

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERFORMANSA DAYALI
ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan KARAKOÇ

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERFORMANSA DAYALI
ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Erhan KARAKOÇ
(523131004)**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr.Gülen ÇAĞDAŞ

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 523131004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Erhan KARAKOÇ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“Performansa Dayalı Adaptif Bina Kabuğu Tasarımı”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Sema ALAÇAM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **25 Mayıs 2015**

Ailem'e

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca ve Tez aşamasında değerli vaktini, tavsiye ve anlayışını esirgemedi beni yönlendiren; bilgi ve birikimlerini aktaran, anlayışı ve hoşgörüsüyle bu çalışmayı gerçekleştirmemde büyük payı olan sevgili hocam, Sayın Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a;

Her konuda ilgi ve özveri göstererek her zaman destek olduklarını bana hissettiren, beni yetiştirip günlere gelmeye vesile olan anneme, babama ve desteğini esirgemeyen sevgili kardeşime;

Tez sürecinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşım Hülya Oral'a, Mimari Tasarımda Bilişim bölümü proje arkadaşım Yusuf Reşat Güner'e ve arkadaşım Alperen Sarı'ya;

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Erhan Karakoç
Mimar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı ve Yöntemi.....	2
2. ADAPTİF MİMARLIK.....	5
2.1 Adaptif Mimarlığın Tanımı	5
2.2 Adaptif Tasarım ve Doğal Sistemler	6
2.2.1 Doğadan Esinli Adaptif Sistemlerde Tasarım Stratejileri.....	9
2.2.2 Doğadan Esinli Adaptif Sistemlerde Malzemeler.....	12
2.3 Adaptif Mimarinin Avantajları.....	17
2.4 Adaptif Mimarinin Potansiyelleri ve Geleceği.....	19
2.5 Adaptif Mimari Örnekleri ve Analizleri.....	20
3. PERFORMATİF MİMARLIK	35
3.1 Performatif Mimarlığın Tanımı.....	35
3.1.1 Performatif Yapı Tasarım Stratejileri	37
3.1.2 Performatif Mimarlık Örnekleri ve Analizleri	38
3.2 Performatif Mimarlıkta Çevreye Bağlı Konfor Problemleri	44
3.2.1 Isıl Konfor Problemleri	45
3.2.2 Görsel Konfor Problemleri.....	46
3.2.3 İşitsel Konfor Problemleri.....	47
3.2.4 Hava Kalitesine Bağlı Konfor Problemleri	47
4. PNÖMATİK MİMARLIK	49
4.1 Pnömatik Mimarlığın Tanımı	49
4.2 Pnömatik Mimaride Tasarım.....	50
4.2.1 Pnömatik Mimaride Formun Oluşturulması	54
4.2.2 Pnömatik Mimaride Yapım.....	56
4.3 Pnömatik Mimari Örnekleri ve Analizleri	58
5. PERFORMANSA DAYALI ADAPTİF BİNA KABUĞU ÖNERİSİ.....	61
5.1 Modelin Kavramsal Çerçevesi	61
5.2 Modelde Kullanılan Yöntem ve Araçlar	63
5.3 Modelin Algoritması	66
5.4 Modelin Parametreleri	69
5.5 Modelin Uygulama Örnekleri	76
5.5.1 Mevsimsel Uygulama Örnekleri	88
5.5.1.1 Kış verileri (Ocak)	89

5.5.1.2 Yaz verileri (Haziran).....	91
5.5.2 Gün içerisinde Farklı Zaman Dilimlerindeki Uygulama Örnekleri	93
5.5.2.1 Sabah Saatleri Verileri ile Uygulama.....	93
5.5.2.2 Öğle Saatleri Verileri ile Uygulama.....	95
5.5.2.3 Akşam Saatleri Verileri ile Uygulama	97
5.6 Modelin Uygulama Potansiyelleri	99
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	101
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMALAR

VB	: Visual Basic
LEED	: Leadership in Energy & Environmental Design
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Adaptif mimarlık örnekleri tablosu	34
--	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Biyomimikri prensipleri.	7
Şekil 2.2: Tarihsel süreç ve biyomimikri.....	9
Şekil 2.3: Barcelona’da ağaç formunda kolon.....	10
Şekil 2.4: Saarinen’in TWA Terminali, 1962.....	11
Şekil 2.5: Fuller'in Jeodezik Kubbesi.	11
Şekil 2.6: Malzeme teknolojisinde biyomimikrinin inceleneceği 3 ana başlık.	13
Şekil 2.7: İpekböceğinin kozasını oluştururken izlediği yolun hesaplamaları.	14
Şekil 2.8: 6500 ipek böceği CNC ile üretilen birincil ağ üzerinde oluşturdukları ağısı doku.....	15
Şekil 2.9: Sayısal olarak modellenmiş hibrid eleman: strüktür ve kabuk.....	15
Şekil 2.10 : “Augment Skin” pavyon tasarımı.	16
Şekil 2.11: Malzeme davranışları ile yapılan Arab World Institute Jean Nouvel.	17
Şekil 2.12: SUNY Stone Brooke Fakülte Binası Simons Geometri ve Fizik Merkezi Lobisi Cephesi (içten).	20
Şekil 2.13: Tesellate sistemi katmanları.	21
Şekil 2.14: Geçirgenliği yüksek hale getirilmiş bir modül(kapalı hava).	21
Şekil 2.15: Tesellate adı verilen sistem ile oluşturulan geometrik dokuların çakıştırılması ile geçirgenlik ayarlamasının yapılması.	22
Şekil 2.16: Media–TIC cephesi kısmen açık halde iken.....	23
Şekil 2.17: Bina taşıyıcı strüktürü.	23
Şekil 2.18: Media–TIC cephesinin güneş-gölge diyagramı ile simülasyonu.	24
Şekil 2.19: Media–TIC cephesi hareketi sağlayan.	25
Şekil 2.20: Yeniden şekillenen bina kabuğu mekanizma.	26
Şekil 2.21: “RMIT Design Hub” Binası.....	27
Şekil 2.22: “RMIT Design Hub” cephesi.....	27
Şekil 2.23: “RMIT Design Hub” iç mekanı.	27
Şekil 2.24: “RMIT Design Hub” köşe detayı	27
Şekil 2.25: “Gardens by The Bay” iç mekan görseli.....	29
Şekil 2.26: “Gardens by The Bay” çevresel etkenlerin gösterildiği şema.....	29
Şekil 2.27: “Gardens by The Bay” iç mekan görseli ve kabuğa entegre modüller. ..	30
Şekil 2.28: “City of Justice (AP + TSJ)”.....	31
Şekil 2.29: “City of Justice (AP + TSJ)” Güneş Analizi.....	32
Şekil 2.30: “City of justice (AP + TSJ)” cephesinde kullanılan “Strata” modülleri.	32
Şekil 2.31: “City of Justice (AP + TSJ)” iç mekan görselleri.	33
Şekil 3.1: GECO programı ile yapılmış bir performans analizi çalışması.	39
Şekil 3.2: Diva programı ile yapılmış bir performans analizi çalışması	40
Şekil 3.3: “Emergences of continuous forms” performans gösterimi	41
Şekil 3.4: “Emergences of continuous forms”beyaz balonlu perde.	41
Şekil 3.5: “The Legible City” deneyimleyicisi.....	42
Şekil 3.6: “The Legible City” görselleri.....	42
Şekil 3.7: “EnterActive” görselleri.....	42
Şekil 3.8: “EnterActive” projesi etkileşim yüzeyi.....	43
Şekil 3.9: “4d Pixel” Projesi ile etkileşim.	44
Şekil 3.10: “4d Pixel” Projesi sistem detayı.....	44
Şekil 3.11: “4d Pixel” Projesi El çırpma hareketi	44

Şekil 4.1: Pnömatik mimarlığın ilk örnekleri.....	50
Şekil 4.2: Pnömatik Fuar standı.....	51
Şekil 4.3: Pnömatik sergi yapısı iç mekanı.....	51
Şekil 4.4: Pnömatik Pavyon (Sprach Pavillion).....	52
Şekil 4.5: Pnömatik yapının binaya eklemelenmesi.....	52
Şekil 4.6: Kengo Kuma'nın tasarlamış olduğu "inflatable tea house" iç mekanı.....	54
Şekil 4.7: Kengo Kuma'nın tasarlamış olduğu "inflatable tea house".	54
Şekil 4.8: "Ark Nova" projesinin iç mekan kurgusu.	55
Şekil 4.9: "Ark Nova" projesi havadan görünüşü.	55
Şekil 4.10: Pnömatik mimaride geçilen açıklıklar ve sistematığı.....	57
Şekil 4.11: Tokyo Dome Pnömatik çatısı.	58
Şekil 4.12: Tokyo Dome Pnömatik çatısı iç görüntüsü.	58
Şekil 4.13: Space Buster projesi (şişmiş durumda).	59
Şekil 4.14: Space Buster projesi (şişmemiş durumda).	59
Şekil 4.15: Allianz Arena pnömatik ve ışıklıdırılmış bina kabuğu görüntüsü	60
Şekil 4.16: Allianz Arena pnömatik bina kabuğu görüntüsü.....	60
Şekil 5.1 : Bitki stomaları ve suyun hareketleri.....	62
Şekil 5.2 : Pnömatik sistem ve gaz hareketleri (modül).	62
Şekil 5.3 : Rhinoceros 3D kullanıcı arayüzü	63
Şekil 5.4: Grasshopper arayüzü.	64
Şekil 5.5: GEKO programı arayüzü.....	65
Şekil 5.6: Diva programı kullanıcı arayüzü.	65
Şekil 5.7: Program genel akış diyagramı.	66
Şekil 5.8: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri -1.	69
Şekil 5.9: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83, u:10, v:15, f: -1....	70
Şekil 5.10: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83, u:5, v:15, f: -1....	71
Şekil 5.11: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83,u:10,v:20,f: -1.....	71
Şekil 5.12: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83,u:10,v:20,f: 0.....	72
Şekil 5.13: Tez için geliştirilen modelin çevresel girdi parametreleri -2.....	74
Şekil 5.14: Sistemin Pnömatik Birimleri.	75
Şekil 5.15: Tez için geliştirilen modelin yüzey girdi parametreleri -3.	75
Şekil 5.16: Modelle üretilen bütüncül sistem (solda) ve strüktürü (sağda).	76
Şekil 5.17: Modelle üretilen bütüncül sistem önerisi (pnömatik ve taşıyıcı strüktür).76	
Şekil 5.18: Modelle üretilen pnömatik bina kabuğunun iç mekan görünüşü.	76
Şekil 5.19: Programın genel işleyişi.	78
Şekil 5.20: Bina kabuğundaki bir modülün tasarımına ait akış diyagramı.	79
Şekil 5.21: Örnek 1'e ait yüzey planı.	80
Şekil 5.22: Örnek 1 kabuğun strüktürü.....	80
Şekil 5.23: Örnek 1 kabuk planı (şişen katmanlar).....	80
Şekil 5.24: Örnek 1 kabuk planı (tüm katmanlar)	80
Şekil 5.25: Örnek 1 kabuk yüzeyi	81
Şekil 5.26: Örnek 1 kabuk strüktürü.....	81
Şekil 5.27: Örnek 1 kabuk strüktürü (şişen katmanlar).	81
Şekil 5.28: 1 Numaralı kabuk strüktürü (tüm katmanlar).	81
Şekil 5.29: Modelle üretilen pnömatik Örnek 1'e ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü	81
Şekil 5.30: Modelle üretilen örnek 1'e ait bina kabuğunun dıştan görünüşü	82
Şekil 5.31: Örnek 2'ye ait yüzey planı.	82
Şekil 5.32: Örnek 2 kabuğun strüktürü.....	82

Şekil 5.33: Örnek 2 kabuk planı (şişen katmanlar).....	82
Şekil 5.34: Örnek 2 kabuk planı (tüm katmanlar)	82
Şekil 5.35: Örnek 2 kabuk yüzeyi	83
Şekil 5.36: Örnek 2 kabuk strüktürü.....	83
Şekil 5.37: Örnek 2 kabuk strüktürü (şişen katmanlar).	83
Şekil 5.38: 2 Numaralı kabuk strüktürü(tüm katmanlar).....	83
Şekil 5.39: Modelle üretilen Örnek 2'ye ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü ...	83
Şekil 5.40: Modelle üretilen Örnek 2'ye ait bina kabuğunun dıştan görünüşü	84
Şekil 5.41: Örnek 3'e ait yüzey planı.	84
Şekil 5.42: Örnek 3 kabuğun strüktürü.....	84
Şekil 5.43: Örnek 3 kabuk planı (şişen katmanlar).....	85
Şekil 5.44: Örnek 3 kabuk planı (tüm katmanlar)	85
Şekil 5.45: Örnek 3 kabuk yüzeyi	85
Şekil 5.46: Örnek 3 kabuk strüktürü.....	85
Şekil 5.47: Örnek 3 kabuk strüktürü (şişen katmanlar).	85
Şekil 5.48: Örnek 3 kabuk strüktürü (tüm katmanlar).	85
Şekil 5.49: Modelle üretilen Örnek 3'e ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü	86
Şekil 5.50: Modelle üretilen Örnek 3'e ait bina kabuğunun dıştan görünüşü	86
Şekil 5.51: Örnek 4'e ait yüzey planı.	87
Şekil 5.52: Örnek 4 kabuğun strüktürü.....	87
Şekil 5.53: Örnek 4 kabuk planı (şişen katmanlar).....	87
Şekil 5.54: Örnek 4 kabuk planı (tüm katmanlar)	87
Şekil 5.55: Örnek 4 kabuk yüzeyi	87
Şekil 5.56: Örnek 4 kabuk strüktürü.....	87
Şekil 5.57: Örnek 4 kabuk strüktürü (şişen katmanlar).	87
Şekil 5.58: Örnek 4 kabuk strüktürü (tüm katmanlar).	87
Şekil 5.59: Modelle üretilen Örnek 4'e ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü	88
Şekil 5.60: Modelle üretilen Örnek 4'e ait bina kabuğunun dıştan görünüşü	88
Şekil 5.61: Model kapsamında tasarlanan ısıl derecelendirme (gradient).	89
Şekil 5.62: Örnek 1'e ait Bina Kabuğunun Şekli (ocak).	89
Şekil 5.63: Örnek 2'ye ait Bina Kabuğunun Şekli (ocak).	90
Şekil 5.64: Örnek 3'e ait Bina Kabuğunun Şekli (ocak).	90
Şekil 5.65: Örnek 4'e ait Bina Kabuğunun Şekli (ocak).	91
Şekil 5.66: Örnek 1'e ait Bina Kabuğunun Şekli (haziran).	91
Şekil 5.67: Örnek 2'ye ait Bina Kabuğunun Şekli (haziran).	92
Şekil 5.68: Örnek 3'e ait Bina Kabuğunun Şekli (haziran).	92
Şekil 5.69: Örnek 4'e ait Bina Kabuğunun Şekli (haziran).	93
Şekil 5.70: Örnek 1'e ait Bina Kabuğunun Şekli (sabah).	93
Şekil 5.71: Örnek 2'ye ait Bina Kabuğunun Şekli (sabah).	94
Şekil 5.72: Örnek 3'e ait Bina Kabuğunun Şekli (sabah).	94
Şekil 5.73: Örnek 4'e ait Bina Kabuğunun Şekli (sabah).	95
Şekil 5.74: Örnek 1'e ait Bina Kabuğunun Şekli (öğlen).	95
Şekil 5.75: Örnek 2'ye ait Bina Kabuğunun Şekli (öğlen).	96
Şekil 5.76: Örnek 3'e ait Bina Kabuğunun Şekli (öğlen).	96
Şekil 5.77: Örnek 4'e ait Bina Kabuğunun Şekli (öğlen).	97
Şekil 5.78: Örnek 1'e ait Bina Kabuğunun Şekli (akşam).	97

Şekil 5.79: Örnek 2'ye ait Bina Kabuğunun Şekli (akşam).....	98
Şekil 5.80: Örnek 3'e ait Bina Kabuğunun Şekli (akşam).....	98
Şekil 5.81: Örnek 4'e ait Bina Kabuğunun Şekli (akşam).....	99

PERFORMANSA DAYALI ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIMI ÖZET

“Adaptif mimarlık” çevresel etkenlerin mimariyi etkili bir şekilde biçimlendirerek, bina içerisinde bulunan kullanıcının da konforlu ve ideal şartlar altında yaşam sürdürmesini sağlamaktadır. Bunların yanısıra “adaptif mimarlık” çevrenin korunması ve sürdürülebilirlik açısından da önemlidir.

Yaşadığımız mekanların sürekli olarak değiştiği dünyamızda, çevresel etkenler söz edilen değişimde büyük rol oynamaktadır. İklimsel farklılaşmanın sürekli olarak yaşandığı bölgelerde çevreye adapte olabilen binaların tasarlanması gerekmektedir.

Değişen iklimsel tasarım parametrelerinin gözlemlendiği günümüzde Performansa Dayalı Adaptif Binalar giderek önemli hale gelmektedir. Çevresel etkenlere göre değişebilen performansa dayalı adaptif bina kabukları binadaki yaşam konforunu artırmakta, binanın sürdürülebilir olmasını sağlamakta, işletim maliyetlerini azaltmakta ve bina ömrünün uzatılmasında önemli bir çözüm önerisi olarak görülmektedir.

Mimarlık disiplini günümüzde çok farklı disiplinlerle işbirliği yapmakta, tasarım sürecinde çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Performansa dayalı adaptif mimarlık bu yöntemlerin günümüzde en sık kullanılanlarından biridir. Mimarlık konularının pek çok değişkene bağlı olması bu konuların başta bilim, mühendislik ve sosyal alanlar ile birlikte irdelenmesi yaklaşımını ortaya çıkarmıştır. Tez kapsamında Performansa Dayalı Adaptif Binalar ile ilgili çeşitli tespitlerde bulunulmuş ve bu tespitler örnek analizleri üzerinde gösterilmiştir. Performansa Dayalı Tasarımdaki girdiler incelenmiş ve değerlendirilerek Adaptif Bina Kabuğu tasarlanması üzerindeki etkileri anlatılmıştır.

Tezin önemli bir kısmını performatif mimarlık, adaptif mimarlık, pnömatik mimarlık gibi günümüz teknolojilerinin ve mimari yaklaşımlarının değişimine paralel olarak gelişen konular oluşturmaktadır. Tez kapsamında, hesaplamalı parametrik tasarım araçlarının, adaptif sistemlerin tasarım süreçleri üzerindeki etkileri yazar tarafından geliştirilen örnek proje çalışması ile açıklanmıştır. Önerilen projenin tasarım sürecinde parametrik tabanlı tasarım araçlarının, performansa dayalı adaptif ve pnömatik sistem ilişkisi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Farklı sistem, morfoloji ve geometrilerin oluşturulmasına yönelik yazılımlar ve yöntemler ile performansa dayalı adaptif ve pnömatik morfolojilerin kontrolünü sağlayan algoritmalara dair araştırmalar örnek proje kapsamında aktarılmıştır.

Tez çalışması kapsamında kuramsal çalışmalar ve uygulama örnekleri değerlendirilmiştir. Kuramsal kısımda incelenen performatif mimarlık, adaptif mimarlık, pnömatik mimarlık, tarihte ve günümüzde, mimarlıkta nasıl yer buldukları, tasarım stratejileri ve örnek projeler gibi başlıklar altında incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur. Önerilen model ile üretilen adaptif kabuk tasarımının farklı mevsimlerde, gün içerisindeki farklı zaman dilimlerinde ve farklı yüzey şekilleri üzerinde uygulanması sonucu oluşan görseller ve bu görsellerin paralelinde oluşturulan çeşitli analizler kullanılarak sistemin nasıl çalıştığı açıklanmıştır. Sonuç ürünün verimli olup olmadığı izlenerek performatif bina

kabuğunun ne tür parametrelere göre değişebileceği araştırılmıştır. Tez kapsamında geliştirilen bilgisayar modelinde açık kaynak kodlu yazılımlardan da yararlanılmıştır.

Model önerisinde doğadan esinli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bitki gözenekleri olan stomaların hareketleri incelenmiştir. Stomalardaki sistematik basınç değişimleri modelin geliştirilmesinde farklı bir benzetim tekniğinin uygulanmasına esin kaynağı olmuştur. Bu yaklaşım sayesinde bina kabuğunun ısı konfor açısından optimizasyonu sağlanmış ve bu yöntem kullanılarak bina kabuğunun morfolojisini değiştiren çeşitli algoritmalar tasarlanmıştır. Modelin oluşturulmasında ve tasarlanan bina kabuğunun hareketinin sağlanmasında izlenen aşamalar bölüm içerisinde bulunan akış diyagramları ile anlatılmıştır.

Tezin sonuç ve tartışma bölümünde ise adaptif mimarlık, performatif mimarlık ve pnömatik mimarlığın gelecek potansiyelleri ile değişen kullanım alanları ve geliştirilen modelin gelecek potansiyelleri anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca, gelecekteki mimari yaklaşımlar ve mimarlık anlayışı konusunda öngörülerde bulunulmuştur.

PERFORMANCE BASED ADAPTIVE BUILDING ENVELOPE DESIGN SUMMARY

Adaptive architecture provides the user to live under the comfortable and ideal conditions in the building by forming the architecture with environmental factors. Addition to this, adaptive architecture is important regarding the protecting the environment and sustainability.

In the world which the conditions change constantly, the environmental factors play an important role. It is necessary to design adaptive buildings in which the climate changes occur permanently. Climate changing effects people and buildings. Especially global warming is really effective on the architectural styles and design methodology.

Sustainability is the one of the most popular concept. Especially in architecture and design topics it is more common. Performance Based Adaptive Buildings can provide people and architecture being sustainable. I think it is the best way of being adaptive to the environment by protecting nature and designing new buildings.

Performance Based Adaptive Buildings have become much more important in case of the changeable climate parameters. Performance Based Adaptive Building Shells, which can change according to the environmental factors, enhance the living comfort of the users, ensure the sustainability, reduce the operation costs and extend the life of the building thanks to integration the other disiplinary with the architecture.

Performance-based design may be generally considered an approach in which building performance becomes the guiding factor in design. Performance-based models in architecture may be defined as the exploitation of building performance simulation for the modification of geometrical form towards the objective of optimizing a candidate design.

Contemporary approaches to performance-based design are fundamentally different from conventional computer aided design simulation processes. Traditional simulation tools are premised upon the ability to simulate and evaluate performance of the object itself once it has been defined at an appropriate and desired level of resolution.

On the other hand, technology is developing day by day. Technological developments provide us to create new ideas and concepts about architecture and its styles. Artificial intelligence and the material researchs are the really important potentials for the Performance-based design.

Architectural concepts are changing by the technology and innovation. In the past “form follows function” as the important expression. At the present day form “follow performance” is the popular expression. Performative design methods are used widely by the architects that is famous.

Performance input can conceptualized by the smart computer that uses artificial intelligence. So, this is an important opportunity for humanity to create new architecture that is comfortable for building users and sustainable for the nature.

The architectural design has different methods. Performance based adaptive architecture is one of these methods. Because the architecture issues are related to lots of variables, it has become necessary to examine these issues with the other disciplines like engineering, natural and social sciences.

In this thesis, it has been evaluated severally in regarding to performance based adaptive architecture and these evaluations are shown via the example analyses. The inputs of the Performance Based Design are examined and the effects of these inputs upon the Adaptive Building Envelope are explained by evaluating the data.

The important part of the thesis is derived from the recently developing issues according to the changes in architectural approaches like the adaptive performative, and pneumatic architecture.

In this thesis, it is explained that the effects of computational design tools upon the design of the adaptive systems by author. In the design process of the project which is proposed, it is examined that the effects of the parametric based design tools upon the performance based adaptive and pneumatic systems.

It is clarified that the softwares which are used in constitution of the different systems, morphologies and geometries, the methods and the researches in regards to algorithms providing the control of the performance based adaptive and pneumatic morphologies within the project.

For the method of the proposal, nature inspired approach is used. The opening and closing of the stomas which are the pores of the plants are analyzed. These systematical pressure changes which are observed in the plants provide to use a different analogy technique for the application of the model.

Thanks to the nature inspired design approaches, the optimization of the building envelope according to the sun is ensured and the algorithms which are led to the changes in building morphology are created.

Within this thesis, it is evaluated that the theoretical works and application data. The performative, adaptive and pneumatic architecture which are explained in theoretical part of the thesis, are examined in terms of the place in architectural medium, design strategies and project examples. At the end of these examinations, some deductions are made.

In the application part of the thesis, it is examined how the adaptive envelopes reacts in the different time zones and different places and seasons. Also the algorithm is applied on different geometries to analyzed the forms which emerged according to the sun. These output are collected and evaluated to understand how the algorithm works.

The proposed model of the performance based adaptive and pneumatic envelope can be used existing buildings and also new buildings. Because it can be applied to the facade directly. Even for the historical buildings adaptive facades can be a option for protecting from weather conditions as sun, wind, rain and so on.

The proposed model of the performance based adaptive and pneumatic building has many potentials. This software and forms can be improved by the computers. Especially, Artificial intelligence is an important and innovation for the model proposal. Because computers can manage buildings as the parameters like sun, wind and so on.

Smart building envelopes that can be oriented to the sun is really an opportunity for a sustainable environment. Because, by using adaptive buildings, people spent less natural resources and provide building users more comfortable spaces.

Economic reasons are the important for the building users. If architects use performance based adaptive building, building users can have all these opportunities.

Outcome is affected differently according to the parameters. In terms of model proposal, the computer programs which related to the computational design are used.

In the conclusion part of the thesis, it is explained that the changing area of usage and the potential of the performative, adaptive and pneumatic architecture. Predictions are made according to the informations and theoretical base upon the future architectural approaches and intellect.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, durağan yapma (artificial) çevre sistemlerinin ve elemanlarının yerini alan ve değişen iklimsel parametreler ve çevresel etkilere cevap verebilecek performansa dayalı adaptif sistemlerin kullanımı günümüzde önemli bir yer tutmaktadır. Bu teknolojiler yardımıyla, yaşadığımız mekanlar çevresel etkenlerin değişkenliğine bağlı olarak değişmektedir. Küresel ısınmanın dünyayı etkilediği ve sürekli olarak iklimsel bir farklılaşmanın yaşandığı dünyamızda binalarda görsel, ısı, işitsel konforun sağlanması mimarının en önemli sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde mimarlık disiplini kendi alanının dışına taşıp eskisinden çok daha sıklıkla farklı bilim, mühendislik ve sosyal alanlarla işbirliği yapma fırsatı bulmaktadır. Bu sayede çevresel etkenler doğrultusunda performansa dayalı olarak değişebilen adaptif cepheler, binanın sunduğu yaşam konforunu artırmasının yanı sıra binanın sürdürülebilir olmasında, işletim maliyetlerinin azaltılmasında ve bina ömrünün uzatılmasında da önemli bir araştırma alanı olmuştur.

Tezin amacı adaptif bina teknolojilerinin uygulanmasına dair performansa dayalı bir pnömatik model önerisi sunmak ve üretilen model önerisi üzerinden adaptif mimarlık, performatif mimarlık ve pnömatik mimarlığı değerlendirerek avantajlarını ve potansiyellerini tartışmaktır. Ayrıca tezde, modelin farklı mevsimlerde, farklı zaman dilimlerinde ve farklı formlardaki bina kabuğu üzerinde uygulanması ile oluşan çıktıların değişen bina morfolojisi üzerindeki etkileri anlatılacaktır. Tezin sonucunda, modele dayalı olarak üretilen çıktılar ve kuramsal bilgilerden yola çıkılarak performansa dayalı adaptif ve pnömatik bina kabukları tartışılacaktır. Tezde öncül örneklerin tasarımında var olan tasarım çözümlerinin günümüz malzeme, form ve yapı birlikteliğinde ele alınması amaçlanmaktadır.

Performansa dayalı adaptif bina kabuğunun tasarlanmasında doğadan esinlenilmiştir. Tez kapsamında üretilen bu modelde bitki stomalarından esinlenilerek pnömatik kabuk sistemleri kullanılmıştır.

Performansa dayalı bina tasarımları günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevresel etkenler doğrultusunda performansa dayalı olarak oluşan tepkiler, bina kabuklarının ve cephelerin değişmesini ve farklı morfolojiler oluşturmalarını sağlar. Çevresel bir etkinin yaratacağı tepki performans açısından ilginç fırsatlar sunar. Tez kapsamında, çevreye, insana ya da bunlardan herhangi birinin ya da bir kısmının oluşturduğu etkiye bağlı olarak bina morfolojisinde veya plan çözümlerinde tepkisel değişimlere izin veren bu mimarlık kavramı ile tasarlanan binalardan bazı örnekler de sunulacaktır.

Adaptif mimarlıkla ilgili önemli konulardan biri olan sürdürülebilirlik ve çevre ilişkileri, örnek analizleri ve model önerisi bağlamında anlatılacaktır. Tezde, güncel mimarlık kavramlarının ve bu kavramların tasarımsal örneklerinin özellik ve potansiyellerinin, yazılım ve malzeme teknolojisinin de gelişmesine bağlı olarak değerlendirilmesi ve buna dair öngörü oluşturulması amaçlanmıştır.

Güneş hem ısı konfor açısından hem de görsel konfor (ışık dengesi) açısından belirleyici olan en büyük etkidir. Binaların çevre koşullarına adapte olabilmemesinin ve gerekli konfor koşullarını sağlayabilmesinin temelinde bina kabuklarında güneş kontrol sistemleri önemli yer tutmaktadır.

Güneşe göre kendini değiştirebilen performansa dayalı adaptif bina kabuğu modeli çevreye ve bina kullanıcılarına daha az maliyete daha çok konforlu mekanlar sunabilen binalar tasarlanmasına katkıda bulunmaktadır. Günümüzdeki enerji kullanım analizlerine bakıldığında bina kabuklarının bu kullanımda fazlasıyla katkısı olduğu görülebilmektedir. Bundan dolayı güneşe göre optimize edilmiş performansa dayalı adaptif (dinamik) bina kabukları ile bu sorunun çözümüne yönelik bir başlangıç yapılması amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı ve Yöntemi

Tezin kuramsal çerçevesini adaptif mimarlık, performatif mimarlık, pnömatik mimarlık ile ilgili araştırmalar oluşturmaktadır. Geliştirilecek mimari adaptif sistem önerisine ait verilerin oluşturulması amacıyla, performansa dayalı adaptif ve pnömatik sistem tasarımına yönelik mevcut kuramsal çalışmalar ve uygulamalardan örnekler incelenmiştir. Tez kapsamında, hesaplamalı parametrik tasarım araçlarının, adaptif sistemlerin tasarım süreçleri üzerindeki etkileri yazar tarafından geliştirilen örnek proje çalışması aracılığı ile okuyucuya aktarılmıştır. Önerilen projenin tasarım

sürecinde parametrik tabanlı tasarım araçlarının, performansa dayalı adaptif ve pnömatik sistem ilişkisi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Farklı sistem, morfoloji ve geometrilerin oluşturulmasına yönelik yazılımlar ve yöntemler ile performansa dayalı adaptif ve pnömatik morfolojilerin kontrolünü sağlayan algoritmalara dair araştırmalar örnek proje kapsamında aktarılmıştır.

Tez çalışması kuramsal çalışmalar ve uygulama olarak iki kısma ayrılmaktadır. Kuramsal çalışmalar kısmında, adaptif mimarlık kavramı ve bu kavramdan yararlanılarak yapılan tasarımlar incelenerek adaptif mimarlığın günümüzdeki yeri ve kullanım alanları ile potansiyelleri örnek projeler üzerinden incelenmiştir. Bu bölümde adaptif mimarlık kavramı üzerinden, adaptif mimari tasarımlarda doğal sistemler ve doğadan esinli tasarım yaklaşımları sonucu elde edilen çeşitli mimari sistem kurguları ile adaptif malzemeler anlatılmıştır. Adaptif mimarinin avantajları, potansiyelleri ve geleceği de örnek analizleri üzerinden tartışılmıştır.

Sonrasında, performatif mimarlık hem kuramsal olarak hem de uygulanmış projeler üzerinden anlatılmıştır. Aynı bölüm içerisinde mimarlıkta çevreye bağlı konfor problemleri ele alınmış ve bu problemlerin çözümünde kullanılan hesaplamalı tasarım ve üretim yöntemleri açıklanmıştır.

Tezin kuramsal olan son bölümünde, pnömatik mimarlık anlatılmaktadır. Bu bölümde pnömatik mimarlıktaki tasarım ilkeleri ile pnömatik mimarlığın avantajları ve potansiyelleri örnekler üzerinden tartışılmaktadır.

Tezin uygulama kısmında, yazar tarafından geliştirilen deneysel proje üzerinden, hesaplamalı parametrik tasarım araçlarının, adaptif ve pnömatik sistem tasarımı üzerindeki etkileri yapı performansı ile adaptif sistem ilişkileri “Visual Basic”, “Rhinoceros” ve eklentileri “Grasshopper ve Heliotrope” ile analiz edilerek incelenmiştir.

İnsanoğlu var olduğu ilk andan itibaren doğa ve doğa olaylarını gözlemlemiş ve bunlardan etkilenmiştir. Genellikle de doğa, doğa üstü güçler tarafından yönetilen bir sistem olarak algılanmıştır. İlk çağ filozofları doğanın temelindeki sistematığı anlayabilmek adına doğayı sezgileriyle ve gözlemleriyle analiz etmişlerdir. Bu uzun araştırmalarındaki gözlemlerini ve doğadan edindikleri bilgileri kaydederek doğa felsefesinin ilk temellerini oluşturmuşlardır. Geçen yüz yıllar içerisinde bu ilk felsefi

temeller üzerine yapılan çalışmalar bugünkü doğa kavramının temellerini oluşturmuştur.

Modelde, doğadan esinli bir tasarım yaklaşımı izlenmiştir. Tasarım yöntemi olarak doğadaki bitki gözenekleri olan stomaların hareketlerinin benzetimi kullanılmıştır. Modelde, stomaların şişme ve büzülme prensipleri incelenmiş ve hareketin benzetimi performansa dayalı adaptif ve pnömatik bina kabuğu modeline uygulanmıştır. Bu yöntemle kurgulanan algoritmalar aracılığıyla bina kabuğunun morfolojisi güneşe göre değişerek optimizasyonu sağlanmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen yazılımlar ve akış diyagramları iki aşamada tasarlanmıştır. İlk olarak veriyi alarak (gün içerisindeki zamana ve iklime dayalı iklim verisi ve güneşin konumu) bu veriyi işlemek amaçlanmıştır. Sonrasında bina morfolojisi değişerek adaptif ve pnömatik bir kabuk oluşturulmaktadır. Bunu takip eden aşamada, kabuk renklendirilerek sıcaklık diyagramı oluşturulabilmektedir. İkinci aşamada sonuç olarak uzman insana istenilen verimin elde edilip edilmediğini gösterebilecek bir dizi grafik sunulmaktadır. Bu grafiklerin sonucuna göre formun yeniden üretilerek önerilmesi veya forma tasarımcının müdahale edebilmesi imkanı da sunulabilecektir. Müdahalelerden sonra ortaya çıkan sonuç yeniden izlenebilecek ve ona göre tasarımcının adaptif ve pnömatik bir tasarıma dahil olmasıyla performansa dayalı ve interaktif bir tasarım süreci gerçekleştirilecektir.

Tezin sonuç bölümünde ise adaptif mimarlığın ve pnömatik mimarlığın uzman insana sağladığı kazanımlar, avantajlar, potansiyeller ile; model önerisinin kullanım alanları ve potansiyelleri sürdürülebilirlik kavramı kapsamında değerlendirilerek tartışılacaktır.

2.ADAPTİF MİMARLIK

2.1 Adaptif Mimarlığın Tanımı

Cepheler ve bina kabukları için adaptif kavramı ilk olarak 1980'lerin başlarında kullanılmaya başlanmıştır (Wigginton, 2002). Adaptif bina içerideki ve dışarıdaki koşulları değerlendirip ona göre tepki verebilen kendini değiştirebilen veya binadaki diğer sistemleri aktifleştirebilen binalar olarak tanımlanmaktadır (Atkin, 1998). Binaların yaşam süreçlerinde mevcut olan çevresel değişimler cephelerin ve bina kabuklarının da bunlara adapte olabilmesini gerekli kılmaktadır. İklimsel değişimler çevresel etkenlerin en belirleyici ve en çok etkili örnekleri olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Özellikle günümüzde küresel ısınma nedeniyle binalar ve kullanıcılar belirsiz iklimsel koşullara maruz kalmaktadır. Binanın çevreyle uyumlu olması bazı sınırlamalar ve doğal etmenlerle birlikte hareket ederek bina kabuğunun ya da cephelerin doğal çevreye ya da sonradan oluşturulan yapay çevresel koşullara adapte olması olarak tanımlanmaktadır (Ghamari, Asefi, 2010) . Binanın iç ve dış uyumunun sağlanmasında, cephelerin ve bina kabuklarının sistematiği ve kurguları, binaların yaşam süreçlerinde önemli yer tutmaktadır.

Adaptif cepheler çevresel şartlara uyumlu olarak hareket edebilen mekanik veya elektronik sistemler içeren çeşitli sensörler yardımıyla bina kabuğunda değişimlere ve yeni estetik kurgular oluşturulmasına izin veren cepheler olarak tanımlanmaktadır (Mozer, 1999). 20. yüzyıldan önce inşa edilen bina kabuklarının yeterince dinamik olmayışı ve çevresel etkilere adapte olamayışı bu binalardaki yaşam konforunu düşürmekte ve aynı zamanda binaların ömrünü azaltıp bina işletim maliyetlerini yükseltmektedir (Wigginton, 2002). Günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle hareketli cepheler ve bina kabukları tasarlanması, bu tür uyumsuzlukların daha aza indirilmesini sağlamakta ve binanın dinamik olmayışından kaynaklı olarak ortaya çıkan problemlerin çözümünde önemli rol oynamaktadır.

2.2 Adaptif Tasarım ve Doğal Sistemler

Mimarlar ve tasarımcılar yenilikçi tasarım arayışları ve bu arayışlara ilişkin problemleri çözmek için sürekli olarak esin kaynakları ararlar. Doğa yüzyıllardır bu esin kaynaklarının en önemlilerinden biri olmuştur. Doğadaki biyolojik formlar analogiler (benzerlik kurma) aracılığıyla tasarımcılara yeni ufuklar açmıştır. Bu çalışma pratiği biyomimikri-doğadan buluş olarak adlandırılır. Biyomimikri temelinde doğayı taklit etmek, doğadan esinlenmek olarak tanımlanıyor olsa da farklı disiplinlerin biyomimikri hakkında yapmış oldukları araştırmalarda daha zengin tanımlamalara rastlanmaktadır.

Biyomimikrinin tanımlanmasında farklı yaklaşımlar olduğu kadar mimaride uygulanma biçiminde de yöntem farklılıkları vardır. Günümüzde doğa araştırmalarında kullanılan teknolojinin gelişmesi sayesinde doğayla ilgili mikro ölçekteki ve nano ölçekteki bilgiler hızla keşfedilmekte ve edinilen bu yeni bilgiler ve sistemler hem tasarım hem de malzeme konusunda gelişmelere esin kaynağı olmaktadır.

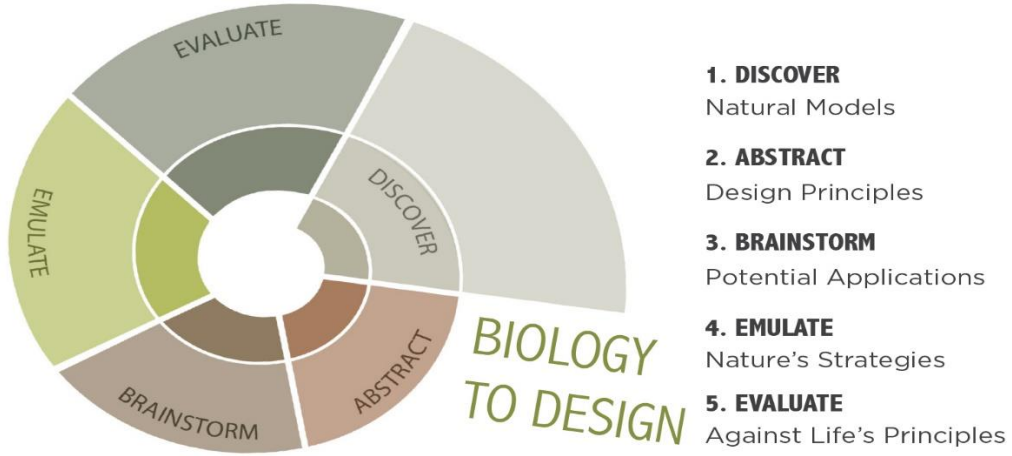
Doğadaki biyolojik formlar, doğal mekanizma veya sistemler analogiler (benzerlik kurma) aracılığıyla yapı morfolojisi ölçeğinden kontrol sistemlerine ve yapı malzemesi ölçeğine kadar geniş alanda tasarımcılara yeni ufuklar açmıştır. Bu çalışma pratiği biyomimikri-doğadan esinli (innovation inspired by nature) olarak adlandırılır (Volstad, Boks, 2012).

Biyomimikri kelimesi, yaşamın taklidi anlamına gelen yunanca kökenli bios (yaşam) ve mimikos (taklidini yapmak) kelimelerinin birleşiminden oluşur. 1962 yılında birçok alt başlığı da kapsayan genel bir terim olarak literatüre girmiştir (Pawlyn, 2011). Terim kapsamlı haliyle doğadaki biyolojik oluşumların yapı, fonksiyon, işleyiş ve süreçlerinin yapay mekanizmalarda kullanılmak üzere incelenmesi anlamını taşır.

Zaman içinde biyomimetik (biomimetics), biyonik (bionics), biyo-bilgi (biognosis), biyomorfik (biomorphic) gibi genişletilmiş yeni terimlerle ve biyofizik, biyomekanik gibi yeni gelişen disiplinlerle çevrelenmiştir. İlerleyen yıllar içerisinde doğadaki olguların analizini yapabilecek yeni teknolojilerin geliştirilmesi, araç ve doğanın süreç içerisindeki gelişiminin ve değişiminin incelenmesiyle edindiğimiz bilgi birikiminin

etkisiyle, günümüzde diğer bilim dallarından, mimarlık ve sanata kadar farklı disiplinlerde olan etkisi giderek artmaktadır.

Günümüzde biyomimikrinin çeşitli amaçlar için çok çeşitli yöntemlerle kullanılıyor olmasının temelinde 2 farklı yaklaşım öne çıkmaktadır. Bu yöntemler; biçimsel kaygılarla doğadan esinlenme ve analogiler aracılığıyla doğadaki işleyişi mimari formlara aktarma ve doğanın olgularıyla işleyişini bir model olarak özümseyerek mimari tasarıma aktarma olarak iki ana başlık altında toplanabilir (Şekil 2.1). Bu yöntemler kullanıldığı dönemlerde, o dönem içerisinde doğanın incelenmesi hakkında yapılan kuramsal ve teknolojik çalışmaların sonuçlarıyla orantılı olarak tasarıma etki etmiştir.



Şekil 2.1: Biyomimikri prensipleri (Url-1)

Aristo (MÖ 384-322) doğa ve evren hakkındaki temel düşüncelerini yazdığı Doğa Bilimleri Üzerine adlı kitabında, doğanın deneysel gözlemlere dayanan ve mantık yasaları doğrultusunda araştırılmasını savunduğu yöntemiyle, yalnızca felsefenin değil, günümüzde hala geçerliliğini koruyan çoğu bilim dalının temelini atmıştır (Topdemir, 2004). Örneğin Aristo için kertenkelenin ağaçta yukarı ve baş aşağı yürüyebilir olması garip gelirken bugün Stanford Üniversitesi'nde bir grup bilim insanının robotik çalışmalarıyla bu bilmece çözülerek kertenkelenin bu doğal kapasitesinden esinlenerek kertenkelenin hareket kabiliyetine sahip Stickybot robotu geliştirilmiştir (Autumn ve diğ., 2006).

Mimari anlamda biyomimikriye atıfta bulunan ilk yorum kuşkusuz De Architectura'nın yazarı, Romalı mimar ve mühendis Vitruvius'tan gelmiştir. 5.Kitap, 1.Bölüm'de mimarlığı doğanın taklidi olarak betimler ve başarılı bir mimarlık için

kullanışlılık, sağlamlık ve güzellik ilkelerinin gerekliliğini savunur. Güzel olanın ancak doğanın kendisinden  ğrenilebileceğinden ve doğanın güzelliklerinin evrensel bir oran ve simetride olmasından bahseder (Vitruvius, ?). Bu evrensel oran Leonardo Fibonacci'nin 1202 yılında tavşanların aylara göre üreme çizelgesinden çıkardığı matematiksel dizinden Adolf Zeising'in bu dizinde keşfettiği doğanın evrensel yasası olarak adlandırdığı altın orana varan araştırmalarının  nc  çalışması niteliğindedir. Zeising tarafından bulunan altın oranın, sonrasında yapılan çalışmalarda iskelet sistemi, insan yüzü, bitkilerin renklenmesi gibi doğal birçok yapıda bulunduğu gibi Antik Yunan yapısı Panthenon'da bulunduğu keşfedilmiştir. Ve hatta günümüzde altın oran hakkında çalışmalar birçok alanda devam etmektedir (Url-1).

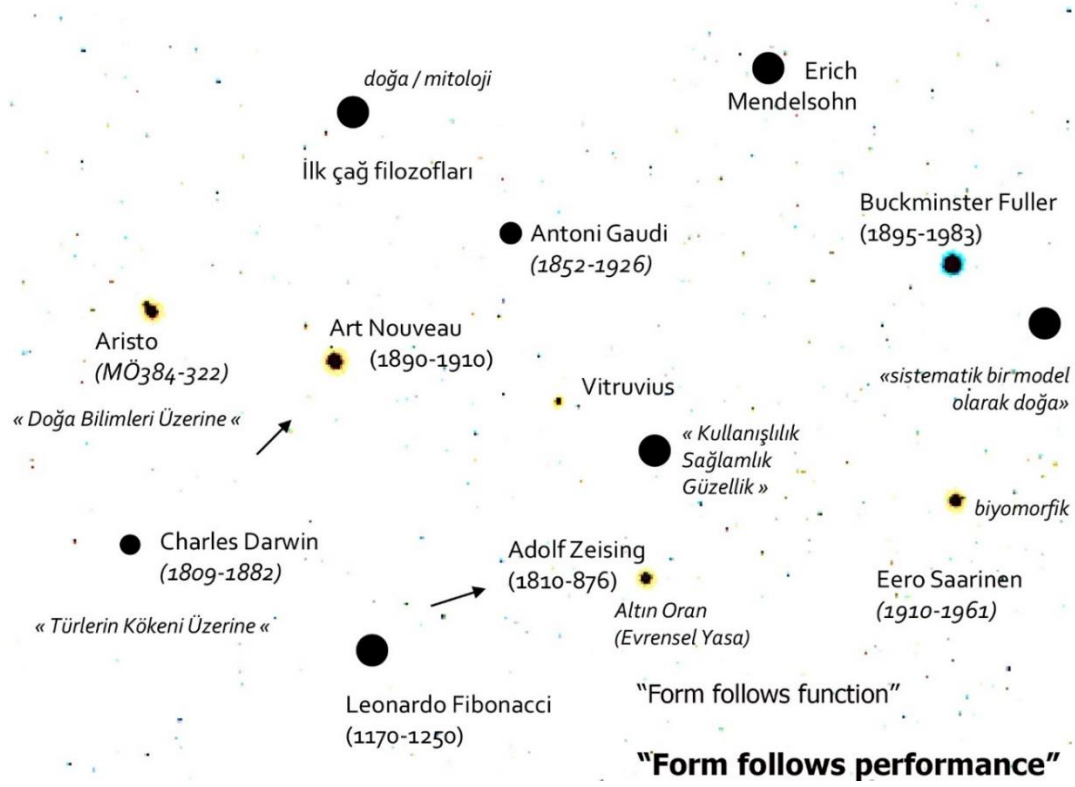
Adaptif binalar doğadaki sistemlerin uygulanış prensiplerini gerek form değişimleri olarak gerekse dış etkenlere karşı verdikleri tepkiler olarak uygulamak için tasarlanmışlardır. Bu sayede doğadaki bütün sistemler gibi kendilerini ve içerisinde yaşayanları (canlılar için içerisindeki organlar, hücreler vb.) konforlu hale getirmek için doğadaki sistematiklerin benzetimlerini yaparak tasarlanmışlardır. Binaların adaptif olması ilk olarak canlılardaki kendini korumak için sürekli hareket etme özelliği (dinamik olma), çevreyle birebir aynı desene sahip olma ya da gizlenme (kamufle olma)  zelliklerinden esinlenerek ortaya konulmuştur. Böylece adaptif binaların tasarlanmasında ilk olarak dinamik kabuk  nerisi, çevreyle uyum içinde olma önerisiyle birlikte kullanılarak verimli ve doğadan esinli adaptif tasarımların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Aynı zamanda bitkilerin besin sağlamak için mikroskobik ölçekte yaptıkları stoma (gözenekler) hareketleri de önemli birer örnektir. Bitkiler ihtiyaçları olan besinleri elde edebilmek için gözeneklerini güneşin olduğu zaman dilimlerine göre adapte ederek elde edecekleri besin miktarını fazlalaştırmaya çalışmaktadırlar.

Günümüz mimari örneklerinde konforlu bir binanın çevreyle uyumlu olması beklenmektedir. Bu sayede binalar hem  evre için hem de kullanıcıları için daha yararlı olabileceklerdir. Doğadaki sistemlerin taklid edilmesi ile binalar ve  evre arasındaki uyum sağlanabilmekte ve gereken verim elde edilebilmektedir. Sonuç olarak biyomimikri mimari ürünlerin daha verimli ve doğayla daha uyumlu olmasının sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Steele, 1960).

2.2.1 Doğadan Esinli Adaptif Sistemlerde Tasarım Stratejileri

Tarihsel Süreçte Biomimikri Mimari İlişkisi



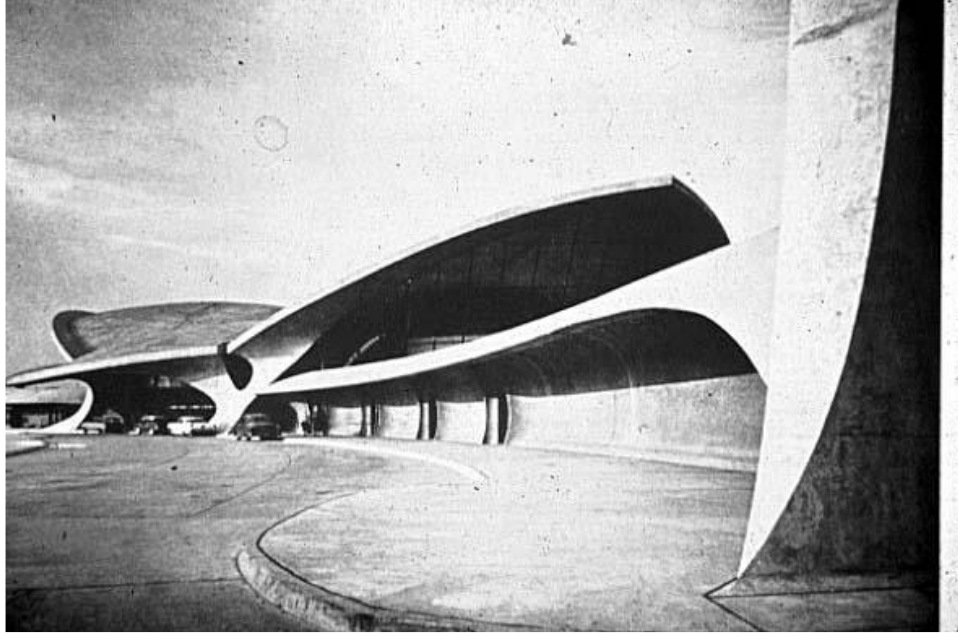
Şekil 2.2: Tarihsel süreç ve biyomimikri

Mimaride biyomimikrinin yöntem olarak kullanılmaya başlanması Charles Darwin'in (1809- 1882) 'Türlerin Kökeni Üzerine' (1859) kitabıyla biyoloji araştırmalarını ve doğal habitat kavramını paylaşmasıyla artmıştır (şekil 2.2). Darwin'in yaptığı araştırmalar döneminin tasarımcı ve sanatçıların ilgilerini doğaya yönlendirmiş ve 19.yy sonlarında estetik güzelliğin doğadan esinlenmesi sonucunda Art Nouveau akımı başlamıştır. Art Nouveau akımıyla yapı cephelerinde ve iç mekânlarında doğadaki organik formlar doğada var oldukları özgün halleriyle bezeme unsuru olarak kullanılmıştır. (bkz. Şekil 2.3)



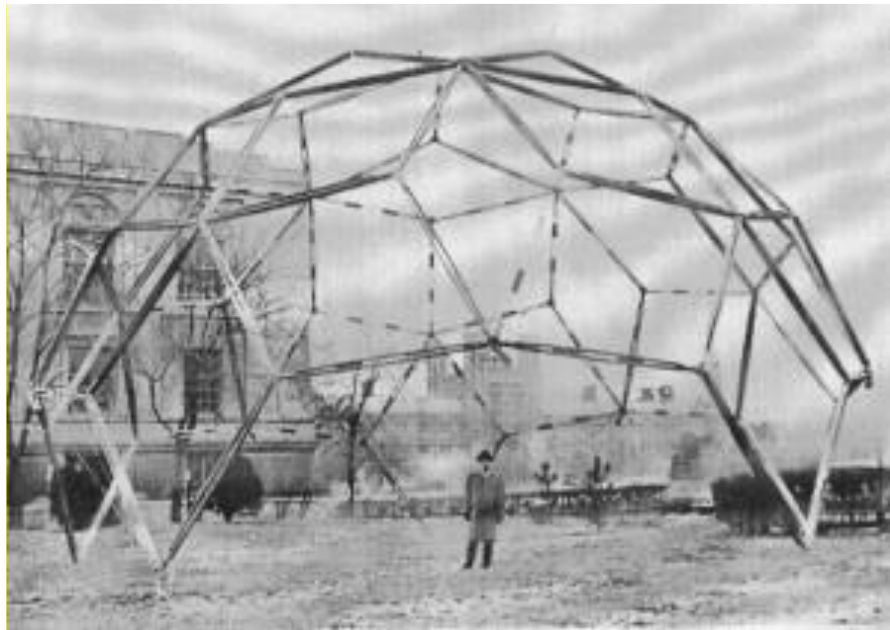
Şekil 2.3: Barcelona’da ağaç formunda kolon (Url-2)

Art Nouveau sonrası dönemlerde de mimarların biçimsel arayışları doğal canlılar ve formlarla sembolik ilişkiler kurmalarına ve bu ilişkileri soyutlayarak mimari tasarımda kullanmalarına sebep olmuştur. Örneğin Gaudi’nin Barselona’daki Casa Batllo yapısının tasarımında deniz yaşamındaki şekiller ve renkler etkili olmuştur. Erich Mendelsohn’ın Potsdam’daki Eisenteinturm binası, Le Corbusier’in Ronchamp Şapeli, Eero Saarinen’in New York’taki TWA Terminali (bkz. Şekil 2.4) Pawlyn’ın kitabında biyomorfik tasarıma örnek verilmektedir (Pawlyn, 2011).



Şekil 2.4: Saarinen'in TWA Terminali, 1962 (Url-3)

Buckminster Fuller mimari tasarımda doğayı sadece form olarak ele almanın ötesinde analiz ederek, doğayı sistematik bir model olarak kullanan ve doğadan bilinçli öğrenme sürecini başlatan öncülerden kabul edilmektedir (Fuller 1969). Tasarımlarında doğanın prensiplerini uygulama arayışıyla, hafif ve dinamik şekilleri geometrik modüler sistemlere dönüştürmüştür. 1940'larda Fuller'in karmaşık üçgen ağından oluşan küresel bir strüktür olarak jeodezik kubbeyi icat etmesi biyomimikrinin model olarak kullanıldığı ilk proje olarak kabul edilmektedir (bkz. Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Fuller'in Jeodezik Kubbesi (Url-4)

Fuller bu projedeki yaklaşımını “Kütleler yok, nesneler de. Özündeki prensipte sadece birbiriyle çakışan ve çakışmayan örüntüler etkin ve bu özdeki prensipler sonsuzdur” diyerek özetlemiştir (Fuller, 1969).

Bütün bu tarihsel süreç içerisinde tartışılan ve bu tartışmalara bağlı olarak değişen şey doğadan esinli sistemlerin nasıl tasarlanacağını yanında ,tasarımın ne tür ilkelere bağlı kalınarak sonuçlandırılacağıdır. Örneğin ‘‘Biçim işlevi takip eder (form follows function)’’ 20.yüzyılda mimarlık alanında geçerli olmuş bir yaklaşım olmasına rağmen günümüzde ‘‘Biçim performansı takip eder ‘‘(form follows performance)’’ şeklindeki yaklaşımlar prensip olarak öne çıkmaktadır (Hensel ve Menges, 2008).

“Biçimin performansı takip etmesi” prensibi doğadaki sistemlerden esinlenilerek verimli sistemler oluşturmaktır. Doğadaki sistemlerden esinlenme özellikle çevresel şartlara uyum konusunda binalarda fazlasıyla öne çıkmaktadır. Adaptif binalar doğadaki süreçlerde benzetime dayalı önemli örneklerdendir. Binaların çevresel etkilere ve değişen şartlara tepki vererek kendilerini daha konforlu hale getirmeleri, doğadaki canlıların kendilerini optimize etmeye çalışmaları ile aynı prensiple işlemektedir.

Günümüzde doğadan esinli adaptif tasarım stratejilerinde formun performansı takip etmesi sonucu inşa edilen binalarda doğadaki sistemler performans yönünden esinlenerek binaya veya bina elemanlarına çeşitli hareket imkanları verilerek esnek tasarım anlayışı öne çıkarılmıştır (Url-1). Adaptif bina tasarımlarındaki doğal sistemlerde esinlenmeler sonucu biyolojik olan herşeyin optimize olduğu düşüncesi ile aynı sistematiği binalarda uygulama fikri üzerinde çalışılmaktadır. Hareket eden adaptif bina kabukları doğadaki yönelme, açılıp-kapanma ve morfoloji değiştirme gibi hareketleri uygulayarak çeşitli doğadan esinli mimari kurgular geliştirilmesini sağlamıştır.

2.2.2 Doğadan Esinli Adaptif Sistemlerde Malzemeler

J. Benyus 20. Yüzyılın sonunda yayınladığı kitapta biyomimikriyle doğayı gözlemleyerek yapılan tasarımların, artık doğayı sadece bir model olarak görmeyle değil ve doğadan bir karşılaştırma ölçütü (as a measure) ve bir akıl hocası (as a mentor) olarak dersler alınarak yapıldığını anlatmaktadır (Benyus, 1998). Benyus’un bahsettiği gözlem, öğrenme ve farkındalık süreçlerinin sonunda malzemelerin gereksinim duyulan sağlamlığı, hafifliği, dinamik ve statik yüklere dayanımını, enerji

korunumu sağlayan biçimsel ve yapısal özellikleri, sessizliği, kendini onarabilme gibi özelliklerinin oluşturulabiliyor oluşu birçok bilim insanının ve tasarımcıların dikkatini doğadaki oluşumlara yöneltmiştir (Url-12). Bugün doğayı gözlemlemek, doğadan edinilen bilgileri modellemek ve test etmek için kullanılan teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi, biyomimikri araştırmalarının mimari tasarımda kullanıldığı alanları da arttırmaktadır.

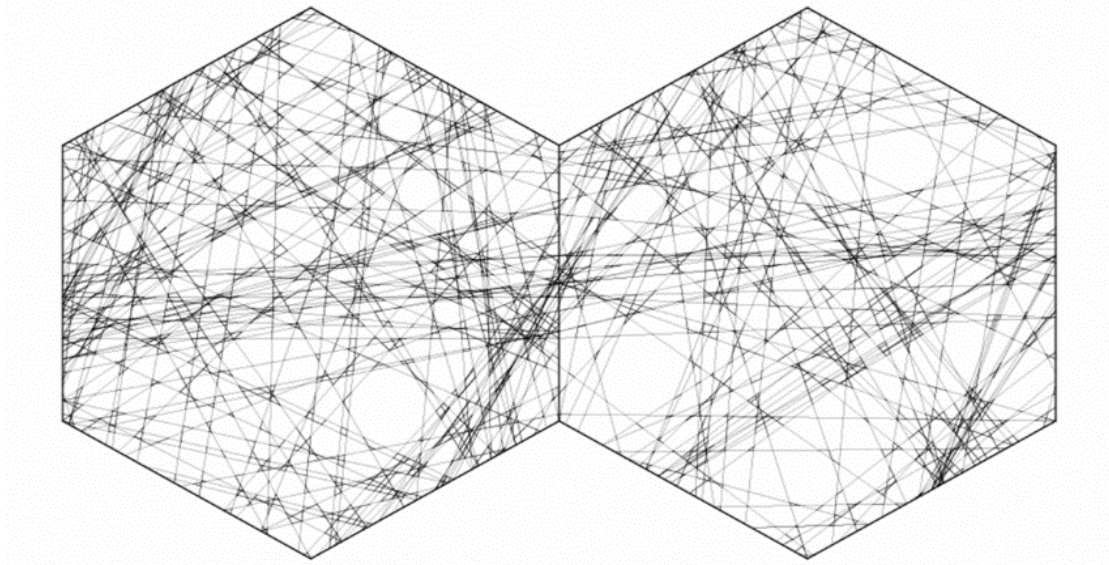
Çalışmanın bu bölümünde, doğanın olgularını ve işleyişini bir model olarak özümseyerek mimari tasarıma aktarma temeliyle yapılan günümüz projelerinden örnekler verilecek, biyomimikrinin teknoloji ile etkileşimi sonucu açığa çıkan yöntemlerden bir kısmı sıralanacaktır. Bu alışmalar leğine göre, malzeme ölçeğinde araştırma ve keşifler, malzeme ölçeğindeki yapılan araştırmaları yapısal ölçeğe taşımış projeler ve yapısal ölçekte çalışmalar olarak üç genel başlıkta toparlanmıştır (bkz. şekil 2.6).

Doğadaki oluşumların nano ölçekte incelenabiliyor olması, biyomimikrinin malzeme ölçeğinde araştırmalarda kullanılmasına olanak tanımıştır. Malzeme alanındaki doğadan buluş-biyomimikri yaklaşımıyla üretilen çalışmalar çok çeşitlidir. Bu çalışmaların büyük bir bölümü mevcut malzemenin yapısal özelliğini iyileştirmek için yapılmıştır. Bunun dışında organik canlıları kullanarak mevcut malzemenin bir nevi yaşayan hale getirilmesi amacıyla veya organik canlıların yaşamsal özelliklerinden esinlenerek yeni malzemeler keşfetmek amacıyla kullanıldığı çalışmalar da vardır. Hatta malzeme ölçeğindeki bu araştırmaların, yapısal ölçekte de değerlendirildiği projeler yapılmaktadır. Bu projeler, malzeme ölçeğindeki yapılan araştırmaları yapısal ölçeğe taşımış projeler başlığı altında değerlendirilmiştir.



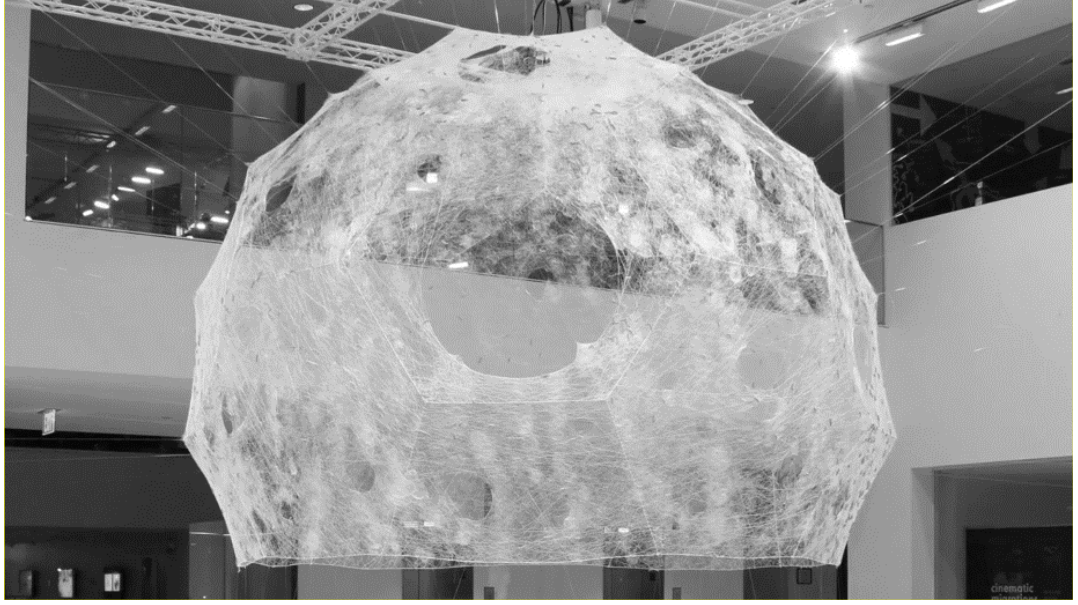
şekil 2.6: Malzeme teknolojisinde biyomimikrinin inceleneceği 3 ana başlık (Url-5), (Url-6), (Url-7)

MIT Medya Laboratuvarı'nda araştırmalar yapan Mediated Matter grubunun kurucusu Oxman, Prof. Omenetto (TUFTS Üniversitesi) ve Dr. Weaver (WYSS Institute, Harvard Üniversitesi) işbirliğinde araştırmacılar Markus Kayser, Jared Laucks, Carlos David Gonzalez Uribe, Jorge Duro-Royo 6500 ipek böceğinin dokuduğı ağısı yüzey 'Silk Pavilion'u MIT Medya Laboratuvarı'nda biyomimetik yöntemlerle üretmişlerdir. Malzeme ölçeğinde yapılan araştırmaları yapısal ölçeğe taşıyan çalışmalara örnek olan bu projede ipekböceğinin 3 boyutlu koza üretme yeteneğinden esinlenilmiştir. Tasarım aynı zamanda adaptif bir tasarım olarak kurgulanmıştır. Bütün sistemler ipek böceğinin yaşam kurgusundaki adaptif kabuk oluşturma hareketleri ile kozayı şekillendirmesine dayandırılmıştır. İlk etapta ipek böceklerinin kozalarını hangi hareketleri kullanarak ürettikleri ile ilgili araştırmalar yapılmış; bu araştırmalar sonucu üretilen algoritma ile 26 çokgen panele CNC makinelerin farklı açılarda döndürülmesiyle ipek işlemesi sağlanarak 'Silk Pavilion'un ilk formu oluşturulmuştur (Oxman ve diğ., 2014). (bkz. şekil 2.7)



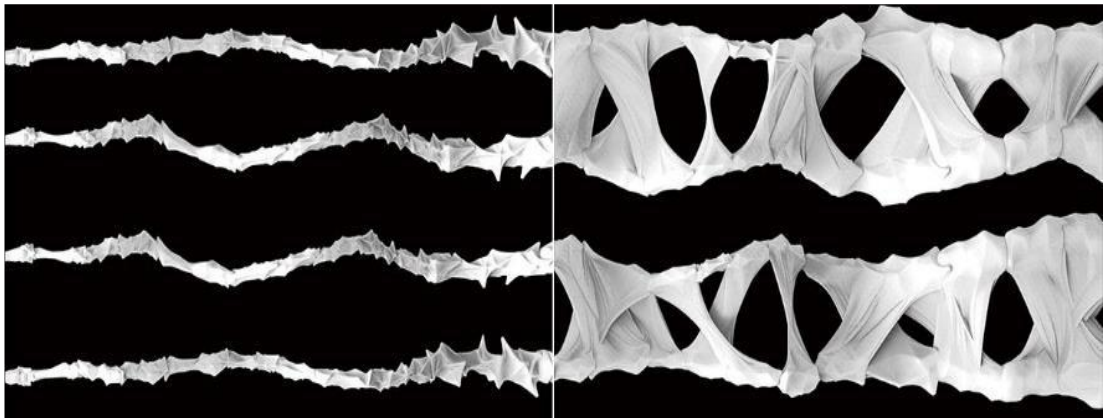
şekil 2.7: İpek böceğinin kozasını oluştururken izlediğı yolun hesaplamaları (Url-8)

6500 ipek böceğı pavyonun alt kısımlarına yerleştirilerek 3 boyutlu baskı makinesinin biyolojik hali gibi (biological 'printer') CNC ile üretilen ilk form üzerine ikincil ağı örmesi sağlanır. Pupa dönemi sonunda ipek böcekleri ağısı dokudan uzaklaştırılır (bkz. şekil 3.8).



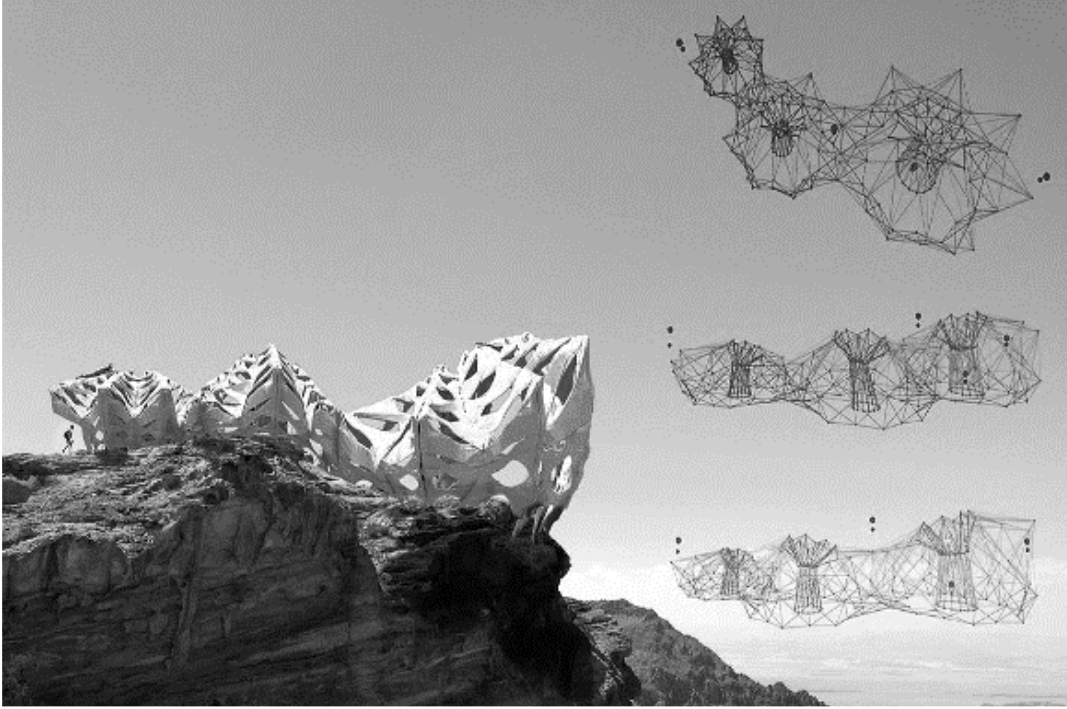
Şekil 2.8: 6500 ipek böceği CNC ile üretilen birincil ağ üzerinde oluşturdukları ağsı doku (Url-9)

Malzeme ölçeğinde yapılan araştırmaların yapısal ölçeğe taşınmasıyla ilgili verilebilecek ikinci örnek proje de, Bartlett Mimarlık Okulu yüksek lisans tezi kapsamında öğrenciler Kazushi Miyamoto, Youngseok Doo, ve Theodora Maria Moudatsou tarafından yapılan Artırılmış Kabuk (*Augmented Skin*) projesidir. Projede, insan vücudundaki iskelet sisteminden esinlenerek, temel taşıyıcı olarak iskelet benzeri strüktür ve deri benzeri esnek ve opak malzemenin birleştirilmesiyle hibrid bir malzeme tasarlanmıştır (bkz. Şekil 2.9) (Oxman, 2013). Tasarım ekibi bu malzemenin prensiplerini sayısal ortamda algoritmalarla çoğaltarak sandalye, pavyon, köprü gibi farklı ölçeklerde yapıların formunu oluşturmuştur.



Şekil 2.9: Sayısal olarak modellenmiş hibrid eleman: strüktür ve kabuk (strand+skin) (Url-10)

Yüzey deformasyonu sağlamak, strüktürel denemeleri yapmak amacıyla dijital simulasyonu yapılmış, geliştirilen hibrid bileşen, farklı ölçeklerde projelere prensip olarak aktarılmıştır (bkz. Şekil 2.10).

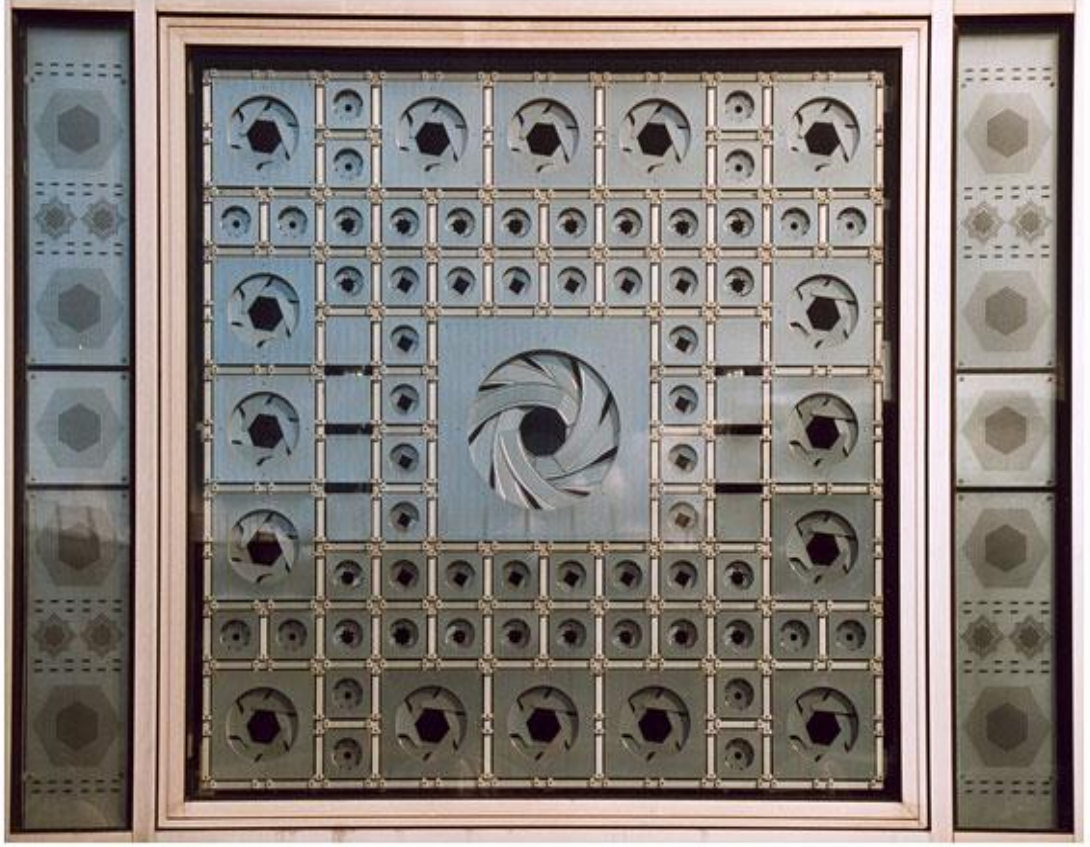


Şekil 2.10 : “ Augmented Skin” pavyon tasarımı (Url-11)

R.Soar ve S.Turner Endüstriyel Akıllı Yapı Konferansı’nda (2008) yayınlanan ‘Biyomimikrinin Ötesinde’ makalesinde, doğayı sadece taklit etmenin üstünde tuttuğu yapıların kendi kendilerine canlı olması fikrini ortaya atmış ve Loughborough Üniversitesi tasarım stüdyolarında yaşayan yapıların tasarlanmasıyla ilgili çalışmalarını aktarmıştır (Soar ve Turner, 2008). Aynı şekilde, Oxman da yeni mimarlık modelini “bir organizma olarak dünya (the world as organism)” ifadesiyle tanımlayarak, mimarlık alanında yapılan araştırmalar neticesinde organizma gibi davranan ve gerektiğinde çevreye adapte olabilen tasarımlar yapmanın önemini belirtmiştir (Oxman, 2013).

Adaptif mimaride kullanılan malzemelerin pek çoğu doğadaki dinamiklik ve optimizasyondan esinlenerek tasarlanmıştır. Adaptif mimaride malzemeler mikro ölçekte (1 cm den küçük) ve makro ölçekte (10 cm den büyük) olmak üzere ikiye ayrılır. Nano malzeme çalışmaları da mikro ölçeğin içinde değerlendirilmektedir (Dmitrov, 2009). Adaptif malzemeler malzemenin elastikliğini, genleşme ile bükülme özelliklerini, genleşerek katlanma özelliğini kullanarak değişik morfolojilerin

oluşmasını sağlamaktadır. Örneğin Jean Nouvel'in tasarlamış olduğu cephede malzeme, sıcaklığı ölçerek genişleme katsayısını kullanarak büzüşebilmekte ve gerektiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak genişmekte ve yüzeyin açılmasını sağlamaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Malzeme davranışları ile yapılan Arab World Institute Jean Nouvel
(Url-12)

Malzeme davranışlarını kullanarak tasarlanan cephelerde dinamizm malzemenin özelliğinden kaynaklandığı için, hareketler enerji harcamadan sadece çevresel etkilerle sağlanabilmektedir.

2.3 Adaptif Mimarinin Avantajları

Adaptif cepheler mimari açıdan pek çok avantajlar sağlamaktadır. Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının kullanıldığı sistemlerde aktif sistemlerin yerine pasif sistemler daha büyük oranda kullanılmaktadır (Ghamari ve Asefi, 2010). Çevreye ve değişimlere uyabilen cephe ve bina kabuğu sistemlerinin optimizasyona yönelik olması ve bu optimizasyonun da çeşitli algoritmalarla yapılması kullanıcı ve çevre açısından çeşitli avantajlar sağlamaktadırlar. Kullanıcı açısından avantajları; başta

kullanıcıya konfor sağlaması olmak üzere, bina ömrünün uzaması, işletim maliyetlerinin azalması ve yeni estetik kurgulara izin vermesi (farkındalık yaratabilmesi) olarak sıralanabilir. Binanın çevre açısından avantajları ise; hava kirliliğinin azaltılması, sürdürülebilirliğin (enerji korunumuna bağlı olarak) sağlanmasıdır.

Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının kullanıldığı binalarda konfor problemlerine yönelik çözümlerin üretilmesi kolaylıkla sağlanabilmektedir. Özellikle cephedeki dinamiklik (hareket edebilme özelliği) binanın çevreye hızlıca adapte olmasını ve kullanıcı ihtiyaçlarına çözümler bulabilmesini sağlamaktadır. Bu da binanın hiç enerji harcamadan veya çok az harcayarak yalnızca dış çevredeki enerjiyi veya farklılıkları kullanarak yaşamını (building life-cycle) sürdürmesine yardımcı olmaktadır.

Cephenin veya bina kabuğunun dinamik olması binanın kalıcılığı yani ömrü açısından da önemlidir. Cepheleri sayesinde doğadaki değişimlere ayak uydurabilen binalar çevresel değişimlerin etkilerini de tolere edebildikleri için daha kalıcı olabilirler. Aynı zamanda cephenin veya bina kabuğunun esnek ve dinamik oluşu, binanın çevresel etkenler nedeniyle zarar görmesinin de önüne geçebilmektedir.

Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının kullanıldığı binalarda enerji giderleri ve dolayısıyla da işletme maliyetleri azalmaktadır. Çünkü cepheler ve bina kabukları kendisi için gereken enerjiyi ya dışarıdan sağlamakta ya da daha önce dışarıdan sağlayıp depoladığı enerjiyi kullanmakta ve gereken yerlere bu enerjiyi yönlendirmektedir. Parametrik olarak tasarlanan bazı cephelerde konfor parametrelerinin algoritmalarla hesaplanması ile uygun ortam pasif sistemlerin kullanılması ile enerji ve işletme maliyeti olmadan (ya da çok az bir maliyetle) sağlanabilmektedir. Adaptif cephelerin kullanımıyla günümüzde dışarıdan enerji alınmamasının yanı sıra bazı durumlarda ve bölgelerde binayı işletenler tarafından dışarıya elektrik enerjisi bile satılabilmektedir.

Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının en önemli özelliklerinden biri de, estetik kurgulara izin veren bir esnekliğe sahip olmasıdır. Binanın dinamik oluşu fark edilirliliğini de artırmakta ve aynı zamanda günün farklı zamanlarında ya da senenin farklı mevsimlerinde farklı bir mimari kompozisyon ortaya çıkarabilmektedir (Drozdowski, 2011). Parametrik olarak tasarlanan cephelerde ve bina kabuklarında

oluşan değişimler estetik olarak farkındalık yaratmakta ve çeşitli örüntülerin oluşmasını da sağlamaktadır.

Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının kullanıldığı binalardaki en önemli kavramlardan birisi de sürdürülebilirliktir. Sürdürülebilirlik binanın çevreyle uyumlu olmasının ve pasif sistemleri aktif sistemlere göre daha fazla kullanmasının bir sonucudur. Günümüzdeki önemli mimari parametrelerden biri de cephelerin ve bina kabuklarının çevreye duyarlı olmasıdır. Bu sayede hava kirliliğinin önüne geçilebilecek ve CO2 emisyonu azaltılarak çevrenin daha yaşanılabilir bir yer olması sağlanacaktır (Boyle, 2004).

2.4 Adaptif Mimarinin Potansiyelleri ve Geleceği

Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının potansiyel uygulama alanları günümüzdeki gelişmelere paralel olarak artmaktadır. Adaptif cephelerin ve bina kabuklarının potansiyellerinin artmasındaki en önemli etkenler karar destek mekanizmalarının gelişmesi, malzeme teknolojisinin ve tasarıma ve üretime yardımcı olan programların ara yüzlerinin gelişmesi olarak sıralanabilirler.

Karar destek mekanizmaları adaptif cephelerin verimli olabilmesi için yazılmış olan çeşitli algoritmik sistemler ile mekanik ve ölçüm sistemlerinin bir arada kullanıldığı sistemlerdir. İnsan zekası gibi çalışan ve insan hesaplama kapasitesinin çok daha üzerinde hassaslıkta (nümerik) analizler yapabilen mekanizmalar yapay zekanın günümüzdeki kullanımlarının daha da gelişmesiyle insan konforu için bekleneni daha iyi karşılayabileceklerdir. Aynı zamanda insanlar için çeşitli estetik kurgular içeren sanatsal çalışmalara bile katkıda bulunabileceklerdir.

Malzeme teknolojisinin gelişmesi cephelerin ve bina kabuklarının dinamik olması açısından önemlidir. Günümüzde kullanılan eklemlenebilir ve prefabrik yapı elemanları yapının dinamik olmasına yardımcı olmaktadır. Cephelerin ve bina kabuklarının dinamik olmasına katkıda bulunan malzemelerin daha da çeşitlenmesi ve daha farklı kullanımlara olanak sağlayan yeni malzeme türevlerinin (nano-teknolojinin gelişmesi) üretilmesi dinamik cephelerin kullanılmasında büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Tasarıma yardımcı programlar günümüzde bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD-CAM) sistemleri olarak yaygın kullanılan programlar olmasına karşın

gelecekte daha çok gelişeceği düşünölen bir alandır. Gelecekte hesaplamalı tasarım sistemleri bina kabuklarının üretiminde kullanılacak olan mimari bileşenleri tasarlayarak cephelerin ve bina kabuklarının inşasında önemli olacaklardır.

2.5 Adaptif Mimari Örnekleri ve Analizleri

Örnek Analizi -1:

SUNY Stone Brooke Fakölte Binası Simons Geometri ve Fizik Merkezi Lobisi

Genel bilgi

Stuny Brooke Vakfı tarafından yaptırılan bina, doğayla uyumu olan ve dış mekan ile iç mekanın gerektiğinde izole olmasını sağlayan gerektiğinde ise birlikte hareket eden şekilde tasarlanmıştır. Bu gelişmiş mekanik sistemlerin tasarımı ve uygulanması aşamalarında farklı disiplinlerin bir arada çalışması gerekliliğı kaçınılmaz zengin bir çeşitlilik sunmaktadır. Ölçek büyüdükçe sistemler daha karmaşık gözükseler de, mekanizmalarının çalışma prensibi küçüğünden büyüğüne uyumlu bir basitlikle sağlanmaktadır. Cephede hesaplamalı adaptif sistemler kullanılmıştır (Şekil 2.12).



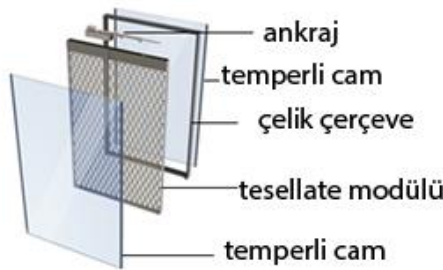
Şekil 2.12: SUNY Stone Brooke Fakölte Binası Simons Geometri ve Fizik Merkezi lobisi cephesi (içten) (Url-13)

Tasarım süreci

Bina tasarım sürecinde hesaplamalı tasarım sistemleri ile tasarlanmıştır. Aynı zamanda üretilen cephe elemanları da bilgisayar destekli üretim sistemleri ile üretilmiştir. Tasarım ve üretim aşamasında mekanik sistemlerin kontrolünde olan örüntü (pattern) belirli bir algoritma ile tasarlanmıştır. Geometrinin temel birimleri olan üçgen, dörtgen, altıgen gibi geometrik şekiller ile birbirlerini sistematik ve algoritmik olarak tamamlayan dokular ve örüntüler görülmektedir. Bütün bu sistematik davranışlar cephenin geçirgenliğini değiştirmeyi sağlamaktadır.

Malzemeler

Cephenin tasarımında kullanılan malzemeler paneller halinde seçilmiştir. Paneller çelik raylara oturtularak cephenin belirli bir doğrultuda kayabilmesini sağlayacak şekilde uygulanmıştır. ‘‘Tesellate’’ adı verilen bu mekanik-mimari sistemde dokular birbiriyle üst üste gelerek ışık geçirgenliğini ayarlayabilirken aynı zamanda estetik bir kurgu oluşturmaktadırlar. Üst üste gelerek farklı motiflerin oluşturulması mekanik sistemler ile yapılmaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Tesellate sistemi katmanları (Url-14)



Şekil 2.14: Geçirgenliği yüksek hale getirilmiş bir modül (kapalı hava) (Url-15)

Karar destek sistemleri

Bina ışık miktarı sensörlerle ölçülmekte ve gerektiğinde ışık miktarını değiştirmek için daha az karmışık hale gelebilmektedir. Bu sayede güneş ışığının kullanımı pasif olarak sağlanmaktadır (Şekil 2.14). Aynı zamanda yazın sıcak olması nedeniyle model daha az geçirgen hale gelerek güneş koruyucu görevini görmektedir. Panellerin opaklık oranı bu kontrolle %10 ile %85 arasında değişebilmektedir (Şekil 2.15). Simons Merkezi lobisinde 124m²'lik bir cam alanı kaplayan paneller, bu şekilde lobideki ışık

düzeyi ve ısı konforu sağlarken, oluşturdukları değişken motiflerle mekana hareket katarak dinamik mekan kurgusuna katkıda bulunmaktadır.



Şekil 2.15: Tesellate adı verilen sistem ile oluşturulan geometrik dokuların çakıştırılması ile geçirgenlik ayarlamasının yapılması (Url-16)

Sonuçlar

SUNY Stone Brooke Fakülte Binası Simons Geometri ve Fizik Merkezi lobisi cephesi sayesinde bina “LEED GOLD” sertifikası için aday olarak gösterilmektedir. Çevreyle uyumlu olmasında ve kullanıcı konforu sağlamasında cephesindeki adaptif sistemler ile algoritmalarla tasarlanmış olan cephe örüntüleri ve çeşitli durumlara uygun tepkiler verebilen karar destek mekanizmaları önemli yer tutmaktadır.

Örnek Analizi -2:

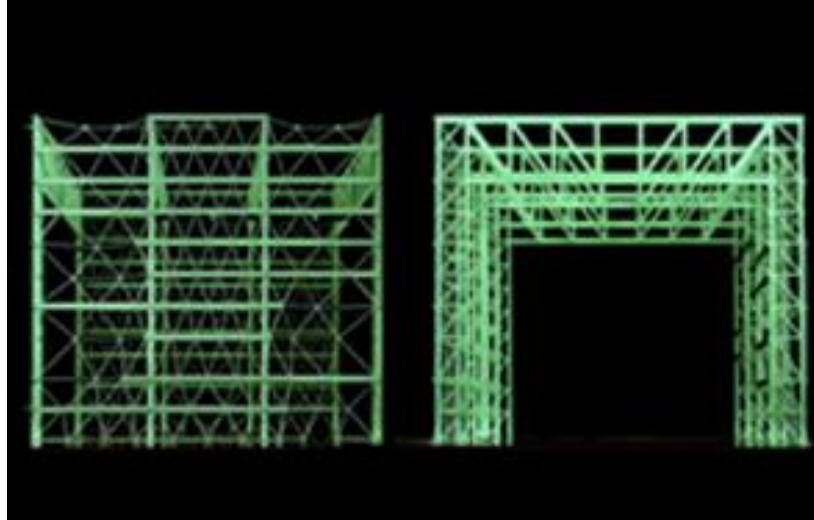
Medya-TIC Ofis Binası 22@Barselona Bölgesi –Barselona-İspanya

Genel bilgi

Media-TIC binası Barselona’da “22 @ Barselona bölgesinde” bilgi işlem ve teknoloji projelerinin araştırma ve geliştirmelerinin yapıldığı, üretildiği ve bu teknolojilerin sergilendiği önemli bir referans noktasıdır. Barselona 22@ bölgesi son yıllarda Avrupa kentsel dönüşümünün en önemli projelerinden biridir. 20. yüzyılda İspanya’nın Katalan bölgesinin önemli sanayi merkezlerinden olan bu bölgede, günümüzde endüstriyel bölge olmaktan çok, sosyal ve sürdürülebilir bir kentleşme yolunda önemli adımlar atılmaktadır. Sürdürülebilir çevre için 200 hektardan fazla alan ayrılmıştır. Bu alanlarda tekno-kentler tıp ve bilgi teknolojileri ile sanat sergileri önemli yer tutmaktadırlar (Şekil 2.16 ve 2.17).



Şekil 2.16: Media–TIC cephesi kısmen açık halde iken (Url-17)

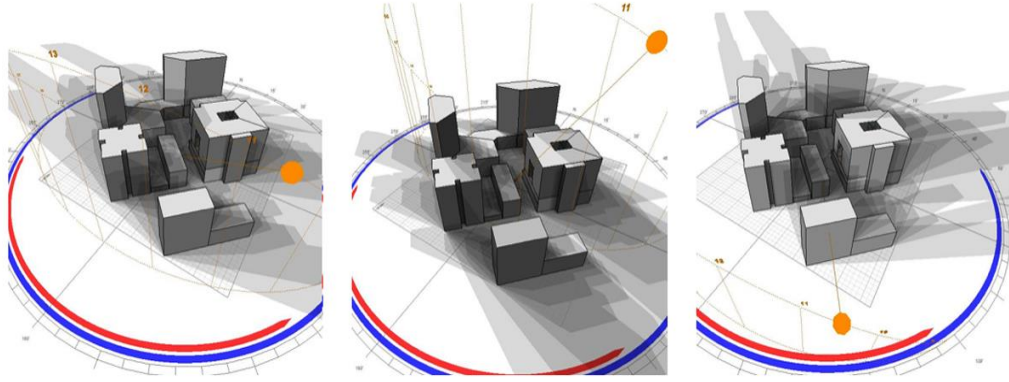


Şekil 2.17: Bina taşıyıcı strüktürü (Url-18)

Tasarım süreci

Media-TIC binası Enric Ruiz Geli tarafından Cloud 9 mimarlık ofisi bünyesinde tasarlanmıştır. 23,102 metrekarelik inşaat alanı içerisinde iletişim teknolojilerinin ve ofislerin yanı sıra sosyal donatıyı güçlendirecek sergi alanları eğitim ve toplantı merkezleri de bulunmaktadır.

Bina sürdürülebilir bir anlayışla tasarlanmıştır. Günde 6 saatten fazla güneş alınacak şekilde konumlandırılan binanın tasarımında CAD-CAM programları ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Binanın mekanik olması, malzeme çeşitlerindeki farklılıklar bunların analizlerini yapan çeşitli yazılımlarla simüle edilerek gereken önlemler alınmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Media–TIC cephesinin güneş-gölge diyagramı ile simülasyonu (Url-19)

Malzeme

Binanın cephesinde yaklaşık 2,500 metrekare ETFE (Etilen TetraFlorEtilen) kullanılmıştır. Bu kaplama binanın enerji korunumu açısından stratejik bir öneme sahiptir. Çünkü bu cephe elemanları dışbükey ve içbükey mozaikler şeklinde tasarlanmıştır. Bu sayede istenilen şekli alabilmektedir. Bina cephesinde kullanılan ETFE şişirilerek bir hava yastığına dönüşmektedir. Bu sayede şeffaf paneller güneş kırıcı görevi görmekte aynı zamanda bina içerisinde depolanan hava ile gereken ısı yalıtımı sağlanmaktadır. ETFE yüzeyler dışbükey mercekler gibi davranarak odaklama yaparak ısınmaya katkı sağlayabilmektedir. Bu panellerin nitrojen gazı ile şişirilmesi sayesinde de bulut benzeri bir katman oluşturulmakta ve gereken güneş filtresi binanın kendi sistemiği sayesinde oluşturulabilmektedir.

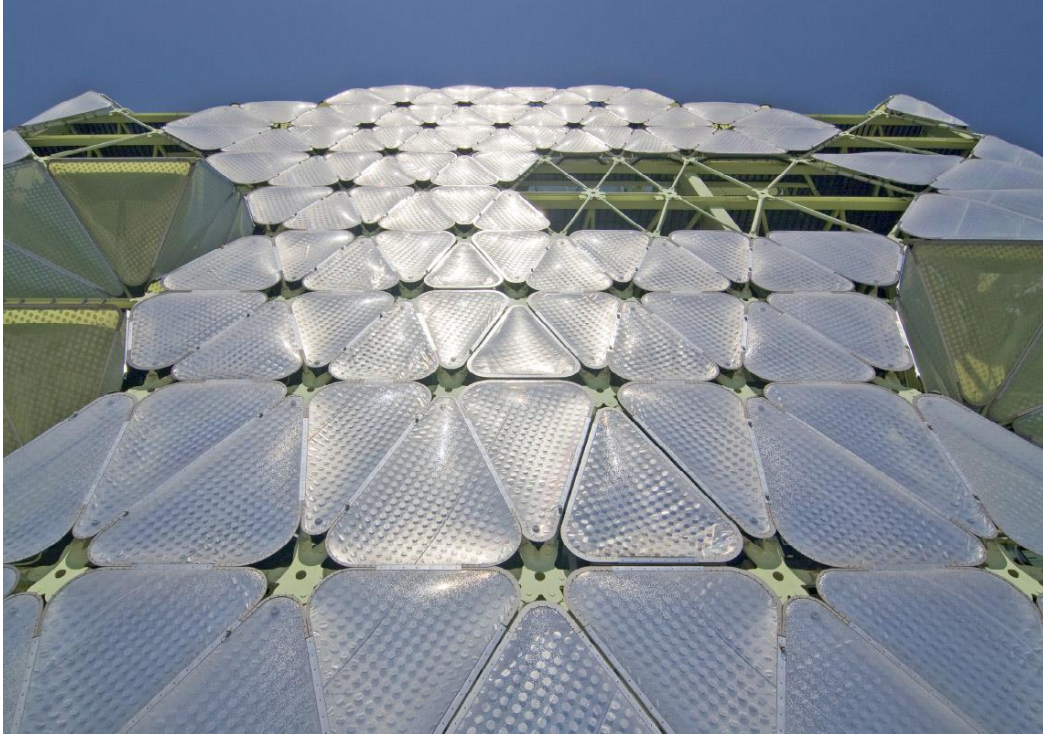
Karar destek sistemleri

Yapının tasarımında çeşitli ölçüm sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörler başta ısı, ışık ve nem olmak üzere diğer pek çok parametrenin ölçümünü yapmış ve buna göre bina dış kabuğunun şekillenmesini sağlayan mekanizma ile iletişime geçerek binanın formunu değiştirmiştir. Bina aynı zamanda bir bilgisayar yazılımı ile de denetlenmekte ve bu yazılım sayesinde gerekli olan konfor daha kolay bir şekilde sağlanabilmektedir.



Şekil 2.19: Media–TIC cephesi hareketi sağlayan sistem (Url-20)

Şekil 2.19’da görülen mekanik sistemler CAD programları ile entegre olan çeşitli yazılımlarla birlikte analizleri yaparak sensörlerden gelen verileri değerlendirmektedir. Bu değerlendirmelerin sonucunda binada hareket etmesi gereken modüller hareket ettirilmekte, şişmesi gereken modüller ise içerisine nitrojen gazı alarak şişirilmektedir. Bazı modüller ise kapanarak binanın geçirgenliği artırılmakta ve aydınlık bir ortamın sağlanmasına yardımcı olunmaktadır. Mekanik sistemler ile bina kabuğu yeniden şekillenerek binanın iç konforuna katkıda bulunmaktadır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20: Yeniden şekillenen bina kabuğu mekanizması (Url-21)

Sonuçlar

Bina kabuğundaki hücrelerin çeşitli parametrelere göre değişmesi ve bu parametrelerin de yeni teknolojik yazılımlar sayesinde denetlenmesi sağlanmıştır. Bina kabuğu yaşam döngüsünde (life-cycle) gerek kullanılan malzemeler itibariyle gerekse dinamik oluşu itibariyle sürdürülebilirliğe ve pasif sistemlere gereken önemi vermektedir. Bu sayede bina kabuğu gereken hareketleri yaparak etkiye tepki verip dengeyi sağlamaktadır. Sistemin optimizasyonunda kullanılan algoritmalar ise, bina kabuğunun sistematığına göre yeniden tasarlanmış ve bina konforunun daha üst seviyelere çıkarılmasını sağlamıştır.

Örnek Analizi -3:

RMIT Design Hub

Genel bilgi

Sean Godsell Mimarlık tarafından tasarlanan bina Avusturalya'nın Melbourne şehrinde çevresel şartlara göre değişebilen 16 000 tane disk kullanılarak yapılmıştır. 2012 yılında yapılmış olan binada lisansüstü eğitimler verilmektedir. Çok fonksiyonlu olarak tasarlanan bina, adaptif dış cephesi sayesinde esnek bir tasarım olmasının yanı sıra, barındırdığı güneş adaptasyonu potansiyeli ile önemli bir yere sahiptir.

Modüller halindeki bu güneş panelleriyle sağlanan bina adaptasyonu modüllerin birbirinden bağımsız olarak hareket etmesiyle farklı estetik kurgulara izin vermektedir (Şekil 2.21-2.24).



Şekil 2.21: RMIT Design Hub Binası (Url-22) **Şekil 2.22:** RMIT Design Hub cephesi (Url-23)



Şekil 2.23: RMIT Design Hub iç mekanı (Url-24) **Şekil 2.24:** RMIT binası köşe detayı (Url-25)

Tasarım süreci

Binanın tasarım sürecinde hesaplamalı tasarım sistemleri ile modüller üretilerek cephe kurgusu yapılmıştır. Bina kabuğunda bulunan bu modüller kendi mil eksenleri etrafında dönerek, kabukta çeşitli mimari etkileri sağlamaktadır. Tasarım sürecinde modül sayıları ve modül hareketleri hesaplamalı sistemler ile tasarlanmıştır. Bina 8 kat yüksekliğinde ve dikdörtgen bir plan şemasına sahiptir.

Malzemeler

Cephenin tasarımında kullanılan malzemeler şeffaf ve fotovoltaik modüller halinde seçilmiştir. Modüller çelik millere (dönme eksenleri) oturtularak cephe elemanlarının kendi eksenleri etrafında dönmesi sağlanmıştır. Modüllerin yan yana ve üstüste bir grid haline gelmesi sonucunda farklı estetik kurgular oluşmakta ve tasarlanan cephenin daha verimli olması sağlanmaktadır.

Karar destek sistemleri

Bina çevresel verileri ölçüp değerlendirebilen bir otomasyon sistemine sahiptir. Bu sistem sayesinde bina çevresel koşulları algılamakta ve içerideki koşullar ile karşılaştırarak bina kabuğunu değiştirmektedir. Fotovoltaik yapılı modüller bina için gerekli enerjiyi üretmekte ve binanın kendi kendine yetebilecek seviyede enerji üretmesini sağlamaktadır.

Sonuçlar

Bina üretilen bu modüllerin verimli olarak kullanılması sonucunda çevresel etkenleri değerlendirerek ona karşı tepki üretebilmesi yönüyle önemli bir örnektir. Bu tepkinin modüller sayesinde yapılması ve modüllerin birbirleriyle ilişkili olarak çalışması karar destek mekanizmaları ile yapılmakta ve bina kendi sistemlerini otomatik olarak kendisi yönetebilmektedir.

Örnek Analizi -4:

Gardens By The Bay, Singapur

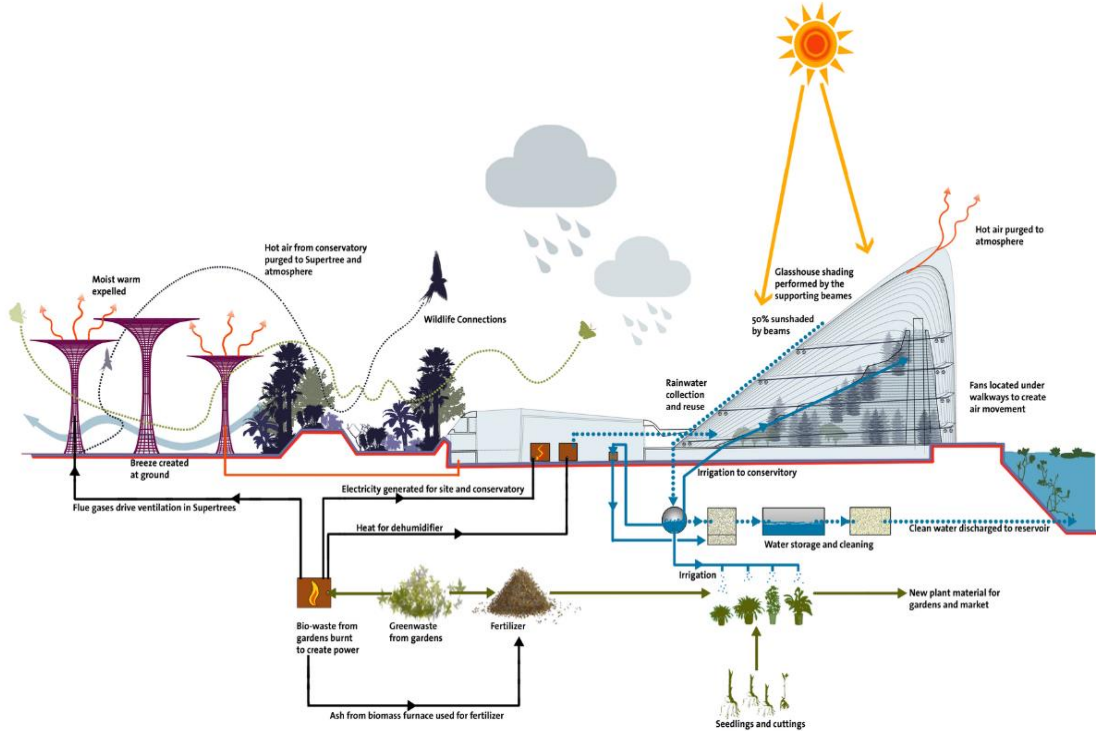
Genel bilgi

Singapur Peyzaj Mimarları Girişiminin açmış olduğu bir yarışmanın sonucunda kazanan olarak ilan edilen bu proje Wilkinson Eyre Architects tarafından tasarlanmış olup sürdürülebilirliğin öne çıktığı bir projedir. Adaptif sistemlerin kullanıldığı bu

projede bina güneş, yağmur ve diğer hava koşullarına göre tasarlanmıştır. Bina kabuğu içerisinde bulunan bitkisel doku güneş kontrolüne gereken önemin verilmesini sağlamıştır. Bu yeşil alanları örten kabuk, bitkilerin ihtiyaçlarına göre değişmektedir (Şekil 2.25). Kabuğun içerisindeki hava kalitesi çeşitli sensörler yardımıyla denetlenmektedir.



Şekil 2.25: Gardens by The Bay iç mekan görseli (Url-26)



Şekil 2.26: Gardens by The Bay çevresel etkenlerin gösterildiği şema (Url-27)

Tasarım süreci

Binanın tasarım sürecinde bitkiler ve çevresel koşullar konusuna odaklanılmıştır. Bitkiler için gereken bütün şartların optimum düzeyde tutulmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Adaptif bina kabuğu bitkiler için zararlı olan zaman aralıklarında kabuğun şeffaflığının azaltılmasını sağlamakta ve güneşe göre kendi kendini değiştirmektedir. Tasarım sürecinde yer alan diğer bir girdi olan çevresel koşullara göre şekillenen bina kabuğunun total bir mekanı örtmesi amaçlanmıştır. Proje kapsamında opak modüllerin kabuğa entegrasi şeklinde çalışan bir sistem geliştirilmiştir (bkz. Şekil: 2.26) .

Malzemeler

Cephenin tasarımında kullanılan şeffaf bir kabuğun üzerine uygulanan opak modüller seçilmiştir (Şekil 2.27). Camın yarattığı sera etkisini azaltmak için proje kapsamında havalandırma sistemleri üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 2.27: Gardens by The Bay iç mekan görseli ve kabuğa entegre modüller
(Url-28)

Karar destek sistemleri

Bina çevresel verileri ve total iç mekanı ölçüp değerlendirebilen bir otomasyon sistemine sahiptir. Bina kabuğunu değiştirmesi iç mekanın ve dış mekanın ölçülmesi ve algoritmalar yardımıyla karşılaştırılması sonucunda kabuğun hareketleri

belirlenmektedir. Karar destek algoritmalarının oluşturulmasında Total mekandaki konfor problemlerinin analizinde bitkilerin ve kullanıcıların konfor ihtiyaçları belirleyici olmuştur.

Sonuçlar

Bina sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirildiğinde önemli bir örnektir. Özellikle tasarım aşamasında kullanılan diyagramlar ile çevresel şartların analiz edilmesi ve kabuğun şekillenişinin bu tür parametrelere göre tasarlanması, binanın adaptif olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bina aynı zamanda kabuğunun üzerinde entegre olarak bulunan sistemler sayesinde, insan ve bitkilerin konfor ihtiyaçlarını aynı anda karşılaması bakımından önemli bir yere sahiptir.

Örnek Analizi -5:

City of Justice (AP + TSJ)

Genel bilgi

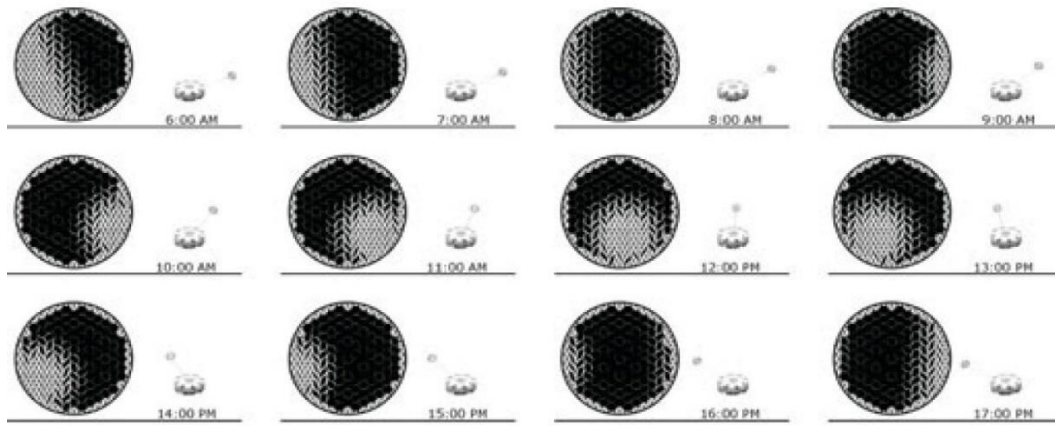
Foster + Partners tarafından kurgulanan “City of Justice” projesi iki farklı mahkeme binasının birleşmesi ile oluşmuş, yüksek yargı (TSJ) ve yargıtayın (AP) içinde bulunduğu bir hukuk binası olarak tasarlanmıştır. Ortasında bulunan büyük galerinin çatısı adaptif modüllerden oluşmaktadır. Bu modüllere “Strata“ denilmektedir. İspanya’nın Madrid şehrinde bulunan bu binanın tasarımında kullanılan birimler güneşe göre değişmektedir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28: City of Justice (AP + TSJ) (Url-29)

Tasarım süreci

Projenin tasarım sürecinde çevresel koşullar ve güvenlik konusuna odaklanılmıştır. Mahkeme binası gibi özel güvenlik gerektiren bir bina olmasına karşın estetik olarak farklı kurgulara izin verilmektedir. Binanın tasarımında gün ışığı kullanımı maksimum seviyede tutulmuş ve güneşin sebep olduğu ısı radyasyon minimuma indirilmiştir. Bu modüller sayesinde aktif havalandırma sistemleri kullanımı da en aza indirilmiş ve pasif havalandırma boşlukları oluşturulmuştur. Bina tasarımında güneşin bina kabuğuna etkisi ile ilgili simülasyonlar yapılmıştır (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: City of Justice (AP + TSJ) Güneş Analizi (Url-30)

Malzemeler

Cephenin tasarımında kullanılan şeffaf bir kabuğun üzerine uygulanan opak “Strata” adı verilen modüller seçilmiştir (Şekil 2.30). Bu modüller Şekil 2.30’deki gibi hareket ederek gereken açıklığı sağlamaktadır. Radyal hareket eden modüller güneş ışınlarının iç mekana geçmesini engellemektedir. Strata modülleri güneş kontrolünün yanı sıra havalandırma görevini de üstlenmektedir. Bu modül dikey ve yatay yüzeylerde uygulanabilmektedir.



Şekil 2.30: City of Justice (AP + TSJ) cephesinde kullanılan “Strata” modülleri (Url-31)

Karar destek sistemleri

Binada karar destek sistemleri ile Strata modüllerinin hareketi sağlanmaktadır. Bu modüller merkezi bir otomasyon sistemi ile birlikte çalışarak çevresel etkilere ve değişimlere cevap verebilmektedirler. Bina hem cephedeki değişimleri hem de çatı kısmındaki değişimleri birbirleriyle ilişkilendirerek hesaplayan bir algoritma sistematığına sahiptir.



Şekil 2.31: City of Justice (AP + TSJ) iç mekan görselleri (Url-32)

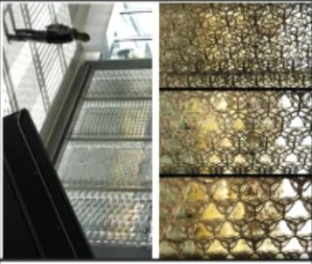
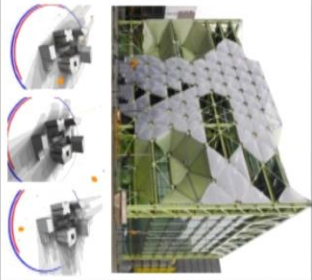
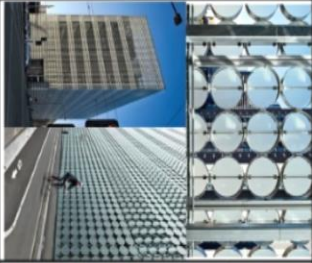
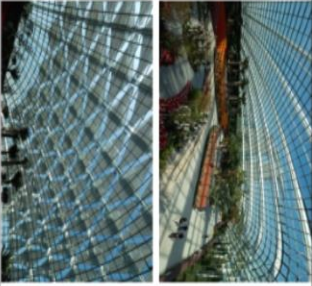
Sonuçlar

Modüller ile tasarlanan sistemde karar destek mekanizmalarının işleyişi ile güvenlik kavramının iç içe geçmiş olması önemlidir. Özellikle “Strata” modülleri ile tasarlanan çatının oluşturduğu ışık gölge oyunları ile binanın iç mekanı görsel olarak zenginleştirilmiştir (Şekil: 2.31).

Proje kapsamında modüller hem yatayda hem de düşeyde kullanılmışlardır. Bu karar destek mekanizması sistematığı de aynı şekilde yatay ve düşeyde eş zamanlı olarak çalışmaktadır. İspanya gibi güneşin etkisinin çok hissedildiği bir mekanda güvenlik endişelerine rağmen yapılan bu binanın kabuk tasarımıındaki bu adaptif sistemler ve

bunların uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayan algoritmalar iklime ve bina işlevine uygun bir şekilde kullanılmışlardır.

Çizelge 2.1 : Adaptif mimarlık örnek analizleri tablosu

Görsel(ler)					
Yapı İsmi	SUNY Stone Brook Fakülte Binası	Media - TIC	RMIT Design Hub	Gardens By The Bay	City of Justice
Tasarımcı(lar)	Stumy Brooke Vakfı	Enric Ruiz Geli	Sean Godsell	Wilkinson Eyre Architects	Foster + Partners
Konum	New York	Barcelona	Melbourne	Singapur	Madrid
Program	Çok amaçlı	Çok amaçlı	Çok amaçlı	Peyzaj ve Botanik	Yüksek mahkeme
Yapılış Tarihi	2010	2007-2010	2012	2011	2006-2011
Amaç	Bina kabuğunun ışık miktarının ayarlanması	Bina kabuğunun konfor şartlarına katkıda bulunması	Kabuk için estetik kurgular oluşturmak	Kabuk içi ve dışı konforunun bitkiler ve kullanıcılar için sağlanması	Çevresel koşullar ve güvenlik sorunlarının birlikte çözülmesi
Kullanılan Adaptif Sistem	Bina kabuğunda çok katmanlı üst üste gelmesi ile çalışan "Tessellate" sistemi kullanılmıştır.	ETFE modüller yerleştirilmiş ve içerisine hava ile nitrojen gazı doldurulmuş bir pnömomatik sistem bulunmaktadır.	16000 tane sabit mil etrafında dönen disk bina kabuğuna yerleştirilmiştir.	Havalandırma ve ıceride bitkilerin oluşturduğu nem açılıp kapanabilen cephe sistemleriyle dengelemektedir.	"Strata" adaptif sistemleri düşeyde ve yatayda kullanılmışlardır. Pasif havalandırma boşluklarında aynı sistem ile sağlanmıştır.
Sensörler	-	+	+	+	+
İnsan Etkileşimi	+	-	+	+	-
Çevre Etkileşimi	+	+	+	+	+
Karar Destek Mekanizması	Hesaplamaya dair karar destek mekanizması içermemektedir. Sistem kullanıcılar tarafından kontrol edilmektedir.	Karar destek mekanizması pnömomatik modüllerin içerisindeki hava basıncını kontrol etmek ve her bir sistem elemanının verilerini değerlendirmektedir.	Karar destek mekanizması bina kabuğundaki diskleri birbirleriyle uyumlu şekilde çalıştırmak için tasarlanmış bir modüller algoritmasıdır.	Algoritma her modül için farklı tepkiler verecek şekilde programlanmış olup bina dışındaki girdilere göre cevap verilmektedir.	Algoritma tasarımı güneş gölge diyagramındaki verilere göre yapılmış ve karar kontrol algoritması ile desteklenmiştir.

3. PERFORMATİF MİMARLIK

3.1 Performatif Mimarlığın Tanımı

Tam olarak bir tanımı olmamasına karşın, performatif mimarlık hesaplamalı tasarım alanlarının tamamını kapsamaktadır. Performatif mimarlık binanın ne olduğu ile değil de, binanın ne yaptığı ile ilgilenmektedir. Performatif mimarlık, binaya yapılan etki ve sonucunda oluşan tepki ile ilgili önerilerde bulunur. Aynı zamanda, performatif mimarlık çevresel etkilerde tasarımın gelişmesinde ve değişmesinde etkilidir. Performatif mimarlık çevresel simülasyonların oluşturulmasında ve buna göre binanın tepki verebilmesinde önemlidir. Performatif mimarlıkta yapı tasarımında hem üretken hem de evrimsel tasarım olanakları kullanılır. İstenildiğinde sadece performans girdilerine göre yeni bir bina tasarlanabileceği gibi istenildiğinde de tasarlanan bir bina, performans verilerine göre yeniden şekillendirilip simülasyon yapılabilir (Oxman, 2008).

Performansa dayalı binalarda tasarımın hangi faktöre bağlı olacağı önemlidir. Bu faktörler bir sanatsal performans olabileceği gibi aynı zamanda çevresel bir performans da olabilmektedir. Çağdaş mimarlık yaklaşımlarında hesaplamalı tasarım gibi yeni yaklaşımlar ile özellikle çevresel performansa dayalı bina tasarımlarında önemli gelişmeler olmuştur. Bina durağan bir nesne olmasından çok hareketli ve tepki verebilen ve etkenlere göre kendini yeniden değiştirebilen binalar olarak nitelendirilmesi performatif mimarlık anlayışının gelişmesinin bir ürünüdür. Bu anlayış sayesinde binalar çevreyle veya herhangi bir performans ile uyumlu hale getirilebilmekte ve performanslara göre optimizasyonu sağlanabilmektedir.

Performatif mimarlık topolojik modeller tasarlama, parametrik ilişkisel tasarlama ve etkileşimli tasarlama, form veya bina optimizasyonu ile form üretme ve tasarlama alanlarında kullanılmaktadır (Oxman, 2008).

Topolojik modelleme, form ve teknolojinin ötesinde sistemlerden esinlenerek oluşturulan modellemedir. Bu sayede mimarın içeriğindeki ilişkilerden yola çıkılarak tasarlanan modeller, strüktürün ve formun bu ilişkilere göre değiştirilmesini sağlamaktadır. Bu ilişkiler performansların oluşmasında ve değerlendirilmesinde

önemli rol oynamaktadır. İlişkilere dayalı mimarlık ve ürünleri bu alanın konularındandır.

Parametrik ve ilişkisel modelleme topolojik ilişkileri de kapsayan ve yeni geometrik imkanlar sağlayan modellerdir. Parametrik tasarımlar, hesaplamalı tasarım yaklaşımıyla oluşturulan mekanlarda temsil edilirler ve çeşitli parametreler kullanarak geometrik strüktürü değiştirirler. Bu yönüyle performatif mimarlıkta önemli bir yere sahiptirler. Parametrik bir tasarımda topolojik ilişkiler ve performans girdileri birlikte parametreleri oluşturabilmektedirler (Burry ve Murray,1997).

Etkileşimli tasarlamada ise insanın mimari öğeler ile etkileşmesi esasına dayalı olarak tasarımlar yapılabilir. Etkileşimli tasarımlar yerine göre durağan ya da dinamik olabilmektedir. Yeni teknolojilerin kullanımı ile açık uçlu mekan tasarımlarına dayanan ve belirli bir forma bağlı kalınmadan yapılan tasarımlar, çeşitli performans girdilerini ve topolojik ilişkileri kullanarak şekillenirler (Oxman, 2008).

Dinamik olarak tasarlanan yapılar çeşitli strüktür kurgularına olanak vermesi yönüyle beden ve mekanın etkileşimli olması gibi farklı kurgulara da izin vermektedirler (Fox ve Kemp, 2009). Günümüzde mimarlığın çeşitli sanatsal performans alanlarıyla iç içe olması ve farklı tasarım disiplinleri ile birlikte çalışmasının, etkileşimli mimarlığın öne çıkmasında önemi büyüktür.

Form veya bina optimizasyonu, performansın bina kabuğunu veya sistemlerini değiştirmesi sonucu oluşan ve mimarının sürdürülebilirliğe olan katkısını artıran, aynı zamanda gerekli konfor koşullarının sağlanmasına yardımcı olan bir performatif tasarım yöntemidir. Bu yöntem sayesinde bina konfor problemlerine çözüm üretilebilmekte ve binanın çevreye adapte olabilmesi sağlanabilmektedir. Bu konu, tez içeriğindeki “Adaptif Mimarlık” başlığı altında kapsamlı olarak incelenmiştir.

Form üretme ve tasarlama, çeşitli performansların incelenmesi sonucu oluşturulan veriler baz alınarak izlenen bir tasarlama yöntemidir. Bu tasarlama yöntemi “performansa dayalı üretim” (performance –based generation) olarak adlandırılmaktadır (Oxman, 2008). Form üretimi, çevresel faktörlerin günümüzde çeşitli analiz programlarının kullanılması sonucunda elde edilen verileri işleyerek, yeni ve etkin bir form üretmesi üzerine kuruludur. Bu üretim varolan bir formun çevreye ya da diğer formlara entegre olmasından daha farklı bir yöntem kullanılarak gerçekleşir (Oxman, 2008). Yeni form üretimi tüm diğer verilerin tek bir sistem

filtresinden geçirilerek en güncel parametrelere göre yapılan tasarımları kapsamaktadır. Form üretimi sırasında topolojik ilişkilerden ya da çeşitli kavramsal haritalardan yararlanılabilmektedir. Bunların yanı sıra üretken sistemlerin performansdaki parametreleri ve yaklaşımları belirlemesi mümkündür.

Üretken sistemlerde performanslar bir algoritmaya ya da ajan bazlı tasarıma katılıp orada çeşitli roller üstlenebilmektedirler. Form üretimi kapsamında yapılan çalışmalardaki ilişkilerin tanımlanmasında üretken sistem yaklaşımlarına sıklıkla rastlanmaktadır.

Performansa dayalı tasarımda herhangi bir olgunun ya da performansın analizi veya simülasyonu sonucunda yeniden tasarlanmış ya da tasarlanan nesnenin (bu bir bina kabuğu da olabilir) optimize edildiği sonuç ürünleri mevcuttur (Oxman, 2007). Hesaplamalı tasarım anlayışının mimaride önemli bir yer edindiği günümüz mimarlık dünyasında performansa dayalı tasarım daha çok belirmeye başlamıştır. Mimari konseptlerin oluşturulmasında performansa dayalı sistemlerin kullanılması, binaların daha konforlu ve çevreyle uyumlu (sürdürülebilir) olmasında önemlidir.

3.1.1 Performatif Yapı Tasarım Stratejileri

Performatif mimarlık bağlamında iki önemli kavram üzerinde durulmaktadır. Form üretimi (generation) ve form modifikasyonu (modification) kavramları binanın performans verileriyle uyum sağlamasında önemlidir. Performansın bir form ya da kurgu üretimi için veri olarak kullanıldığı tasarımların üretiminde bütün bir tasarım bu girdilere dayalı olarak üretilir. Sonuç ürünün de bütünü ile performansa dayalı olarak üretildiği görülebilmektedir.

Topolojik modeller tasarlama, parametrik ilişkisel tasarlama ve etkileşimli tasarlama, form veya bina optimizasyonu ile form üretme ve tasarlama alanları performatif tasarımın stratejilerindendir. Bu stratejiler girdi olarak aldıkları verilerin çeşitli yöntemler ile işlenmesi sonucunda farklı ürünler ortaya çıkarmaktadır. Performatif mimarlık bu verileri işleme yollarında farklılıklar yaratmak yönüyle mimarinin form ve işlem bakımından farklılaşmasına katkıda bulunmaktadır. Topolojik modeller tasarlama, ilişkiler bakımından performatif tasarımın farklı yorumlanmasında önemlidir. Performans ilişkileri ile işlevlerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda çıkan ürünler kavramsal olabileceği gibi kimi zaman uygulanabilir ürünler de çıkmaktadır.

Parametrik ilişkisel tasarlama, girdilerin birbiriyle ilişkisini tanımlama ve sınıflandırmaya dayalı bir tasarlama stratejisidir. Bu stratejinin mimaride kullanımı sonucunda binalar farklı mekanlar için farklı bina kabukları veya form kurguları tasarlayabilmektedir.

Etkileşimli tasarımlar mimari-insan ilişkisinin yeniden tanımlanması açısından önemli stratejilerdir. Günümüzde stratejilerin kullanımı performansa dayalı kurguların gerektiği mimarilerde potansiyel uygulama alanları içermektedir.

Form veya bina optimizasyonu ile form üretme ve tasarlama stratejileri de forma dayalı tasarımlarda kullanılmaktadır. Sonuç ürün olarak bir form veya performansa dayalı olarak değişebilen adaptif bir ürün ortaya çıkmaktadır. Bu stratejiler bina çevresindeki iklimsel veriler ile sosyal verilerin birlikte kullanılması ve çeşitli algoritmalar yardımıyla bina programını da göz önünde bulundurarak optimize edilmesi yöntemini içermektedir.

Sonuç olarak performatif mimarlığın tam tanımının olmamasına bağlı olarak, performatif tasarım stratejilerinde bunlar dışında farklı yöntemler de olabileceği söylenebilmektedir. Bundan dolayı performatif mimarlık muğlaklık içerisinde çok farklı stratejiler ve yöntemler kullanarak mimariyi zenginleştirmede önemli bir kavramdır.

3.1.2 Performatif Mimarlık Örnekleri ve Analizleri

Tezin bu kısmında performansa dayalı hesaplamalı tasarım, çeşitli programların kullanıldığı örnekler ve uygulanan projeler yoluyla anlatılacaktır.

Örnek Analizi-1:

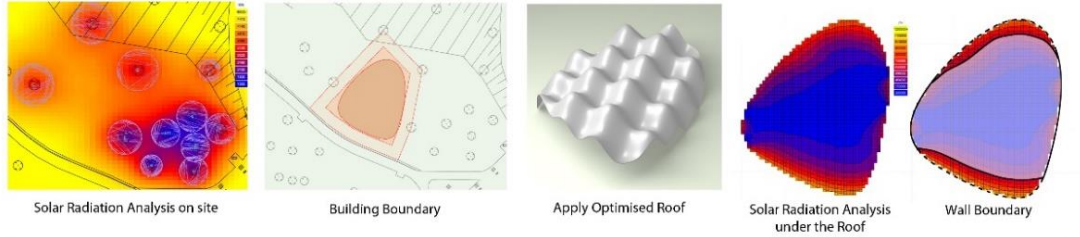
GEKO programı ile analiz edilen bu örnekte, performansa dayalı verilerin analizlerine dair grafikler gösterilmektedir. Varolan fiziksel şartların incelenmesi ve bunların mevcut çevre girdilerine göre yeniden yapılandırılmasını sağlayacak olan bir tasarım sürecine öncü olması sağlanmıştır.

GEKO programı ile yapılan projede Şekil 3.1’de görüldüğü gibi konfor koşulları analizleri 29 ocak tarihine göre yapılmıştır. Program kullanılırken öncelikle arazinin güneşe bağlı radyasyonu analiz edilmiş; yapılan bu analiz sonucunda duvar biçimleri üzerinde optimizasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Tanımlı alanın bütün bakıları ve yönleri analiz edilerek en uygun duvar tipi bulunmaya çalışılmıştır. Renkler analizi

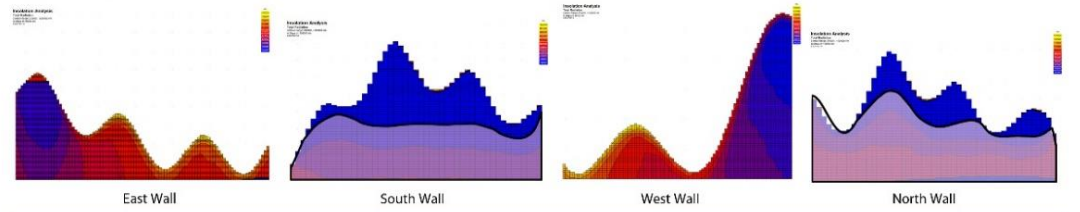
görselleştirirken alınan veriler alt kısımda ayrıntılı olarak yazılmaktadır. Elde edilen aydınlatma 300-600 lux ve 600-1800 lux olarak iki kısımda analiz edilmektedir. Renkler güneşe bağlı radyasyona referans verecek şekilde soğuk renkten sıcak renge doğru sıralanmıştır.

DESIGN PROCESS

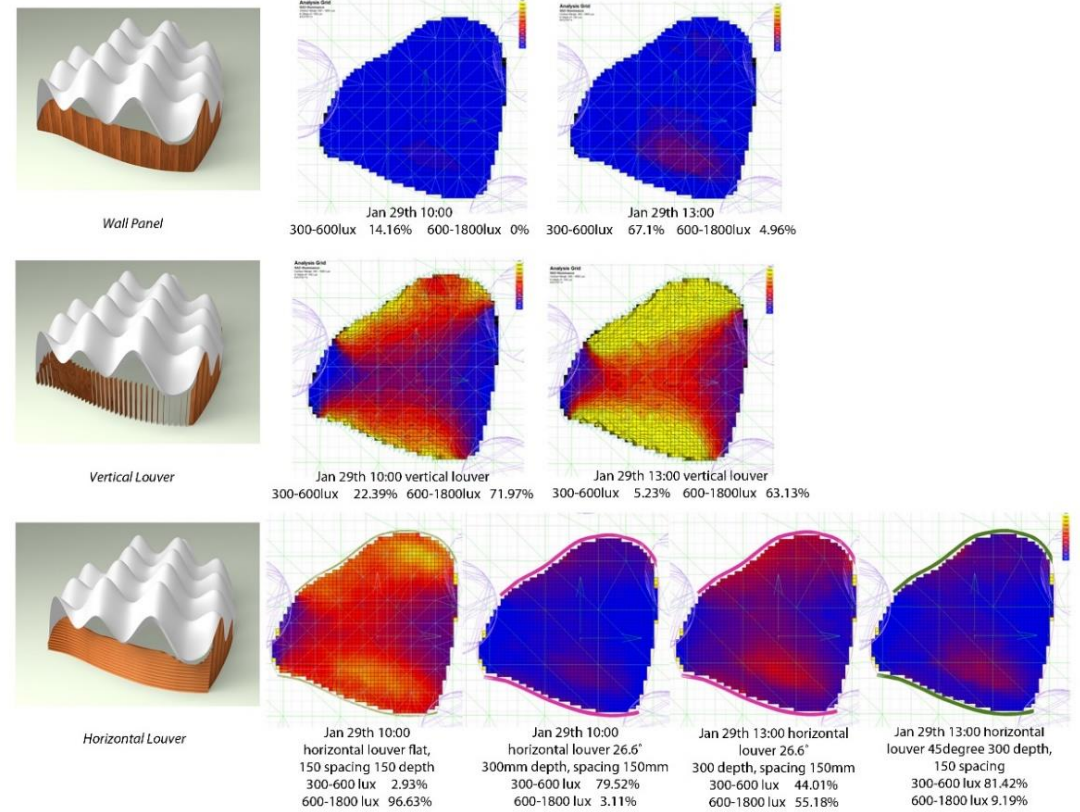
Site Analysis and Boundary Definition



Wall Analysis



Wall Options

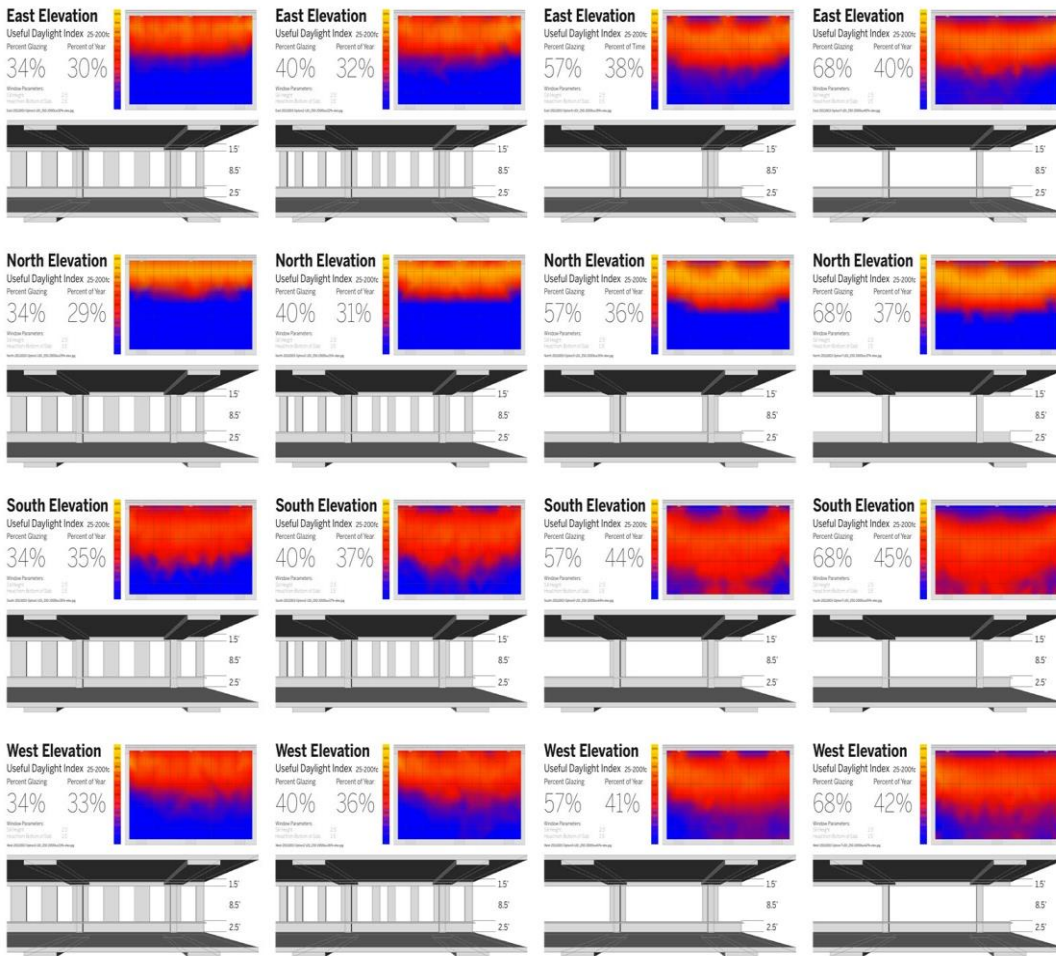


Şekil 3.1: GECO programı ile yapılmış bir performans analizi çalışması (Url-33)

Örnek Analizi-2:

Bu örnek analizinde Diva programı etkin bir şekilde kullanılmış ve günlük aydınlanma süreleri ile cam kaplama yüzeyleri (glazing) hesaplanmıştır (Şekil 3.2). Diva programında günlük kullanılabilir gün ışığı miktarı optimizasyonu sayesinde görsel konforun öne çıktığı mimari çözümlerde bu program verimli bir analiz için kullanılabilir. Örnekte görünüşlerin üzerine işlenen diyagramlar tasarım sürecinde ve bina optimizasyonunda önemli yer tutmaktadır.

Fenestration Studies



Şekil 3.2: Diva programı ile yapılmış bir performans analizi çalışması (Url-34)

Örnek Analizi-3:

“Emergences of Continuous Forms”

Jeffrey Shaw’un 1966 yılında Tjebbe van Tijen ile birlikte kurgusunu yaptığı çalışma sinematik bir ortama yansıtıldığı etkileşimli ve performansa dayalı bir projedir. Sinematik imajların izleyici ile fiziksel etkileşmesine dayalı olarak yeni tecrübe

edinmelerini sağlayan bu projede, galeri boyunca asılı olarak gösterilen iki sıra çok katmanlı yarı saydam perdeler bulunmaktadır. Perdelerden birinde beyaz balonlar vardır. Bu balonlar şişirildiğinde ekran yüzeyine düşen görüntüler değişmekte ve farklı kurgular oluşturmaktadır (bkz. Şekil 3.5). Enstalasyonda derinlik hissini vermek için duman kullanılmaktadır. Üretilen enstalasyon sonraları Londra’da müzisyenlerin de katıldığı bir performans gösterimine dönüşmüştür (Url-35).



Şekil 3.3: “Emergences of continuous forms” performans gösterimi (Url-35)



Şekil 3.4: “Emergences of continuous forms” beyaz balonlu perde (Url-36)

Örnek Analizi-4:

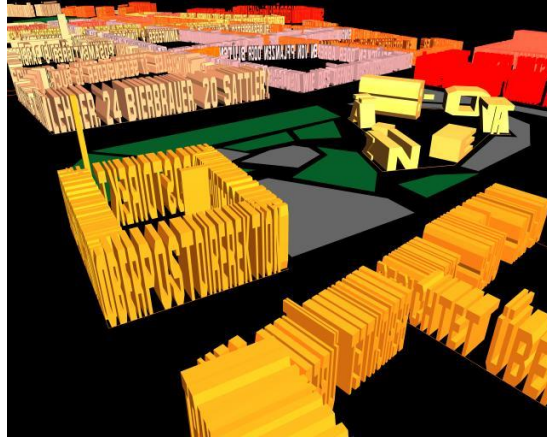
“The Legible City”

Jeffrey Shaw ın yapmış olduğu ve 1989 yılında sunulan “The Legible City” çalışması etkileşimli sanal ortam çalışmalarının, en eski örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Enstalasyonda, Manhattan, Amsterdam ve Karlsruhe şehirlerinin planları kullanılarak 3 boyutlu harflerle, kelime ve cümleler oluşturulmuştur. Enstalasyona eklenen bisiklet vücudunu kullanarak istediği yolu takip edebilmekte ve seyahatin yönüne ve hızına karar verebilmektedir. Bisiklet şehir ölçeğinde konumunu görebilmekte ve sanal çevrede gezinti yapabilmektedir. Bu sayede şehir dokusu ile bir etkileşim kurabilmektedir (Url-38).



Şekil 3.5:“The Legible City”deneyimleyicisi (Url-37)



Şekil 3.6: “The Legible City” görselleri (URL-38)

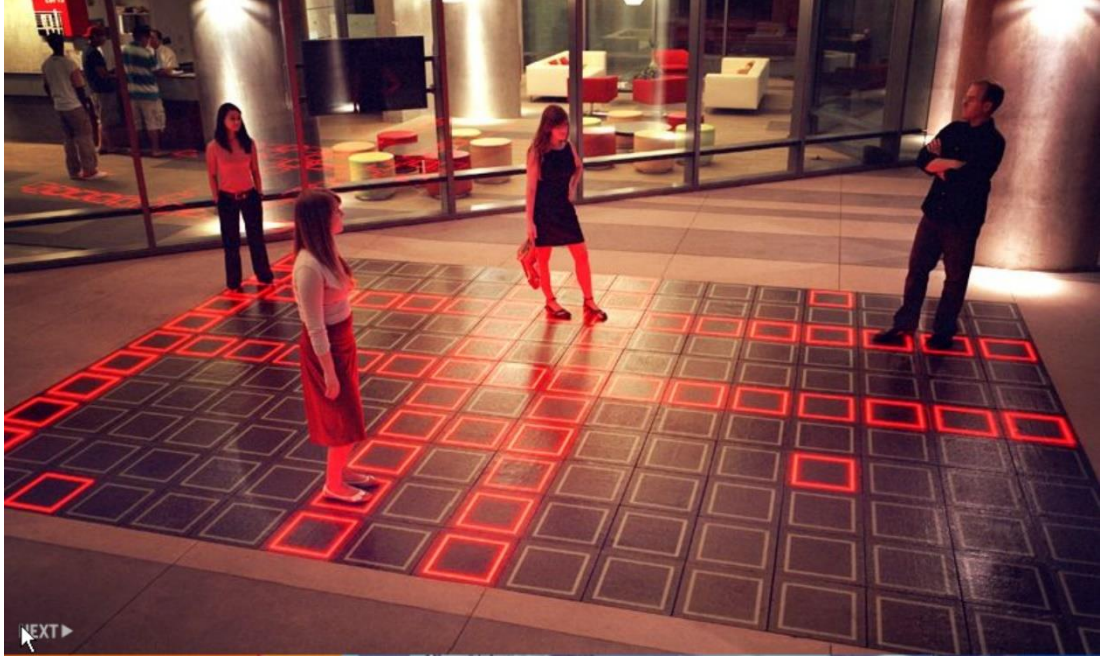
Örnek Analizi-5:

“Elektroland EnterActive”

Cameron McNail and Damon Seeley tarafından 2006 yılında geliştirilen projede etkileşimli yüzeylerin oluşması ve bina kabuğunun buna göre tepki vermesi amaçlanmıştır. LED ışıkların etkileşimli bir halı gibi olması fikrinin işlenmesi sonucunda üretilen proje, cephedeki panellerin bu yüzey etkileşimlerini sergilemesi üzerine kurgulanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: “EnterActive” görselleri (Url-39)



Şekil 3.8: “EnterActive” projesi etkileşim yüzeyi (Url-40)

Binanın cephesindeki LED ışıklar etkileşime giren kullanıcıların hareketlerine göre değişmektedir (Şekil: 3.8). Bu değişim insan hareketlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sayede insanlar mimari öğeyle ve birbirleriyle etkileşim kurarak farklı kurguların oluşmasını sağlamaktadırlar (Url-39).

Örnek Analizi-6

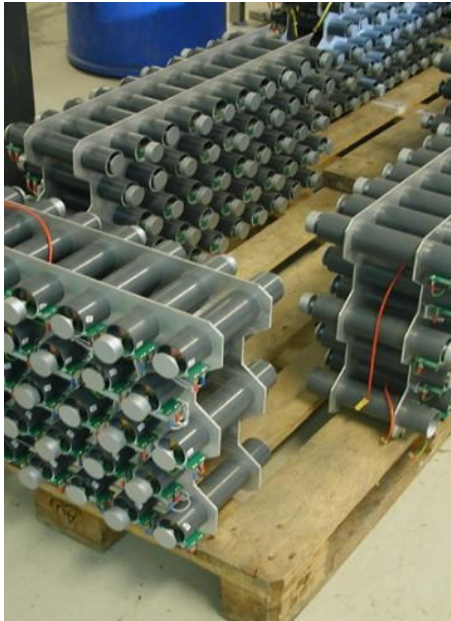
“4D Pixel”

“Studiosroosegaarde” tarafından 2006 yılında tasarlanan ve deneyimleyen kişi için işitsel bir etkileşim sağlayan bir enstalasyon olarak tasarlanan bu proje küçük gözeneklerden oluşmaktadır. Bu küçük gözenekler elektronik sensörlerle ve mekanik sistemler ile donatılmıştır (Şekil: 3.10 ve 3.11). Enstalasyon çeşitli sesleri bas, tiz gibi sınıflandırmakta ve şiddetini ölçerek her bir ses parametresine özgü bir tepki oluşturmaktadır. Sesin performansa dönüşmesi ve verilen bu tepki her bir modülün birbirleriyle uyumlu bir harmoni içerisinde çalışması sayesinde sağlanabilmektedir.

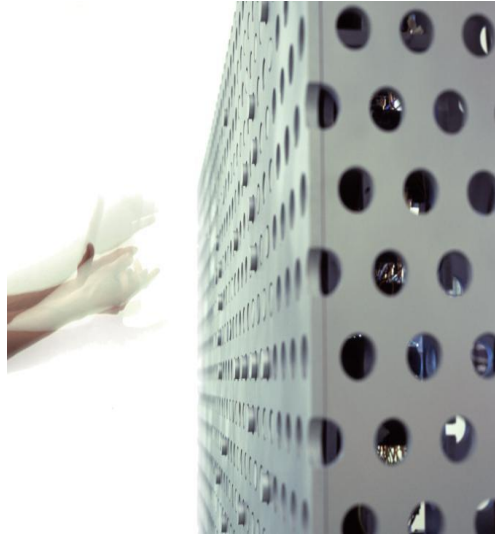
Tasarlanan bu proje gelecekte karşılaşılabilecek sorunlara bir önlem olarak düşünülmüştür. Gürültü kesici bir mekanizma olarak tasarlanan bu etkileşimli ve performatif yüzeyin gelecekte performansa dayalı mekanların tasarımında kullanılması amaçlanmaktadır (Url-42).



Şekil 3.9: “4d Pixel” projesi ile etkileşim (Url-41)



Şekil 3.10: “4d Pixel” projesi sistem detayı (Url-42)



Şekil 3.11: “4d Pixel” tepkisi el çırpma hareketi (Url-43)

3.2 Performatif Mimarlıkta Çevreye Bağlı Konfor Problemleri

Çevresel etkilere maruz kalan binalar ısınma, aydınlatma, gürültü ve havalandırma problemleri gibi olumsuzluklarla karşı karşıya kalmaktadırlar (Bennetts, 2003). Bu tür konfor problemlerin çözümünde adaptif bina kabuklarının ve cephelerin kullanımı önemli yer tutmaktadır. Bu başlık altında binaların konfor problemleri ve adaptif

cephelerin bu tür problemlerin çözümünde tasarım sürecinden itibaren binanın yaşam döngüsünü de kapsayan süreç içerisinde ne tür katkılar sağlayabileceği anlatılacaktır.

3.2.1 Isıl Konfor Problemleri

Isıl konforun sağlanamaması, cephelerin ve bina kabuklarının mevsimsel değişimlere, gün içerisindeki sıcaklık değişimlerine ve çevredeki ısı emici malzemelerin yoğun kullanımından kaynaklanan değişimlere yeterince adapte olamamasından kaynaklanmaktadır.

Mevsimsel değişimler binaların yazın çok güneş ışığını içeri alarak fazladan ısı depolanmasına, kışın ise cephelerin ısı geçirgenliğinin fazlalığı nedeniyle yeterince ısı depolayamayarak ısı konfor problemlerine neden olmaktadır. Özellikle mevsimsel sıcaklık farklarının fazla olduğu iklimsel bölgelerde bu daha büyük bir problem haline gelmektedir. Öyle ki, bazı durumlarda bina kabukları veya cepheler bulundukları iklime veya bakıya uygun olarak tasarlandıkları halde yeterince konforlu olamamaktadırlar (Durmisevic ve Brouwer, 2002).

Gece gündüz arası sıcaklık farkları da binadaki konforun gün içerisinde sağlanması açısından önemlidir. Gece gündüz arası sıcaklık farklarının bulunduğu yerlerde binaların enerji korunumuna yönelik tasarlanmaması ısı dengeszizliklere neden olmaktadır.

Sıklıkla değişen şehir dokusu da ısı konforu etkilemektedir. Örneğin şehir dokusunda yoğun olarak bulunan asfalt, beton vb. malzemelerin kullanımı da ısı depolama kapasitesi açısından büyük farklılıklar yaratarak çevresindeki binaların olumsuz etkilenmelerine sebep olmaktadır.

Binalardaki ısı konfor problemlerinin çözümünde adaptif cepheler, kullandıkları optimizasyon sistemleri ile önemlidirler. Adaptif cephelerin tasarlanmasında bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) sistemleri kullanılmaktadır. Çünkü bu tür bina kabukları ve cephelerin dinamik olması geleneksel tasarım yöntemleriyle pek mümkün görünmemektedir (Wigginton, 2002). Bunun en önemli nedeni binaların ve kabuklarının veya cephelerinin belirli karar destek algoritmalarıyla yönetilmeleridir. Bu algoritmalar sensörlerin getirdiği verileri bir yapay zeka algoritmasıyla değerlendirerek ona göre binanın sistemlerinin çalışmasını sağlamaktadırlar. Karar destek algoritmaları olarak adlandırılan bu algoritmalar bilgisayarlar ve programlar yardımıyla optimum kararın verilerek tüm

konfor parametrelerinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Bina içerisinde kullanılan sistematik ölçüm sensörleri sayesinde, gerek görüldüğünde çeşitli algoritmalarla bunu hesaplayarak gereken yere ısı iletimi sağlamak ve bunu yaparken de pasif sistemlerin kullanım oranını artırmaktadır. Sistematik ölçüm sensörleri aynı zamanda bina kabuğunun dışında da bulunmakta ve dışarıdaki hava sıcaklığını ölçerek binanın gerektiğinde dışarıya açılmasını sağlamaktadır. Adaptif cepheler gerektiğinde sıcaklığı kendi kapasiteleri ölçüsünde depolamaktadırlar. Isı depolamasının yanı sıra adaptif cephelerdeki güneş kolektörleri güneş ışığı verimli olduğu zaman mekanik sistemlerle alanlarını genişletmekte ve bunu elektrik enerjisine çevirerek binalarda ısı gereksinimi olduğunda bu elektrik enerjisini ısıya çevirerek bina içerisinde ısı gereksinimi olan yerlere yönlendirmekte ve binanın enerji korunumuna katkıda bulunmaktadır. Adaptif cepheler aynı zamanda bütün bir bina kabuğunu güneş kırıcıları gibi kullanarak bina içerisine giren güneş ışığı miktarını optimize ederek binadaki sıcaklığı ayarlayabilmekte ve bu ışığı elektrik olarak depolayarak gerektiğinde soğutma işlemlerinde de kullanılmaktadırlar.

3.2.2 Görsel Konfor Problemleri

Görsel konfor problemleri ise, genellikle doğal ışığın uygun değerlerde kullanılamamasına dayalı olarak yapay aydınlatmanın daha sıklıkla kullanılması nedeniyle bina işletim maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Uygun oranda güneş ışığından yararlanamayan mekanların bulunması binalardaki konforu azaltmaktadır. Adaptif cepheler güneş ışığının etkisini optimize ederek uygun aydınlatmayı pasif ve doğal olarak sağlayabilmektedir. Aynı zamanda fazla gelen güneş ışığını da süzerek azaltmakta ve konfor problemlerinin çözümlerine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bina kabuğunun ya da cephelerin ışık geçirgenliğini elektronik ve mekanik yöntemlerle değiştirerek ışığın uygun miktarda gelmesini sağlayabilmektedir. Bunlara ek olarak bina kabuğuna ya da cephesine düşen ışık miktarı fazla olduğunda ışığı süzerek ve bazen de elektrik olarak depolayarak gerektiğinde kullanılmasına ve bu sayede işletim maliyetlerinin azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemlerinin kullanıldığı parametrik tasarımların kullanımı sayesinde, bina kabuğunda güneş kontrolü günümüzde kullanılan güneş kırıcılarının sadece kabuğa uygulanmasından öteye geçmiş ve bütünüyle güneş kırıcısı gibi hareket eden adaptif yüzeyler inşa edilmiştir.

Cephelerin adaptif oluşu ve parametrik örüntülerle bu dinamikliğin sağlanması aynı zamanda estetik açıdan da önemlidir.

Güneş kontrolü için hareket eden cepheler aynı zamanda çeşitli parametrik algoritmalar ile yönetildiğinden estetik çeşitli kurgular ortaya çıkarmakta ve cephelerde çeşitli mimari örüntülerin (pattern) oluşmasını sağlamaktadır. Gerektiğinde eksenler boyunca hareket eden cepheler bina kabuklarının yeni formlar oluşturmalarına da katkıda bulunmaktadır. Bu yeni formların oluşturulması binanın sıradanlığının kırılması ve estetik fark edilebilirliğinin de artmasını sağlamaktadır.

3.2.3 İşitsel Konfor Problemleri

İşitsel konfor problemleri binadaki istenmeyen ses, gürültü ve bunların mekanda oluşturduğu duymaya dayalı olan bütün problemleri kapsar. İşitsel konfor problemlerinde ise gürültü özellikle şehirdeki yoğunluğun artması; beton, asfalt gibi ses yansıtıcı malzemelerin daha fazla miktarlarda kullanılması, yerleşim yerleri veya binalar arasında gerekli mesafelerin bulunmaması (bitişik nizamlar ile ses duvarı oluşumu gibi) ve bina fonksiyonlarının belirli bölgelerde farklılaşması (endüstriyel alanların yaşam alanlarına doğru kaymaları) gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Adaptif cepheler, gelen seslerin ölçümünü yaparak onları sönmüleyebilecek veya gerektiğinde ses izolasyonunu sağlayabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Parametrik olarak tasarlanan dinamik cephelerde ses probleminin olduğu yerler sensörler aracılığıyla tespit edilerek belirlenen yerlerde katman kaydırma (yeni bir katmanı kaydırarak cidar sayısını değiştirme vb.) ya da ses kaynağına yakın olan cephe elemanını kalınlaştırma (ya da gaz ile şiştirme vb.) yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede sesin yükseldiği yerlerde kaynağına yakın olan cephe elemanı harekete geçerek o sesi sönmeler ve içeriye o sesin gelmesini engelleyecek sistemi aktifleştirerek yapay zeka tarafından kontrol edilen algoritmanın çalışmasını başlatır.

Sistem kendi önlemini aldıktan sonra tekrar sensörlerle ölçüm yapar ve eğer yeterli miktarda ses sönmemesi sağlanamamışsa başka bir önlem almak için tekrar bir hesaplama yapar ve algoritmayı tekrar çalıştırır. Bunun sonucunda cephe değişir ve ses parametresine tepki verir.

3.2.4 Hava Kalitesine Bağlı Konfor Problemleri

Havalandırma binalarda sağlıklı havanın bulunması için önemlidir. Pasif havalandırma sistemi ile binalar ve içindekiler daha konforlu yaşayabilmektedirler. Binalardaki hava

sirkülasyonunun azlığı havanın kirlenmesine ve sağlıksızlaşmasına yol açar. Aktif havalandırma sistemlerinin kullanımı da bina işletim maliyetleri için önemli bir gider olmasının yanı sıra çevreye de zarar vermektedir. Binadaki nemin dışarı atılamaması bina ömrünü de kısaltmaktadır ve binaların zamanla zarar görmesinde etkin olmaktadır.

Adaptif cephelerde gerektiğinde cephenin açılarak hava kalitesini artırması sağlanabilmektedir. Hava kalitesi ölçüm sensörleri ile gerektiğinde binanın içerisindeki hava kalitesinin yetersiz olmasına bağlı olarak cephe bütün olarak ya da kısmen (ısıl ve görsel konforu ihmal etmeyecek şekilde) açılarak cephenin havalandırılması sağlanmaktadır. Bu sayede bina pasif olarak havalandırılmakta ve binanın sağlıklı olmasına katkıda bulunmaktadır. Adaptif cephelerin işletim süreçlerinde cephenin temiz havayı içine alabilmesi için oluşturulması gereken açıklıklar (porlar), buralardan gelen yabancı maddeleri de gerektiğinde süzebilmekte ve sadece temiz havanın iç mekana dahil edilmesini sağlamaktadır.

Adaptif ve performatif binalar bütün konfor sağlayıcı sistemlerin (bina kabuğu, havalandırma, güneş kontrolü vb.) birlikte çalışmasını sağlayarak binanın her yönüyle konforlu olması için gereken cephe hareketlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Adaptif cephelerdeki sistemler analiz edilirse belirli bir yönetici (hesaplamalı karar destek sistemi) parametrik algoritma ile kontrol edildikleri görülebilir. Bu sistemler mekanik ve elektronik diğer sistemler ile bağlantılı olarak çalışırlar ve karar destek mekanizmaları tasarım sürecinde verilen kararların açıklarını kapatırlar. Aynı zamanda tasarım sürecinde mevcut olan çevre şartlarının değişimlerini de bina kabuğuna adapte ederek konforu daha da fazla artırmayı amaçlarlar. Ayrıca bu karar destek sistemleri aldıkları kararlarda hiçbir zaman iki konforun birbiriyle çelişmemesini sağlamak üzere yazılmış algoritmalara bağlıdırlar (Mozer, 1999). Örneğin; hiçbir zaman kışın içerideki hava kalitesinin düşmesine bağlı olarak binada çok büyük bir açıklık oluşturmazlar. Eğer bir açıklık oluşturdularsa diğer sistemlerin oradaki ısıl konforu sağlaması için gereken mekanik veya elektrik değişimi yaparlar. Bu sayede hem hava kalitesini artırıp hem de ısıl konforu sağlayabilirler.

4. PNÖMATİK MİMARLIK

4.1 Pnömatik Mimarlığın Tanımı

Pnömatik mimarlık şişirme yapılar olarak da tanımlanan hızlı ve basit çözümler sunabilen basınca dayalı sistemlerdir. Hava basıncının bir membran içine hapsedilmesiyle oluşturulan sistemler, mimarideki olağan uygulamaların dışında olup farklı kullanım alanlarına hizmet etmektedir. Özellikle kolay taşınabilen ve geçici olarak mekan uygulamaları sunan pnömatik sistemlerde bina kabuğu modüller halinde ya da tek parça halinde büyük mekanları örtebilecek şekilde tasarlanabilmektedir.

Pnömatik mimari örnekleri genellikle iki farklı şekilde yapılmaktadır. İlkinde sistem tümüyle şişirilmekte ve katmanın içine fanlarla basılan havanın içerde oluşturduğu basınç farkı ile örtünün gerilerek havada durması ve kendi strüktürel durumuna yakın bir hale gelmesi sağlanmaktadır. Pnömatik kabuklarda basınçlı hava ile oluşan pozitif hacimler kullanılmaktadır. Hava basıncı esnek membranı germekte, membran da, kar ve rüzgar yüklerini zemine aktarmaktadır. Bu sistemlerin, basınçlı hava ve rüzgar ile zeminden kopmaya ve uçmaya çalışmaları sebebiyle ağ ya da kablolar ile zemine bağlanmaları gerekmektedir. Sistemin stabilitesi için ağırlık artırma yöntemleri kullanılabilir.

İkinci olarak ise hava yastığı şeklinde şişme sistemler, iki zar arasında yer alan basınçlı hava yardımıyla ayakta duran, yapı içindeki nesnelerin ve insanların pozitif basınç (0.2 ile 7.0 atülük) alanında olmayıp, bu alanın altında oldukları sistemlerdir. Bu sistemde girişlerin hava kaçırmayacak şekilde tasarlanmasına gerek olmamaktadır. Yastık, gerilmeye dayanıklı kapalı bir membrandır ve iç hava basıncı fanlarla sağlanır. Yastık yapılar, ya doğrudan ya da ara taşıyıcı elemanlarla zemine bağlanır. Bu taşıyıcıların yardımıyla pnömatik olan nesnelerin stabilitesi sağlanmaktadır. Pnömatik sistemler hava basınçlı membran olarak yükleri taşırlar. Kablolar gibi membran düzlemi aracılığıyla sadece çekme kuvvetlerini aktarırlar. Yapay olarak verilen hava basıncı, membran yüzeyin her yerinde düzgün yayılı yük olarak membran yüzeyine dik olarak etkir (Url-44).

Tek tabakalı şişirme sistemlerde biçimin seçimi mimari estetik açısından önemli olduğu kadar, seçilen yüzey geometrisinin membran bezlerden yapılabilirliğini ve statik davranışını da etkilemektedir. Çadır sistemlerde uygun biçimlerin ters eğrilikli yüzeyler olmasına karşın uygulanan iç basınç arttıkça şişirme sistemlerin yüzeyi küre biçimine yaklaşır. Basınç en büyük olduğunda yüzey bir küre olur. Başka bir deyişle, küre en büyük hacmi en küçük yüzeyle örten bir minimum yüzey olarak tanımlanabilir. Şişirme sistemlerde böyle bir minimum yüzey, aynı zamanda membran oluşacak çekme kuvvetlerinin her doğrultuda aynı büyüklüklerde kalmasını sağladığı için önemlidir. Böylelikle membran malzemesi en uygun şekilde kullanılarak, aşırı yüklemelerden kaynaklanacak yırtılmalar da önlenmiş olur. Şekil 4.1’de gösterilen önlemler stabilizeyi sağlamak ve bina içerisindeki havanın korunmasına katkıda bulunmak için tasarlanmış ilk pnömatik sistemlerdendir (Url-44).



Şekil 4.1: Pnömatik mimarlığın ilk örnekleri (Url-44)

4.2 Pnömatik Mimaride Tasarım

Pnömatik mimarlık ürünlerinin kolay taşınabilir olması özelliği göz önüne alınırsa genellikle kalıcı olmayan çözümler oluşturmakta kullanılmaktadırlar. Özellikle fuar

yapıları (Şekil 4.2), pavyonlar (Şekil 4.3), geçici pazar, peyzaj ve sergi yapıları (bkz. Şekil 4.4) ile ilgili pek çok örnek bulunmaktadır.



Şekil 4.2: Pnömatik Fuar standı (Url-45)



Şekil 4.3: Pnömatik sergi yapısı iç mekanı (Url-46)



Şekil 4.4: Pnömatik Pavyon (Sprach Pavillion) (Url-47)

Bunların yanısıra pnömatik mimari örnekleri binaların dış kabuklarına eklentiler halinde de tasarlanmaktadır. Bu sayede bina kabuğundaki açık hava merdiveni veya aydınlatma elemanları gibi dış mekanlar ile doğrudan etkileşimli olan mekanlara da örtü olarak kullanılabilmektedirler (bkz. Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Pnömatik yapının binaya eklemelenmesi (Url-48)

Pnömatik mimaride tasarım yapılırken taşıyıcılık çok önemli bir faktördür. Çünkü binaların hafif olması bir avantaj olsa da bazı durumlarda (aşırı yanal yükler, rüzgar vb.) binaların zarar görmesi veya stabilitesinin sağlanamaması mümkün olabilmektedir (Topham, 2002). Pnömatik yapıların tasarımlarda nerelerde ve nasıl

kullanıldığına dair literatürdeki çalışmalar incelenerek bu tür yapıların avantajları daha kolay anlaşılabilir.

Pnömatik yapıların avantajları şöyle sıralanabilir ;

Geniş iç hacimler arada kolon olmaksızın geçilebilir. Malzeme basıncın etkisiyle taşıyıcı hale gelebilmektedir.

Yapım ve montaj süresi kısadır. Bundan dolayı geçici kullanım için uygundur. Acil durumlarda (doğal afetler vb.) kullanılabilir.

Montajı kolaydır, ustalık ve deneyim gerektirmez. Genellikle elektronik basınç kontrol sistemleri ve mekanik basınç kontrol valfleri ile kurulumları sağlanabilmektedir.

Sökülüp başka bir yerde yeniden kurulabilir. Bu işlem fazla maliyet gerektirmez (diğer bina yapım sistemlerine kıyasla).

Hafif olması nedeniyle nakliyesi ucuzdur ve katlanabilir özellikte olduğundan çok büyük mekanlar bile küçük ve vakumlu hacimler haline getirilebilmektedirler.

Işık geçirebilmesi ve doğal ışık katkısı nedeniyle aydınlatma gideri azdır.

Pnömatik balonlardan yardımcı eleman olarak yararlanılmaktadır. Jeodezik kubbelerin yapımında montaj elemanı olarak yararlanılır. Öyleki bazı tekniklerdeki şişirme balonlar (binishel) betonarme kabukların kalıbı yerine kullanılmaktadır.

Isıl konforun sağlanması açısından içinde barındırdığı hava nedeniyle yalıtım sağlar ve mekanların ısılarının korunmasına katkıda bulunur.

Adaptif bina kabuklarında kontrollü şişirme yapılarak gerektiğinde basınca müdahale ederek binanın dinamik olmasını sağlayabilir. (bkz.5.bölüm model analizi)

Modüller halinde üretilebilirler. Bu sayede her bir pnömatik hücre, kendi içerisinde merkezi bir karar destek mekanizması tarafından kontrol edilerek çeperin optimizasyonunu sağlayabilir.

Pnömatik sistemlerde herhangi bir problem olduğunda onarılması kolaydır. Basıncın düşmesi gibi durumlarda ise karar destek sistemleri tarafından uyarı verilmekte ve elde edilen verilere göre bölgesel olarak basıncın düşme nedeni saptanmaktadır. Sonrasında basınç değişiminin nedenine göre sisteme müdahale edilmekte ve sistemin sürekliliği sağlanmaktadır (Url-46).

4.2.1 Pnömatik Mimaride Formun Oluşturulması

Pnömatik mimaride form oluştururken tasarımcının tasarım gücünün ve yönteminin yanında teknik detaylar ve kısıtlamalar da önemlidir. İstenilen formların pnömatik mimari ile oluşturulması mümkün olmaktadır. Onun için pnömatik mimarlık pek çok mimarın da deneysel çalışmalarına sahne olmuştur. Japon mimar Kengo Kuma'nın yapmış olduğu “inflatable tea house” şişme çay evi bunlara verilebilecek örneklerdendir. Tasarımcı formu oluştururken iki yarım küreyi birbirine bağlayacak şekilde tasarlamış ve bunu teknik açıdan kolay olması için küçük modüllere çevirerek üretmiştir (Şekil 4.6 ve 4.7).



Şekil 4.6: Kengo Kuma'nın tasarlamış olduğu “inflatable tea house” iç mekanı (Url-49)



Şekil 4.7: Kengo Kuma'nın tasarlamış olduğu “inflatable tea house” (Url-50)

Ünlü tasarımcılar Arata Isozaki ve Anish Kapoor'un tasarlamış olduğu Ark Nova projesi de pnömatik örneklerdendir. Pnömatik bir kabuk ile total bir mekan oluşturan tasarımcılar iç mekanda da farklı kurguları malzemenin kendine özgü detaylarıyla tasarlamışlardır (bkz şekil 4.8) .



Şekil 4.8: Ark Nova projesinin iç mekan kurgusu (Url-51)



Şekil 4.9: Ark nova projesi havadan görünüşü (Url-52)

4.2.2 Pnömatik Mimaride Yapım

Pnömatik mimarlığa dair yapılan tasarımların temelinde basınçla çalışan bu sistematığın mimari tasarım prensipleriyle birlikte çalışmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Bu nedenle pnömatik mimaride formun oluşturulmasında teknik detaylar ve kullanılan sistemler önem taşımaktadır. Bu tür projelerde çoğunlukla kullanılan tek veya çift eğrilikli pnömatik sistemler hortum olarak adlandırılan bir boyutlu elemanların sıralanmasıyla, ya da bunların eğri yüzeylere uygulanmasıyla elde edilir (Url-46). Bunlar;

Bir boyutlu (ters eğrilikli) hortum sistemler,

Hacimsel (küresel) hortum sistemler,

Düzlemsel hortum sistemler,

Ters eğrilikli hortum sistemler,

Tensegrity hortum sistemler

Tensegrity sistemler, Buckminster Fuller'in adını verdiği (Tensegrity= Tensional+ Integrity) ve bünyesinde daha çok çekme gerilmelerinin ortaya çıktığı taşıyıcı bir sistemdir. Tensegrity hortum sistemde içi şişirilen hortumlar bir bakıma basınç elemanı olan kemer gibi çalışarak kablolar veya membran yüzeye öngerilmeyi sağlarlar.

Büyük açıklıklarda membran örtü tel, ip, örgü kablo, kablo ağı gibi çekme elemanlarıyla bir yönde ya da iki yönde güçlendirilir. Bu şekilde geçilecek açıklıklar artar veya kullanılacak membran malzemenin inceliği azalır ya da iç mekan yüksekliği azalabilir. Kabolar yardımıyla membran yüzey daha küçük parçalara bölünerek rüzgar nedeniyle oluşabilecek dalgalanmalar önlenmektedir (Url-46).

Membran örtüdeki gerilmeleri azaltmak için şişirme örtünün kablo ile güçlendirilmesi yöntemi de kullanılmaktadır. Bu yöntemin diğer olumlu yönü de şişirme sistemin yüksekliğini ve böylece örtülen hacmi azaltmasıdır. Kablo takviyeli şişirme sistemlerde hem membrandaki gerilmeler azalmakta, hem de iç ve dış mekanın aşırı büyümesi önlenmektedir (Şekil:4.10). Böylece hava-destekli şişirme sistemler, yalın şişirme ve kablo takviyeli şişirme sistemler olarak iki alt grup olarak sınıflandırılabilir.

Şişirme sistemlerde önemli konulardan biri de membran örtünün dayanımıdır. Membran örtüler, PVC, alüminyum buharı, silikon filmi, teflon gibi malzemeler ile iki yüzü de kaplanarak korunmakta, ömürleri 20 yılın üzerine çıkmaktadır. Cam elyaf örgülü, teflon kaplamalı, kablo takviyeli şişirme sistemler uzun ömürlerinin yanında 500 metrelik açıklıklara kadar uygulanabilmektedir (Url-46).



Şekil 4.10: Pnömatik mimaride geçilen açıklıklar ve sistematığı (Url-53)

Pnömatik sistemler ana taşıyıcı sistem veya yardımcı strüktür elemanı olarak yada kalıp elemanı olarak uygulamada kullanılmaktadır. Pnömatik mimari sistemlerle büyük açıklık gerektiren yapıların yanı sıra taşınabilir binalar, geçici binalar ve acil afet binaları da yapılabilir. Membran yapıların ömürlerinin kısa olması nedeniyle en uygun yapılar geçici yapılardır. Tenis kortu, yüzme havuzu gibi spor tesisleri kışa doğru şişirme yapılarla örtülerek kullanılmaktadır. Taşınabilir bina olarak inşaat şantiyelerine, gezici ve sabit sergi salonlarında kullanılabilir. Sanayi tesisleri için depo, ambar, atölye ve hangar olarak kullanılabilir. Hava koşullarına bağlı olmaksızın çalışabilmek için şantiyede yapı, yapım sürecinde bir şişme zarla korunabilmektedir (Url-46).

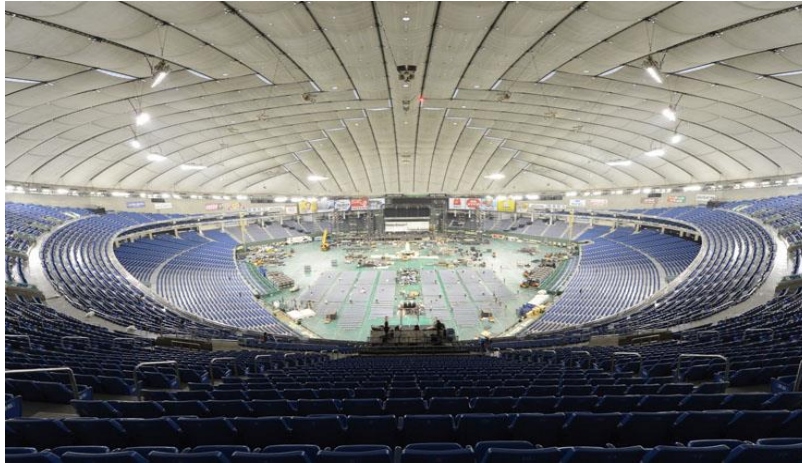
4.3 Pnömatik Mimari Örnekleri ve Analizleri

Örnek Analizi -1:



Şekil 4.11: Tokyo Dome Pnömatik çatısı (Url-54)

Tokyo Dome bir spor yapısı olarak tasarlanmış olup çatısında pek çok pnömatik birim bulundurmaktadır. Bu modüller taşıyıcı olmasının yanısıra iç mekandaki konfor koşullarını muhafaza edebilmek için önemlidir. İçinde oluşturduğu hava boşluğu ile kapladığı total alanın dışarıyla ilişkisini kesmekte ve izolasyon sağlamaktadır (Şekil 4.11-4.12).



Şekil 4.12: Tokyo Dome Pnömatik çatısı iç görüntüsü (Url-55)

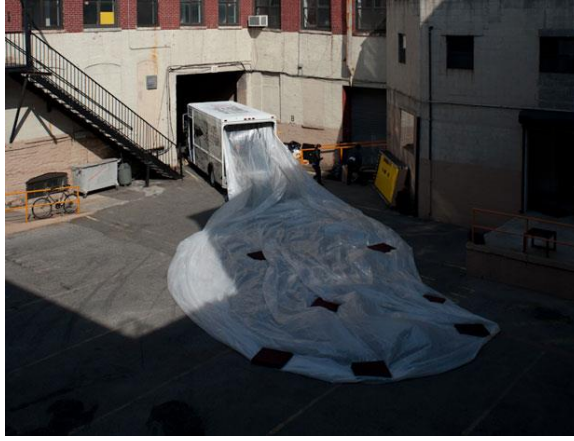
Örnek Analizi-2:

Space Buster projesi bir karavanın arkasında şişme bir yapı olarak tasarlanmıştır. Bu yapı gerektiğinde şekil 4.14'teki gibi açılarak şişirilmekte ve şekil 4.15'teki haline

ulaşmaktadır.Tamamı pnömatik olarak kurgulanan sistem gezici sergi ve toplanma yeri olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.13: Space Buster projesi (şişmiş durumda) (Url-56)



Şekil 4.14: Space Buster projesi (şişmemiş durumda) (Url-57)

Örnek Analizi -3:

Bayern Munich takımına ait olan ve Almanya'nın Münich kentinde bulunan stad, bina kabuğundaki pnömatik sistem detayları ile öne çıkmaktadır. Bina "Herzog & de Meuron Architects" tarafından tasarlanmıştır.Bina kabuğundaki pnömatik detaylar ışık geçirgenliği değiştirilerek gerektiğinde aydınlatılabilmektedir. Kabukta bulunan pnömatik modüller birbirlerine strüktürel olarak montajlanmıştır.

Bina kabuğunu her bir modülü geceleri şekil 4.15'teki gibi farklı bir renk ile aydınlatılmaktadır. Gündüz ise şekil 4.16'daki gibi pnömatik malzemeler kendi renginde görünmektedir. Bina çatısındaki pnömatik sistemler açılıp kapanabilmekte ve her bir modül kendi içerisinde indirilip şişirilebilmektedir. Bu sayede sahada bulunan çimlerin yeterli güneş ışığı alması sağlanmaktadır.



Şekil 4.15: Allianz Arena pnömatik ve ışıklandırılmış bina kabuğu görüntüsü (Url-58)



Şekil 4.16: Allianz Arena pnömatik bina kabuğu görüntüsü (Url-59)

5.PERFORMANSA DAYALI ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIMI

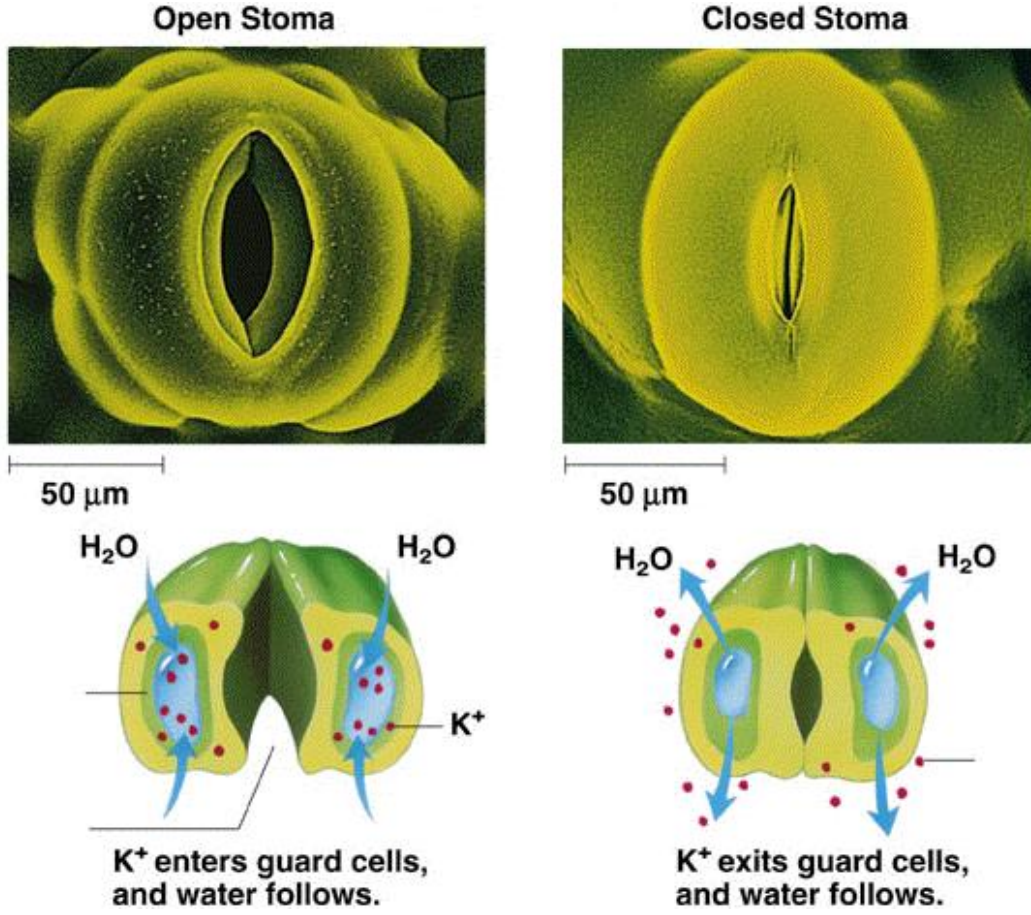
5.1 Modelin Kavramsal Çerçevesi

Performansa dayalı bina kabuklarında bina morfolojisi çeşitli girdilere göre değişerek, optimize olan ya da daha efektif hale gelen farklı formlar ortaya çıkarılırlar. Bir çevresel etkinin yaratacağı tepki, performansa dayalı tasarımda ilginç estetik kurgular ortaya çıkmasına olanak sağlar. Bu estetik kurgular aynı zamanda performansa dayalı modelde çeşitli durumlarda avantajlar sağlamaktadır. Hesaplamalı tasarımda önemli bir yere sahip olan performansa dayalı tasarımda, çevresel etkiler sonucu oluşan tepkilerin (girdilerin) performansa dayalı bina kabuklarına ve bazı morfolojilere (çıkıntılara) dönüşmesi sıklıkla kullanılmaktadır.

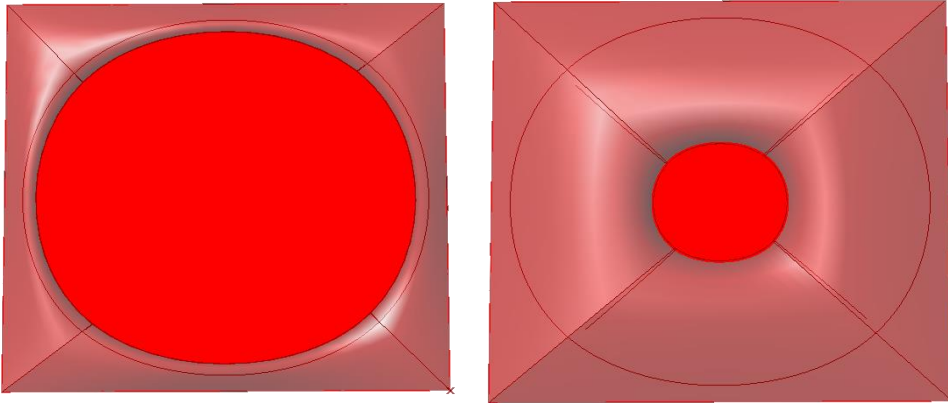
Çevresel girdilerden olan güneş, hem ısı konfor açısından hem de görsel konfor (ışık dengesi) açısından belirleyici olan en büyük etkidir. Binaların doğaya adapte olabilmesinin ve gerekli konfor koşullarını sağlayabilmesinin temelinde bina kabuklarında güneş kontrol sistemleri önemli yer tutmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen ve güneşin bina kabuğu üzerindeki etkisinin optimize edildiği model, çevreye ve bina kullanıcılarına daha az maliyete daha çok konforlu mekanlar sunabilen çevresel girdilere göre performansa dayalı adaptif binalar tasarlanmasına yönelik bir modeldir.

Modelde, stomaların (bitki gözeneklerinin) güneş karşısındaki hareketlerinin benzetimini yapan kurgudan yararlanılmıştır. Doğadan esinli bu kurgu pnömatik sistemlerle tasarlanmıştır. Modelin hareket mekanizmasında pnömatik basıncın oluşturulmasını sağlayan sistemler, stomalardaki su basıncı (turgor) sistemlerinden esinlenerek kurgulanmıştır. Modelde fonksiyon ve topoğrafya özellikleri ihmal edilerek, total bir mekanı örten kabuk tasarlanması amaçlanmıştır. Şekil 5.1’de görülen bitki stomaları modeldeki pnömatik sistemin kurgulanmasında önemli bir benzetim sistemi olmuştur. Her bir stoma hücresinin güneşin etkisiyle büzülmesi ve şişmesi tez kapsamında hazırlanan performansa dayalı adaptif bina kabuğunu oluşturan modüllerin hareketleriyle benzeştirilmiştir. Şekil 5.2’de görülen model kapsamında geliştirilen pnömatik modül detayında, bitki stomalarıyla olan benzerlik

görülmektedir. Modelin ikinci kısmında ise üretilen formların dereceli şekilde boyanarak ısı olarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede tasarımcı, tasarımı yaparken güneşin bina kabuğu üzerindeki etkisini kontrol edebilecektir. Pnömatik olarak tasarlanan bu mekanizmayı şişirerek ya da büzerek sağlayacaktır.



Şekil 5.1 : Bitki stomaları ve suyun hareketleri (Url-64)



Şekil 5.2 : Pnömatik sistem ve gaz hareketleri (modül)

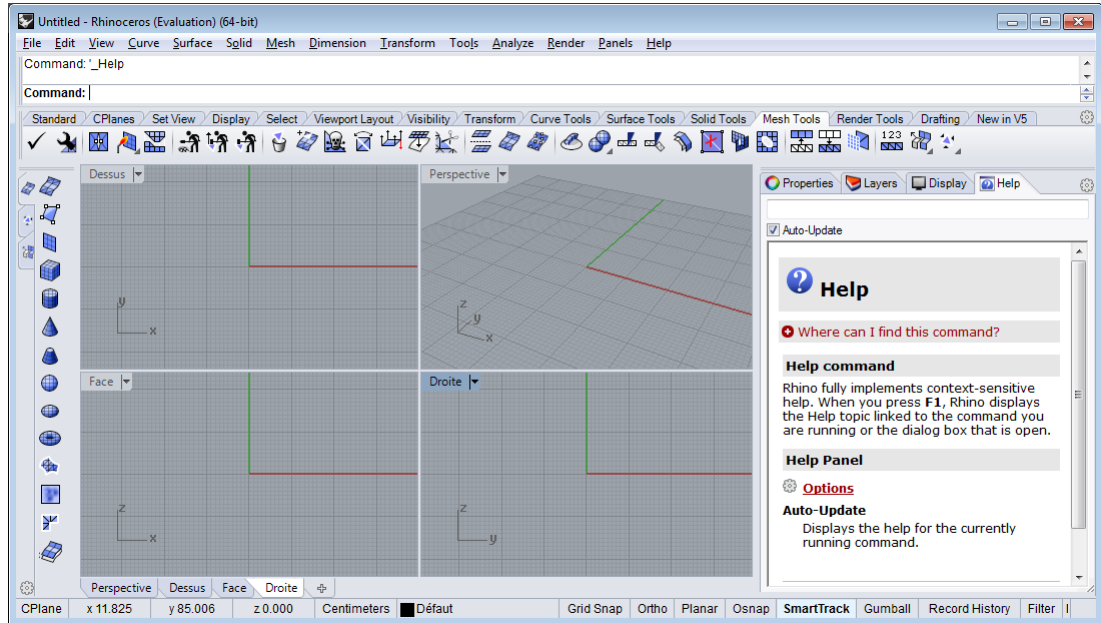
Günümüzdeki enerji kullanım analizlerine bakıldığında bina kabuklarının bu kullanımda fazlasıyla katkısı olduğu görülebilmektedir. Bundan dolayı güneşin geliş

açısına ve ısı radyasyon değerlerine göre tasarlanmış adaptif (uyarlanabilen) bina kabukları ile bu sorunun çözümüne yönelik bir başlangıç yapılması amaçlanmıştır.

5.2 Modelde Kullanılan Yöntem ve Araçlar

Modelin geliştirilmesinde Visual Basic (VB), Rhinoceros ve eklentileri olan Grasshopper (Kangaroo ile birlikte), Heliotrope yazılımları kullanılmıştır. Bu yazılımların birlikte çalışmasını denetleyen yazılım ise Visual Basic VB olarak seçilmiştir. VB yazılımı VBdot.net koduyla desteklenmiştir.

Rhinoceros 3D, NURBS (Non-uniform rational B-spline) tabanlı ticari bir modelleme programıdır (Şekil 5.3). İlk olarak Robert McNeel & Associates şirketi tarafından geliştirilmiştir. Rhino 3D özellikle serbest formlu "NURBS" modellemede uzmanlaşmıştır. Aynı şirket tarafından yazılmış Rhinoceros 3D programına eklenebilen birçok yardımcı program vardır. Bunlar Grasshopper, Weaverbird, Heliotrope, Ladybug gibi tasarıma ve üretime yardımcı eklentilerdir. Ayrıca birçok üçüncü şahıs tarafından yazılmış eklenti bulunmaktadır.



Şekil 5.3 : Rhinoceros 3D kullanıcı arayüzü (Url-60)

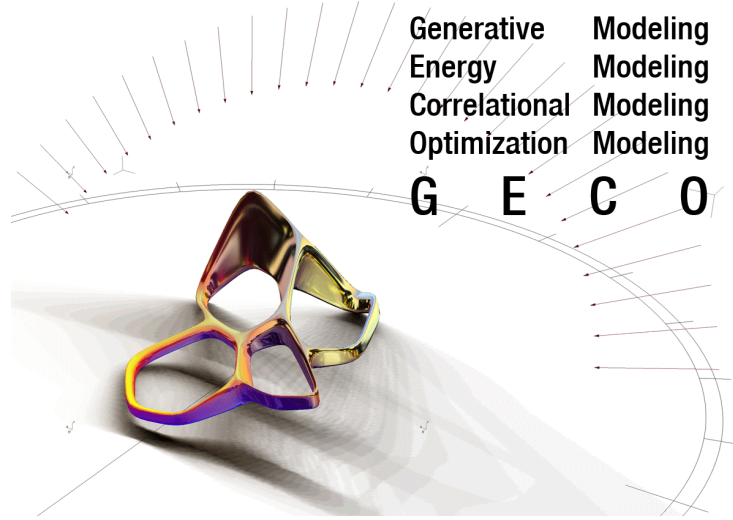
Rhinoceros 3D 'nin, Visual Basic tabanlı RhinoScript isminde bir de kodlama programı vardır ve bu kodlama (scripting) programı VB dot.net ile birlikte uyumlu olarak çalışmaktadır. Rhinoceros 3D sonuç ürünün tasarlandığı yüzeyin oluşturulmasında kullanılmıştır (Şekil 5.4). Rhinoceros 3D ayrıca bir eklenti olan Grasshopper ile birlikte parametreleri değerlendirerek formun oluşturulmasında,

Grasshopper birimlerin panellere ayrılmasında ve formların değiştirilmesinde kullanılmıştır. Heliotrope ise güneşin hareketlerini temsil etmektedir. VB yazılımı ise genişletilmiş bir yazılım olarak tasarlanmıştır; bütün parametrelerin birlikte analiz edilmesini sağlayarak kabuğun değişmesini ve sıcaklığın renklerle analiz edilmesini sağlamaktadır.

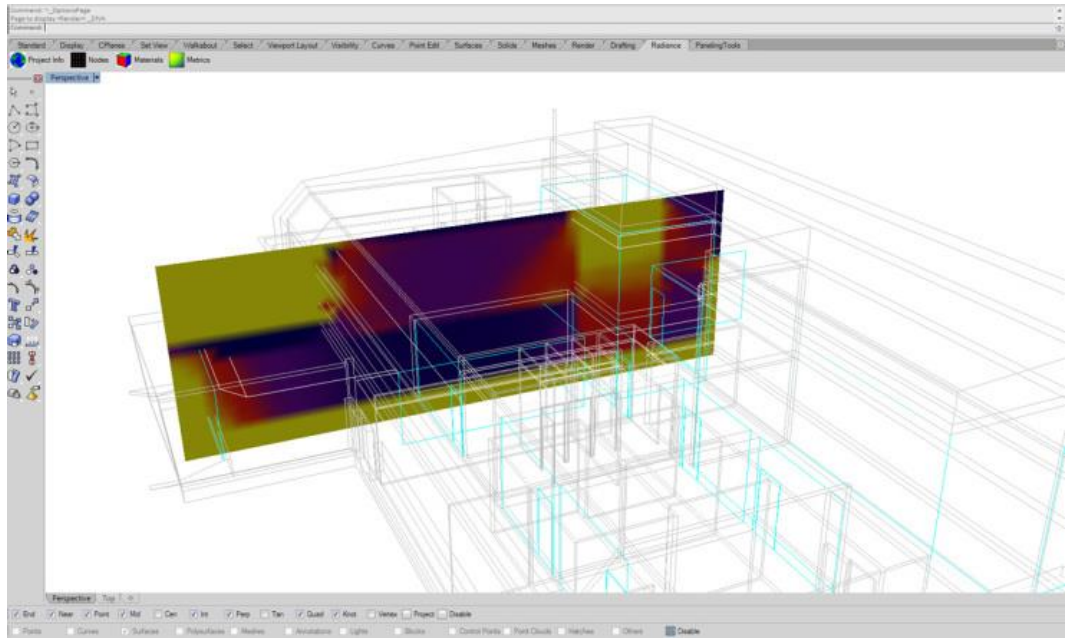
Şekil 5.4: Grasshopper arayüzü (Url-61)

Visual Basic ise, öncelikle Basic programlama dili temel alınarak ortaya konulmuştur. Bu programlama dili metin tabanlı düzenleyiciler içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Basic (Beginners-All Purpose Symbolic Instruction Code) kelime anlamı olarak "*Yeni Başlayanlar İçin Çok Amaçlı Sembolik Talimat Kodu*" anlamına gelmektedir (Url-61).

Elde edilen yazılımlar GECO ve Diva programlarının ara yüzleri ile karşılaştırılmıştır. Ecotect Analyses ile çalışan GECO programı analizleri yaparken verileri Ecotect Analyses'den alarak Grasshopper ve Rhinoceros programı ile birlikte çalışmasını sağlamaktadır (Şekil 5.5 ve 5.6).



Şekil 5.5: GECO programı arayüzü (Url-62)



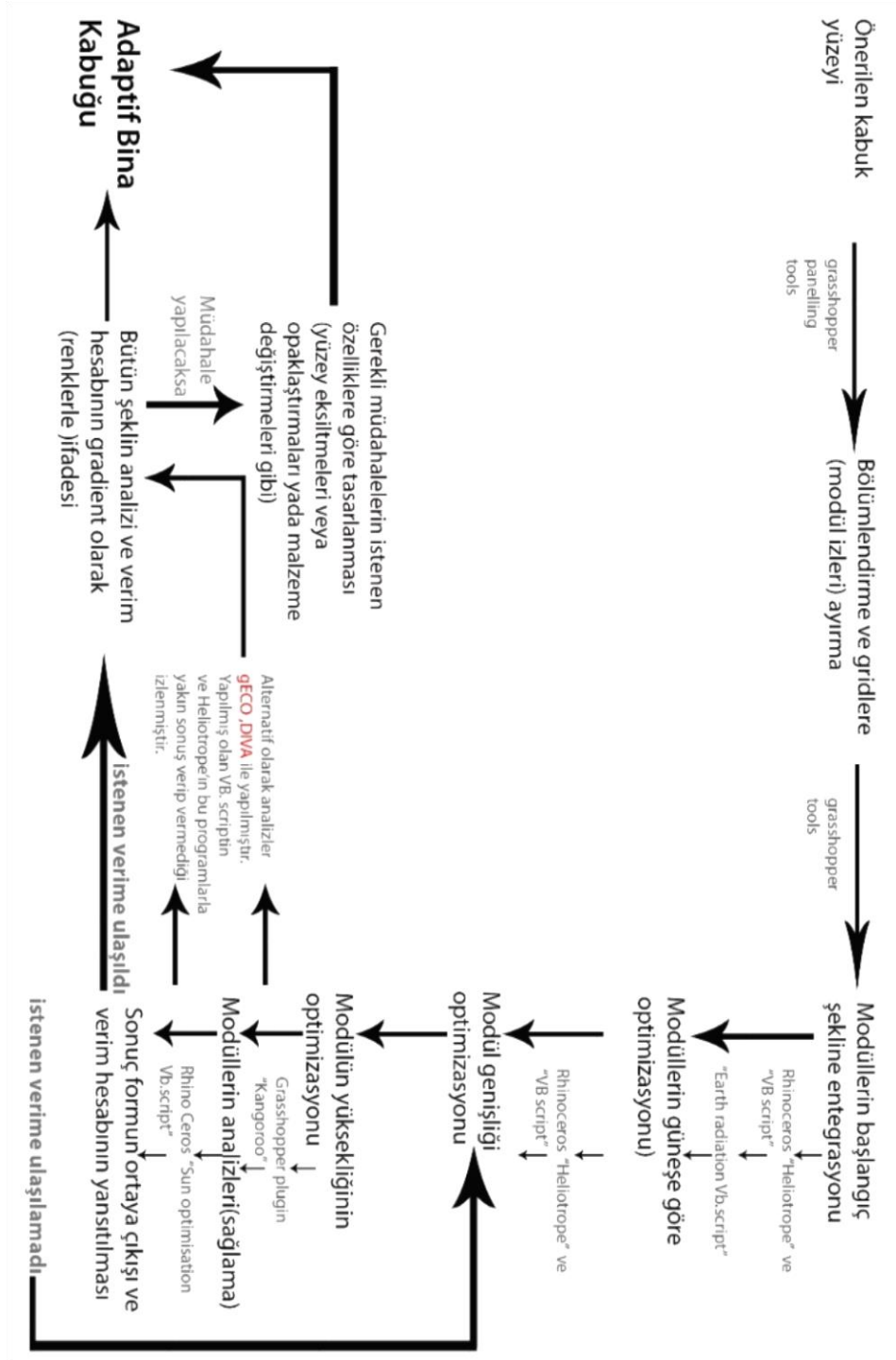
Şekil 5.6: Diva programı kullanıcı arayüzü (Url-63)

Yazılımın test edilmesinde kullanılan Diva programı ise, yeni performans analizleri üreten ve iklimsel verilere göre kullanılan bir program olup Grasshopper için bir eklenti olarak tasarlanmıştır. Bu programda güneş batış ve doğuş saatleri hesaplanmakta ve veriler ileri bir tarihe kadar programın veritabanında bulunmaktadır.

Verilen tarih ve coğrafyaya göre güneş geliş açılarını da hesaplayabilmektedir. Bu programın bir dezavantajı olan özel durumlarda (dünya eksen kayması, ekinokslar, güneş patlamaları vb.) program kendini güncelleyip doğru sonuç verememektedir.

5.3.Modelin Algoritması

Modelin genel akış diyagramı şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7: Program genel akış diyagramı

Visual Basic ortamında tasarlanan yazılımlar ve Rhinoceros, Grasshopper ve eklentisi Heliotrop ile yapılmış olan model aynı zamanda iklimsel verileri ve güneşin batış ve doğuş saatlerini ve güneşin etkiye açılarını simüle edebileceğimiz bir yazılımdır.

Yazılımın iklimsel girdilerini sistemleştiren kısmı Ted Ngai tarafından açık kod olarak tasarlanmış ve girdi olarak kullanılacak veriler “The Solar Position algorithm is based on National Oceanic and Atmospheric Administration's Solar Position Calculator” (Url-65)’ den alınmıştır. Tez kapsamında alınan bu veriler ile geliştirilen model ülkemize göre yeniden kodlanarak uyarlanmıştır. Aynı zamanda bazı kodlar Guillermo Parada tarafından tasarlanan “Rib structure” projesinden uyarlanarak yazılım zenginleştirilmiştir (Url-66). Rib structure projesinden alınan kodlar Pnömatik bir sistem kurgusu oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca önerilen kabuk yüzeyi “Panelling tools” ile gridlere ayrılarak, 3 boyuttan istenilen formlar elde edilmiştir.

Modüllerin güneşe göre hareket etmesi ve iklimsel verileri alması için hazırlanan yazılımlar Visual Basic kodu 1 ile geliştirilmiştir. Bu kod Grasshopper’ın Rhinoceros 3D ile birlikte çalışmasını ve elde edilen verilerin paylaşımlı olarak kullanılmasını sağlamaktadır. “Array” (dizi) komutu kabuktaki modüllerin yerleşimini sağlamaktadır. Ayrıca bu kod bazı fonksiyonları da diziyle birlikte çalıştırmaktadır. Bu kod sayesinde şekil 5.7’deki fonksiyonların birbirlerini takip etmesi sağlanmaktadır. Başlangıç olarak verilen yüzeyden itibaren elde edilen değişimler Visual Basic Kodu 1 ile sağlanmaktadır.

Visual Basic 1

(kısaltılmış bir örnek)

.....

```
Private Sub Print(ByVal format As String, ByVal ParamArray args As Object())
```

```
    __out.Add(String.Format(format, args))
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Reflect(ByVal obj As Object)
```

```
    __out.Add(GH_ScriptComponentUtilities.ReflectType_VB(obj))
```

```
End Sub
```

the Script component. </summary>

```
Private Sub Reflect(ByVal obj As Object, ByVal method_name As String
```

```

End Sub

#End Region

Private Sub RunScript(ByVal pts As List(Of On3dPoint), ByVal riseSet As List(Of On3dPoint),
ByRef A As Object)

    Dim i As Integer

    Dim newPtArray As New List(Of On3dPoint)

    Dim tempPtArray As On3dPoint

    newPtArray.Add(riseSet(0))

    For i = 0 To pts.Count - 1

        tempPtArray = pts(i)

        If tempPtArray.IsValid Then

            If tempPtArray.z > 0 Then

                newPtArray.Add(tempPtArray)

            End If

        End If

    End For

End Sub

.....

```

Model kapsamında yazılan Visual Basic 2 algoritması ay, gün, yıl gibi parametrelerin modele aktarılmasını sağlamaktadır. Bu algoritma sayesinde güneşin geliş açıları hangi ayda ne kadar açıyla olacak veya gelen güneş açısının ısı radyasyona ne kadar katkısı olacak gibi soruların yanıtı cevaplanabilmektedir.

Visual Basic 2

(kısaltılmış bir örnek)

```

.....

Private Sub Print(ByVal format As String, ByVal ParamArray args As Object())

    __out.Add(String.Format(format, args)) component. </summary>

End Sub

Private Sub Reflect(ByVal obj As Object, ByVal method_name As String)

    __out.Add(GH_ScriptComponentUtilities.ReflectType_VB(obj, method_name))

End Sub

```

#End Region

```
Private Sub RunScript(ByVal year As Integer, ByVal month As Integer, ByVal day As Integer, ByRef  
doy As Object)
```

```
''' algorithm based on OnlineConversion.com  
http://www.onlineconversion.com/day_week_number.htm
```

```
If year Mod 4 = 0 And year Mod 100 <> 0 Or year Mod 400 = 0 Then
```

```
doy = day + accumulateLY(month)
```

```
Else
```

```
doy = day + accumulateNY(month)
```

```
</my vb4>
```

```
End If
```

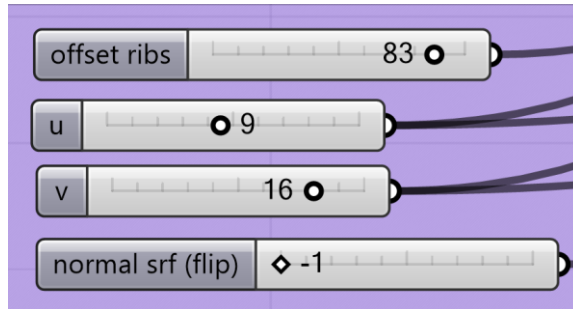
```
End Sub
```

```
End Class
```

.....

5.4 Modelin Parametreleri

Tez kapsamında geliştirilen formun dört parametresi vardır (Şekil 5.8). Bu parametreler bina kabuğundaki şekillenmeleri sağlamaktadır.



Şekil 5.8: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri -1

“Offset ribs”, “o” olarak adlandırılan parametredir. Bu parametre modeldeki her bir modülün denge aralığını belirler. Genellikle yüzeye göre değişmektedir.

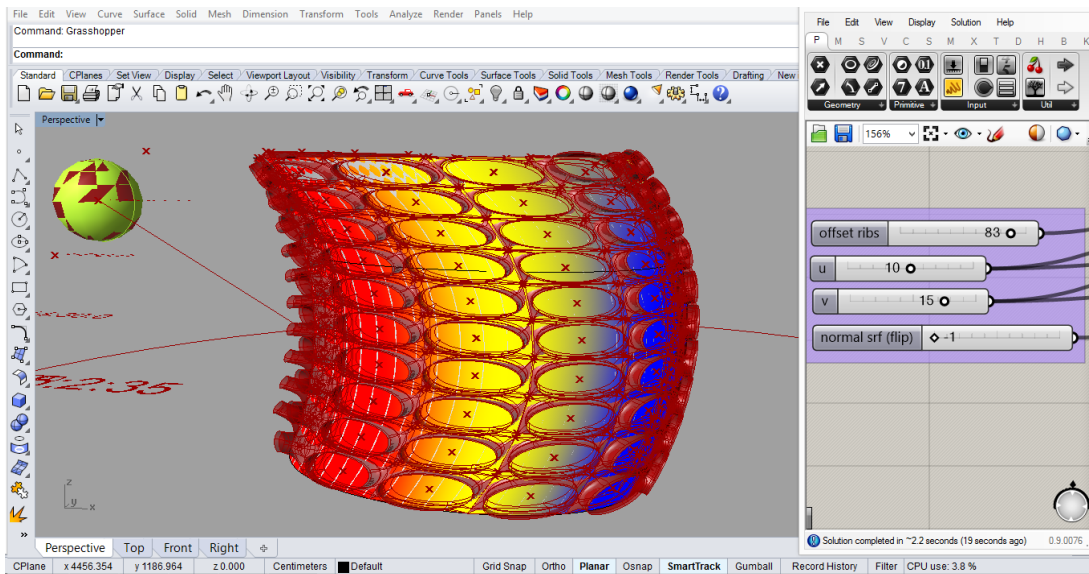
“U” değişkeni modelin düşeydeki modül sayısını temsil etmektedir. Bu değişken sayesinde düşeydeki panel sayısı hesaplanabilmekte ve oluşturulan paneller birim haline dönüştürülebilmektedir.

“V” değişkeni modelin yataydaki modül sayısını temsil etmektedir. Bu değişken yataydaki panel sayısını hesaplamakta ve oluşturulan paneller birim haline dönüştürülmektedir.

Modelin düzenli bir şekilde uygulanabilmesi için “u” ve “v” değişkenleri birbirleriyle uyumlu olarak seçilmeli ve modüllerin oluşturulacağı yüzey oranlarına göre bu değişkenler optimize edilmelidir. Modüllerin pnömatic olması dolayısıyla, formlarının kareye yakın olması modelin bütününe daha iyi sonuç verebilmesi bakımından önemlidir. Bunun için tasarımcı yatay ve düşey birim sayıları ve ölçülerini belirlerken bu kriterleri göz önünde bulundurmalıdır.

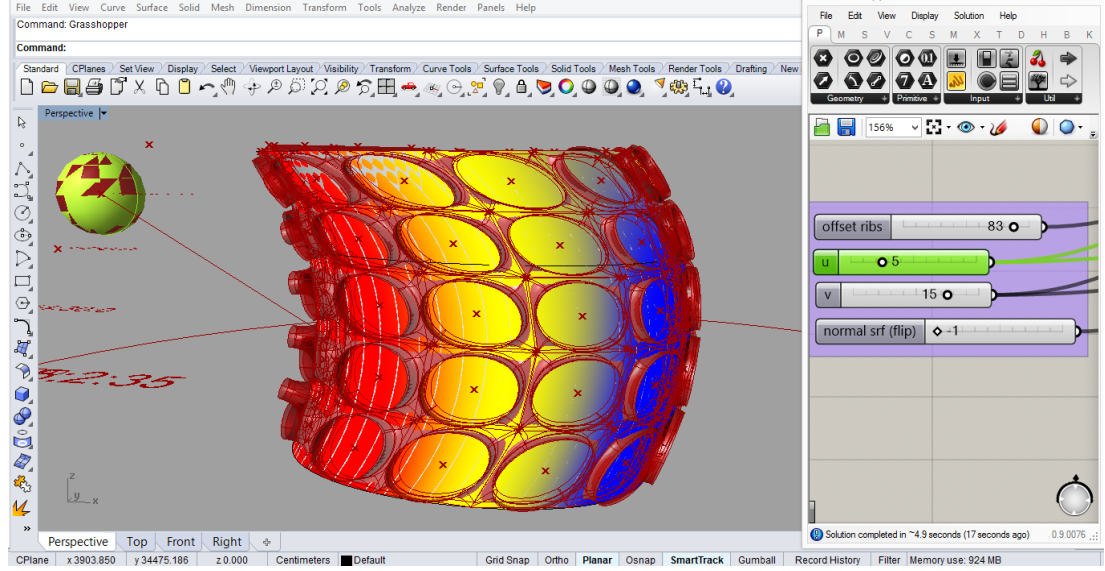
“Normals srf (flip)” değişkeni “f” olarak adlandırılmıştır ve -1, 0, 1 değerlerinden herhangi birini alabilmektedir. -1 değeri yüzeyin tersine göre modülün büyümesini sağlar. Panellere ayrılan modüllerin yüzeye pozitif yönde mi yoksa negatif yönde mi oluşacakları bu değişken değeri sayesinde belirlenmektedir. -1 değeri alan bu değişken modelin dışa doğru şekillenmesini ve büyümesini sağlar. 0 değeri alan modüllerin boşlukları ise, değişmeden kalır ve içe ya da dışa doğru herhangi bir büyüme göstermez. Değişkenin 1 değerini alması ise modüllerin içe doğru şekillenmesi ve büyümesini sağlar.

Modelde kabuğun oluşturulmasındaki form parametreleri, performansa dayalı adaptif bina kabuğunun morfolojik olarak değişmesinde önemli rol oynamaktadır. Algoritmadaki form parametreleri o:83,u:10,v:15,f: -1 iken kabuğun morfolojisi şekil 5.9 daki gibidir.



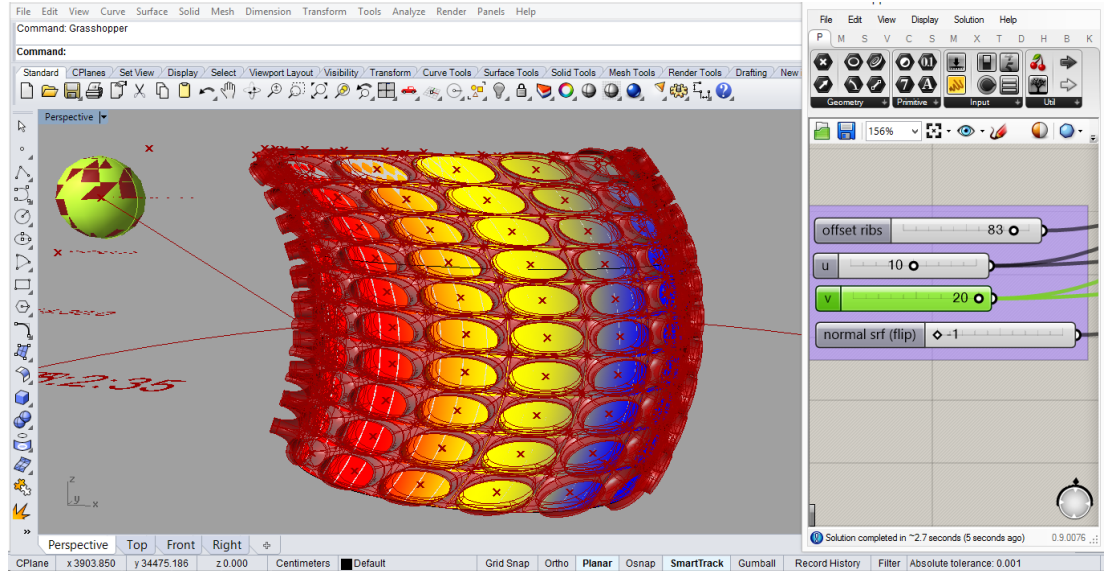
Şekil 5.9: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83, u:10, v:15, f: -1

Algoritmadaki form parametreleri o:83,u:5,v:15,f: -1 iken kabuğun morfolojisi şekil 5.10 daki gibidir. Morfolojik olarak düşeydeki birim sayısı azalmıştır. U değişkeni düşeydeki modül sayısını temsil etmektedir.



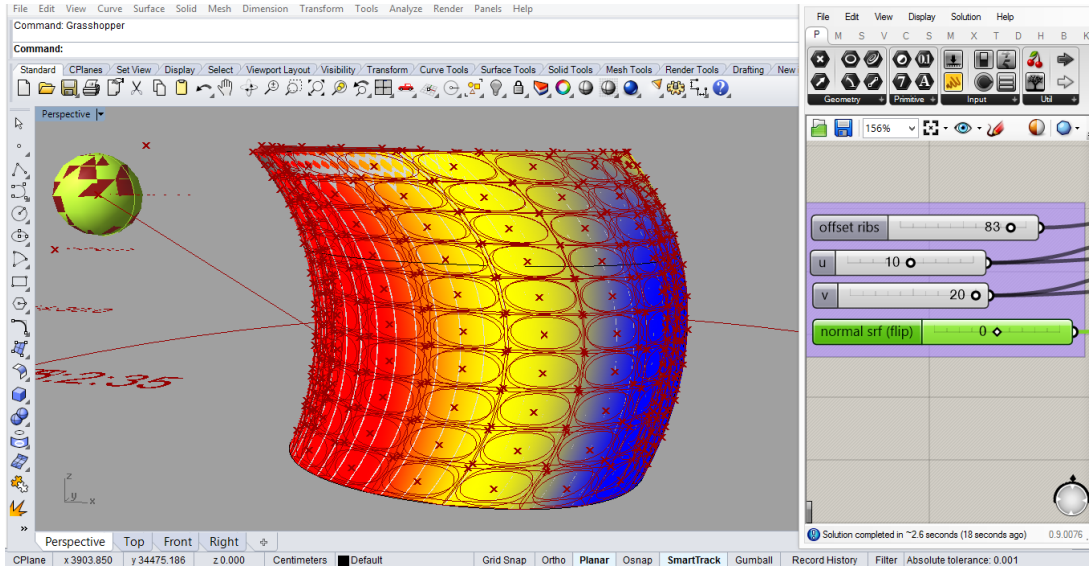
Şekil 5.10: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83, u:5, v:15, f: -1

Algoritmadaki form parametreleri o:83,u:10,v:20,f: -1 iken kabuğun morfolojisi şekil 5.11 daki gibidir. Morfolojik olarak yataydaki birim sayısı artmıştır. V değişkeni düşeydeki modül sayısını temsil etmektedir.



Şekil 5.11: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83,u:10,v:20,f: -1

Algoritmadaki form parametreleri o:83,u:10,v:20,f: 0 iken kabuğun morfolojisi şekil 5.12 daki gibidir. Morfolojik olarak yataydaki birim sayısı artmıştır. V değişkeni düşeydeki modül sayısını temsil etmektedir.



Şekil 5.12: Tez için geliştirilen modelin form parametreleri o:83,u:10,v:20,f: 0

“Offset ribs” değişkeni algoritmadaki yüzeye göre değiştirilmelidir. Aynı yüzeylerin analizi yapıldığı için ” o” değişkenine müdahalede bulunulmamıştır.

Modelde çevresel girdi parametreleri (şekil 5.9) olan zaman parametreleri güneşin geliş açılarını değiştirdiği için doğrudan önemlidir. Visual Basic 3 kodundaki verilerin yalnızca zaman ile ilgili olan kısmı bu metine eklenmiştir.

Visual Basic 3

(kısaltılmış bir örnek)

.....

```
Private Sub RunScript(ByVal yr As Double, ByVal mth As Double, ByVal day As Double, ByVal hrs
As Double, ByVal tzone As Double, ByVal longitude As Double, ByVal latitude As Double, ByRef
zenAng As Object, ByRef azi As Object, ByRef hrAngle As Object, ByRef solarElev As Object, ByRef
eqaTime As Object, ByRef solDec As Object)
```

' The Solar Position algorithm is based on National Oceanic and Atmospheric Administration's Solar Position Calculator <http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/azel.html>

'Code is ported into vb.net and integrated into Grasshopper by Ted Ngai

```
Dim hourAngle, haRad, csz, zenith, azDenom As Double
```

```
Dim azRad, azimuth, exoatmElevation, refractionCorrection, te As Double
```

```
Dim solarZen, elevation, coszen As Double
```

'timenow is GMT time for calculation

```
Dim timenow As Double = hrs - tzone
```

```
longitude = longitude * -1
```

```

Dim JD As Double = calcJD(yr, mth, day)

Dim T As Double = calcTimeJulianCent(JD + timenow / 24.0)

Dim R As Double = calcSunRadVector(T)

Dim alpha As Double = calcSunRtAscension(T)

Dim theta As Double = calcSunDeclination(T)

Dim earthRadVec As Double = R

```

.....

Modelin tasarım aşamasında kullanılan saat, gün ve gün içi güneş ışını geliş açıları değişimi gibi diğer parametrelerin hesaplanmasını sağlayan Visual Basic 4 Kodu bina morfolojisinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu kod sayesinde radyan şeklinde hesaplanan açılar derecelere çevrilmektedir. Matematiksel olarak belirtilen saatteki açı, algoritma yardımıyla hesaplanabilmektedir.

Visual Basic 4

(kısaltılmış bir örnek)

.....

```

Dim solarTimeFix As Double = eqTime - 4.0 * longitude + 60.0 * -tzone

Dim trueSolarTime As Double = hrs * 60 + solarTimeFix

While trueSolarTime > 1440

    trueSolarTime -= 1440

End While

hourAngle = trueSolarTime / 4.0 - 180.0

If hourAngle < -180 Then

    hourAngle = hourAngle + 360

zenith = radToDeg(Math.acos(csz))

azDenom = (Math.cos(degToRad(latitude)) * Math.sin(degToRad(zenith)))

If Math.abs(azDenom) > 0.001 Then

'Basic Functions

'Convert radian angle to degrees

Function radTodeg(ByVal angleRad)

    radTodeg = (180.0 * angleRad / Math.Pi)

```

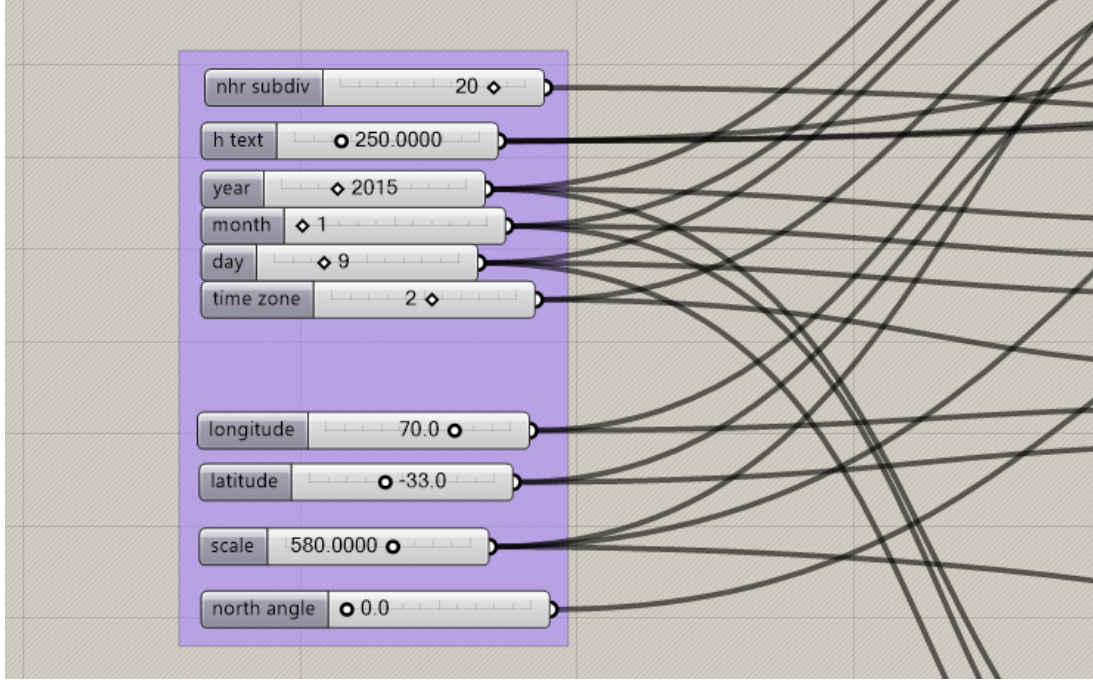
End Function

Function degToRad(ByVal angleDeg)

degToRad = Math.Pi * angleDeg / 180.0

End Function

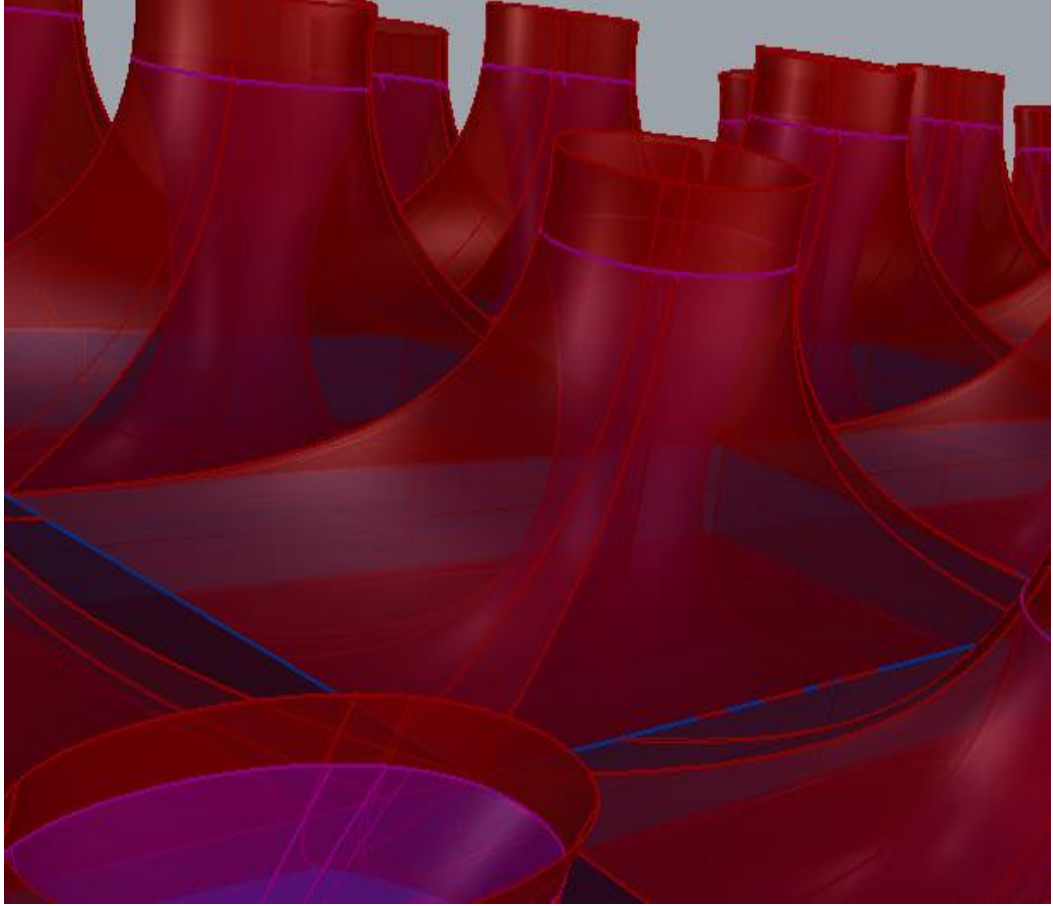
.....



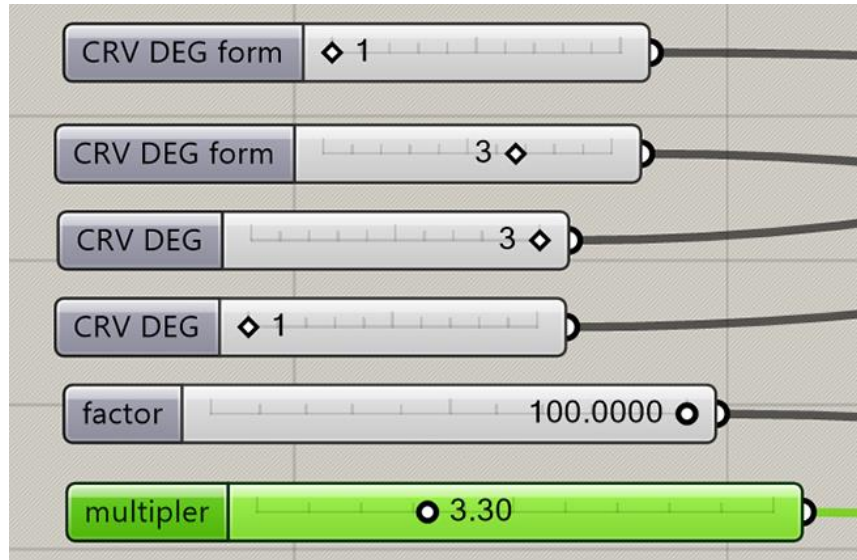
Şekil 5.13: Tez için geliştirilen modelin çevresel girdi parametreleri -2

Yazılıma pnömatik malzeme özelliklerini gerçeğe yönelik görüntü elde etmek için ek olarak ETFE yi ve şişme sistemlerde kullanılan malzemeleri simüle eden bir eğrileştirme yazılımı da eklenmiştir. Bu yazılım kabuğun “curvitary” özelliğini artırıp daha çok balon bir yapı özelliği katmaktadır (Şekil 5.13 ve 5.14).

Programın parametreleri güneşin gün içerisindeki değişimleri, güneş batış ve doğuş saatleri ve bunları gösteren göstergeler (saat, dakika vb.) yıl, ay, gün, saat dilimi, kuzey güneş açısı sapmaları, enlem boylam ilişkileri, güneşin parametreleri ve göstergeleri (büyüklüğü, rengi vb.) olarak tasarlanmıştır. Pnömatik olarak tasarlanan bu adaptif kabuğun parametreleri ise x ve y eksenlerindeki modül sayıları, modüllerin içe veya dışa dönük olmasını sağlamaktadır. Sadece delik olarak kalmasını sağlayan (normal srf (flip)) komut, üretilen birimlerin yüksekliklerinin elle kısmen değiştirilebildiği bölüm ve modüllerin elastik görünüm kazanmalarına katkıda bulunan sayaç ile değişik malzeme örnekleri bulunan (ETFE, pnömatik kumaş veya daha sert bir malzeme) de denenebilmektedir.

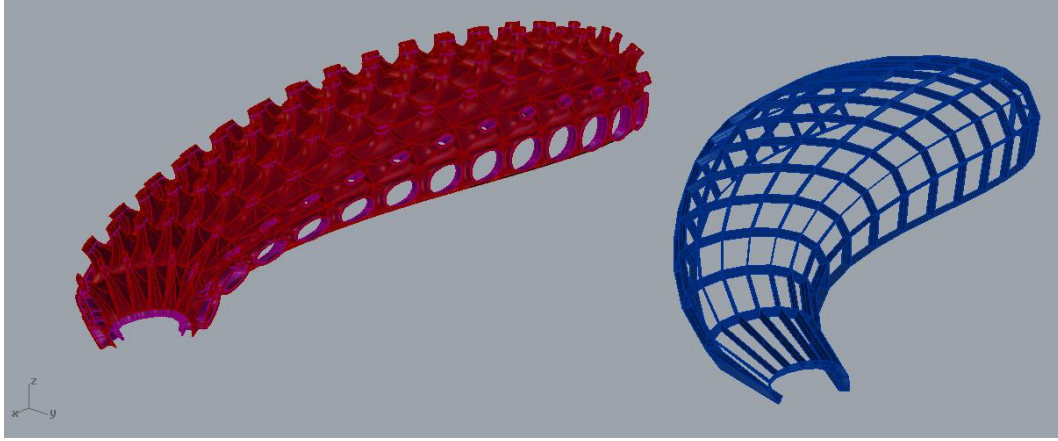


Şekil 5.14: Sistemin Pnömatik Birimleri

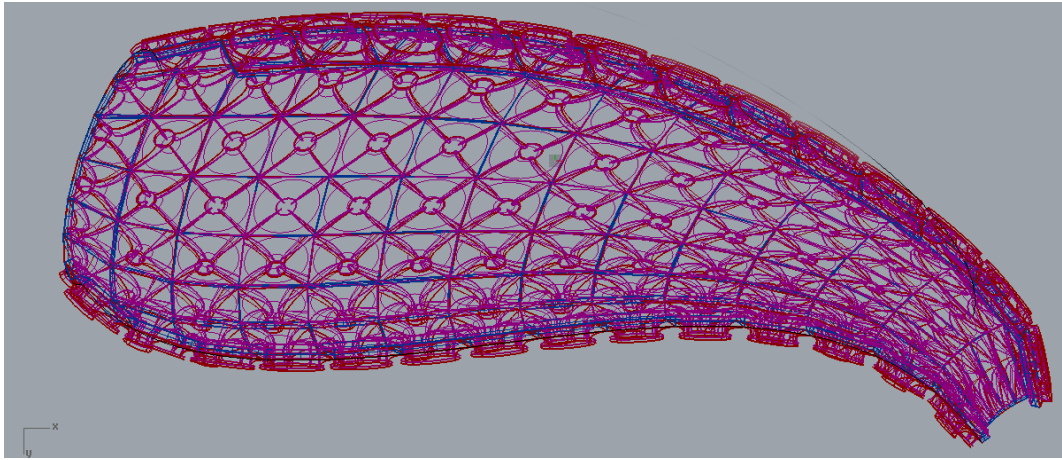


Şekil 5.15: Tez için geliştirilen modelin yüzey girdi parametreleri -3

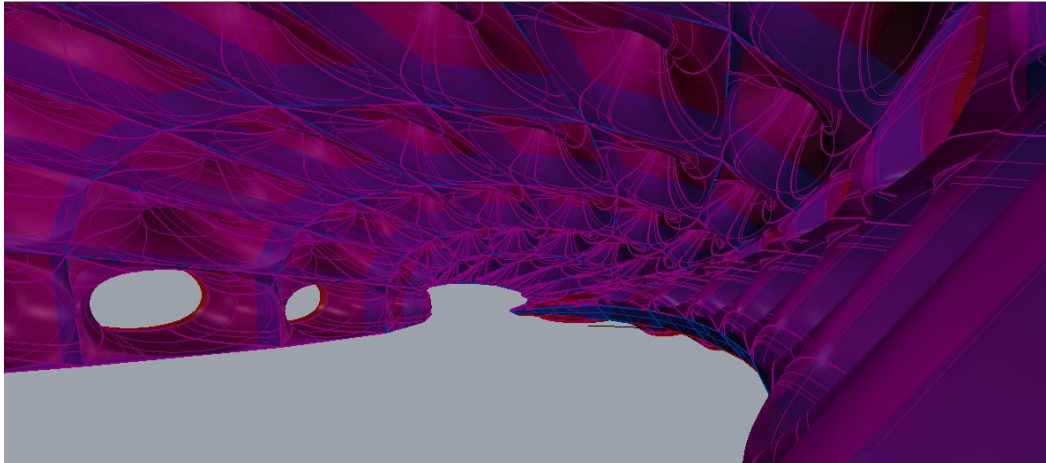
Yüzey girdi parametreleri (Şekil 5.15), yüzeyi panellere ayıran ve sütrüktürel bir çerçeve (structural frame) içerisinde sistemin durmasını sağlayan ve pnömatik birimleri taşıyan strüktürleri yapan değişkenlerdir (Şekil 5.16 - 5.18).



Şekil 5.16: Modelle üretilen bütüncül sistem(solda) ve strüktürü (sağda)



Şekil 5.17: Modelle üretilen bütüncül sistem önerisi (pnömatik ve taşıyıcı strüktür)



Şekil 5.18: Modelle üretilen pnömatik bina kabuğunun iç mekan görünüşü

5.5 Modelin Uygulama Örnekleri

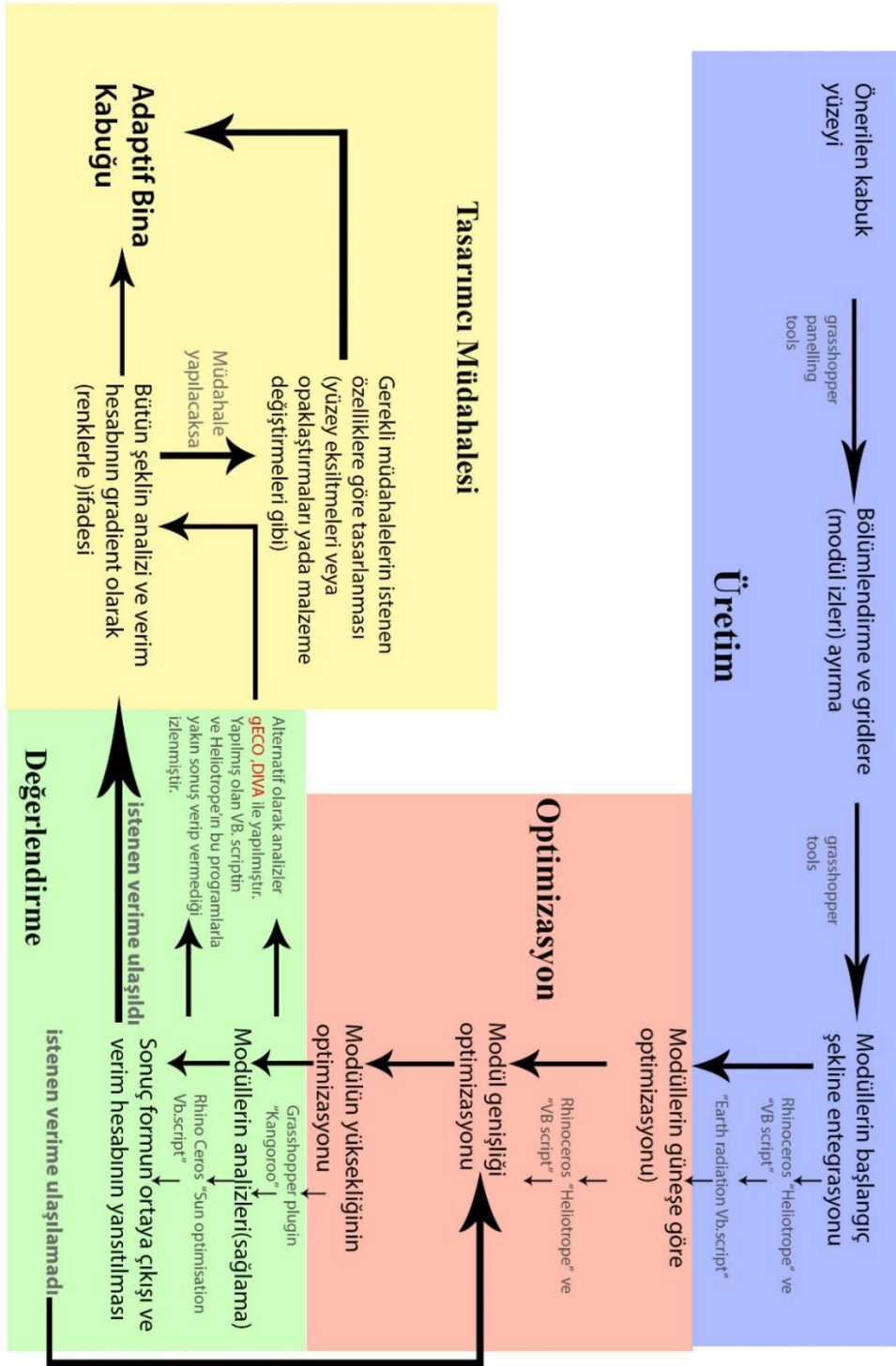
Modelle üretilen performansa dayalı bina kabukları istenilen yüzeylere uygulanabilmektedir. Üretilen herhangi bir yüzey gridlere ayrılarak modüller onun

üzerine yerleşebilmektedir. Güneşin geliş açısına göre değişebilen kabuk modülleri strüktürlerin oluşmasının ardından yüzeyi panellere ayırmakta ve üzerinde birimleri oluşturmaktadır. Modelin akış diyagramında görüldüğü üzere (bkz şekil 5.7 ve 5.19) modelle üretilen modüllerin bölümlendirme ve gridlere ayırma işleminden sonra grasshopper tools yardımı ile modüllerin başlangıç şekline entegrasyonu sağlanmıştır. Sonrasında Heliotrope ve VB script kullanılarak bina kabuğu formu güneşe göre optimize edilmeye çalışılmıştır. Bunu yaparken Earth radiation VB.Script kullanılmıştır.

Güneşe göre optimize olan modüller Rhinoceros ve Grasshopper kullanılarak Heliotrope’u aktifleştirmekte ve modülün genişliğinin optimizasyonu sağlanmaktadır. Devam eden süreç içerisinde amaçlanan forma ulaşamaması durumunda hesaplamanın tekrar yapılacağı adım modül genişliği optimizasyonudur. Modelin yüksekliğinin hesaplanması bu aşamada yapılmaktadır. Modül yüksekliği güneşin ısı radyasyonu ile geliş açısına göre değişerek kendi kendini optimize eder.

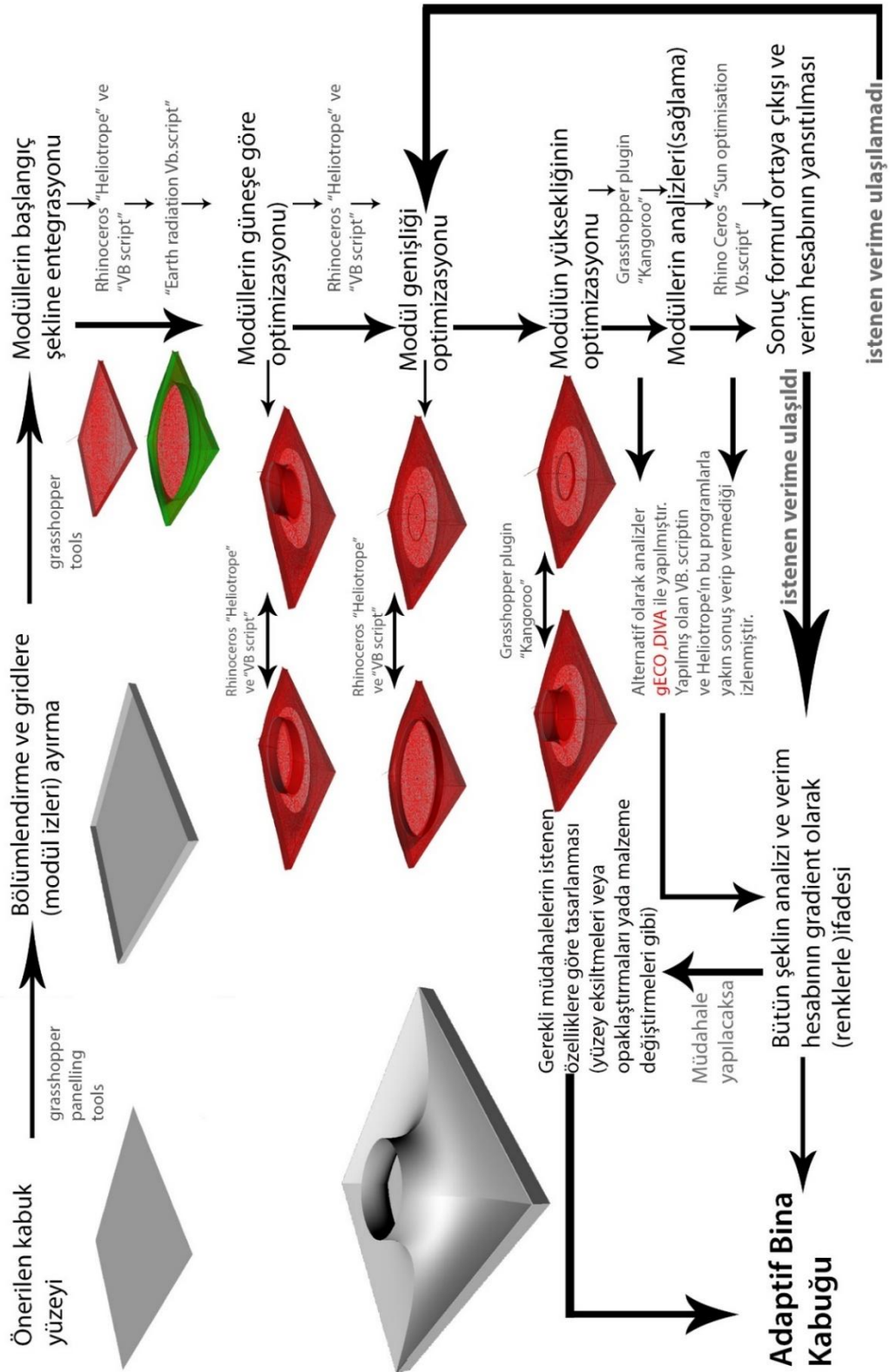
Akış diyagramındaki bu algoritma basamaklarının uygulanması sonrasında değerlendirme algoritmaları uygulanır. Modüllerin analizleri Rhinoceros ve VB. Script ile tasarlanan algoritma ile yapılır. Sonuçta ortaya çıkan form değerlendirilerek istenen verime ulaşırsa bütün formun analizi ve verim hesabının dereceli (gradient) olarak renklerle ifadesi yapılır. Bu analiz sonucunda modüllere tasarımcının gerekli gördüğü müdahaleler yapılarak form son haline ulaşır. Bu algoritma basamağında modüllerin yüzey eksiltmesi işlemleri ile modül opaklaştırması veya malzeme değiştirme gibi işlemler uygulanır. Bu işlemin sonunda sonuç ürün olarak adlandırılabilen adaptif bina kabuğu üretilmiş olur. Bu kabuk performans dayalı ve pnömatik olarak tasarlandığından kabuğa, tez kapsamında “performansa dayalı adaptif ve pnömatik bina kabuğu” olarak isim verilmektedir. Modelde istenilen verime ulaşamadıysa, program yeniden modül genişliği optimizasyonu aşamasına döner ve tekrar bir optimizasyon süreci başlatır ve bu süreci optimize edilmiş sonuç ürününe ulaşana kadar tekrarlar.

Programın genel işleyişine dair detaylı akış diyagramı şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19: Programın genel işleyişi

Programın modüler işleyişine dair detaylı akış diyagramı şekil 5.20’de verilmiştir.

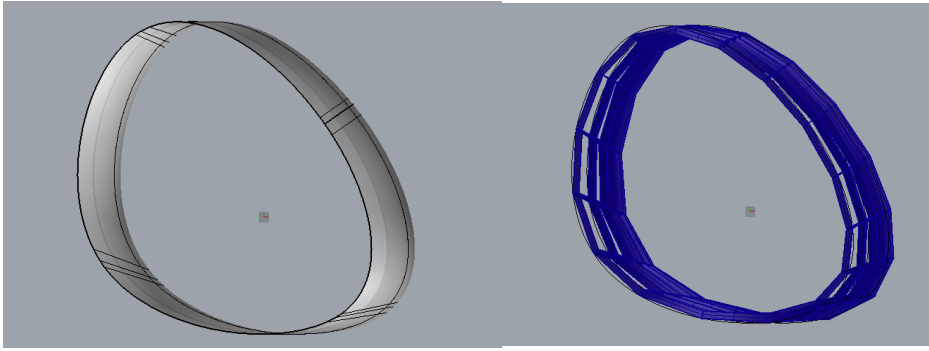


Şekil 5.20: Bina kabuğundaki bir modülün tasarımına ait akış diyagramı

Programın genel akış diyagramındaki her bir algoritma basamağı ve optimizasyon süreci tek bir modül için uygulandığında Şekil 5.20’deki gibidir. Burdan da görüldüğü üzere tasarlanan modüller bütün bir kabuğu değiştirmekte ve bina üzerindeki her modül kendisi için optimum olan çözümü hedeflemektedir. Her bir modül için uygulanan bu optimizasyon süreci sonunda, kabuktaki değişimler bütün olarak tasarımcı tarafından derecelendirmeli bir diyagram ile analiz edilmektedir.

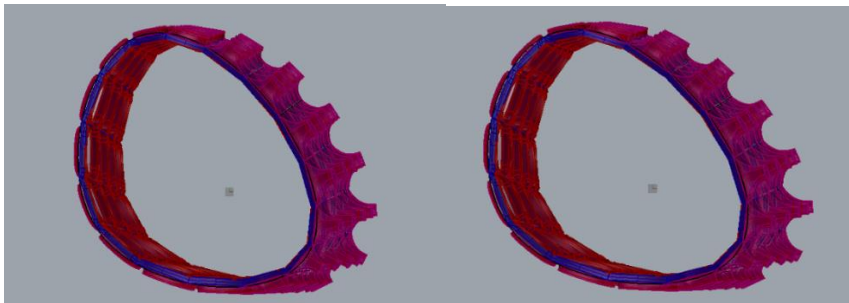
Programın akış diyagramı birbirinden farklı karakteristiklere sahip dört farklı yüzey üzerinde uygulanmış ve örnek uygulamalar gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi önce bir yüzey tanımlaması yapılmakta ardından algoritmalar bunu strüktürel bir forma dönüştürmektedir. Sonrasında algoritma basamaklarının ve optimizasyon sürecinin her bir yüzeye uygulanması sonucu, yüzey, strüktür, şişen katmanlar ve diğer katmanlar “Performansa dayalı adaptif ve pnömatik bina kabuğunu” oluşturmaktadır.

Örnek 1’deki silindir şeklindeki bir yüzeyin bükülmesiyle oluşturulmuştur. Form oluşturulurken 3 adet eğri kullanılmış ve “loft” komutuyla birleştirilmiştir. Düzgün olmayan silindir yüzeylerde modelin oluşturduğu etki şeklindeki gibidir (Şekil 5.21-5.30) .



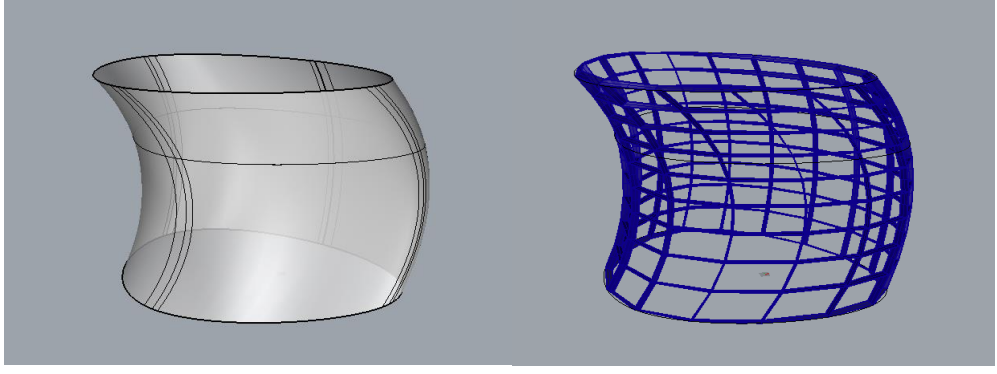
Şekil 5.21: Örnek 1’e ait yüzey planı

Şekil 5.22: Örnek 1 kabuğun strüktürü



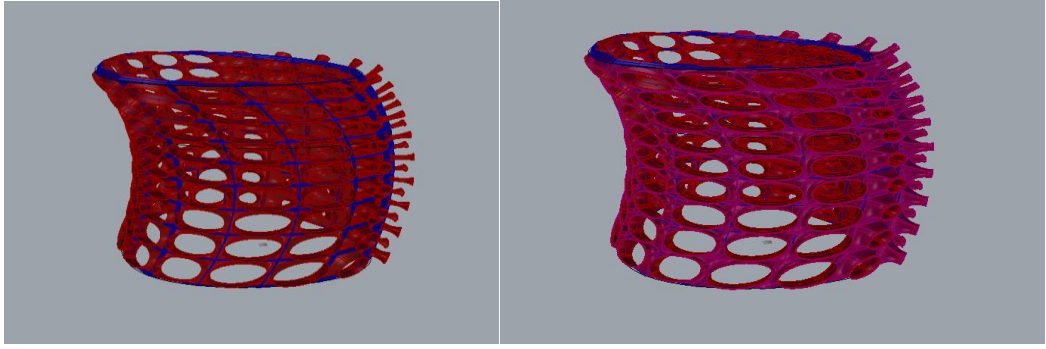
Şekil 5.23: Örnek 1 kabuk planı
(şişen katmanlar)

Şekil 5.24: Örnek 1 kabuk planı
(tüm katmanlar)



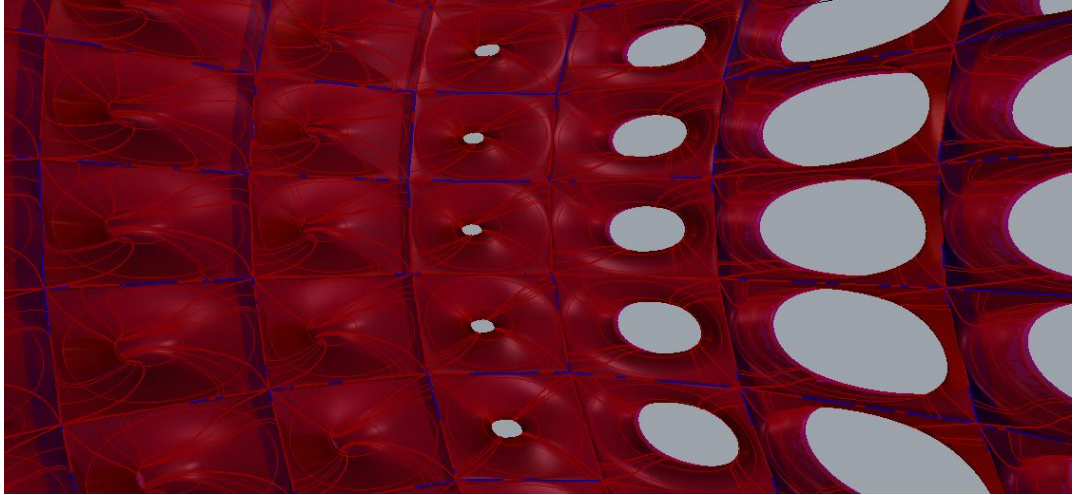
Şekil 5.25: Örnek 1 kabuk yüzeyi

Şekil 5.26: Örnek 1 kabuk strüktürü

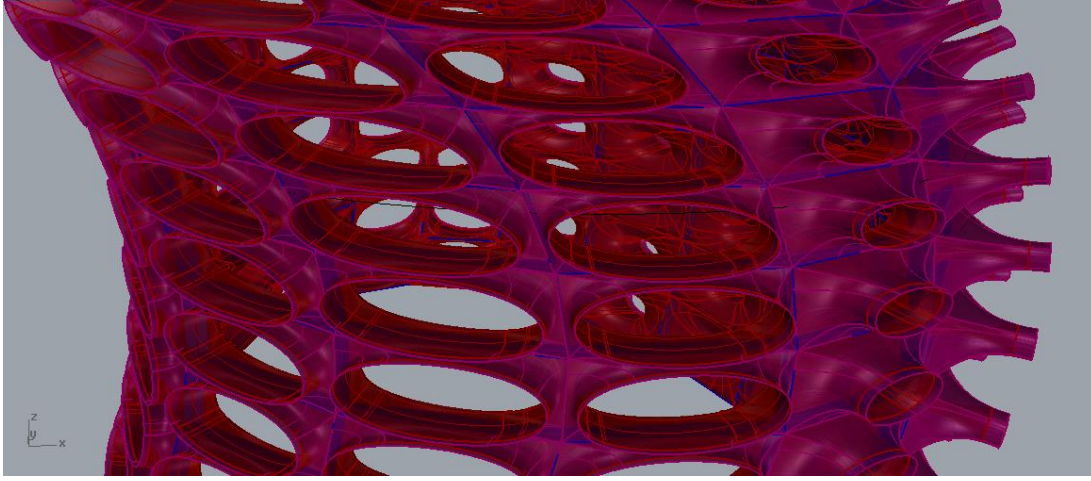


Şekil 5.27: Örnek 1 kabuk strüktürü
(şişen katmanlar)

Şekil 5.28: Örnek 1 kabuk strüktürü
(tüm katmanlar)

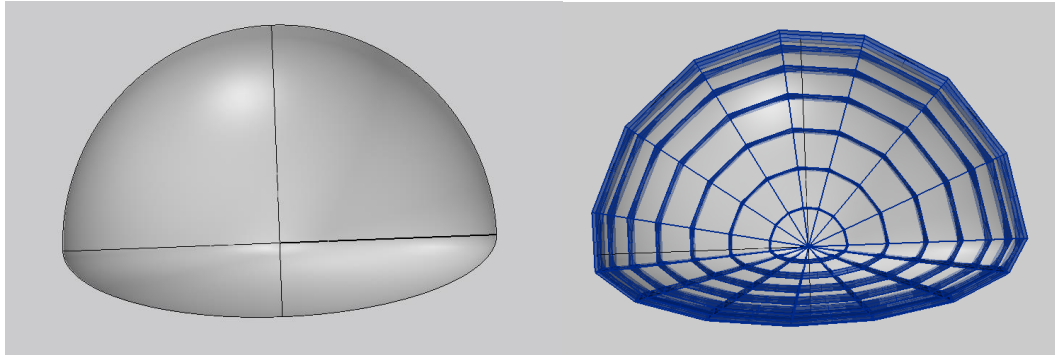


Şekil 5.29: Modelle üretilen örnek 1'e ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü



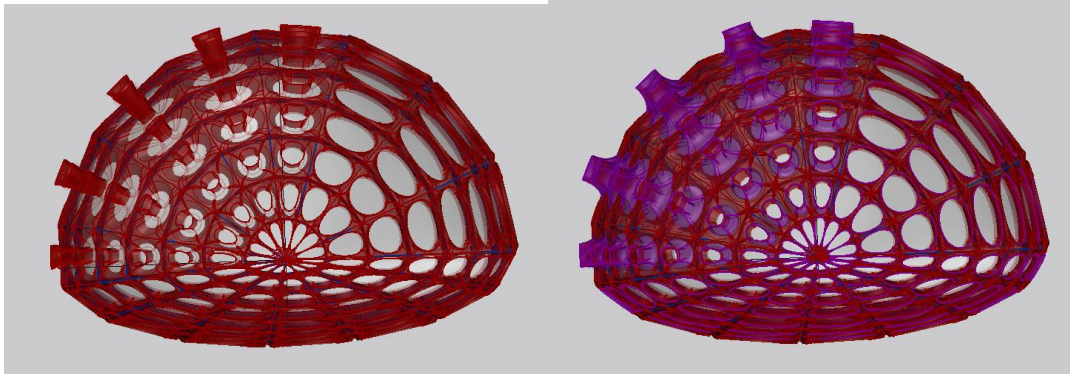
Şekil 5.30: Modelle üretilen örnek 1'e ait bina kabuğunun dıştan görünüşü

Örnek 2'deki kabuk yarım kürenin belirli bir ekseninde sıkıştırılması sonucu oluşmuş bir tasarımdır. Bu form oluşturulurken öncelikle küre tasarlanmış sonra belirli bir yüzeyi bırakılmış ve bu algoritmalar yüzeye uygulanmıştır (Şekil 5.31- 5.40) .



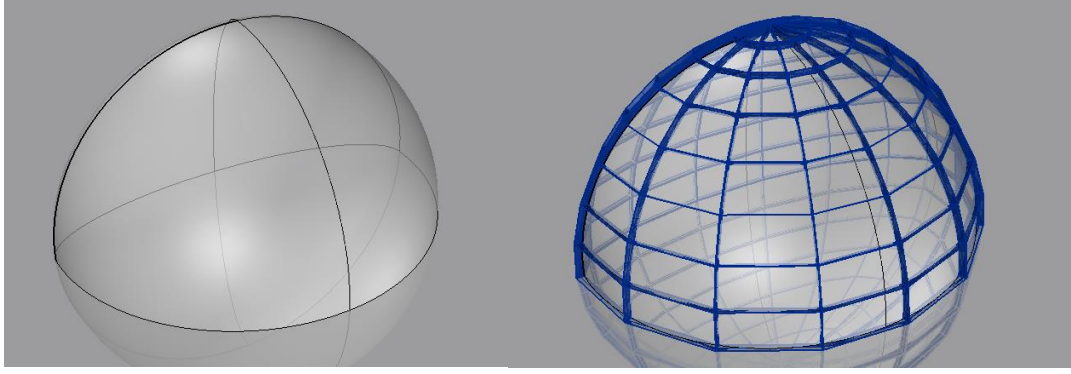
Şekil 5.31: Örnek 2'ye ait yüzey planı

Şekil 5.32: Örnek 2 kabuğun strüktürü



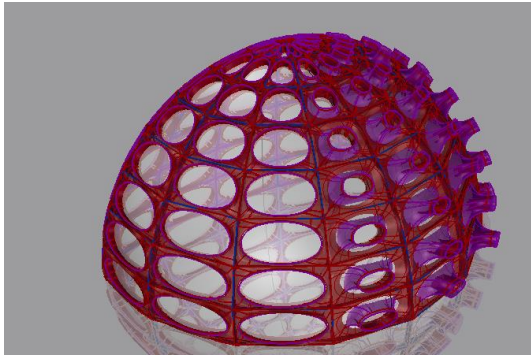
Şekil 5.33: Örnek 2 kabuk planı
(şişen katmanlar)

Şekil 5.34: Örnek 2 kabuk planı
(tüm katmanlar)

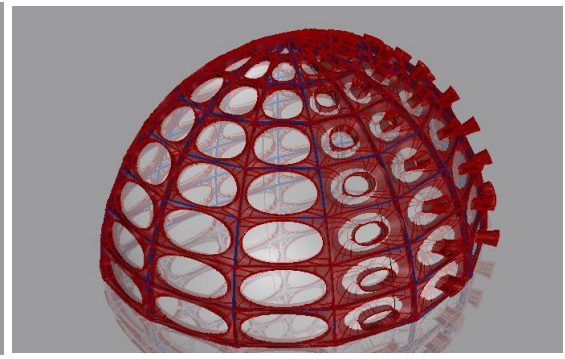


Şekil 5.35: Örnek 2 kabuk yüzeyi

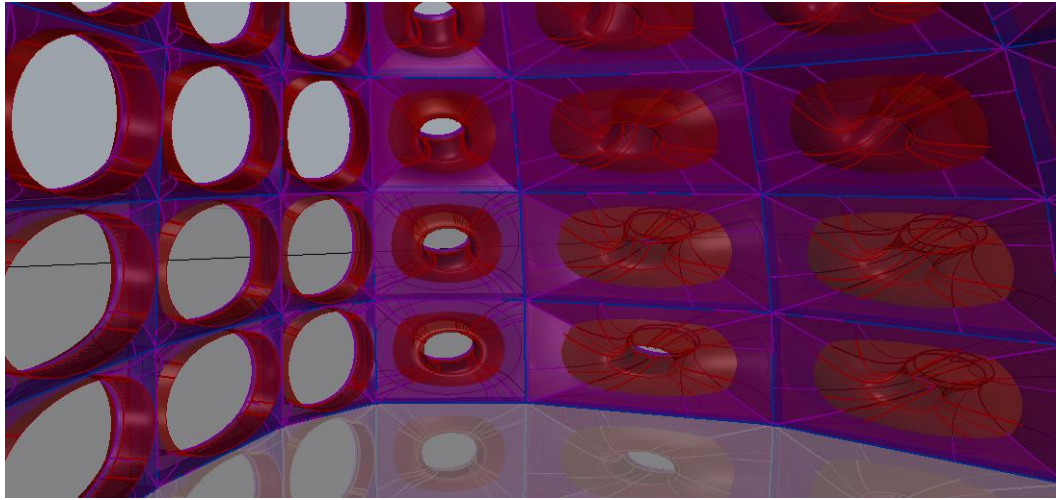
Şekil 5.36: Örnek 2 kabuk strüktürü



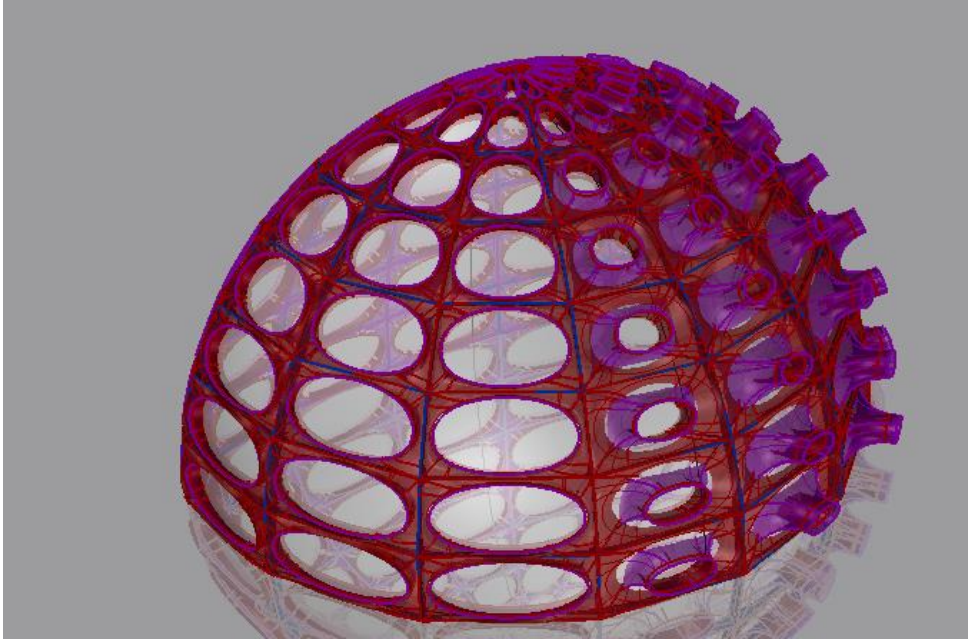
Şekil 5.37: Örnek 2 kabuk strüktürü
(şişen katmanlar)



Şekil 5.38: Örnek 2 kabuk strüktürü
(tüm katmanlar)

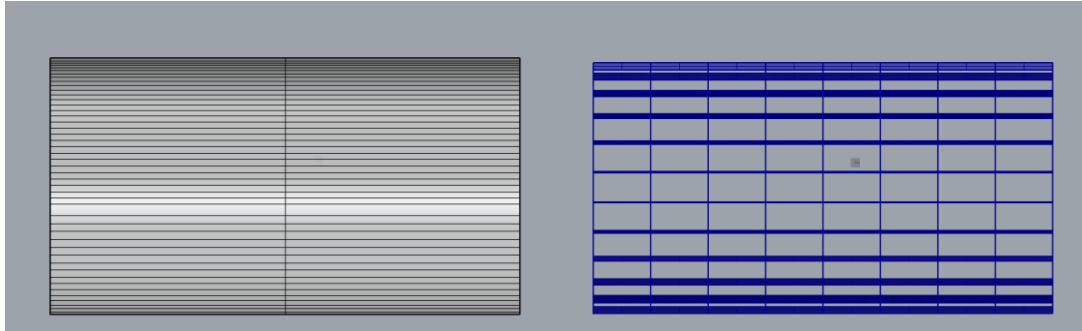


Şekil 5.39: Modelle üretilen örnek 2'ye ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü



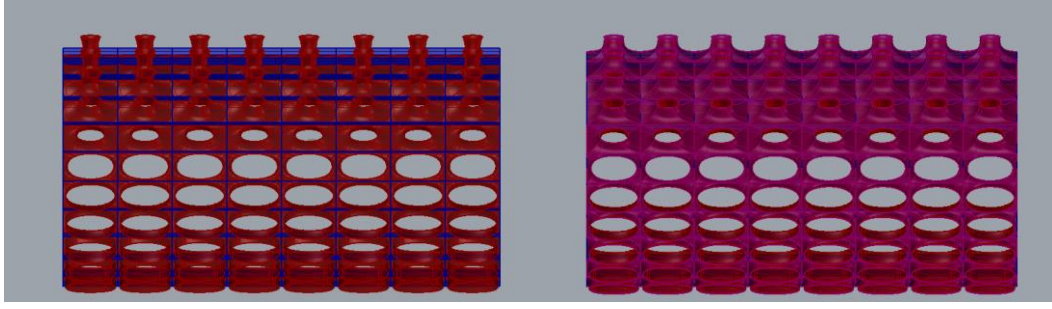
Şekil 5.40: Modelle üretilen örnek 2'ye ait bina kabuğunun dıştan görünüşü

Örnek 3 tonoz şeklinde bir yüzey olarak tasarlanmıştır. Yüzey elde edilirken yarım çemberin bir doğru üzerinde uzatılması (extrude) yöntemi kullanılmıştır. Plan olarak bir dikdörtgenden oluşan bu form güneşin geliş açısını analiz ederken, simetrik form olduğu için, farklı bir sonuca ulaşmamızı sağlamıştır. Tez kapsamında aynı grid düzleminde aynı etkiyi görmeyi beklediğimiz performansa dayalı adaptif ve pnömatik bina kabuğu sistemi farklı tepkiler göstermiştir. Bu tepkinin enlem ve boylamdan kaynaklandığı bu yüzeydeki deneyler sonucunda anlaşılabilmektedir (Şekil 5.41- 5.50)



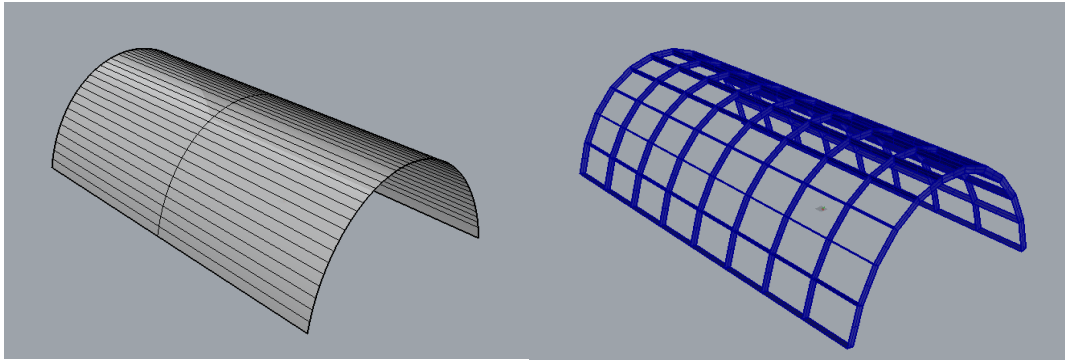
Şekil 5.41: Örnek 3'e ait yüzey planı

Şekil 5.42: Örnek 3 kabuğun strüktürü



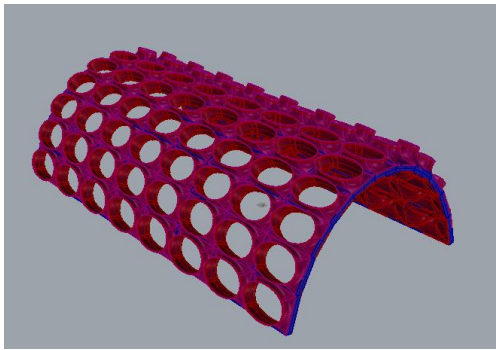
Şekil 5.43: Örnek 3 kabuk planı
(şişen katmanlar)

Şekil 5.44: Örnek 3 kabuk planı
(tüm katmanlar)

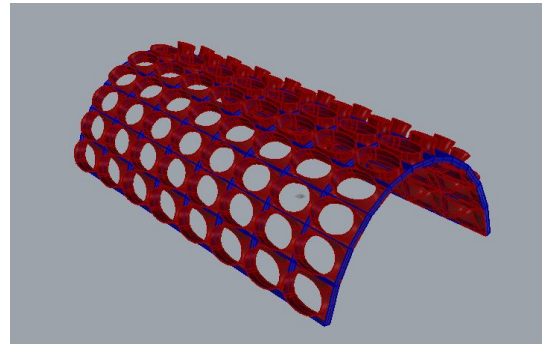


Şekil 5.45: Örnek 3 kabuk yüzeyi

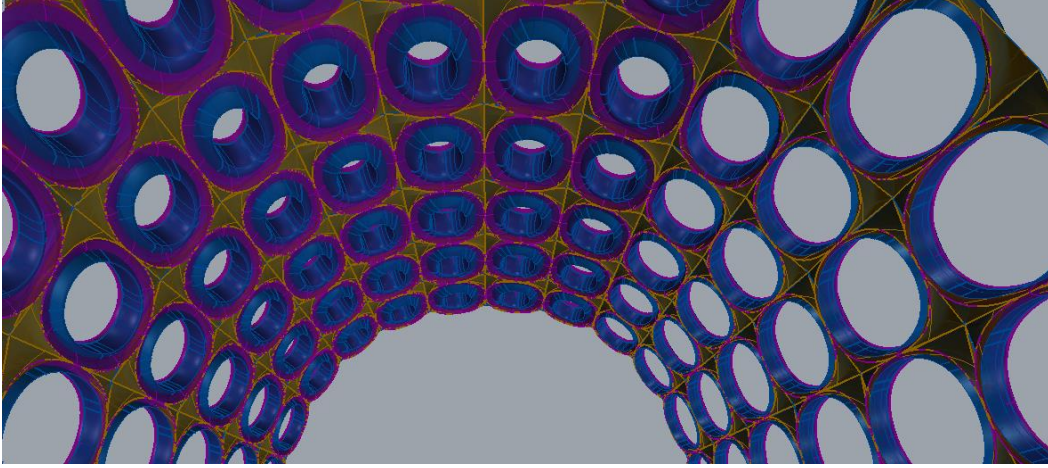
Şekil 5.46: Örnek 3 kabuk strüktürü



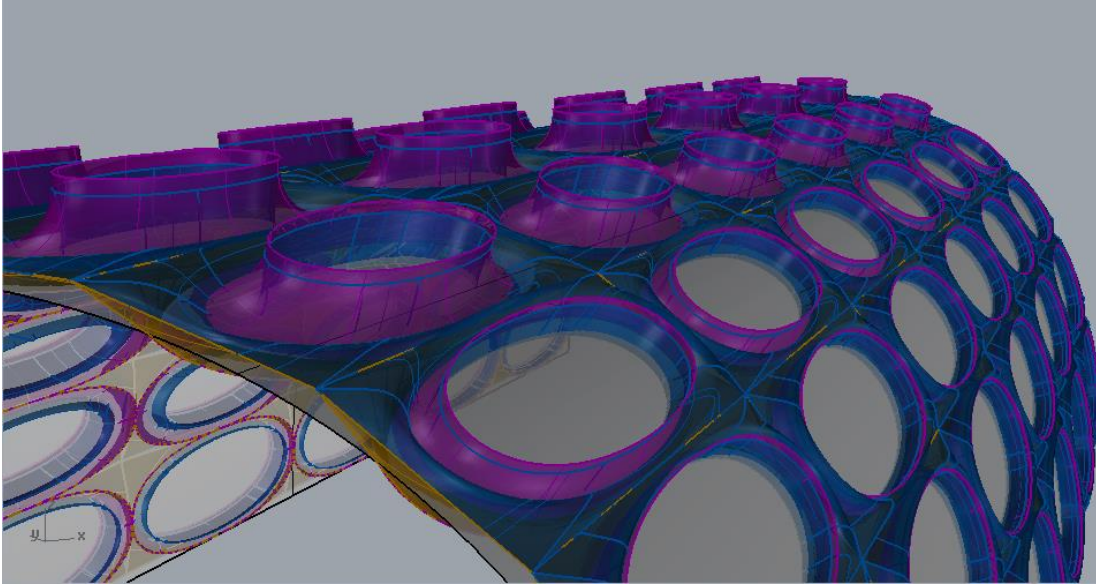
Şekil 5.47: Örnek 3 kabuk strüktürü
(şişen katmanlar)



Şekil 5.48: Örnek 3 kabuk strüktürü
(tüm katmanlar)

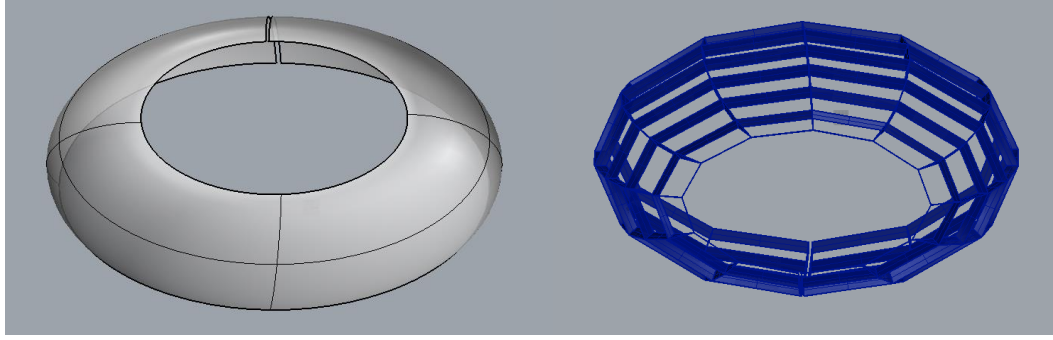


Şekil 5.49: Modelle üretilen örnek 3'e ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü



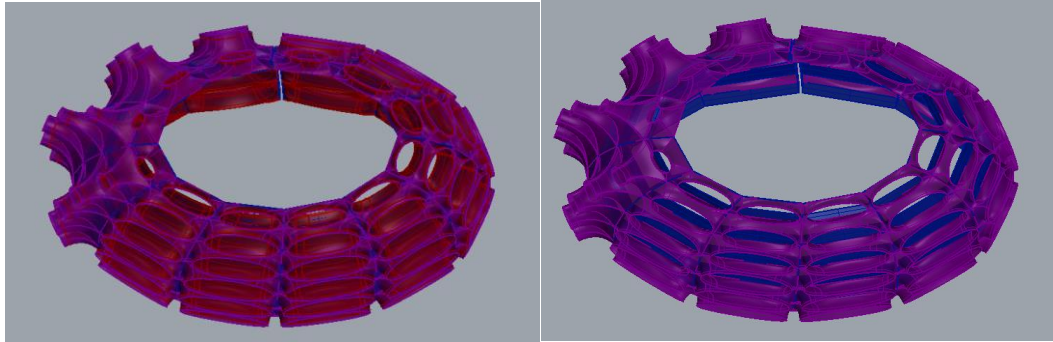
Şekil 5.50: Modelle üretilen örnek 3'e ait bina kabuğunun dıştan görünüşü

Örnek 4'teki yüzey içi boşaltılmış (boolean) bir kürenin düşey ekseninde ölçeklendirilerek sündürülmesiyle oluşturulmuştur. Bu form güneşe göre 2 ekseninde de çeşitli tepkiler vermektedir. Aynı zamanda bu form düzlemsel olmadığı ve çift eğrilikli hiperbolik paraboloid olduğu için farklı form kompozisyonları oluşturmuştur. Kabuğun pnömatik etkisinin en çok hissedildiği yüzey olarak özetleyebileceğimiz bu form, değişen şartlara göre kabuğun tepkisinin maksimum olduğu bir formdur (Şekil 5.51- 5.60) .



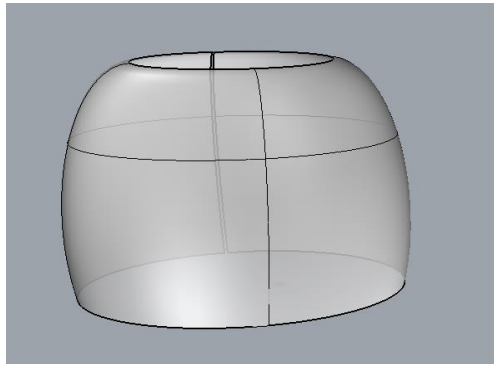
Şekil 5.51: Örnek 4'e ait yüzey planı

Şekil 5.52: Örnek 4 kabuğun strüktürü

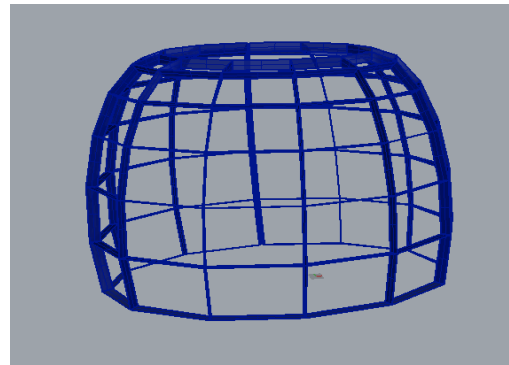


Şekil 5.53: Örnek 4 kabuk planı
(şişen katmanlar)

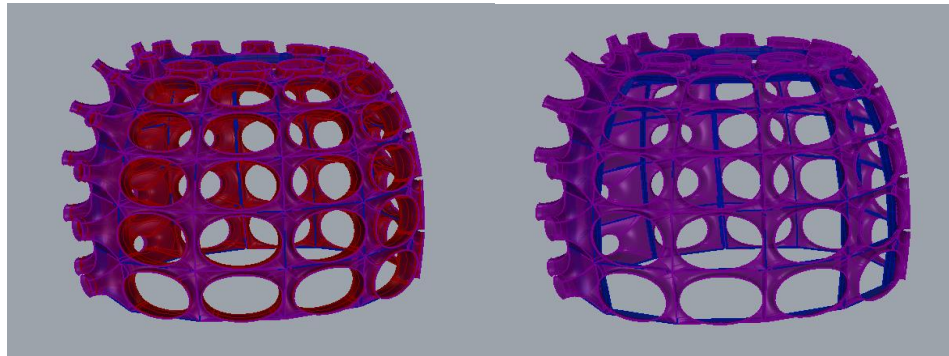
Şekil 5.54: Örnek 4 kabuk planı
(tüm katmanlar)



Şekil 5.55: Örnek 4 kabuk yüzeyi

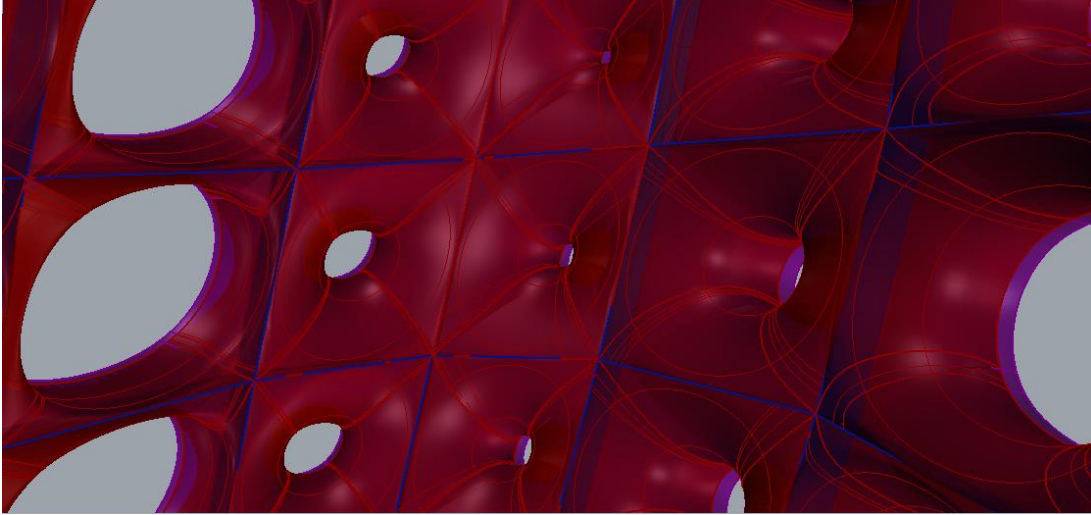


Şekil 5.56: Örnek 4 kabuk strüktürü

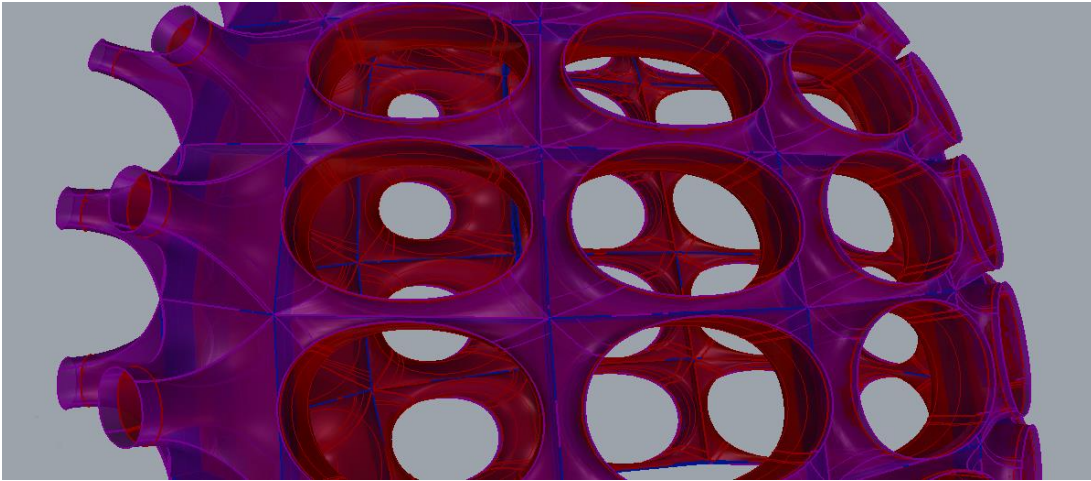


Şekil 5.57: Örnek 4 kabuk strüktürü
(şişen katmanlar)

Şekil 5.58: Örnek 4 kabuk strüktürü
(tüm katmanlar)



Şekil 5.59: Modelle üretilen örnek 4'e ait bina kabuğunun iç mekan görünüşü

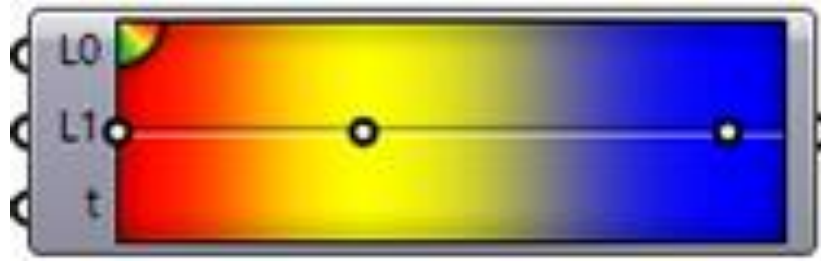


Şekil 5.60: Modelle üretilen örnek 4'e ait bina kabuğunun dıştan görünüşü

5.5.1 Mevsimsel Uygulama Örnekleri

Performansa dayalı adaptif ve pnömatik bina kabuğu modelinin en önemli özelliklerinden birisi de yılın farklı aylarında güneşin geliş açısını ve ısı radyasyonunu tahmin edebilmesidir. Bunu yaparken kabuğu dereceli (gradient) renklerle boyayarak ısı analizi diyagramı halinde tasarımcıya göstermektedir.

Model kapsamında tasarlanan ısı derecelendirme ile yüzeylerdeki ve bina kabuklarındaki soğuk ve sıcak bölgeler görselleştirilmiştir. Mavi rengin yoğun olduğu yerler soğuk, sarıya yakın olan kısımlar daha sıcak ve kırmızı olan kısımlar en sıcak olarak temsil edilmiştir. Şekil 5.61'de görüldüğü gibi sıcaklık grafikte soldan sağa doğru gidildikçe azalmaktadır.



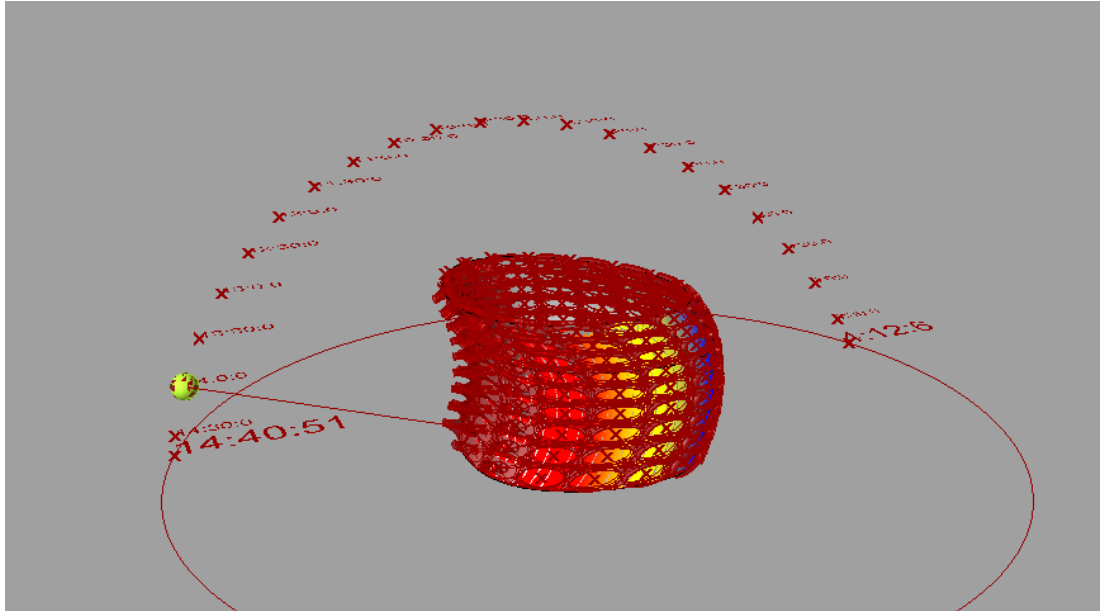
Şekil 5.61: Model kapsamında tasarlanan ısıl derecelendirme (gradient)

Güneşin geliş açısı mevsimsel olarak değiştiğinden dolayı kış ayı olan ocak ve yaz ayı olan haziran için gerekli analizler dört örnek yüzey için de yapılmıştır (Şekil 5.62 - 5.69) .

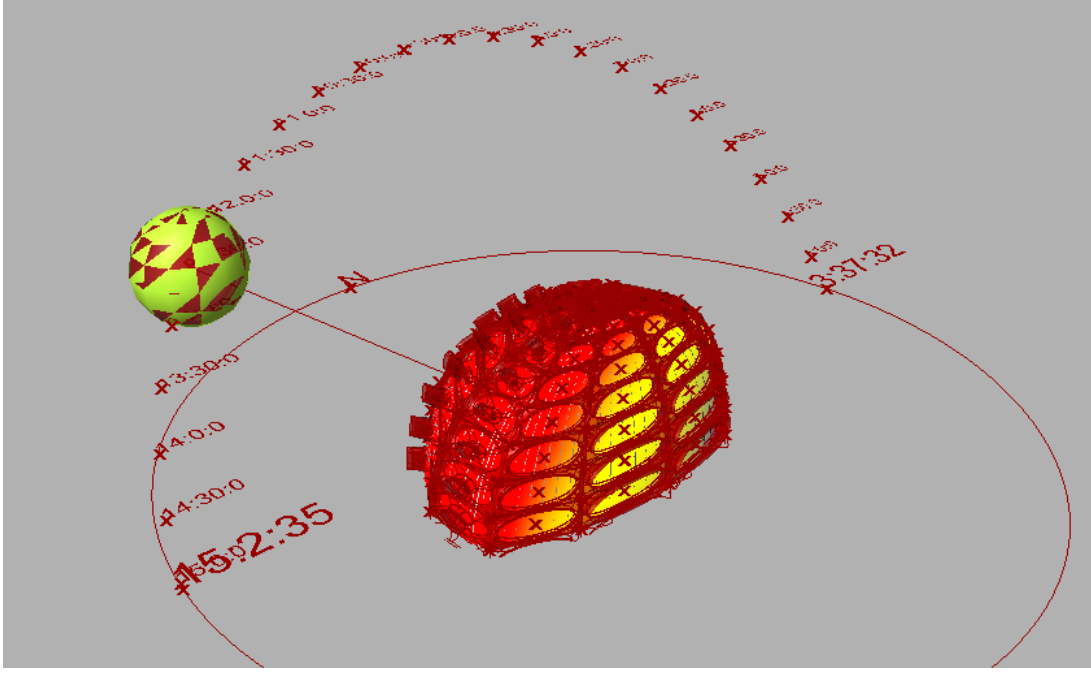
5.5.1.1 Kış verileri (Ocak)

Modelde kış ayı olan ocak parametrelerine göre kabuğun değişimi izlenmiştir. Bina kabuğunun değişiminde yalnızca güneşin geliş açısı değil, güneşin ısıl radyasyon değerleri de akış diyagramındaki işlemler aşamasında göz önünde bulundurulmuştur.

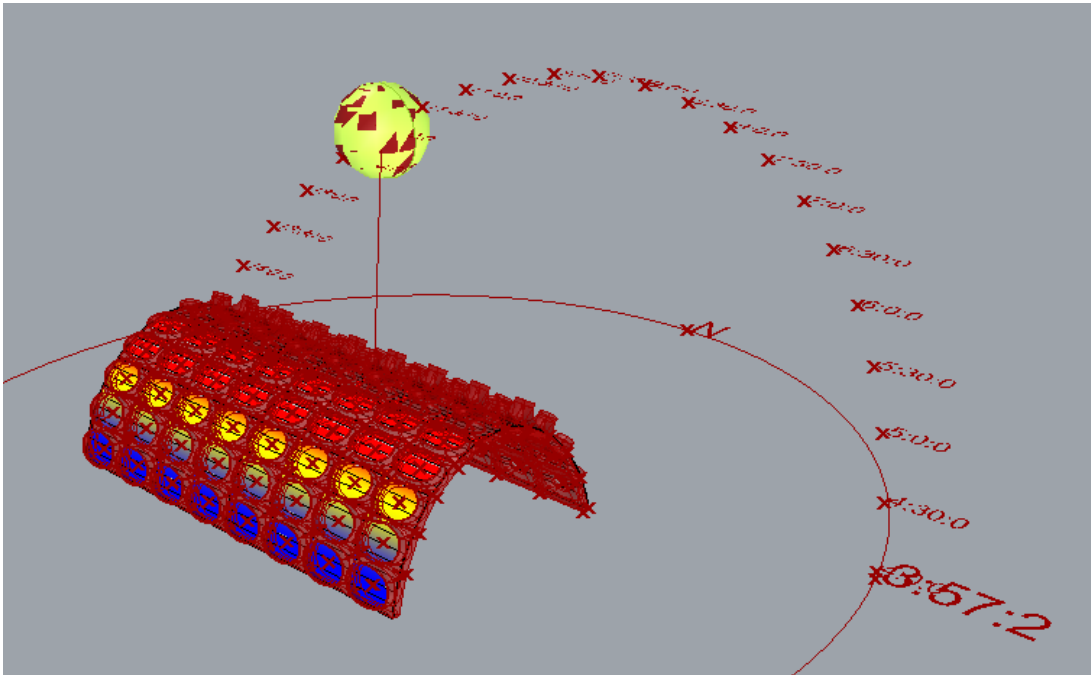
Her formun güneşin o anki durumuna göre verdiği renk şekillerde gösterilmiştir (bkz. Şekil 5.62, 5.63, 5.64, 5.65) .



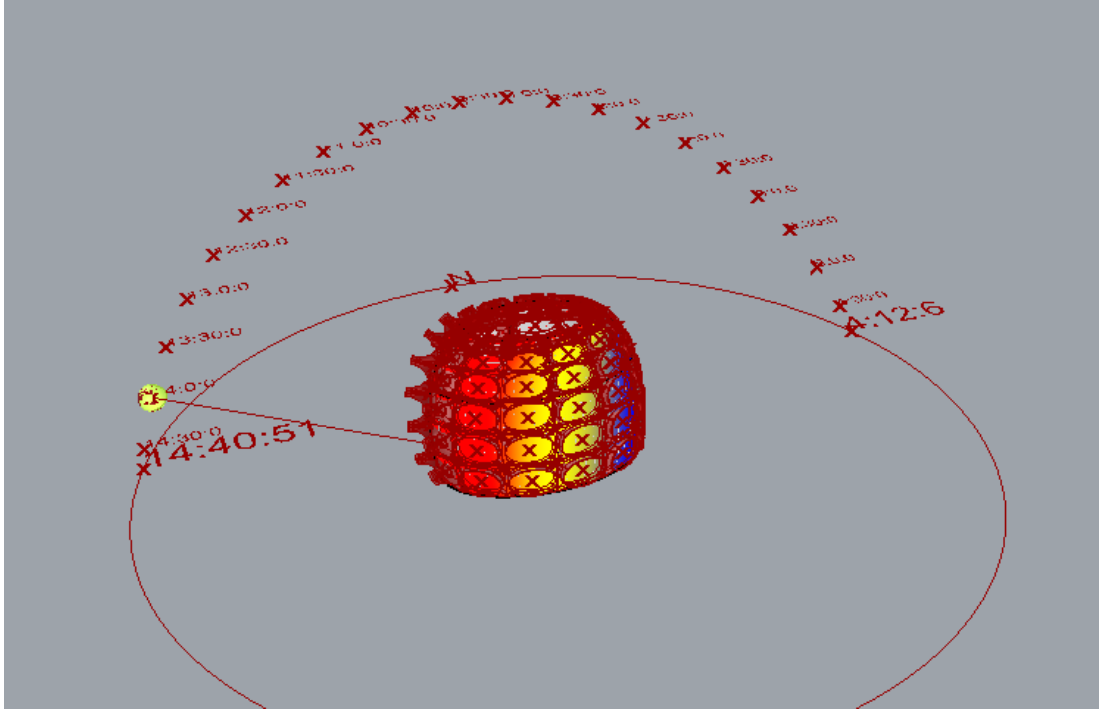
Şekil 5.62: Örnek 1'e ait bina kabuğunun formu (ocak)



Şekil 5.63: Örnek 2'ye ait bina kabuğunun formu (ocak)



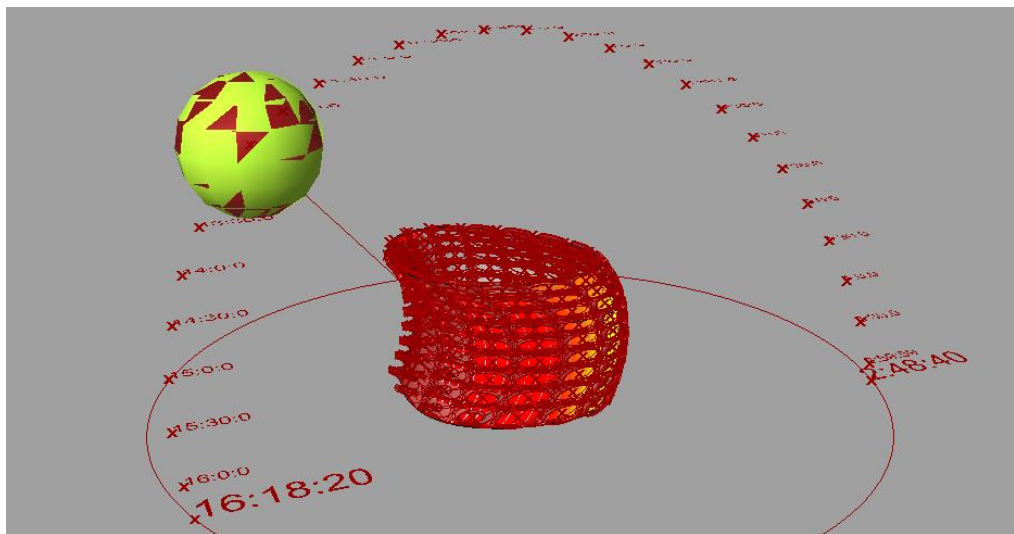
Şekil 5.64: Örnek 3'e ait bina kabuğunun formu (ocak)



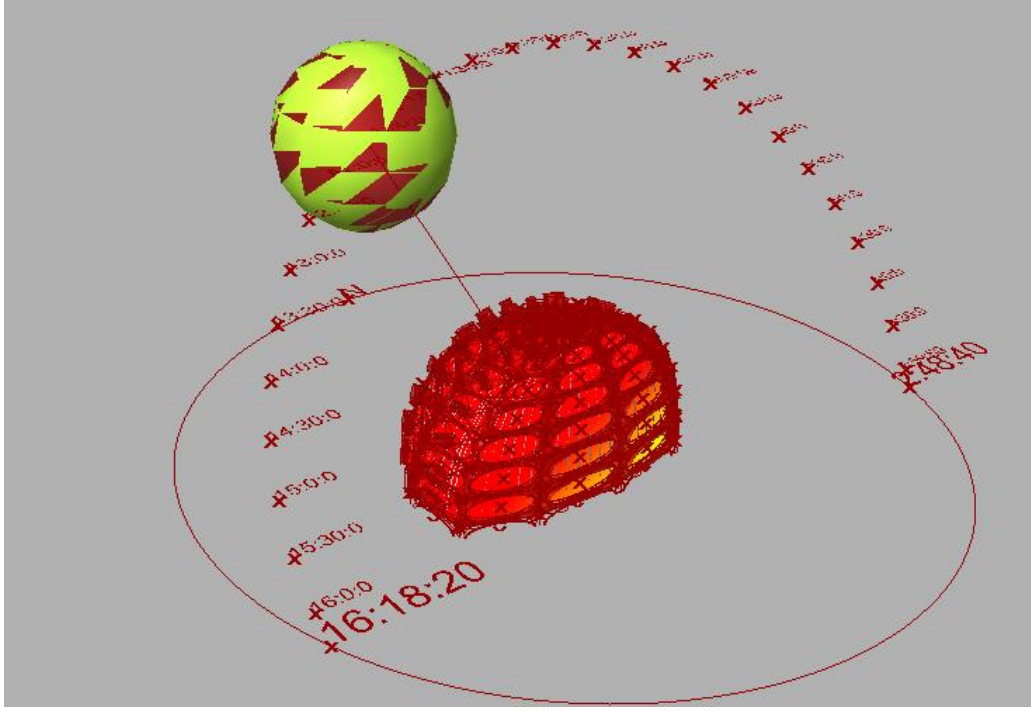
Şekil 5.65: Örnek 4'e ait bina kabuğunun formu (ocak)

5.5.1.2 Yaz verileri (Haziran)

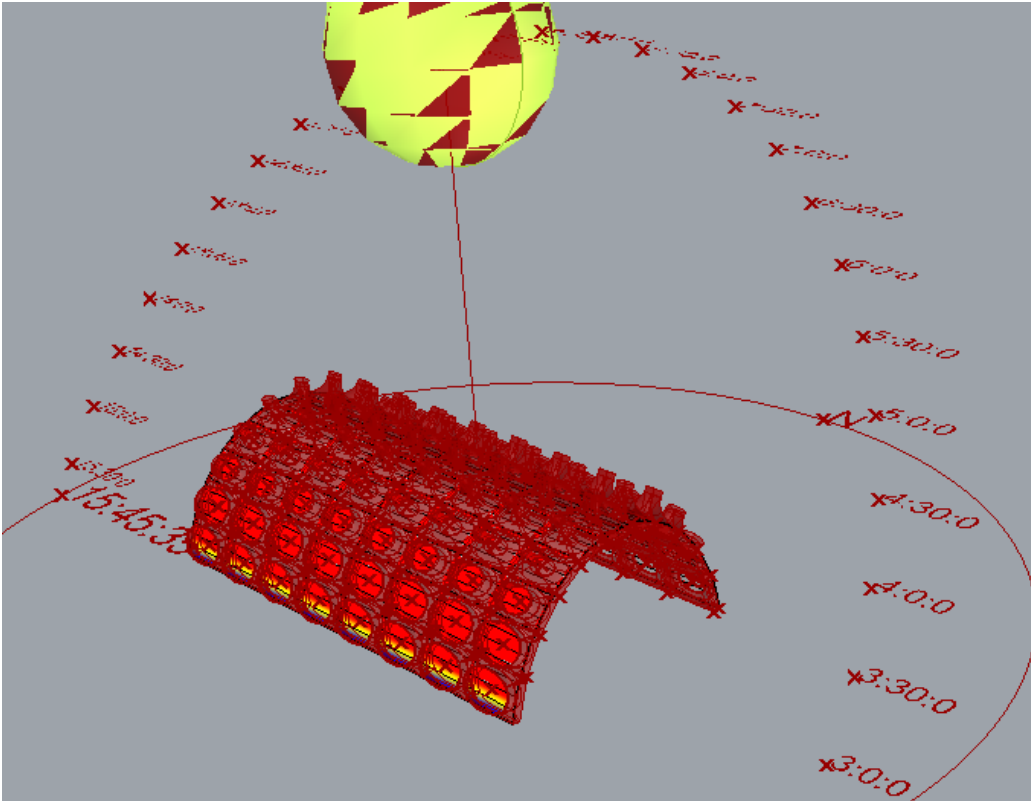
Modelde yaz ayı olan haziran parametrelerine göre kabuğun değişimi izlenmiştir. Kabuğun değişiminde yalnızca güneşin geliş açısı değil, güneşin ısıl radyasyon değerleri de akış diyagramındaki işlemler aşamasında göz önünde bulundurulmuştur ve güneşin ısıl şiddeti kış ayındaki gibi düşük tutulmuştur. Tez kapsamında dört farklı formun güneşin o anki durumuna göre verdiği renk şekillerde gösterilmiştir (bkz. şekil 5.66, 5.67, 5.68, 5.69) .



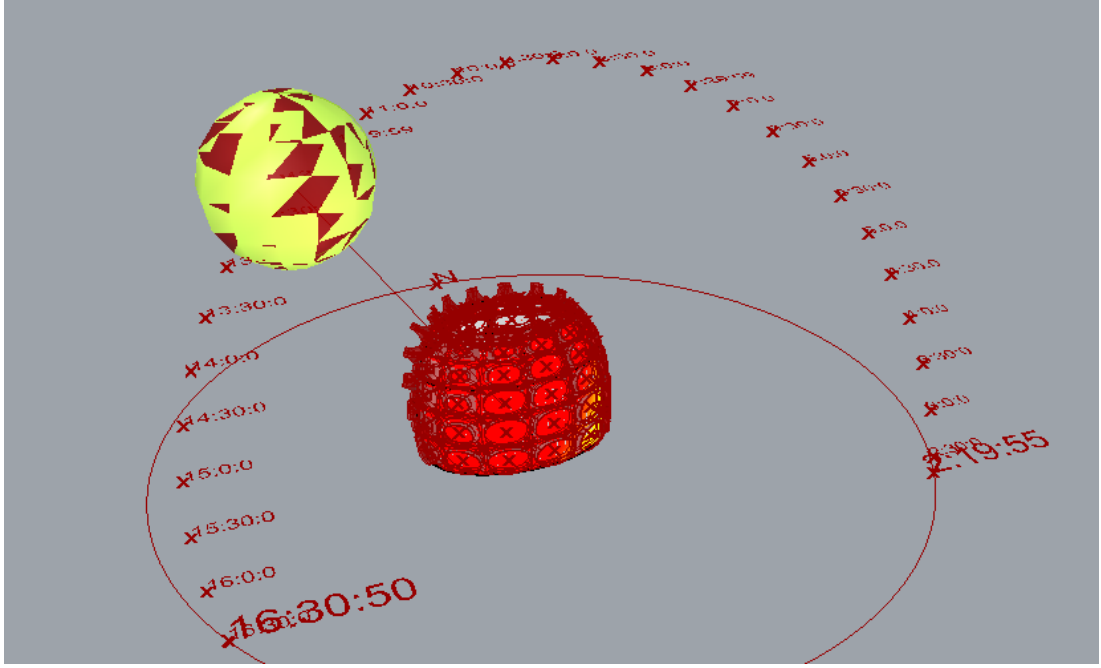
Şekil 5.66: Örnek 1'e ait bina kabuğunun formu (haziran)



Şekil 5.67: Örnek 2'ye ait bina kabuğunun formu (haziran)



Şekil 5.68: Örnek 3'e ait bina kabuğunun formu (haziran)



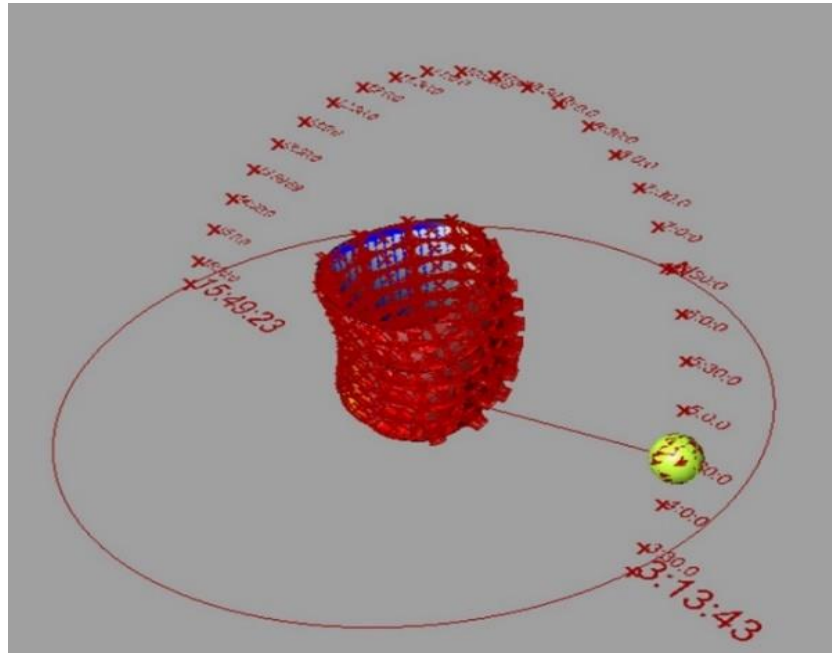
Şekil 5.69: Örnek 4'e ait bina kabuğunun formu (haziran)

5.5.2 Gün içerisinde Farklı Zaman Dilimlerindeki Uygulama Örnekleri

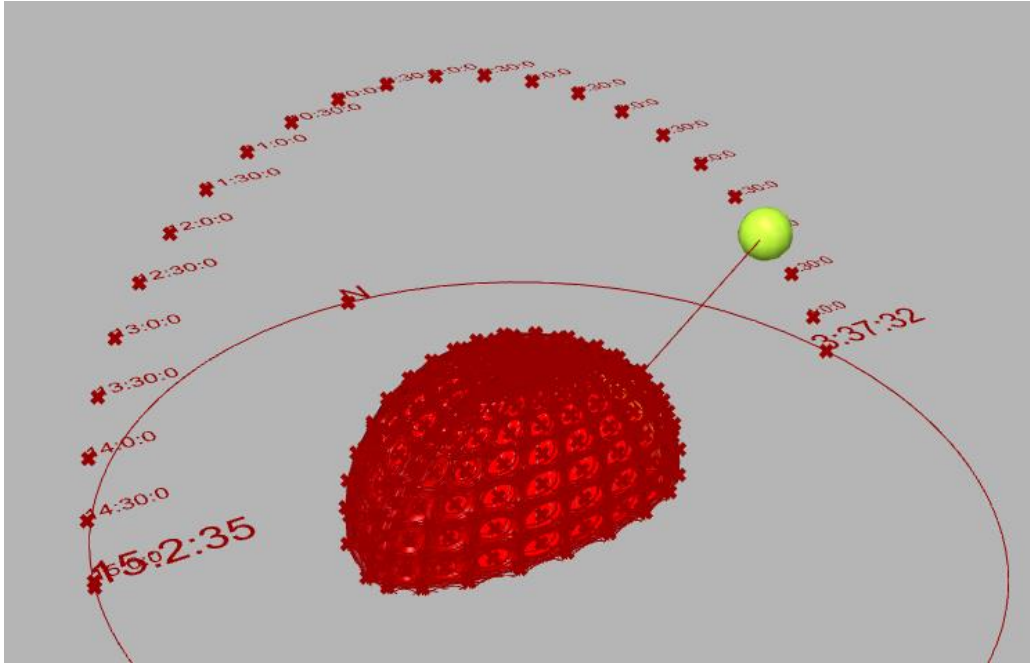
Tez kapsamında üretilen yazılımın dört farklı örnek yüzeyde uygulanması sonucu oluşan modüllerin gün içerisindeki ısıf farklılıklara maruz bırakılmasıyla ortaya çıkan formlar ve güneş konumları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

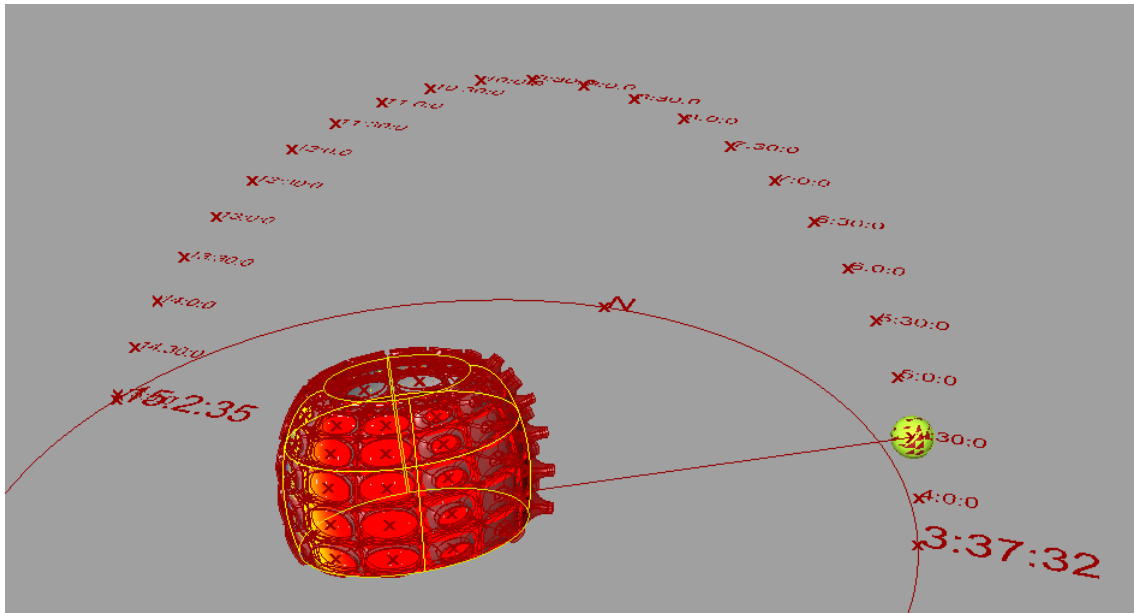
5.5.2.1 Sabah Saatleri Verileri ile Uygulama

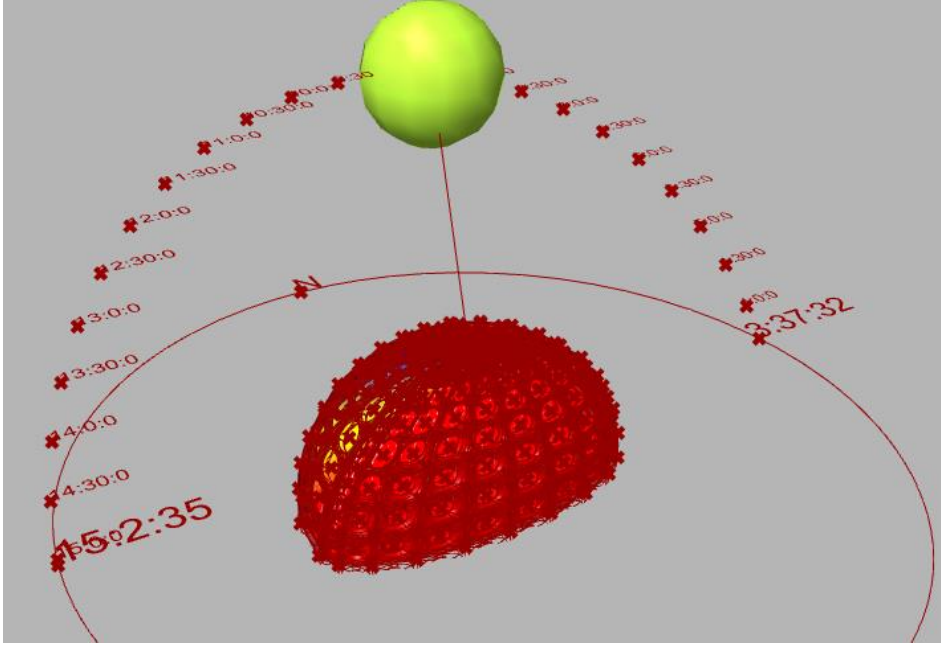
Modelin sabah saatlerindeki görünümüleri şekillerde gösterilmiştir (Şekil5.70-5.73).



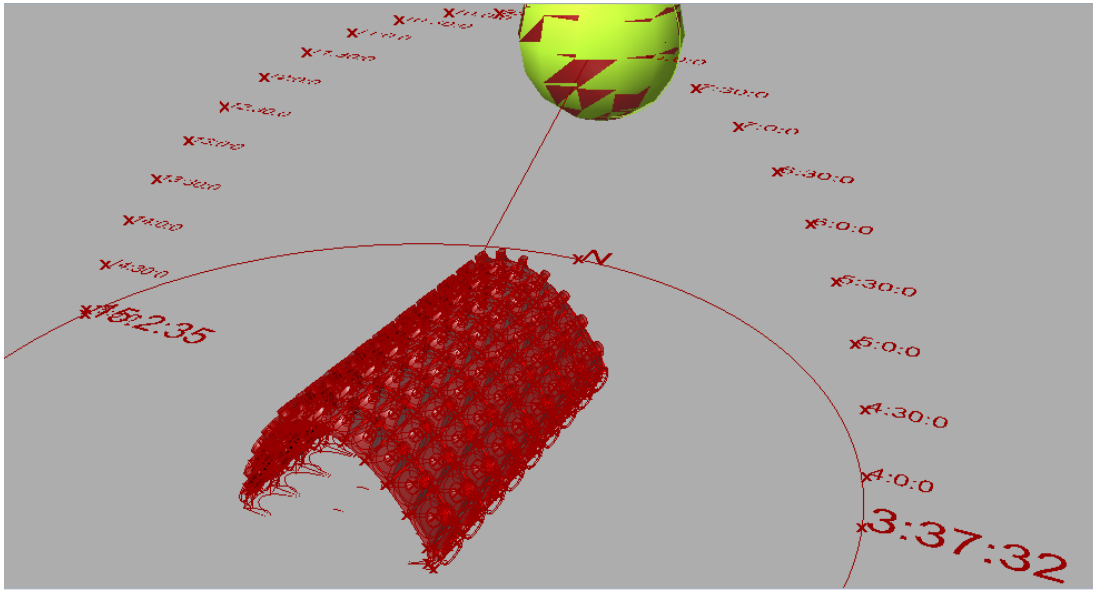
Şekil 5.70: Örnek 1'e ait bina kabuğunun formu (sabah)



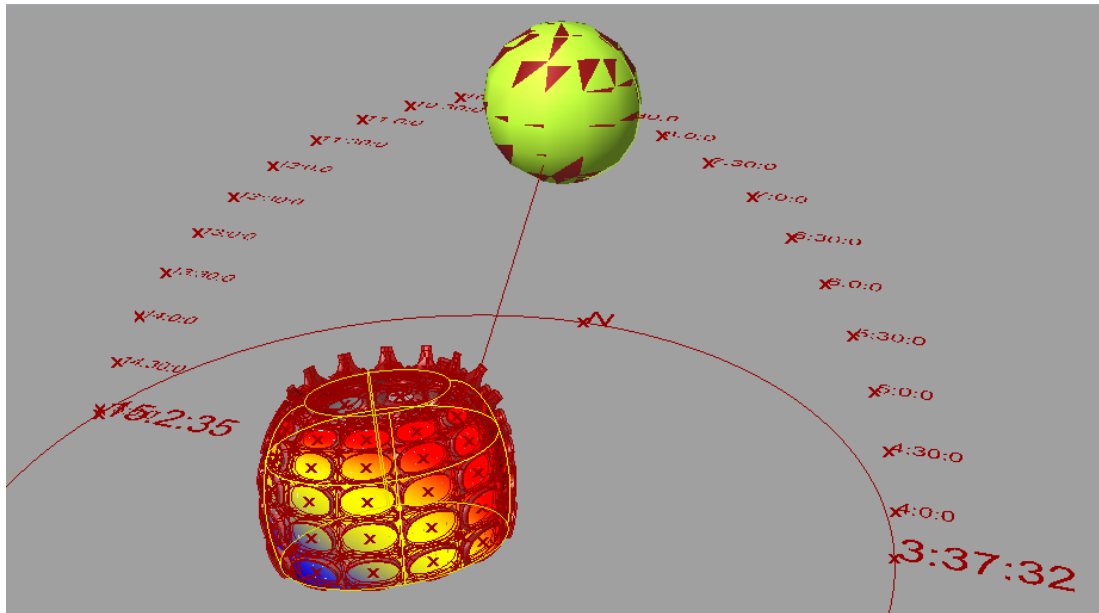


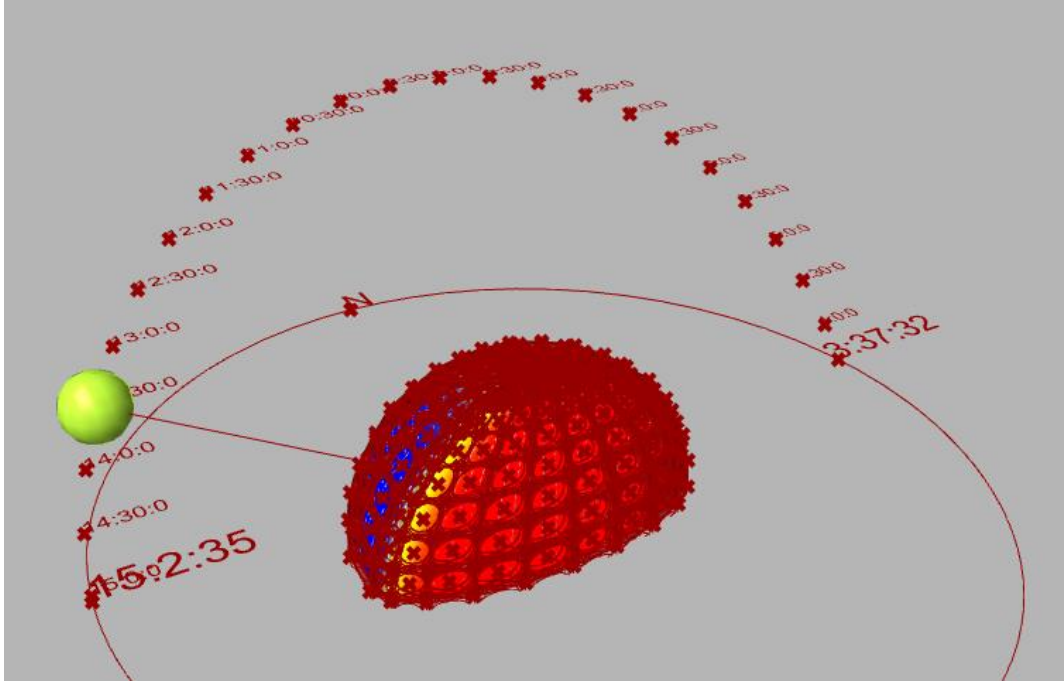


Şekil 5.75: Örnek 2'ye ait bina kabuğunun formu (öğle)

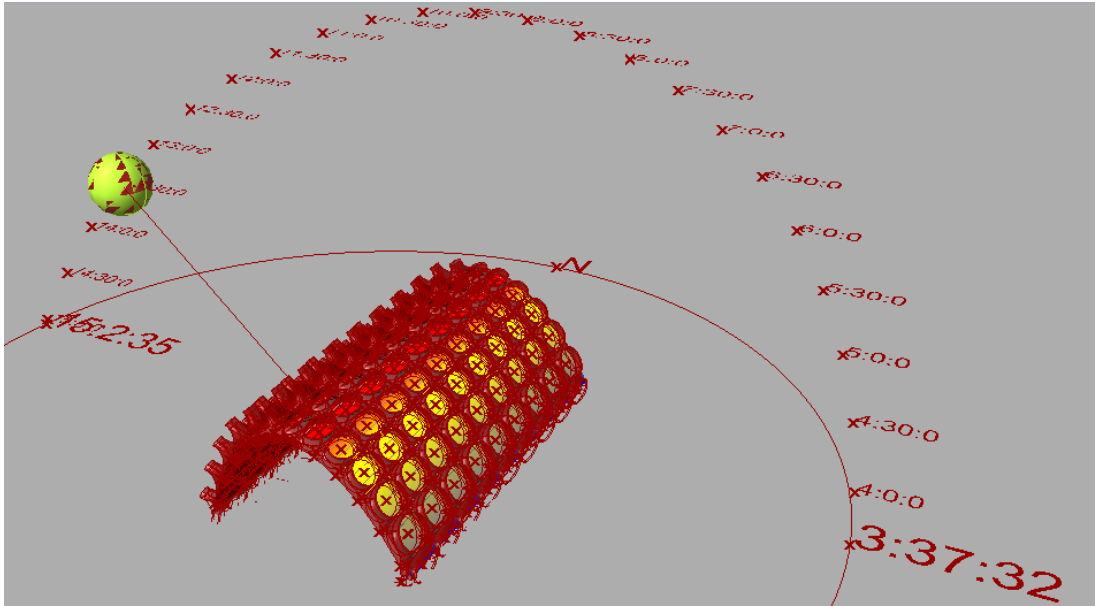


Şekil 5.76: Örnek 3'e ait bina kabuğunun formu (öğle)

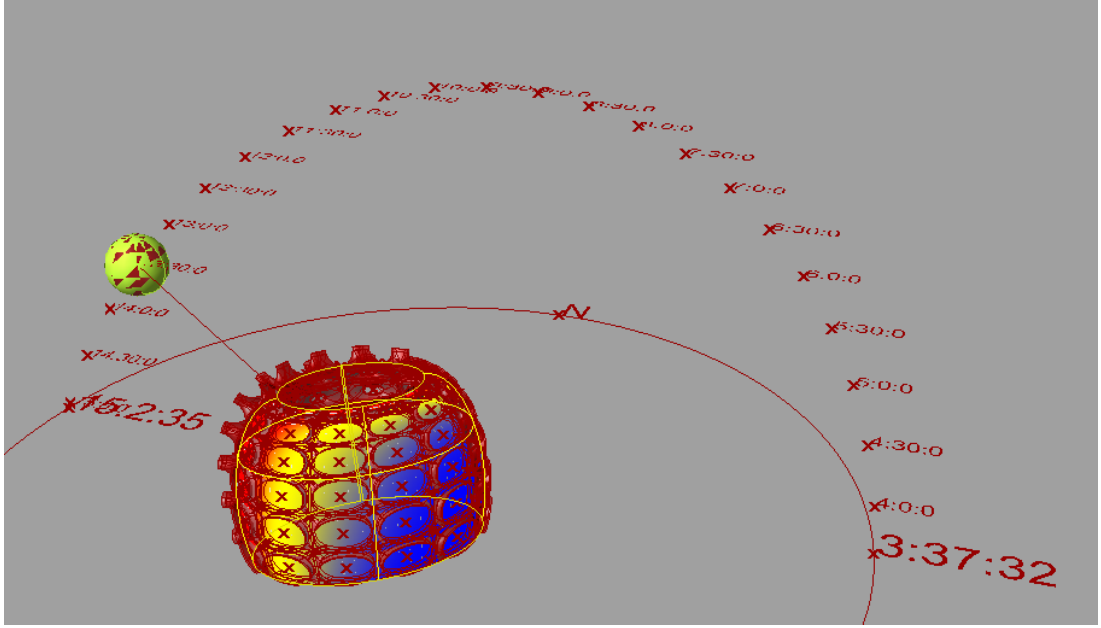




Şekil 5.79: Örnek 2'ye ait bina kabuğunun formu (akşam)



Şekil 5.80: Örnek 3'e ait bina kabuğunun formu (akşam)



Şekil 5.81: Örnek 4'e ait bina kabuğunun formu (akşam)

5.6 Modelin Uygulama Potansiyelleri

Tez kapsamında geliştirilen model uygulama potansiyelleri bakımından farklı olanaklar sağlamaktadır. Model teknolojinin ve performansa dayalı adaptif sistemlerin gelişmesi sayesinde daha da farklı olanaklar sunabilecektir.

Tez kapsamında üretilen modelde günümüz mimarlık ve teknolojik olanakları kullanılmış ve hesaplamalı tasarım araçlarından yararlanılmıştır. Form optimizasyonuna dayalı benzer yaklaşımla bu model benzeri modellerle gelecekte güneşe göre şekillenebilen bina kabukları tasarlanabilmektedir. Aynı zamanda tez kapsamında tasarlanan bu modelin geliştirilmesi sayesinde değişen iklim şartlarına (küresel ısınma vb.) göre çözümler üretilebilecektir.

İklimsel verilerin çevrimiçi olarak alındığı ve daha hassas olarak elde edilebildiği bir veri tabanı kullanımı ile sistem daha aktif ve verimli olarak çalışabilecektir. Geliştirilen bu modelin potansiyellerinden bir diğeri de, değişen yapım teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak farklı pnömatik sistem kurguları ile daha kolay uygulanabilen ve değişebilen adaptif bina kabukları üretilebilecek olmasıdır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında adaptif mimarlık, performatif mimarlık, pnömatik mimarlık konuları kuramsal çerçevede ve örneklerle desteklenerek, bu mimarlık konularına dayalı olarak üretilen bir model önerisinin tasarım stratejileri, çalışma prensibi ve potansiyelleri anlatılmıştır. Adaptif ve performatif mimarlığın girdi olarak insan veya çevreden gelen uyarıları alması, işlemesi ve binanın buna karşı bir tepki vermesine dayalı olması, Tez’de örnekler üzerinden detaylı olarak anlatılmıştır. Bunun yanısıra gerekli literatür araştırmaları ile mevcut projelerin tutarlılığı karşılaştırılmıştır. Teknolojik ilerlemelerin paralelinde gelişen bu mimarlık yaklaşımları yine aynı şekilde bu gelişimler göz önünde bulundurulduğunda daha farklı potansiyeller de barındırmaktadır. Performansa dayalı adaptif mimarlıktaki çeşitli tasarım ilkeleri Tez kapsamında anlatılmaktadır

Tez’in genelinde, önce kuramsal bilgiler anlatılmakta sonrasında tarihte öne çıkan mimari örnekler irdelenmektedir. Sonrasında ise günümüz örnekleri kapsamında yeni teknolojilerin birlikte kullanılması ile gelişen mimarlık dünyası hakkında geleceğe yönelik öngörülerde bulunmaktadır. Performatif ve adaptif mimarlığın sunduğu tasarım yaklaşımlarının barındırdığı potansiyellerin, yapay zeka teknolojisinin gelişmesi sayesinde artacağı öngörülmektedir. Bu teknoloji sayesinde mimari öğeler kendi kendilerini çevreye ve kullanıcıya adapte edebilecektir. Adaptif mimarinin potansiyellerinin anlatıldığı bölümlerde teknolojinin gelişimine yönelik ilerleyen ve gelişmeye başlayan mimari yaklaşımlar detaylı olarak örnekler ile anlatılmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi sayesinde binalar çevresel girdileri alarak kendilerini iklim koşullarına ya da güneşin sebep olduğu değişimlere göre optimize edebileceklerdir. Bu sayede kullanıcı konforu artmış çevresel olarak sürdürülebilir binalar tasarlanabilecektir.

Performatif ve Adaptif Mimarlığın gelişmesi sayesinde insan-yapı ilişkisi çok farklı boyutlarda tanımlanabilecek, kişisel, sosyal tercihler mimari ürünlere daha sıklıkla yansıtılabilecektir. Binalar gelecekte aynı zamanda çevresel etkilere de cevap verebilecek ve bu sayede fonksiyonel çözümler üretilmesinde etkin rol oynayacaktır.

Adaptif ve performatif mimarlığın gelişmesi sayesinde değişim ve belirsizlik üzerine kurulu olan mimari ürünler değişen ihtiyaçlara göre değişebilecek ve farklı iç mekan kurguları oluşturulabilecektir. Binalar ve bina kabukları insanla etkileşime girerken performans girdilerine ya da insanın diğer ihtiyaçlarına göre değişebilen mekanların oluşması fikri tasarımcılar tarafından mantıklı bulunmaktadır. Gelecekte performansa dayalı adaptif bina kabukları kapsamında, tasarımcıların bütüncül bir kabuk tasarlayarak farklı iç mekan organizasyonları yapılabilecektir.

Tez kapsamında geliştirilen uygulama örnekleri, günümüzde ortaya çıkan yeni mimarlık yaklaşımlarından olan performansa dayalı adaptif mimarlığın paralelinde ortaya çıkan yaklaşımlardan esinlenilerek tasarlanmışlardır. Adaptif mimarlıkta çevresel uyaranlara karşı tepki verebilme ve gerektiğinde kabuğun şeklini değiştirme gibi çeşitli özelliklerin olması optimizasyon açısından önemlidir. Çevresel şartların sürekli değişmesinden dolayı artık binaların durağan olması mümkün görünmemektedir. Tez kapsamında adaptif mimarlığın buna ve benzeri sorunlara çözüm olabilmesinde kullanılabilecek tasarım ilkeleri ile yöntemler irdelenmiştir.

Pnömatik mimarlık günümüzde kolay taşınabilir olması ve taşınmasının kolay olması sebebiyle tercih edilmektedir. Pnömatik tasarımların ünlü mimarlar ve tasarımcılar tarafından çeşitli avantajları ve potansiyelleri dikkate alındığında tarihsel süreç içerisinde aktif olarak kullanıldığı görülebilmektedir. Aynı zamanda model sistem detayı çözümlerinde ve optimize edilmiş bir kabuğun tasarlanmasında çok önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Tez kapsamında tasarlanan model için geliştirilen, adaptif bina kabuğunun pnömatik bir sistem detayı ile çözülmesi fikri, pnömatik mimarinin ve adaptif mimarinin avantajlarının aynı anda gözlemlenebileceği bir model önerisinin ortaya çıkmasında etkili olmuştur.

Tez kapsamında önerilen performansa dayalı adaptif bina kabuğu tasarımında bina kabuğunun güneşin herhangi bir zamandaki ve konumdaki verileri değerlendirilmekte buna göre matematiksel hesaplama yapılmakta ve sonucunda elde edilen değerlerin optimize edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen algoritması günümüzde geliştirilen diğer modellere kıyasla optimuma daha yakın değerler vermektedir. Geleceğe yönelik olarak düşünüldüğünde ise önerilen bu model rüzgar, yağış gibi diğer parametrelerde tepki vererek farklı kurgular ve optimize edilmiş kabuk yüzeyleri oluşturulabilecek bir yapıya sahiptir.

Sonuç olarak daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir çevre ve daha konforlu mimari ürünler tasarlanması isteniyorsa günümüz teknolojileri kullanılarak tatmin edici ve hatta optimuma çok yakın çözümler üretilebilmektedir. Bu yaklaşımların en önemli özelliği elde edilen sonucun ölçülebilir verilere ve farklı kurgulara izin veren bir model önerisi olmasıdır. Bu modelin teknoloji alanındaki gelişmeye ve bu alanda yapılacak olan gelecekteki araştırma ve çalışmalara dayalı olarak geliştirilmesi ile, performansa dayalı adaptif bina kabukları, doğadan esinli tasarım yaklaşımları ilişkisi ve pnömatik mimarinin kullanımı hakkında çok daha gelişmiş ve optimize edilmiş sistemlerin tasarlanabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar:

Atkin B. (1998). *Intelligent Buildings: Applications of IT and Building Automation to HighTechnology Construction Projects.*

Bennetts H., (2003) *Understanding Sustainable Architecture*, London: Spon Press.

Benyus, J. (1998). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York, Harper Collins.

Boyle, G. (2004). *Renewable Energy*. New York: Oxford University Press in association with the Open University.

Burry, M. and Murray Z. (1997) "Computer Aided Architectural Design Using Parametric Variation and Associative Geometry" in Martens B. Linzer H Voigt A. eds. *Challenges of the Future*, ECAADE, Vienna, pp. 257-266

Dimitrov, A.(2009), *Building (as) performance : a material approach to adaptive architecture*, Massachusetts Institute of Technology

Drozdowski, Z. (2011). "The Adaptive Building Initiative: The Functional Aesthetic of Adaptivity" *Architectural Design*, pp.118-123.

Durmisevic E.; Brouwer J. (2002). "Dynamic versus static building structures" 2nd International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment. Conference Proceedings; Salford, England.

Fox M.; Kemp M. (2009). *Interactive Architecture*, First edition, Princeton Architectural press, New York .

Fuller, B. (1969). *Utopia or oblivion: the prospects for humanity*, Overlook Pres, New York.

Ghamari H. ve Asefi H. (2010). "Toward Sustainability by the Application of Intelligence Building Systems", The Second International Conference on Sustainable Architecture and Urban Development, Amman, Jordan.

Hensel, M. and Menges, A. (2008). "Gebaute Umwelt und Heterogener (Lebens) Raum – Das Konzept der Morpho-Ökologie", *Form Follows Performance – Zur Wechselwirkung von Material, Struktur, Umwelt*, Arch+ 188: 26-30.

Autumn, K., Dittmore, A., Santos, D., Spenko,M., Cutkosky,M., (2006) "Frictional adhesion: A new angle on gecko attachment", *J. Exp. Biol.*, vol. 209, no. 18, pp.3569 -3579

Mozer, M.C. (1999). "An intelligent environment must be adaptive", *Intelligent Systems and Their Applications*, IEEE, 14(2), pp.6-13.

Oxman, R. (2007). "A Performance-based Model in Digital Design: PERFORMATIVE DESIGN" in AEDM - International Journal of Architecture Engineering Design and Management - Bridging the Gap between Architecture and Engineering Practice, No. 3 pp. 169 -180

Oxman R. (2008), "Performance based Design: Current Practices and Research" Issues IJAC International Journal of Architectural Computing Vol. 6 Issue 1 pp. 1-17. (Expanded and modified version of prior paper - emphasizing current practices).

Oxman, N. (2013), "Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture" (ACADIA) ISBN 978-1-62407-267-3 , San Francisco 18-21 October, pp. 19-20

Oxman N., Laucks J., Kayser M., Duro-Royo J., Gonzales-Uribe C., (2014), FABRICATE Conference Proceedings, Fabio Gramazio, Matthias Kohler, Silke Lanenber (eds.) ta Verla, (248-255)

Pawlyn, M. (2011). Biomimicry in Architecture, RIBA Publishing.

Soar, R.C. and Turner, J. S. (2008). "Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building", First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3Con), Loughborough University.

Steele, J. E. (1960) "How Do We Get There?", *Bionics Symposium: Living Prototypes—The Key to New Technology*, September 13-15, 1960, WADD Technical Report 60-600, Wright Air Development Division, Wright-Patterson Air Force Base, OH, pp. 488-489. Reprinted in *The Cyborg Handbook*, Edited by Chris Hables Gray, New York, NY: Routledge, 1995: 55-60.

Topdemir, H. G. (2004) "Aristoteles'in Doğa -Fizik- Felsefesi", Felsefe Dünyası, Sayı 39, Ankara, Türk Felsefe Derneği Yayını.

Topham, S. (2002), blow up: inflatable art, architecture and design. München: Prestel Verlag).

Url -1...< <http://valhallamovement.com/biomimicry/>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -2...< http://artnouveau.pagesperso-orange.fr/img/nature/Tree%20-%20carrer%20d%27Ausias%20Marc,%20Barcelona_l.jpg >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -3...< [http://www.nyc-architecture.com/BKN/TWA\(5\).jpg](http://www.nyc-architecture.com/BKN/TWA(5).jpg) >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -4...<<https://arkinetblog.files.wordpress.com/2010/02/buckminster-fuller-1.jpg?w=918>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -5...< <https://arkinetblog.files.wordpress.com/2010/02/buckminster-fuller-1.jpg?w=918> >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -6...< <http://www.momaps1.org/yap/view/17> >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -7...< <http://www.faulders-studio.com/DIACHRONIC-GROWTH>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -8...< http://www.creativeapplications.net/wp-content/uploads/2013/05/Comp-05_1200_728.png >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -9...< <http://vimeo.com/67177328>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -10...< <http://beyond.iaac.net/?project=20>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -11...< <http://beyond.iaac.net/wp-content/uploads/2015/04/AS01Concept.jpg>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -12...< http://spacecollective.org/userdata/1L9YwZWK/1175679030/arab_world_institute_2.jpg>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -13...<<http://decanteddesign.com/2015/03/31/adaptive-building-wall-roof-shading-systems-from-adi-adaptive-building-initiative-are-not-new-but-this-is-a-little-compilation-see-blogroll-for-a-link-to-the-adi-site/>>, alındığı tarih: 3 Ocak 2015.

Url -14...< <http://www.adaptivebuildings.com/images/tessellate-explode-small.jpg>>, alındığı tarih: 3 Ocak 2015.

Url -15...<http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/glass-sunshade-metal-perforated-67586-4180087.jpg >, alındığı tarih: 3 Ocak 2015.

Url -16...< <http://www.adaptivebuildings.com/images> >, alındığı tarih: 3 Ocak 2015.

Url -17...<<http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2010/02/1265657076-03mediatic-c9-1595-528x352.jpg> >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -18...<<http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2010/02/1265657084-04mediatic-c9-1643.jpg> >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -19...< <http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2010/03/Media-TIC-Side-Front.jpg>>, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -20...<http://img01.lavanguardia.com/2011/12/11/El-centro-tecnologico-Bdigital_54240966201_53389389549_600_396.jpg>, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -21...< <http://diariodesign.com/wp-content/uploads/2011/07/3-Media-TIC.jpg>>, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -22...<http://www.designhub.rmit.edu.au/cms_images/36_15-07-2013_2505.jpg >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -23...< <http://www.architecture.rmit.edu.au/Events/Images/DesignHub/an-The-20RMIT-20Design-20Hub-20130131215806514578-300x0.jpg>>, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -24...<http://images.theage.com.au/2012/09/21/3654350/1_thumb169-620x349.jpg >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -25...<<http://www.theloupe.org/2013/05/rmit-universitys-design-hub-melbournes-most-intriguing-new-building/> >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -26...< http://www.gardensbythebay.com.sg/content/dam/gbb/en/images/the-gardens/attractions/flowerdome/gallery_GB__06112150919.jpg >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -27...< http://www.archdaily.com/254471/gardens-by-the-bay-grant-associates/5000a48a28ba0d4aa2000037_gardens-by-the-bay-grant-associates_86440-supertrees-and-conservatories-exploded-view-original-1339586634-png/ >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -28...< http://www.grant-associates.uk.com/wp-content/uploads/ga_resized/SNG223_N823a-carousel.jpg >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -29...< <http://www.adaptivebuildings.com/images/cityofjustice1.jpg>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -30...< <http://www.adaptivebuildings.com/images/cityofjustice6.jpg>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -31...< <http://www.adaptivebuildings.com/images/cityofjustice2.jpg> >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -32...<http://www.philipbeesleyarchitect.com/sculptures/0904Siggraph_2009/siggraph_1.html>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -33...<<https://dfabnus.wordpress.com/category/studio/ay-20112012-sem-2/page/2/> >, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -34...<<http://lmnarchitects.com/tech-studio/featured/diva-review/>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -35...< <http://www.medienkunstnetz.de/works/emergences-of-continous-forms/> >, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -36...< http://www.jeffrey-shaw.net/images/005_003.jpg >, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -37...<<http://blog.lib.umn.edu/hael0002/alternativemedia5413/5525-13812-1-PB.jpg> >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -38...< http://aig.cs.man.ac.uk/research/legible/lc1_2.jpg >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -39...<http://www.crala.org/internet-site/Other/Art_Program/artist_list/images/Interactive_Building_Dusk_Pattern_low_rez.jpg >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -40... < <http://openbuildings.com/buildings/interactive-profile-43276>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -41... < http://www.wooloo.org/public/userfiles/daanroosegaarde/images/preview413x316_4d_pixel_04.JPG >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -42... < <https://www.studioroosegaarde.net/uploads/images/2011/02/25/638/638-1348-image.jpeg> >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -43... < http://www.wooloo.org/public/userfiles/daanroosegaarde/images/4d_pixel_02.JPG >, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -44... < <http://www.domusweb.it/en/from-the-archive/2011/03/19/pneumatic-design.html>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -45... < <http://www.jadeye.co.za/images/Pods/inflatable%20pod%207.jpg>>, alındığı tarih: 21 mart 2015.

Url -46... <<http://issuu.com/buildair/docs/corporativa-buildair-ene-10.v2.0--sin-fotos-debajo>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -47... <<http://veechxveech.com/project/corporate-design/sprachpavilion/>>, alındığı tarih: 2 mart 2015.

Url -48... <<https://www.pinterest.com/pin/79446380901138882/l>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -49... < <http://kkaa.co.jp/works/pavilion/tee-haus/>>, alındığı tarih: 21 mart 2015.

Url -50... < <http://www.archiexpo.com/prod/canobbio/pneumatic-structure-55251-148581.html> >, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -51... <<http://casa.abril.com.br/materia/pavilhao-inflavel-abriga-concertos-de-musica-classica-no-japao>>, alındığı tarih: 11 Nisan 2015.

Url -52... <<http://casa.abril.com.br/materia/pavilhao-inflavel-abriga-concertos-de-musica-classica-no-japao>>, alındığı tarih: 29 Nisan 2015.

Url -53... < <http://inflatable-sports-dome-3570.korotkevich.biz/> >, alındığı tarih: 7 Nisan 2015.

Url -54... < <https://www.tsunagujapan.com/want-to-have-fun-go-to-the-tokyo-dome-city/> >, alındığı tarih: 7 Nisan 2015.

Url -55... < http://www.ziogiorgio.com/images/2009/martin%20audio/Tokyo%20Dome_1.jpg >, alındığı tarih: 7 Nisan 2015.

Url -56... < <http://raumlabor.net/spacebuster/>>, alındığı tarih: 1 Nisan 2015.

Url -57...< http://low2no.fi/camp/wp-content/uploads/2011/07/3466853379_6fd728e675_o.jpg >, alındığı tarih: 7 Nisan 2015.

Url -58...< <http://pichost.me/1474084/> >, alındığı tarih: 7 Nisan 2015.

Url -59...< https://www.allianz-arena.de/media/images/topteaser/sommer_top2_970.jpg >, alındığı tarih: 17 Nisan 2015.

Url -60...< <https://www.rhino3d.com/>>, alındığı tarih: 9 Nisan 2015.

Url -61...<http://www.philipbeesleyarchitect.com/sculptures/0904Siggraph_2009/siggraph_1.html>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -62...<<http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/geco-for-grasshopper-07>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -63...<<http://www.grasshopper3d.com/photo/divadvrt-1>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -64...<<http://slideplayer.it/slide/568309/>>, alındığı tarih: 21 Nisan 2015.

Url -65...<<http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/azel.html>>, alındığı tarih: 1 mart 2015.

Url -66...< <http://www.gt2p.cl/> >, alındığı tarih: 2 şubat 2015.

Volstad, N. ve Boks C. (2012). On the use of Biomimicry as a Useful Tool for the Industrial Designer, Department of Product Design, Faculty of Engineering Science and Technology Norwegian University of Science and Technology.

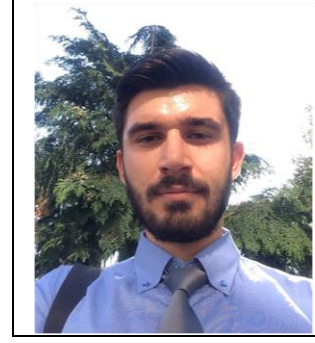
Vitruvius, Marcus P. (). Mimarlık Üzerine On Kitap, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınevi.

Wigginton M. (2002). Intelligent Skins. Butterworth-Heinemann LinacreHouse. Jordan Hill. Oxford.

EKLER

Ek A: Modelin Grasshopper kodu

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Erhan Karakoç
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 09.01.1991
E-Posta : erhankarakocitu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yükseklisans** : 2015, İ.T.Ü., Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2012-2015 Serbest mimarlık deneyimi
2015-devam ediyor İstanbul Kültür Üniversitesi (Araştırma Görevlisi)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR ve SUNUMLAR:

- Karakoç, E., Çağdaş G., 2015., Performansa Dayalı Adaptif Bina Kabuğu Tasarımı için Bir Model, *IX. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*, Haziran 25-26, 2015 İstanbul.

DİĞER YAYINLAR ve SUNUMLAR:

- Oral H., Karakoç E., 2015., Doğadan Esinli Tasarımda Etkileşimli Strüktürler, *IX. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*, Haziran 25-26, 2015 İstanbul.