalar bazı organizmalar tarafından üretilen örümcek ağı, karınca yuvası gibi yapıların birçok önemli tasarım sorununa basit ama etkili çözümler getirdiğini göstermiş ve bu nedenle önerilecek modelin strüktürel tasarımında doğada bulunan bir yapının - formun kullanılması uygun görülmüştür. Foy (1982), Pallasmaa (1995), Benyus (1997) ve Pronk v.d. (2008) gibi birçok araştırmacıya göre arı peteği en az malzeme ile en fazla taşıyıcılığı sağlayabilmesi açısından doğadaki en olağanüstü formlardan biridir. Düzgün altıgen şeklindeki petek geometrisi üç yönden yaptığı 120 derecelik açılarla oldukça stabil bir yapıya sahiptir. Bir petek hücresi 37 cm kenar uzunluğu, 22,5 cm derinliği ve 40 gram özgül ağırlığı ile 1800 gram ağırlığında balı taşıyabilmektedir ki bu değer ikinci bölümde incelenen ölü yük – hareketli yük oranı bire yaklaşan hafif strüktürlerin çok daha altındadır (Pallasmaa, 1995). Altıgen hücreler ayrıca tüm yüzeylerinin eşit olması nedeniyle birbirleriyle arada boşluk bırakmadan birleşebilmekte ve yüzeylerin geçilmesinde minimum malzeme kullanımını sağlamaktadır. Formun getirdiği bu avantajlardan faydalanabilmek için tez kapsamında önerilen yüzey örtüsü modelinin altıgen hücrelerden oluşmasına karar verilmiştir.

Literatürde doğadan esinlenmenin holistik (bütüncül) bir yaklaşım olması gerektiğinden bahsedilmektedir. Sadece formu ya da sadece işlevi taklit etmek sistemin bütününde doğaya uyumlu bir işleyişin sağlanması kadar faydalı olamayacaktır. Dolayısıyla tez kapsamında önerilen modelin güneşe karşı vereceği tepkinin de biyomimetik bir yaklaşım olması uygun görülmüştür. Bu bağlamda, çeşitli organizmaların güneşe ve ışığa nasıl tepki verdikleri incelenmiş ve memelilerin gözlerinin ışığa gösterdiği adaptasyonun araştırılması uygun görülmüştür. Memelilerin göz yapısında bulunan kaslar karanlık ortamlarda kasılarak gözbebeğinin açılmasını ve içeriye daha fazla ışık alınmasını sağlarken, aydınlık ortamlarda gevşeyerek gözbebeğini kısar ve göze gelen ışık miktarını azaltırlar. Hareket prensibi Şekil 4.1’de de gösterilen ve myosis adı verilen bu hareket önerilen yüzey modelinin de istenilen durumlarda güneşin içeri alınmasına istenmeyen durumlarda ise engellenmesine olanak sağlayacaktır.

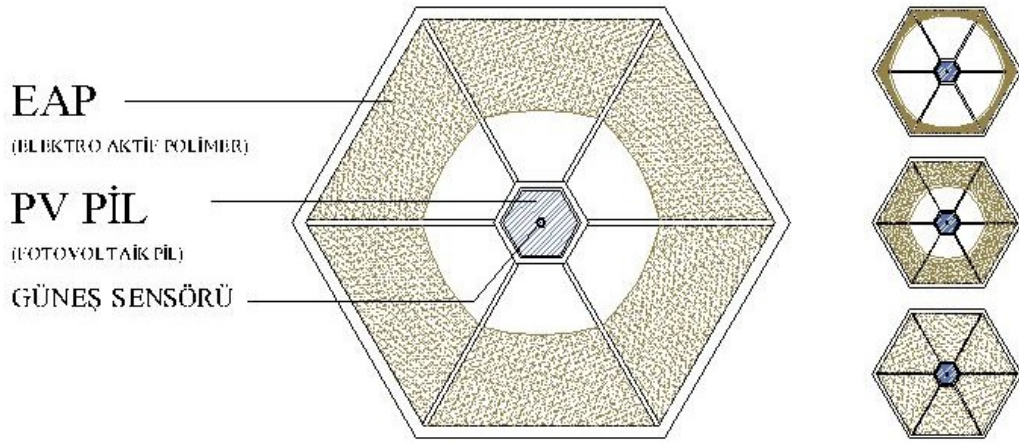


Şekil 4.1 : Göz bebeğinin ışığa göre büyümesi-küçülmesi

Önerilen modelde göz kaslarında gerçekleşen bu gevşeme – kasılma hareketini geri dönüştürülebilir olarak gerçekleştirebilecek bir malzeme araştırılmış ve akıllı malzemelerin bu olanağı sağlayabileceği belirlenmiştir. Bölüm 3.2’de incelenen akıllı malzemelerden hangisinin önerilen model için uygun olacağı değerlendirilirken yerine getireceği işlev gereği kas hareketine benzer hareket özelliğine sahip malzemenin seçilmesinin uygun olacağı fikrine varılmış ve tıpta özellikle yapay kaslarda sıklıkla kullanılan elektro aktif polimerlerin seçilmesine karar verilmiştir. Böylece gerek form, gerekse tepki hareketi ve prensibi açısından önerilen modelde bütüncül bir biyomimetik yaklaşım elde edilmiştir.

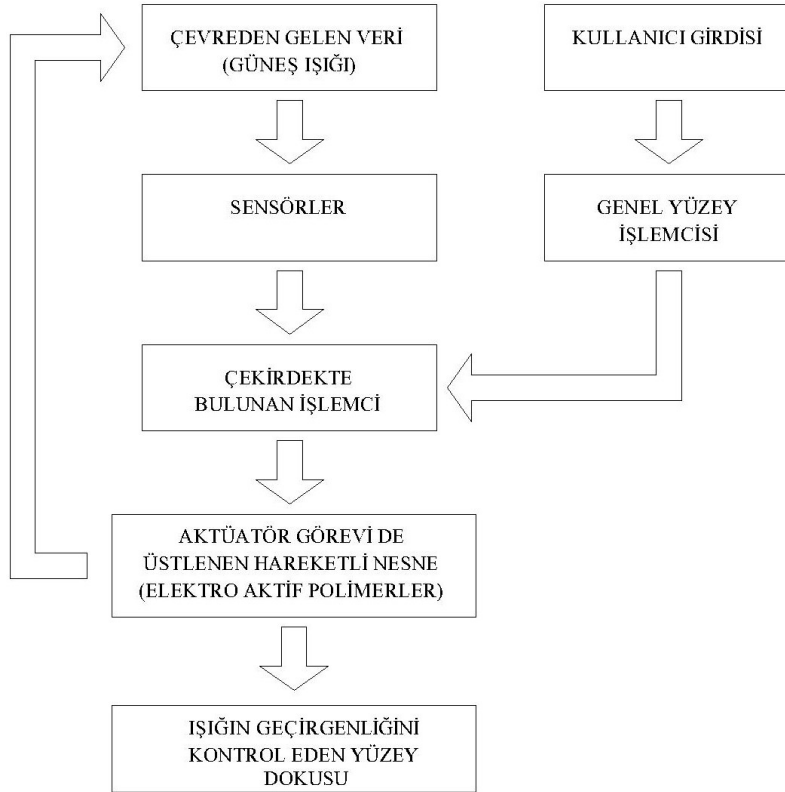
4.2 Önerilen Modelin Bileşenleri ve Çalışma Prensibi

Biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü, ortasında bir çekirdek birimi bulunan altıgen panellerden oluşacaktır. Çekirdekte sistemin gereksinim duyacağı enerjiyi güneşten soğuracak güneş pilleri ve panel yüzeyine düşen güneş ışığını algılayan güneş sensörleri bulunacaktır. Panellerin altıgen çeperi ile çekirdek arasında kalan alan elektro aktif polimer malzeme (EAP) ile kaplanacak olup EAP malzeme güneş ışığının içeri alınmak istendiği durumlarda çepere doğru katlanacak, güneş ışığının istenmediği durumlarda ise açık kalacaktır. Standart bir altıgen panelin bileşenleri ve EAP malzemenin açık, yarı açık ve katlanmış durumu Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Panellerin üzerindeki EAP malzemesinin açıklık dereceleri ona iletilen elektrik akımının derecesi ile değişmektedir. Bu sayede ek bir aktüatöre gereksinim kalmamaktadır.



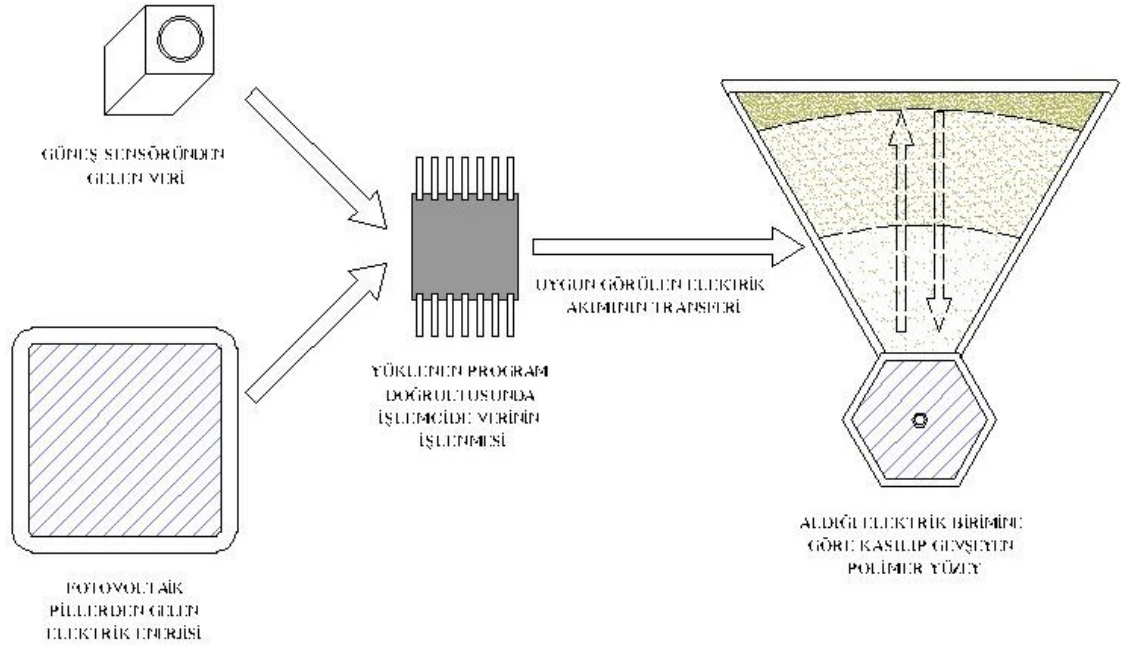
Şekil 4.2 : Hexa-myosis çekirdek biriminin bileşenleri

Önerilen yüzey örtüsü modelinde Bölüm 2.2.2’de Fox (2002)’un önerdiği tepkisel sistemlerin kontrol mekanizmalarından ara kararları işleme ve hareketli nesnelere farklı komutları iletebilme yeteneğine sahip olduğu için “buluşsal tepkisel dolaylı kontrol sistemi” kullanılacaktır. Önerilen modelin işlem akışı Şekil 4.3’de gösterildiği gibi gerçekleşir.



Şekil 4.3 : Önerilen modelin akış şeması

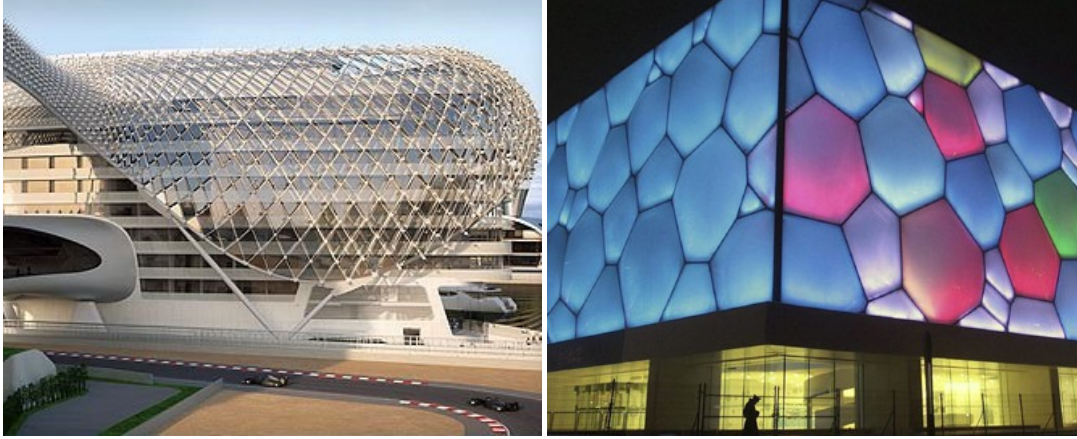
Standart bir panelin tek bir modülü üzerinden Şekil 4.4’de de gösterildiği üzere merkezi işlem birimi her bir güneş sensöründen alacağı verilere göre hangi panele güneş ışığı geldiğini belirleyecek ve kendisine tanımlanan parametrelere göre gün ışığının binaya alınmasının istendiği durumlarda güneş gelen panellere güneş pillerinden aldığı enerjiyi göndererek elektro aktif polimer malzemenin alacağı elektrik akımıyla toplanmasını sağlayacaktır. Güneşin istenmediği durumlarda ise elektrik akımı merkezi işlem birimi tarafından kesilecek ve elektro aktif polimer malzeme düzelerek güneş girişine engel olacaktır. Elektro aktif polimer malzemeler aynı zamanda aktüatör görevi gören malzemeler oldukları için Fox (2002)’un tepkisel sistemlerin kontrol mekanizmalarında kullandığı aktüatörlerin önerilen modelde kullanılması gerekmeyecektir.



Şekil 4.4 : Hexa-myosis çekirdek biriminin çalışma prensibi

Tez kapsamında önerilen Hexa-myosis biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü modelinin özellikle çift cidarlı cephelerde, geçici geniş açıklık gerektiren alanların örtülmesinde ya da mevcut sistemlere entegre edilerek kullanılabileceği düşünülmektedir. Şekil 4.5(a)’da verilen Abu Dhabi’de yapılan Yas Marina Hotel projesine benzer yapılarda yapının üzerinde kullanılan örtüde önerilen modelin kullanılması yapının soğutma yükünün azaltılabilmesi sağlayabilir ya da Şekil 4.5(b)’de verilen Water Cube gibi

ETFE paneller ile kaplı yapılarda ETFE panellerin katmanları arasına güneş kontrolü sağlayarak ilave bir katman olarak eklenebilir.



Şekil 4.5 : a) Yas Marina Otel Projesi b) Water Cube projesi

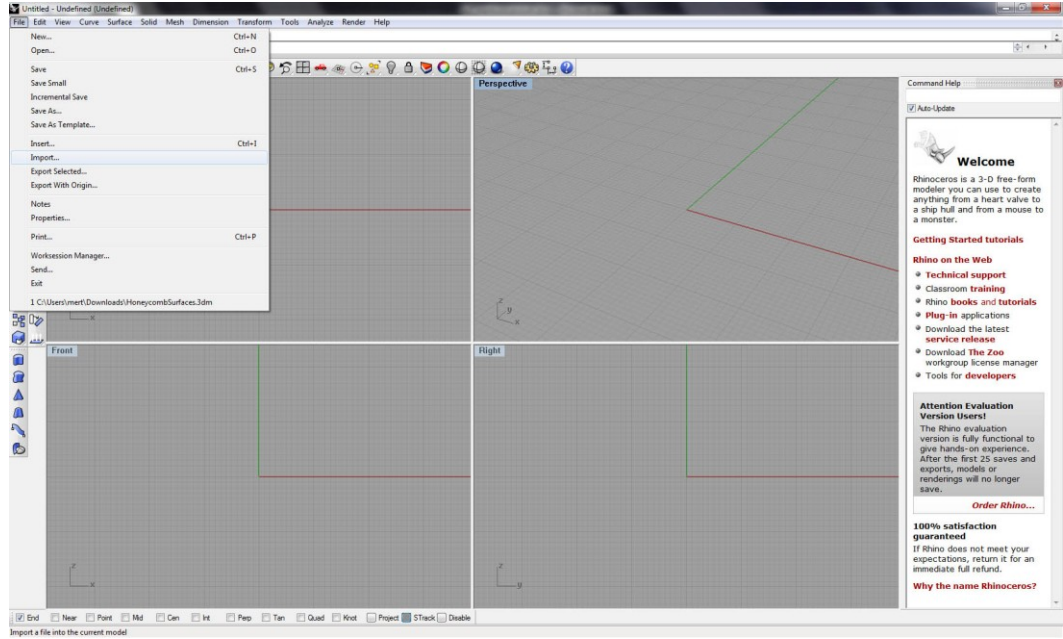
4.3 Programın Kullanımı

Hexa-myosis biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü modelinin mimari tasarımına ilişkin yazılım sürecini iki ayrı aşamada değerlendirmek doğru bir yaklaşım olacaktır. Öncelikle oluşturulacak olan yüzeyin mimari tasarımının nasıl olacağına, nasıl bir yüzeyin geçileceğine, hangi boyutlarda paneller kullanılmasının tercih edileceğine, kısacası nasıl bir görünüme sahip olmasının istendiğine karar verilmesi ve kararın bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. İstenilen formun ve modülasyonun aktarımını takiben yazılıma etmen olarak belirlenen güneş tanımlanmalı ve oluşturulan simülasyonla açılma kapanma hareketinin güneşe bağlı olarak göstereceği performans izlenmelidir.

Bu bölümde öncelikle mimari tasarım sürecinde tasarlanmış yüzeylerin hexa-myosis çekirdek paneller ile kullanıcı isteğine bağlı boyut ve oranlarda kaplanması işlemi açıklanacaktır. Bu işlem için kullanıcının tasarım sürecinde bir bilgisayar destekli tasarım programı kullanarak kaplamayı düşündüğü yüzeyi oluşturması gerekmektedir. Bu işlem direk Rhinoceros programında yapılabileceği gibi sonradan Rhinoceros’da işlenebilecek çizgiler veya Rhinoceros’a aktarılmaya uygun üç boyutlu olarak oluşturulmuş yüzeyler de olabilmektedir.

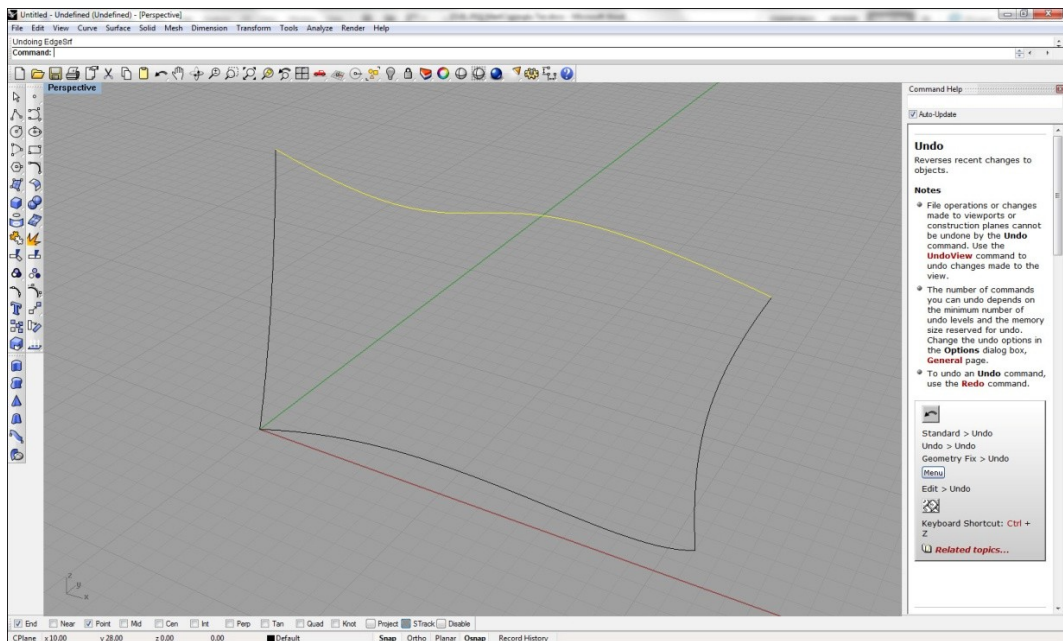
Yüzeyin oluşturulmasını takiben Rhinoceros programı başlatılır. Program açıldıktan sonra “File” bölmesinden “import” seçeneği kullanılarak daha önceden başka bir

Rhinoceros'a uygun veri üretebilen programda hazırlanan çizgiler veya yüzeyler programın içerisine Şekil 4.6'de de görüldüğü şekilde aktarılır.



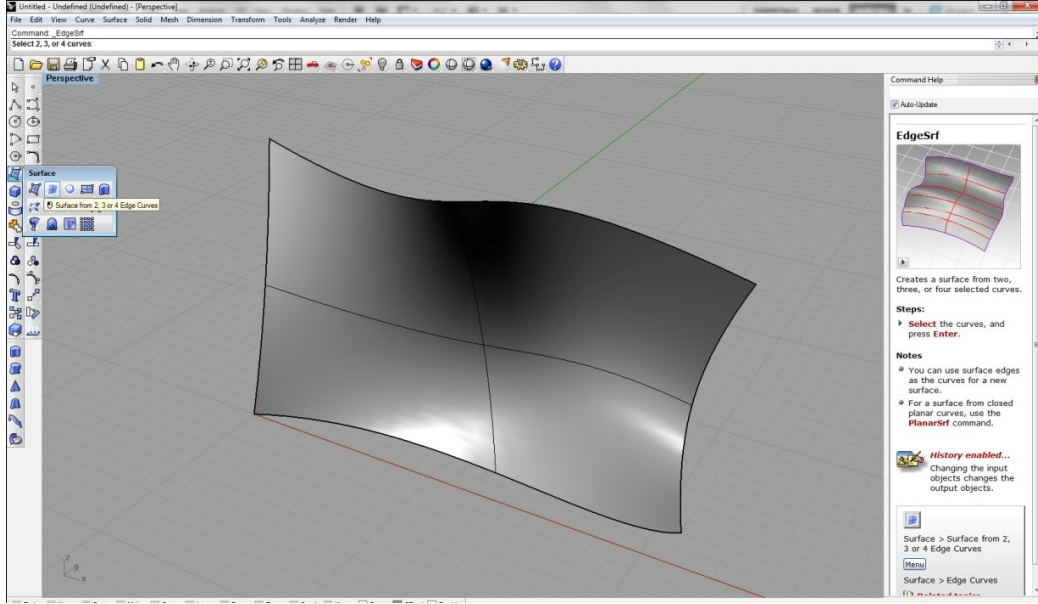
Şekil 4.6 : CAD programlarıyla hazırlanmış yüzeylerin programa aktarılması

Kullanıcı çizgileri başka bir yazılımda oluşturarak aktarmayı tercih etmezse istenilen çizgiler Rhinoceros yazılımında da oluşturulabilir veya Rhinoceros'da yüzey oluşturma seçeneği kullanılarak doğrudan istenilen yüzey yaratılabilir. Tasarlanan yüzeyin ihtiyacına göre Şekil 4.7'de de görüldüğü üzere birden fazla eğimli ya da düz çizgiler kullanarak da yüzey iskeleti oluşturmak mümkündür.



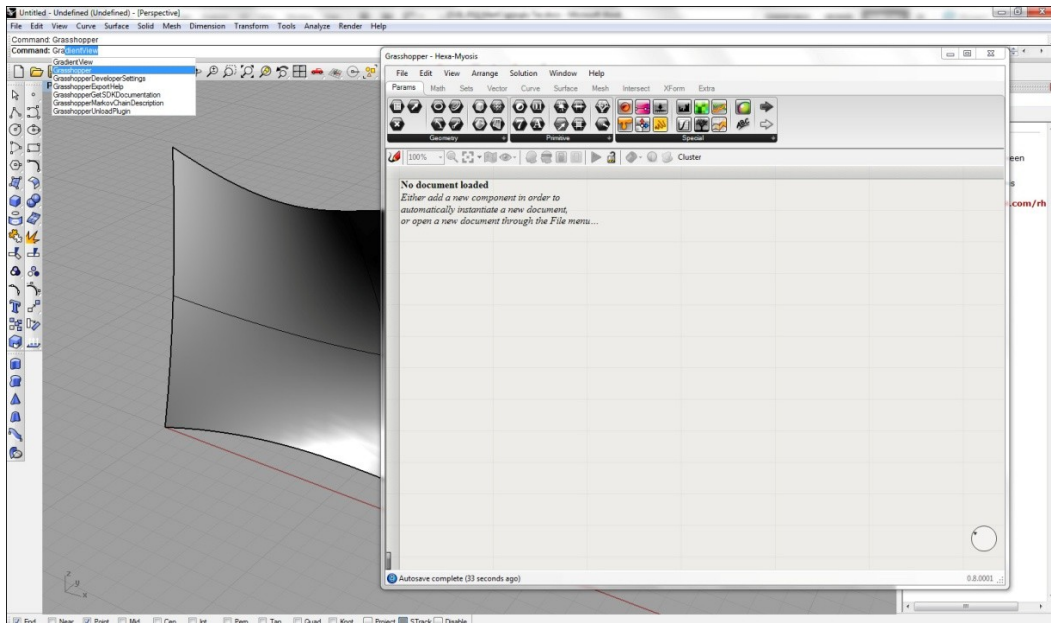
Şekil 4.7 : Yüzey oluşturmak için çizilen çizgiler

Çizgiler başka yazılımlardan aktarılarak alındıktan veya Rhinoceros kullanılarak çizildikten sonra Rhinoceros’da bulunan “2, 3 veya 4 kenar çizgisi yardımıyla yüzey yaratma” komutuyla bir yüzey oluşturulur (Şekil 4.8). Yüzeyin başka bir yazılımdan Rhinoceros’a aktarılması tercih edildiyse bu işlemin yapılmasına gerek yoktur.



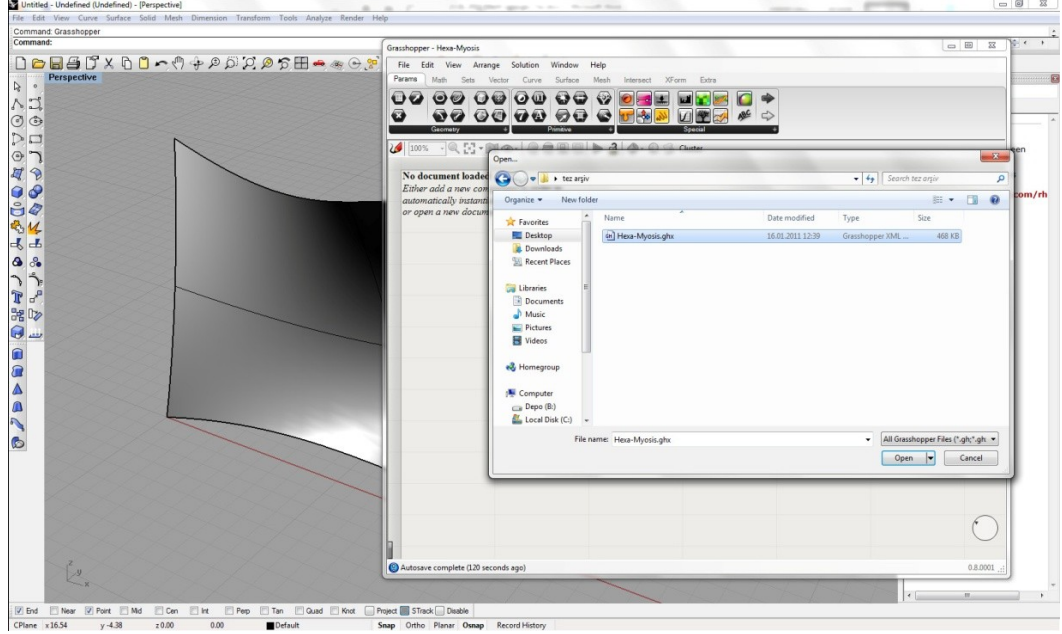
Şekil 4.8 : Komut yardımı ile oluşturulan yüzey

Yüzeyin oluşturulmasından / aktarılmasından sonra modelin altıgen panellerinin oluşturulabilmesi için Grasshopper eklentisinin yazılıma çağırılması gerekir. Söz konusu eklenti Rhinoceros sol üst köşesinde bulunan “command” satırına “Grasshopper” yazılıp klavyeden enter tuşuna basılarak çağırılır (Şekil 4.9).



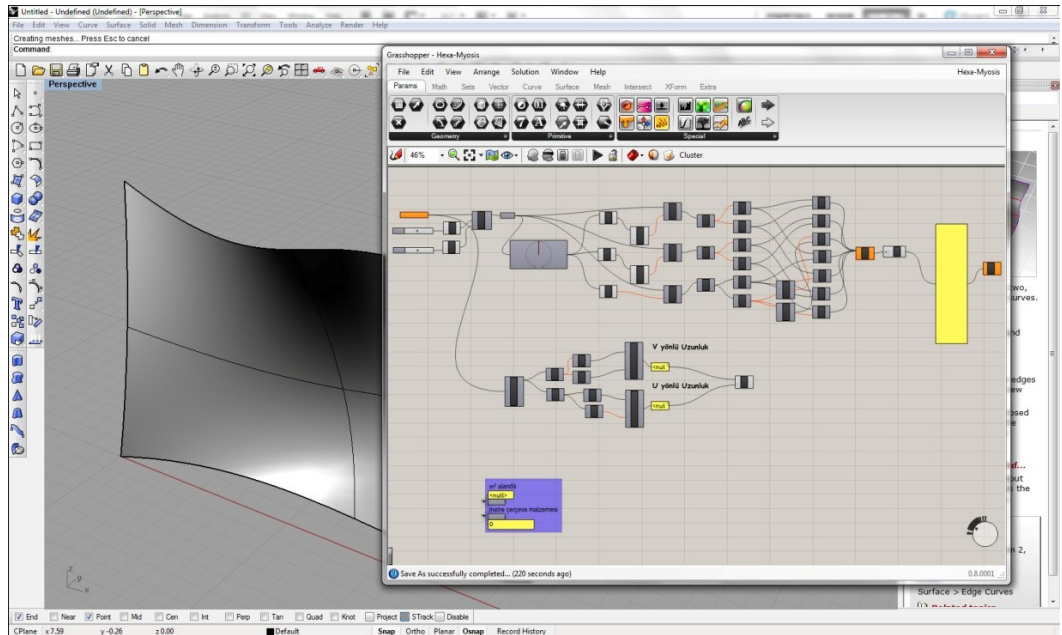
Şekil 4.9 : Grasshopper’ın Rhinoceros programına çağırılması

Grasshopper eklentisi açıldıktan sonra, “File” bölümünden “Open Document...” seçeneği kullanılarak Grasshopper’da yazılmış olan “Hexa-myosis” dosyası seçilir ve dosya eklenti içerisine çağrılır (Şekil 4.10).



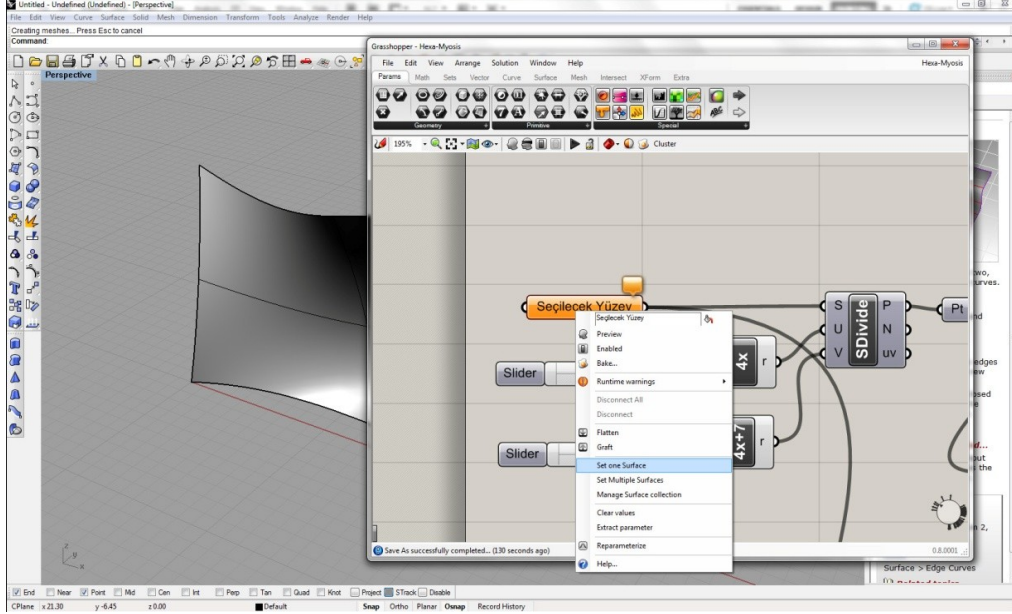
Şekil 4.10 : Hexa-myosis dosyasının çağırılması

Bu işlemten sonra açılan pencerede tez kapsamında önerilen modele ilişkin yazılımda oluşturulan bütün akış tablosu görülmektedir (Şekil 4.11). Akış tablosundan kurulan algoritmik kurgu okunabileceği gibi sadece yüzeyi seçip hexa-myosis çekirdek birimlerinin yerleşimi de sağlanabilir.



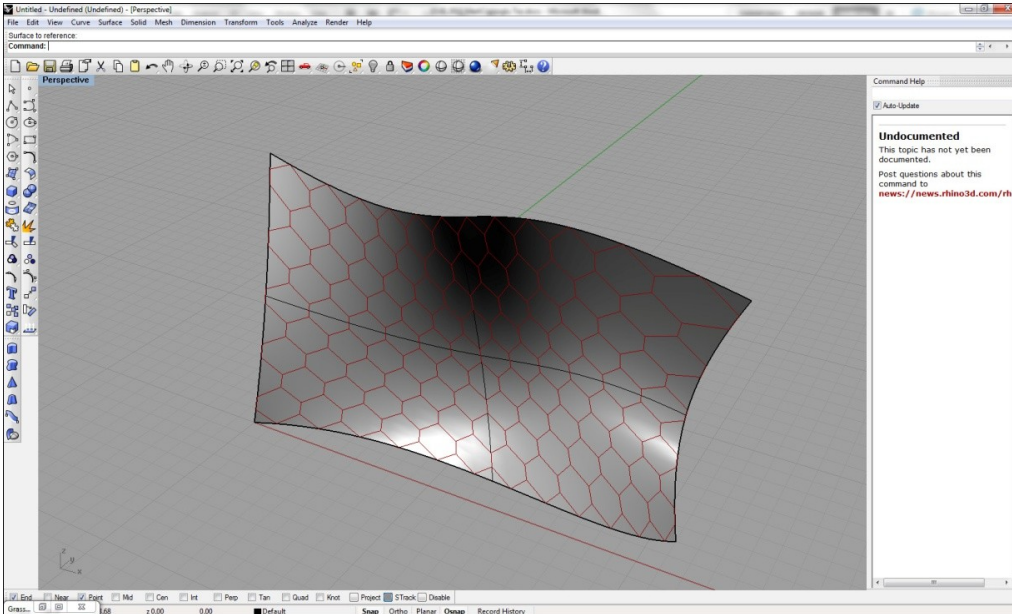
Şekil 4.11 : Grasshopper’da gözükten işlem akışı

Bu bölümde açılan işlemler listesinde sarı olarak belirlenmiş “Seçilecek Yüzey” başlığına mousun sağ tuşuyla tıklanıp açılan pencereden “set one surface” seçeneği ile yüzey seçilir (Şekil 4.12).



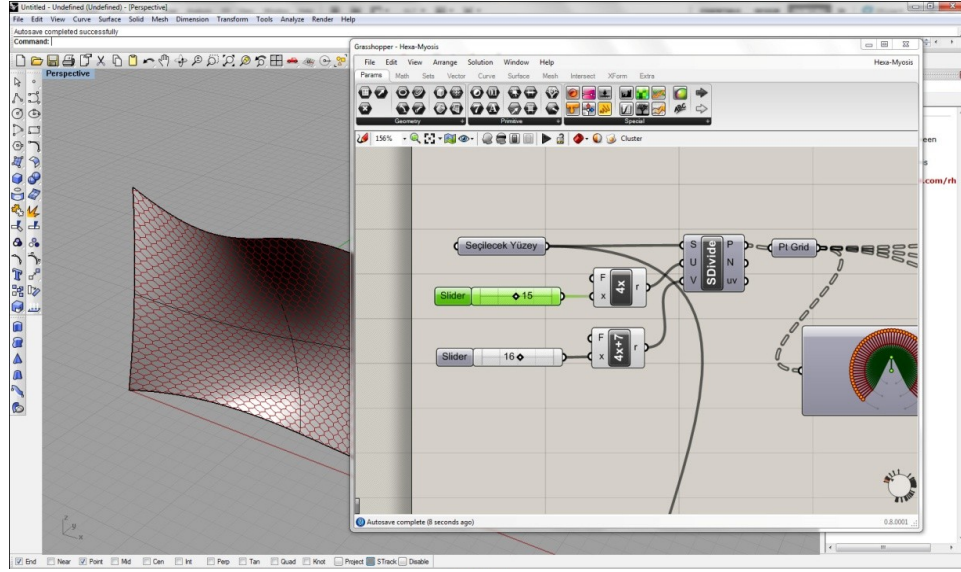
Şekil 4.12 : Yüzeyin tanıtılması

Bu işlem sonrasında ekrandaki yüzeyin bal peteği gibi altıgenler halinde bölündüğü görülür (Şekil 4.13).



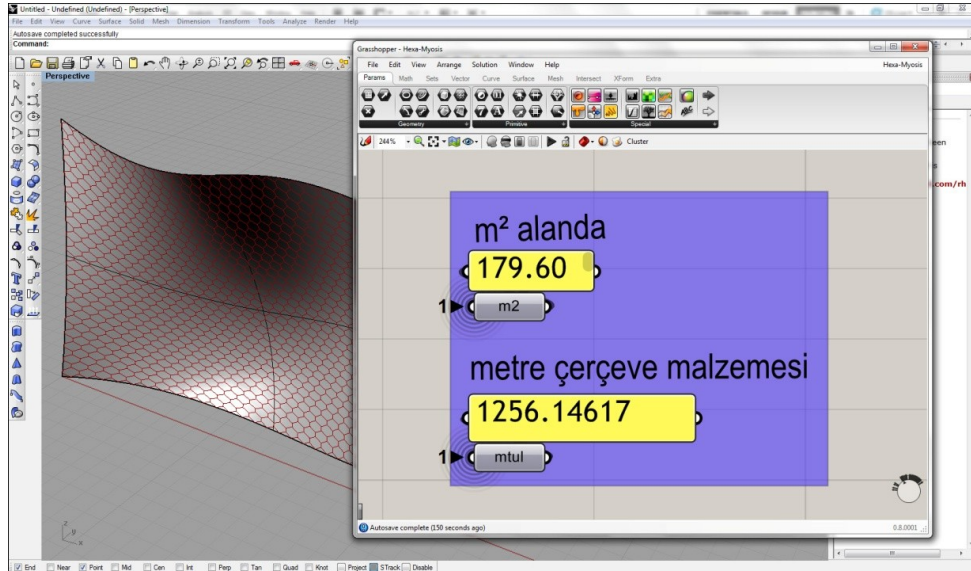
Şekil 4.13 : Yüzeyin altıgenlere bölünmesi

Limitler dahilinde kayan ayar düğmesini kullanarak istenilen oranlarda altıgen kaplanacak yüzeyin ön önizlemesinin yapılması mümkündür (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Altıgenlerin boyut ve oran ayarlama önizlemesi

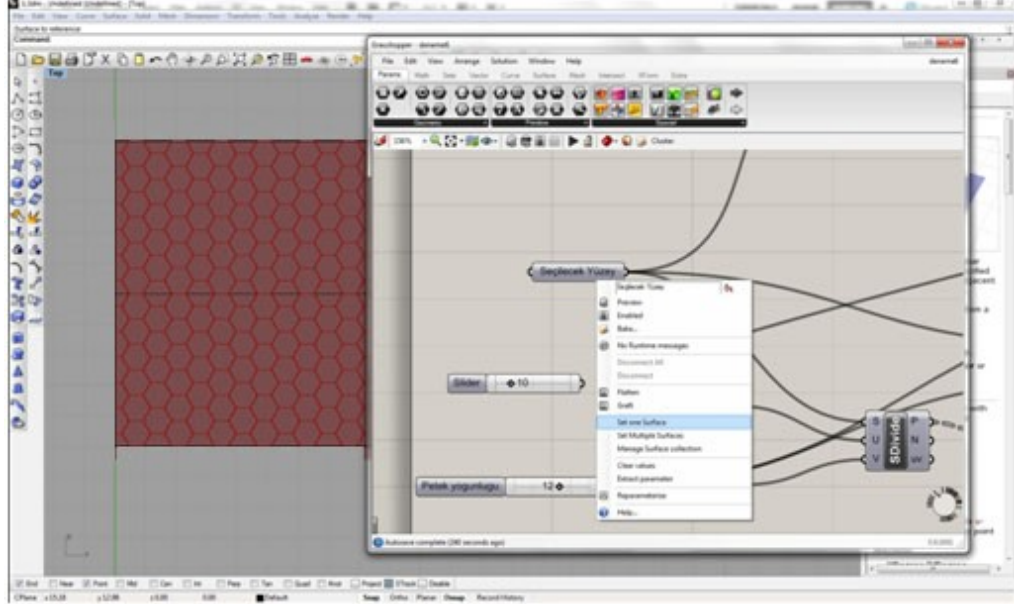
Tercih edilen büyüklük ve oranlar yakalandıktan sonra kullanıcı tarafından istenmesi durumunda Grasshopper içinde modele yönelik oluşturulmuş olan kurgunun gösterildiği akış tablosunun sol alt kısmında bulunan bilgilendirme penceresinden metre ile çizilmiş yüzeylere göre tasarımın kaç m² alan kapladığı ve toplam kaç metre çerçeve malzemesi gerektirdiği bilgisine ulaşılması da mümkündür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 : Kapladığı alan ve çerçeve malzemesi uzunluğu

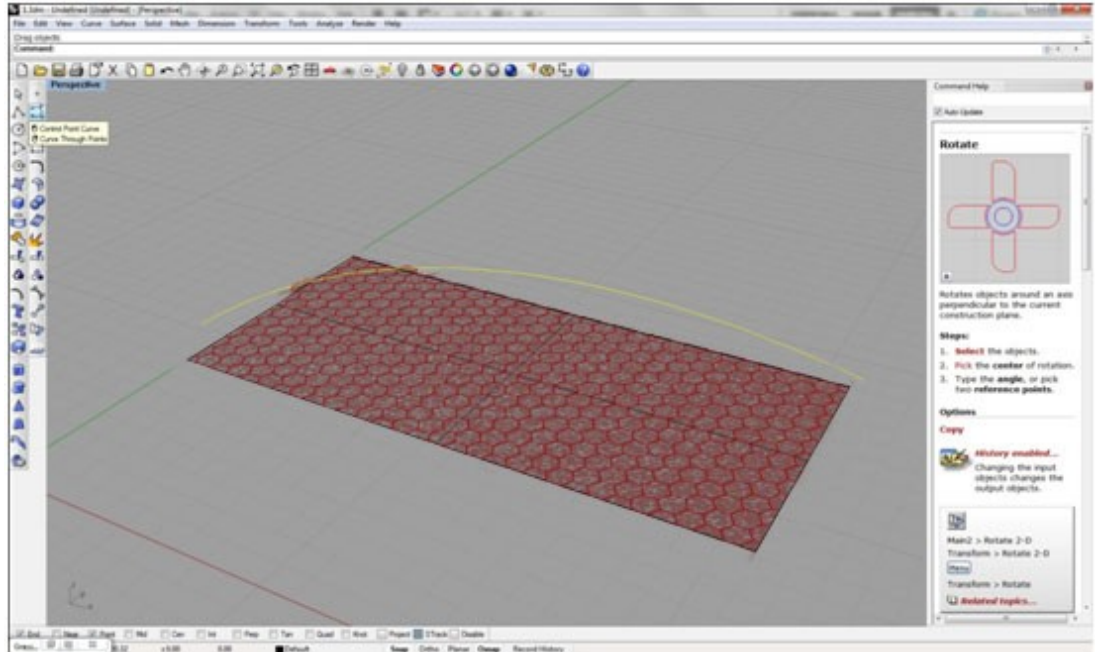
Bu aşamalardan sonra görsel tasarımına karar verilen ve mertbe olarak gerektireceği yapı malzemeleri miktarları belirlenen Hexa-myosis'in konumu değişen güneşe göre panellerinin vereceği tepki hareketinin simülasyon aşamasına geçilebilir.

Bu bölümde açılan işlemler listesinde sarı olarak belirlenmiş “Seçilecek Yüzey” başlığına mouseun sağ tuşuyla tıklayıp açılan pencereden “set one surface” seçeneği ile yüzey seçilir (Şekil 4.18).



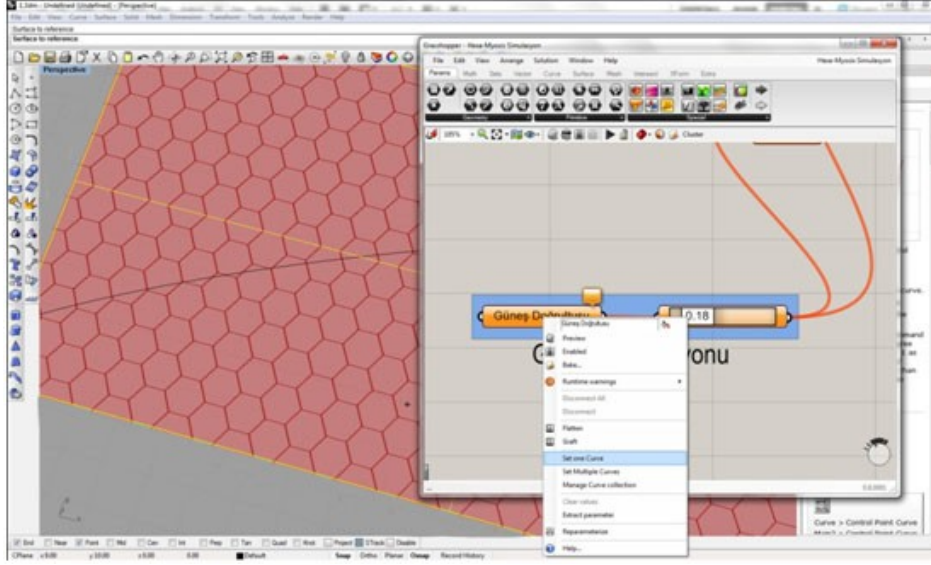
Şekil 4.18 : Yüzeyin tanıtılması

Yüzey eklentiye tanıtıldıktan sonra, güneşin hareketinin gerçekleşeceği doğrultuyu belirlemek için Rhinoceros da “curve” komutu yardımı ile bir eğri çizilir veya daha önce anlatıldığı üzere import yöntemi ile başka CAD programlarında oluşturulmuş bir eğri Rhinoceros programına çağrılır (Şekil 4.19).



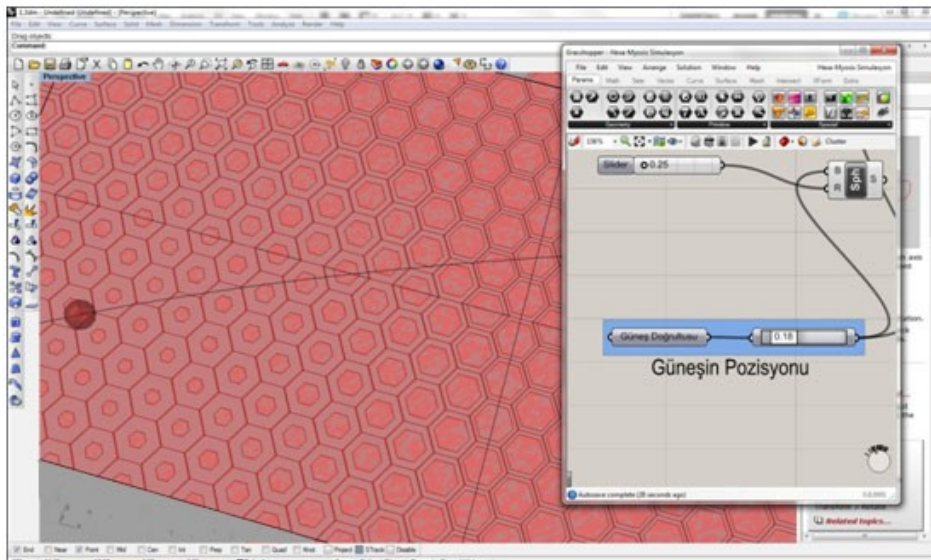
Şekil 4.19 : Güneş eğrisinin oluşturulması

Bu bölümde açılan işlemler listesinde “Güneşin Pozisyonu” isimli kutucukta bulunan “Güneş Doğrultusu” başlığına mouseun sağ tuşuyla tıklayıp açılan pencereden “set one curve” seçeneği ile oluşturulan veya çağırılan eğri seçilir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 : Güneş eğrisinin tanıtılması

Eğri seçimi yapıldıktan sonra Grasshopper penceresinin sol altındaki “Güneşin Pozisyonu” kutucuğunda bulunan kaydırılabilir düğme yardımı ile güneşin gün içerisindeki pozisyonlarına bağlı olarak Hexa-myosis çekirdek birimlerinin tepkileri gözlemlenebilir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 : Hexa-myosis çekirdek panellerinin güneş tepkileri

Önerilen model ile kaplanması istenen yüzeyin belirlenerek tez kapsamında oluşturulan Grasshopper eklentisi ile tercih edilecek modülasyona göre

tasarlanmasından ve yine tez kapsamında Grasshopper’da yazılan simülasyon eklentisiyle yapılacak hareketin izlenmesinden sonra tasarım sistemin gerektireceği mekanik donatıların ve güneş pillerinin çalışabilmesi için ilgili bilim dallarındaki mühendislere ve panellerin açılıp kapanması ile ilgili kriterlerin kontrol mekanizması dahilinde işleyecek yazılıma işlenebilmesi için yazılım mühendislerine aktarılmalıdır. Önerilen modelin mühendislik tasarımı aşamasında ve modelin uygulamaya geçmesinde birçok farklı disiplinden profesyonelin gerek tasarım gerekse inşai süreçte desteğinin alınması ve uygun görülecek ölçekte örnek bir modelinin üretilerek istenilen kriterleri sağlayıp sağlamadığının ölçülmesi gerekmektedir.

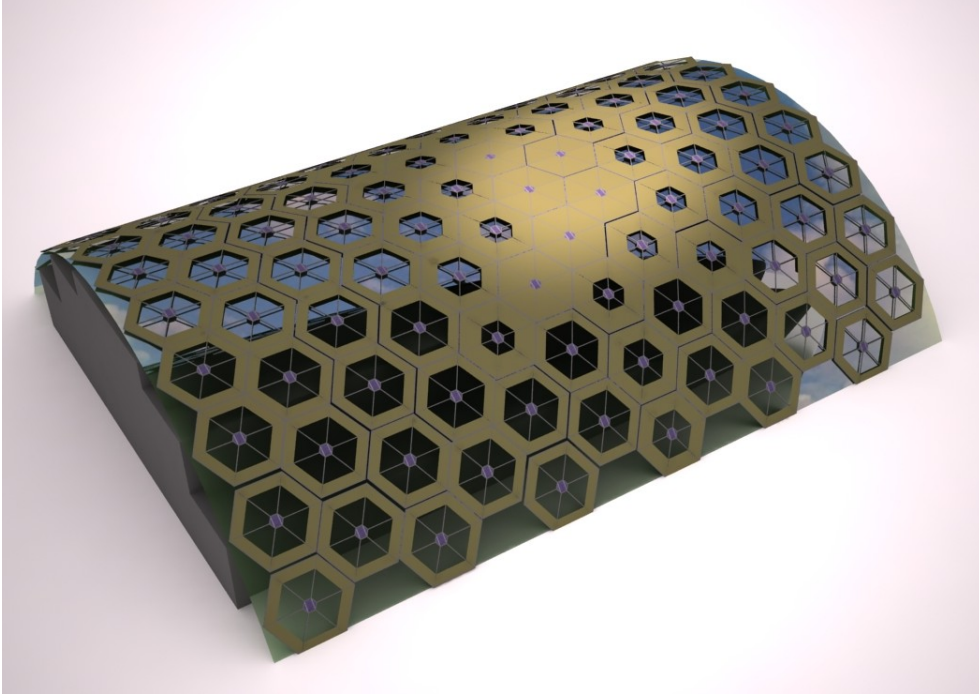
Tasarım ve uygulama aşamaları tamamlandıktan sonra hayata geçirilen modelin 3D Studio Max yazılımı ile üretilen Şekil 4.22’de verilen görüntüyü oluşturması beklenmektedir. Önerilen model yüzey örtüsü olduğu için hem cephe hem de çatı örtüsü olarak tasarlanabilir. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi Hexa-myosis cephede uygulanmış ve bölgesel güneş ışığına karşı tepkisi izlenmiştir. Şekil 24’de Hexa-Myosis bir çatı örtüsü olarak tasarlanmış, güneş ışığına karşı panellerin tepkisi görülmektedir.



Şekil 4.22 : Hexa-myosis’in uygulandığı bir cephenin olası görünüşü



Şekil 4.23 : Hexa-Myosis'in cephede bölgesel ışığa tepkisi



Şekil 4.24 : Hexa-Myosis'in çatı örtüsü olarak tasarlandığında ışığa tepkisi

5. SONUÇ

20. yüzyıl insanlık tarihi boyunca yaşanan en hızlı dönüşüme tanıklık etmiştir. Teknoloji alanında meydana gelen yoğun ve hızlı gelişmeler bir teknoloji devrimi yaratmış ve toplumda radikal değişikliklere yol açmıştır. Bilişim teknolojilerinin insanların yaşam, çalışma ve eğlence alışkanlıklarında meydana getirdiği farklılaşmanın yanı sıra, üretim ekonomileri de değişmiş ve özellikle malzeme üretim hızındaki artış standartlaşmayı ve modülerliği de destekler bir hale gelmiştir.

Yakın geçmişe bakıldığında hızlı endüstrileşme ile birlikte oluşan sosyo-kültürel yapının mimari ortamı da etkilediği görülmektedir. Çabuk ve ucuz üretim anlayışı birbirinden çok farklı ihtiyaçları olan çevrelerde bile benzer formlarda ve benzer özelliklerde yapıların üretilmesine neden olmuştur. Halbuki mimarlık üretilen yapının kullanım ömrünün yüzlerce yılı bulabilmesi nedeniyle çevreye ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillendirilmelidir. İşte bu noktada, özellikle 1990lı yılların sonunda önemli ve motive edici gelişmeler yaşanmıştır. Küresel ısınma ve doğal kaynakların tükenmeye yüz tutması gibi ciddi olumsuz etkilerin ortaya çıkması nedeniyle yeni ufuklar keşfetmeye, yeni çözümler aramaya çalışan mimarlar 3,8 milyar yıldır minimum kaynak ile yaşam döngüsünü devam ettirebilen doğaya yönelmiş ve tasarım problemlerinin çözümünü doğada aramaya başlamışlardır. Benzer sorunlar mimarları tasarladıkları yapıları durağanlıktan kurtarmaya itmiş ve böylece kullanıcı isteklerine, değişen çevresel koşullara tepki verebilen hareket kabiliyetine sahip yapıların üretilmesi fikri doğmuştur.

Mimarlıktaki bu önemli dönüşüm birçok farklı disiplinden profesyonelin tasarım sürecine dahil olmasına ve mimarlığın geleneksel statik, elektrik, mekanik, altyapı bileşenlerinin üzerine bilgisayar teknolojileri, genetik bilimi, biyoloji bilimi, nanoteknoloji, uzay bilimleri, dört boyutlu geometri ve fraktallar, kompozit ve akıllı malzemeler, katlanabilir, hafif ve taşınabilir strüktürler gibi konu başlıkları da eklenmiştir. Farklı bilim dalları ve uzmanlık alanlarının mimari tasarım sürecine dahil olması mimarların doğaya ve tasarım problemlerine bakış açılarını

değiştirmelerine, bilişim teknolojilerindeki ilerlemelerden yararlanarak da daha yenilikçi, sürdürülebilir çözümler geliştirmelerine olanak sağlamıştır.

Tez kapsamında önerilen Hexa-myosis mimarlıkta geçtiğimiz yirmi yılda yaşanan bu önemli gelişmeleri dikkate alan biyomimetik tepkisel bir yüzey örtüsü modelidir. Modelin oluşturulması aşamasında yukarıda tanımlanan mimarinin güncel sorunlarına literatürde ne gibi çözümler bulunduğu ve mimaride geçtiğimiz yıllarda konuyla ilgili hangi yeni araştırma alanlarının ortaya çıktığı incelenmiştir. Bu bağlamda tezin ikinci bölümünde doğayla uyum içinde ve doğadan öğrenerek mimari tasarımda çözüm üretme yolları arayan “biyomimetik” incelenmiş, modelin taşıyıcı sisteminin daha az kaynak tüketerek daha hafif bir şekilde yapılabilmesi için “hafif strüktürler” araştırılmış ve mimariyi durağanlıktan kurtaran, tanımlanan etmenlere göre tepki verebilmesini sağlayan “tepkisel mimarlık” açıklanmıştır. Üçüncü bölümde önerilen modelin istenilen performansı sergileyebilmesi için gerekli mekanik sistemlere, enerjisini üretebilmesi için ihtiyaç duyacağı güneş pillerine ve modelin hareket prensibine uygun, tersinir hareket kabiliyetine sahip akıllı malzemelere yer verilmiştir. Bu bölümde ayrıca modelin hayata geçirilmesinde gerekecek yazılımlar da tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde tez kapsamında önerilen Hexa-myosis’in önceki iki bölümde yapılan araştırmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda geliştirilme sürecine yer verilmiş ve modelin tasarım sürecinde de kullanılacak çeşitli bilgisayar destekleri yazılımlar ile tez kapsamında önerilen model için Grasshopper’da üretilen eklentiler açıklanmıştır.

Yapılan araştırmalardan elde edilen bilgilere göre biyomimetik yaklaşımlar bütüncül olmalıdır. Sadece formun ya da sadece fonksiyonun taklit edilmesi, üretilecek ürünün bir sistem olarak düşünülmesi kadar fayda sağlamayacaktır. Bu açıdan Hexa-myosis’in gerek formunda gerekse hareket prensibinde biyomimetikten yararlanılmıştır. Hafif strüktürlerin ve doğada bulunan strüktürlerin incelenmesiyle altıgen formun barındırdığı 120 derecelik açılar ve modüllerin bir araya gelişinin sağladığı stabiliteyle çok hafif ve az bir malzeme ile önemli yükler taşıyabileceği öğrenilmiştir.

Modelin geliştirilmesi aşamasında yılın farklı mevsimlerine göre güneş ışığının binaya alınmak istenip istenmemesinin önemli bir parametre olduğu fikrine varılmış ve modele etmen olarak güneş ışığının tanımlanmasına karar verilmiştir. Bu aşamada, memelilerin gözlerinde ışık miktarına bağlı olarak açılan-kapanan bir

hareket sistemine sahip olmalarından esinlenilerek sistemin hareket mekanizmasının benzer yönde olması fikrine varılmıştır. Hexa-myosis’de güneş ışınlarının düştüğü cephe altıgen birimlerin ortasındaki güneş sensörleri ile algılanarak kontrol ünitesine iletilecektir. Kontrol ünitesi sensörlerden aldığı bilgiye göre yine altıgen birimlerin ortasında bulunan güneş pilleri sayesinde güneşten soğurulan enerjinin aktive edilmesi komutunu verecek ve tanımlanan parametrelere göre ilave ısıtmaya ihtiyaç duyulan zamanlarda güneş pillerindeki enerji ile yüzey malzemesi açılarak güneş ışığı içeri alınacak, ilave ısıtmaya ihtiyaç duyulmayan zamanlarda ise kapanarak binaya ısıtma yükü getirilmemesi sağlanacaktır. Hexa-myosis’in bu hareketi gerçekleştirmesi için akıllı malzemeler incelenmiş, tıpta ve biyolojide (özellikle robot protezlerde) sıklıkla kullanılan, mimaride ise gelecekte çok daha geniş kullanım alanları bulacağı düşünülen elektro aktif polimerler doğadaki formlara benzeyen hareket özelliğine sahip olmaları ve elektrik iletkenlikleri nedeniyle tercih edilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği üzere, günümüzde mimarlık sadece yapının taşıyıcı ya da mekanik – elektrik sistemlerini tasarlayan katılımcıları değil, birçok farklı disiplinden uzmanın tasarım sürecine katılmasını gerektirmektedir. Tez kapsamında tasarlanan Hexa-myosis’in uygulamaya geçebilmesi için istenilen parametrelerin bilgisayara aktarımında bilgisayar mühendislerinin, sistemin gerektireceği enerji miktarının hesaplanması ve güneş pili kapasitesinin belirlenmesi için makine ve elektrik mühendislerinin, altıgen formların boyutları ve malzeme kalınlıklarının belirlenmesi için inşaat mühendislerinin, sistemin mekanik ekipmanlarının seçilmesi ve kullanılabilir duruma gelmesi için elektronik ve nanoteknoloji uzmanlarının, malzemenin istenilen ışık yansıtma değerlerinin belirlenmesi ve buna uygun olarak üretilmeleri için ise cephe ve malzeme mühendislerinin tasarım sürecine dahil olması gerekmektedir. Modelin uygulamaya geçirilmesi aşamasında uygulanacak alana göre belirlenecek daha küçük ölçekte bir örneğinin yapılması ve istenilen tasarım kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığının bu model üzerinde denenmesi faydalı olacaktır.

İleride Hexa-myosis’in söz konusu tasarım profesyonellerinin de simülasyon aşamasına dahil edilmesiyle daha ölçülebilir veriler veren bir model olması mümkündür. Belirlenecek malzeme özelliklerine göre yüzey örtüsünün açık ve kapalı olması durumlarında binaya değişik mevsimlerde gelecek ortalama ısı yükü

hesaplanarak kaplanması istenen yüzeyin tamamının mı yoksa sadece bir kısmının mı önerilen model ile yapılacağı, modelin kullanılacağı coğrafi bölgeye ve yapılmak istenen yapının yerleşim planına göre hangi cephelerin bu şekilde yapılmasının binaya katkı sağlayacağı ölçülebilir ve yapılacak simülasyonlar sayesinde modelin tasarımda daha efektif bir şekilde kullanımı sağlanabilir. Daha ileriki aşamalarda ise, elektro aktif polimerlerin geniş yüzeylerin geçilmesinde kullanılmak üzere büyük miktarlarda üretilmesini takiben gerek hafif strüktürler için kullanılan malzemelerin, gerekse elektro aktif polimerlerin geri dönüştürülebilir özellikte olmaları sayesinde model, ilk olarak geçici, geniş alan gerektiren yüzeylerin kaplanmasında, gerekli testlerin yapılması ile ise bina cephe ve çatılarının örtülmesinde kullanılabilir duruma gelebilir.

KAYNAKLAR

- Addington, M. ve Schodek, L.D.**, 2005. *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professionals*, Elsavier, Oxford, p.59-67.
- Akbulut, S., Çalık, O., Demir, H.**, 2009. Biyolojinin toplum, bilim ve teknoloji açısından önemi. Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi.
- Altın, M.**, 2003. *Tarih İçinde Teknolojiyi Yaşamak: Enerji Üretiminde Fotovoltaik Hücreler*, YAPI 256 /Mart 2003, s.88-91.
- Altın, M.**, 2004. *Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri Ve Tarihçesi*, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s.438-44.
- Badarnah, L.**, 2009. Bio-mimic to realize: biomimicry for innovation in architecture. The Architecture Annual 2007-2008, Delft University of Technology, eds. L. Calabrese, A. Doeschate, A. Geenen, D. Hauptmann, and U. Knaack, 010 Publishers: Rotterdam, pp. 54-59.
- Barnes M. ve Dickson M.**, 2000. Widespan roof structures, Thomas Telford Publishing, London, UK.
- Benyus J.**, 1997. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. HarperCollins Publishers Inc.
- Benyus J.**, 2004. Voices of the Bioneers 2000. Collective Heritage Institute.
- Berardi, U.**, 2010. Dielectric electroactive polymer applications in buildings, Intelligent Buildings International 2, pp. 167 – 178.
- Bozkurt C.**, 2010. *Kinetik Sistemlerle Çalışan, Biyomimetik Bir Kentsel Donatı Tasarımı – Urbancot*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Breeze, P.**, 2009. Renewable energy focus handbook, Elsavier, Oxford, UK.
- Brown, D.J.**, 2010. AAMI Park, Melbourne, the Arup Journal, Vol 45 No: 2 (2/2010).
- Cohen, Y. B.**, 2004. Electroactive Polymer (EAP) Actuators as Artificial Muscles: Reality, Potential, and Challenges, Second Edition, SPIE Press Monograph, Vol. PM136.
- Çamlıbel A.N.**, 2003. *Çağdaş Gelişmelerin Mimari Strüktüre Etkileri*. Journal of Istanbul Kultur University 2003/3 pp. 57-64.
- Çöne, A.Ş.**, 2001. Prefabrike Düzlem Çelik Uzak Sistemlerde Yapı Geometrisindeki Değişimin Çelik Malzeme Giderine Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Demircan, N.**, 2008. *Fotovoltaik prensibiyle güneş enerjisinden elektrik üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 17-19 Aralık 2008, İstanbul.

- Domingo A. ve Lazaro C.,** 2009. *Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures*. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009, Valencia.
- Dotson, Z.,** 2009. Material Selection for Actuator Design for a Biomimetic Rolling Robot Conductive to Miniaturization, *MSc Thesis*, Rochester Institute of Technology.
- Dunster, A.M.,** 1997. Naturally Innovative: Using Biomimetics in Construction, IP 11/07.
- Eggermont M.,** 2007. *Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool*. Schulich School of Engineering, University of Calgary.
- Erjavec, J.,** 2005. Automotive technology: a systems approach, Thomson Delmar Learning, New York, USA.
- Forster B. ve Mollaert V.,** 2004. European Design Guide for Tensile Surface Structures, *Tensinet*, Brussels, pp. 17-24.
- Fotiadou, A.,** 2010. Computing Towards Responsive Architecture: Energy based simulation software for responsive structures, *eCAADe 2010 Conference: Future Cities*, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich, Zürich, pp.507-513.
- Fox M. A.,** 2002. Sustainable Applications of Intelligent Kinetic Systems. SPON Press, London, UK.
- Foy, S.,** 1982. The Grand Design: Form and Colour in Animals, BLA Publishing Limited for J.M.Dent&Sons Tld, Aldine House, London, UK.
- Freedman M.,** 2010. Nature is the model factory." Newsweek International 7 June 2010. Expanded Academic ASAP. Web. 22 Nov. 2010.
- Grünkranz, D.,** 2009. Towards a Phenomenology of Responsive Architecture: Intelligent Technologies and Their Influence on the Experience of Space, *Second International Conference*, Kyoto Seika University, Japan.
- Gürel S.,** 1968. *Uzay Organizasyonlarında Yeni Gelişmeler*. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayını, Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi.
- Hasol D.,** 1966. *Yeni Malzemeler*. Mimarlık Dergisi s.36/ Ekim 1966.
- Hawken P.,** 2006. *Innovation inspired by nature: Biomimicry*. ECOS magazine, February.
- İnan, D. ve Ültanır, Ö.,** 1996. *Güneş Enerjisi*. Diyarbakır; Dicle Üniversitesi Basımevi.
- Jirapong K.,** 2002. Discovering Architecture within a Seashell Unpublished Ph.D. Thesis, The Graduate College of the Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois.
- Kıncay O., Bekiroğlu N. ve Yumurtacı Z.,** 2008 *Güneş pilleri (fotovoltaik piller)*, Yenilenebilir enerji Prof. Dr. Olcay Kıncay Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi ders notları.
- Knight, W.,** 2001. Beetle fog-catcher inspires engineers. *New Scientist*, 13, 38.

- Larena, A. ve Vera, R.R.,** 2009. *Smart Materials: Overview and a Proposal for Architecture and Construction*, International Review of Chemical Engineering, Vol. 1, N.5, p.445-452.
- Majowiecki, M.,** 2005. Structural architecture for large roofs: concepts and realizations, *Bautechnik*, 82(3), p.147-156.
- Malayeri S.,** 2009. *Biomimicry in Buildings*. BA Constructing Architecture Copenhagen Technical Academy and Copenhagen Polytechnic.
- Moloney, J.,** 2007. A Framework for the Design of Kinetic Façades, *Computer Aided Architectural Design Futures*, 2007 (9), 461-474.
- Mungan İ.,** 1990. Kabuk ve Uzamsal Yapıların Son On Yıllık Gelişmesi. İMO Teknik Dergi, Nissan 1990, s. 107-119, yazı 7.
- Niemueller T. ve Widyadharma S.,** 2003. Artificial Intelligence – An Introduction to Robotics. Institute of Civil Engineers. "Artificial Intelligence" Semineri. RWTH Aachen, Chair of Computer Science V, Knowledge-based Systems Group.
- Pallasmaa J.,** 1995. Animal architecture. Helsinki: Museum of Finnish Architecture. S. 126
- Pallasmaa, J.,** 1995. Animal Architecture, NHBS, Helsinki.
- Panchuk, N.,** 2006. An exploration into biomimicry and its application in digital and parametric [architectural] design, University of Waterloo, Yüksek Lisans Tezi
- Pauletti R.M.O.D.,** 2010. *Some issues on the design and analysis of pneumatic structures*. International Journal of Structural Engineering Volume 1, Number 3-4 / 2010 pp. 217 – 240
- Pedersen Zari, M.,** 2007. 'Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability', *Sustainable Building (SB07) Regional Sustainable Building Conference*, Auckland, Yeni Zelanda.
- Perez Garcia A. ve Gomez Martinez F.,** 2009. Natural structures: strategies for geometric and morphological optimization.
- Pottmann H., Schiftner A. ve Wallner J.,** 2008. *Geometry of Architectural Freeform Structures*. Internat. Math. Nachrichten. Nr. 209 (2008), 15–28.
- Prasad, D. ve Snow, M.,** 2005. *Best Practices Guidelines for Solar Power Building Projects in Australia*, The Centre for Sustainable Built Environment, University of South Wales.
- Pronk, A.D.C., Blacha, M. & Bots, A.,** 2008. Nature's Experiences for Building Technology. www.arnopronk.com Acapulco.
- Ravilious, K.,** 2007. Borrowing from Nature's Best Ideas. *The Guardian*, July 31.
- Roberts, S. Ve Guariento, N.,** 2009. *Building Integrated Photovoltaics – a handbook*, Birkhauser, Berlin, s.82-85.
- Roland C.,** 1970. *Frei Otto – Structures*. Longman Group Limited.

- Samatham, R v.d.,** 2007. Electroactive Polymers for Robotic Applications Artificial Muscles and Sensors, *Springer-Verlag London Limited*, Londra, s.1-37
- Selçuk S.,** 2007. *A New Optimization Method in Architectural Design: A Biomimetic Approach*. Odtü Mimarlık Fakültesi.
- Selçuk S. ve Sorguç A.,** 2007. *Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi*. ODTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Selçuk, S., ve Sorguç, A.,** 2004. Similarities in Structures in Nature and Man-Made Structures: Biomimesis in Architecture", 2nd International Design and Nature Conference Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Rodos, 45-54, 28-30 Haziran 2004.
- Senatore, G.,** 2010. Responsive Adaptive Building Structures, Digital Relations in Architecture: PhD students symposium hosted by CITA in Copenhagen, Danimarka.
- Senosiain J.,** 2003. *Bio-Architecture*. Architectural Pres, An Imprint of Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP
- Sparacino, F.,** 2009. Natural Interaction in Intelligent Spaces: Designin for Architecture and Entertainment, Handbook of Multimedia for Digital Environment and Arts, Springer Science + Business Media, LLC, p.713- 743.
- Spuybroek, L.,** 1998. Motor geometry, *Architectural Design*, Vol. **68**, pp. 49-52.
- Steadman, P.,** 2008. The evolution of designs: biological analogy in architecture and the applied arts, Routledge, NewYork, s.31-46.
- Sterk, T.,** 2003. Using Actuated Tensigrity Structures to Produce a Responsive Architecture, *ACADIA22 Connecting Crossroads of Digital Discourse*, pp. 84-93.
- Sterk, T.,** 2005. Building upon Negroponte: a hybridized model of control suitable for responsive architecture, *Automation in Construction*, Vol.14, pp.225-232.
- Sterk, T.,** 2006. Responsive Architecture: User-centred Interactions Within the Hybridized Model of Control, in Proceedings Of The Game Set And Match II, On Computer Games, Advanced Geometries, and Digital Technologies, Netherlands: *Episode Publishers*, pp. 494-501.
- Sterk, T.E.,** 2003. Using Actuated Tensegrity Structures to Produce a Responsive Architecture, *Association for Computer Aided Design In Architecture*, s84-93.
- Şenol R.,** 2005. Güneş izlemeli fotovolttoik pillerin mobil ölçüm istasyonlarına uygulanması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Yüksek Lisans Tezi.
- Telhan Orkan, Casalegno F., Park J., Kotsopoulos S., and Yu C.,** 2010. "Interaction Design with Building Facades," in the 4th Tangible and Embedded Interaction Conference (TEI'10), Cambridge, MA,
- The Economist,** 2006. Buildings with minds of their own.

- Toko, K.**, 2000. Biomimetic sensor technology, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Turner S., Soar R.C.**, 2008. *Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building*. First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON) Loughborough University.
- Türkçü, H. Ç.**, 1997. Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemler. Dokuz Eylül Yayınları.
- Vincent, J. F. V., Bogatyrev, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A. & Pahl, A.-K.**, 2006. Biomimetics - its practice and theory, *Journal of the Royal Society Interface*, Nisan 2006.
- Warburton, P.**, 2009. *Building Control Systems*, Page Bross (Norwich) Ltd., Norwich, İngiltere, p.3-1, 3-2.
- Wilson, J.O.**, 2008. A Systematic Approach To Bio-Inspired Conceptual Design, Georgia Institute Of Technology, Yüksek Lisans Tezi.
- Yiatros, S. ve diğ.**, 2007. The Load-bearing duct: biomimicry in structural design. Institute of Civil Engineers.
- Url-1:** <http://www.arkitera.com/k172-biomimicry-yeni-bir-mimarlik-tarzi-mi.html>, alındığı tarih 07.09.2010.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mert CİĞİZÖĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara 1984

Adres: Beşiktaş / İstanbul

Lisans Üniversitesi: Bahçeşehir Üniversitesi

