



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PARAMETRİK ARAÇLARLA TASARLANAN
KİNETİK CEPHELERİN
ENERJİ, GÜNEŞİĞİ ve PARLAMA
PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Esmâ ERKOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Ana Bilim Dalı

Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Esma ERKOL tarafından hazırlanan “Parametrik Araçlarla Tasarlanan Kinetik Cephelerin Enerji, Güneşliği ve Parlama Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Sema ALAÇAM
(İstanbul Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Doç. Dr. Selçuk SAYIN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Fatih CANAN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt Uyan
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Esma ERKOL

20.06.2023

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****PARAMETRİK ARAÇLARLA TASARLANAN KİNETİK CEPHELERİN
ENERJİ, GÜNEŞİĞİ VE PARLAMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ****Esmâ ERKOL****Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Ana Bilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Selçuk Sayın****2023, 161 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Selçuk SAYIN****Doç. Dr. Fatih CANAN****Doç. Dr. Sema ALAÇAM**

Enerji kaynaklarının sınırsız olmadığı ve gelecek kuşaklara yaşanabilir bir çevre bırakmanın öneminin kavranması, tasarımcıları çevreye duyarlı tasarımlar yapmaya ve fosil kaynaklar yerine enerji kullanımında alternatif yollar aramaya yönlendirmiştir. Diğer taraftan teknoloji alanındaki gelişmeler mimarlığa ‘hareket edebilme yeteneği’ kazandırarak mimarlığı alışlagelmiş durağan statik çözümlerden daha etkin dinamik sonuçlara yönlendirmiştir. Nasıl ki bir canlının hayatta kalması için çevresel koşullara ve değişen iklim şartlarına adapte olabilmesi gerekiyorsa, binalar için de durum aynıdır. Kinetik cepheye sahip binalar değişen iklim şartlarına ve çevresel koşullara adaptasyonu sağlayabildiği için daha verimli olmaktadır. Ayrıca kinetik cephe, bina içerisinde güneşliği dengesini sağladığı için binanın iklimsel konforunu artırmakta, görsel konforu sağlamakta ve ısıtma-soğutma maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Kinetik cephe günümüzde farklı işlevleri yerine getirmesi beklenen çok sayıda parçaya sahip karmaşık ürünler haline gelmiştir. Tasarımcının hayal gücüyle ve geleneksel tasarım yöntemleriyle bu karmaşık ürünleri tasarlamaları oldukça zor ve vakit alıcıdır. Bu noktada parametrik araçlar tasarım üzerinde gerçek zamanlı arama ve kontrol sağlarken, analiz araçları en uygun çözüme ulaşmak için tasarım sürecine rehberlik etmeyi mümkün kılar ve tasarım sürecinde bir geri bildirim döngüsü kurar.

Bu tez çalışmasında parametrik tasarım araçlarından Rhino/ Grasshopper aracı ve Honeybee ve Ladybug eklentileri kullanılarak Konya’da bulunan mevcut bir ofis binasının cephesinde akıllı kinetik cephe sistemi tasarlanmıştır. Çalışma kinetik cephenin ofis binasında enerji, güneşliği ve parlama performansına etkisinin simülasyon yöntemiyle değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Sonuç olarak kinetik cephenin enerji kullanım yoğunluğu olan EUI değerini düşürdüğü, yazın soğutmaya harcanan enerji kullanımını yaklaşık %35 oranlarında azalttığı sonucuna varılmıştır. Kinetik cephenin eklenmesiyle güneşliği parlama olasılığı olan DGP değerinde belirlenen tarih ve saatlerde rahatsız edici parlamanın tamamen önüne geçildiği gözlenmiştir. Ayrıca kinetik cephenin eklenmesi yıllık güneşliği ölçümlerinde DA,

cDA ve sDA değerlerinde olumlu sonuçlar gözlenmiştir. Katların tamamı için sDA değerlerinin ortalaması hesaplandığında kinetik cephe sDA değerini %19 oranında azaltmıştır. Faydalı günışığı aydınlığı seviyesi olan UDI değerlerinde ise görsel konforsuzluğa neden olabilecek 2500 lux'un üzerinde aydınlatma değeri olan mekânların azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kinetik Cepheler, Parametrik Tasarım, Akıllı Kinetik Sistemler, Tesselasyon, Enerji Performansı, Günışığı Performansı, Parlama, Termal Konfor.



ABSTRACT**MS THESIS****EVALUATION OF THE EFFECT OF KINETIC FACADES DESIGNED WITH
PARAMETRIC TOOLS ON ENERGY, DAYLIGHT AND GLARE
PERFORMANCE****Esmâ ERKOL****Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture****Advisor: Assoc. Dr. Selçuk Sayın****2023, 161 Pages****Jury****Assoc. Dr. Selçuk Sayın****Assoc. Dr. Fatih CANAN****Assoc. Dr. Sema ALAÇAM**

Realizing that energy resources are not unlimited and the importance of leaving a livable environment to future generations has led designers to make environmentally friendly designs and to seek alternative ways to use energy instead of fossil resources. On the other hand, developments in the field of technology have given architecture the 'ability to move' and led architecture to more effective dynamic results from the usual static solutions. Just as a living thing needs to be able to adapt to environmental conditions and changing climatic conditions in order to survive, the situation is the same for buildings. Buildings with kinetic façades are more efficient as they can adapt to changing climatic and environmental conditions. In addition, kinetic facades increase the climatic comfort of the building, provide visual comfort, and help reduce heating-cooling costs, as they provide the daylight balance inside the building. Kinetic facades today have become complex products with a large number of parts expected to perform different functions. It is very difficult and time consuming for the designer to design these complex products with the imagination and traditional design methods. At this point, while parametric tools provide real-time search and control over the design, analysis tools make it possible to guide the design process to reach the most appropriate solution and establish a feedback loop in the design process.

In this thesis, an intelligent kinetic façade system was designed on the facade of an existing office building in Konya by using the Rhino/Grasshopper tool and Honeybee and Ladybug plugins, which are parametric design tools. The study focuses on the evaluation of the effect of the kinetic facade on the energy, daylight and glare performance in the office building by simulation method. As a result, it has been concluded that the kinetic front reduces the energy use intensity, EUI, and reduces the energy consumption spent on cooling in summer by approximately 35%. With the addition of the kinetic front, it was observed that the disturbing glare was completely avoided at the specified dates and times in the DGP value, which

is the possibility of daylight glare. In addition, the addition of the kinetic front showed positive results in DA, cDA and sDA values in annual daylight measurements. When the average of the sDA values for all the floors was calculated, the kinetic front decreased the sDA value by 19%. On the other hand, it has been observed that the UDI values, which are useful daylight brightness levels, decrease in places with a lighting value of more than 2500 lux, which can cause visual discomfort.

Keywords: Kinetic Facades, Parametric Design, Intelligent Kinetic Systems, Tessellation, Energy Performance, Daylight Performance, Glare, Thermal Comfort.



ÖNSÖZ

“Parametrik Araçlarla Tasarlanan Kinetik Cephelerin Enerji, Günlüğü ve Parlama Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi” adlı yüksek lisans tez çalışması, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tez sürecim boyunca anlayış ve sabrı ile beni yönlendiren, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selçuk Sayın’a katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim sürecimin başından sonuna kadar ne zaman ihtiyacım olsa yanımda olan ve özellikle tez yazma sürecinde teze vakit ayırabilmemi sağlayan değerli annem, babam ve kardeşlerime, ayrıca bu stresli süreci benimle yaşayıp desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Hakan’a ve son olarak bu süreçte her türlü yaramazlıklarına rağmen bir gülüşleriyle tüm stresimi alan çocuklarım Asaf Kerim ve Mustafa Aras’a sonsuz teşekkürler...

Esmâ ERKOL
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Çalışmanın İçeriği	3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	5
2.1. Parametrik Tasarım.....	5
2.1.1. Parametrik Tasarım Elemanları	5
2.1.2. Parametrik Tasarımın Ortaya Çıkışı	6
2.1.3. Parametrik Tasarımın Avantajları.....	11
2.1.4. Parametrik Tasarım Uygulama Alanları	12
2.1.5. Parametrik Tasarım Yazılımları.....	16
2.2. Kinetik Mimari	17
2.2.1. Kinetik Mimarinin Dayanağı	20
2.2.2. Kinetik Mimarinin Tarihsel Gelişim Süreci	22
2.2.3. Kinetik Mimarinin İşlevsel Faydaları	23
2.2.3.1. Havalandırma.....	23
2.2.3.2. Isıl Konfor.....	24
2.2.3.3. Görsel Konfor	25
2.2.3.4. Enerji Performansı	26
2.2.3.5. Akustik Kalite	27
2.2.4. Kinetik Mimarinin Sınıflandırılması	28
2.2.5. Kinetik Cepheye Sahip Binalardan Örnekler.....	31
2.2.5.1. Katlanır Plak Sisteme Sahip Binalar.....	31
2.2.5.2. Düzlemsel Güneş Kırıcı Sisteme Sahip Binalar	38
2.2.5.3. Malzeme Tabanlı Sisteme Sahip Binalar.....	42
2.2.5.4. Pnömatik Sisteme Sahip Binalar.....	55
2.3. Akıllı Kinetik Cephe Sistemleri.....	57
2.3.1. Sensör Teknolojisi- Gömülü Hesaplama	58
2.3.2. Kontrol Mekanizmaları.....	58
2.3.3. Kontrollü Hareketlerin Çeşitleri	59
2.3.3.1. Direkt Kontrol.....	59
2.3.3.2. Dolaylı Kontrol	59
2.3.3.3. Duyarlı Dolaylı Kontrol.....	60
2.3.3.4. Çoklu Duyarlı Dolaylı Kontrol.....	60

2.3.3.5. Aynı Anda Her Yerde Olan Duyarlı Dolaylı Kontrol.....	61
2.3.3.6. Kendi Kendine Öğrenebilen Duyarlı Dolaylı Kontrol.....	62
2.4. Tesselasyon	63
2.5. Konuyla İlgili Çalışmalar.....	68
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	80
3.1. Kullanılan Donanımlar	80
3.2. Kullanılan Yazılımlar	81
3.2.1. Rhino-Grasshopper	81
3.2.2. The Zoo Plugins.....	83
3.3. Tasarımda Kullanılacak Ofis Binası	88
3.4. Konya İklimsel Veriler	90
3.5. Simülasyon Modelinin Oluşturulması	93
3.6. Tesselasyon Yöntemiyle Akıllı Kinetik Cephenin Oluşturulması.....	96
3.7. Tasarlanan Akıllı Kinetik Cephenin Parametrik Olarak Modellenmesi	97
3.8. Kinetik Cephenin Enerji, Güneş ışığı ve Parlama Simülasyonu.....	102
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	108
4.1. Simülasyon Sonuçları	108
4.1.1. Enerji Analizi Simülasyon Sonuçları.....	108
4.1.2. Güneş ışığı Analizi Simülasyon Sonuçları.....	122
4.1.3. Parlama Analizi Simülasyon Sonuçları	132
4.2. Tartışma	136
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	138
5.1. Sonuçlar	138
5.2. Öneriler	140
KAYNAKLAR	141

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABI	Adaptive Building Initiative (Uyarlanabilir Bina Girişimi)
ASE	Annual Sunlight Exposure (Yıllık güneşiğine maruz kalma)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği)
BMS	Bina Yönetim Sistemi
°C	Santigrat derece
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Yardımıyla Dizayn)
Cda	Continuous Daylight Autonomy (Sürekli Güneşiği Özerkliği)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği)
Cm	Santimetre
CO ₂	Karbondioksit
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat (Yüksek Binalar ve Kentsel Habitat Konseyi)
CuZnAl	Bakır-Çinko-Alüminyum
DA	Daylight Autonomy (Güneşiği Özerkliği)
DGP	Daylight Glare Probability (Güneşiği Parlama Olasılığı)
EAP	Elektroaktif Polimer
EPW	Energyplus Hava Durumu Verileri
°F	Fahrenhayt
GH	Grasshopper
HDR	High Dynamic Range (Yüksek dinamik aralık)
kWh / m ₂	Kilowatt saat / metrekare
LDR	Light Dependent Resistor (Işığa Bağımlı Direnç)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
Lux	Lüks
M	Metre
Ni-Ti	Nikel-Titanyum
PTFE	Politetrafloroetilen
Sda	Spatial Daylight Autonomy (Mekânsal Güneşiği Özerkliği)
ŞHA	Şekil Hafızalı Alaşım

UCS	Uyarlanabilir cephe sistemleri
UDI	Useful Daylight Illuminance (Yararlı Gün Işığı Aydınlığı)
UGGB	Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenleri
USB	Universal Serial Bus (Evrensel seri veriyolu)
XL	Microsoft Excel



1. GİRİŞ

Artan nüfus, sanayileşme, doğal kaynakların bilinçsiz tüketilmesi ve teknolojinin gelişimiyle birlikte dünyadaki enerji tüketimi hızla artmaktadır. Böylece insanlığın en temel ihtiyacı olan enerjiye ilişkin talep giderek artmakta ve enerji verimliliği kavramını ön plana çıkararak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmaktadır. ‘Yapı sektörü’ diğer sektörlerle kıyasla küresel ölçekteki toplam enerji tüketiminde daha büyük bir paya sahiptir. Bunun sebeplerinden biri yapı sektöründe primer olarak fosil yakıtların kullanılıyor olmasıdır. Bir diğer nedeni ise bina tasarımlarındaki performans eksikliğidir. Özellikle bina cepheleri dış çevreyle doğrudan bağlantıyı sağladığından enerji verimliliği performansı noktasında dikkat edilmesi gereken bir faktör olarak önem kazanmaktadır (Musa, 2021). Ayrıca binalarda enerji verimliliği kapsamında günışığının kontrolü noktasında son yıllarda artan bir farkındalık gözlenmektedir (Özdemir ve Yılmaz Çakmak, 2022).

Sürekli değişen ve çeşitlenen çevresel koşullara ve ihtiyaçlara karşı statik cepheler, tasarımcıları sınırlandırmaktadır (Başaran, 2015). Statik bir cephe; dayanıklılığı, durağanlığı, sabitliği önerirken, kinetik cepheler; değişimi, canlılığı, çevikliği ve kesin olmayana önermektedir (Başar, 2014). Son yıllarda mimarlık alanındaki eğilimler de çevresel koşullar ve kullanıcı etkisi sonucu meydana gelen iç ve dış değişikliklere tepki verecek, kinetik cepheler üzerinedir. Böylece günümüzde, bina cephelerinin bitkiler gibi şekil değiştirebilme veya hayvanlar gibi yer değiştirebilmesi üzerinde yoğunlaşmış çalışmalar görülmektedir. Kinetik cepheye sahip yapılarda çevresel koşullar ve kullanıcıyla bina cephesi karşılıklı etkileşim halindedir. Bu durumu Michael Fox: ‘*etkileşimli mekânların bugünkü görünümü, gömülü hesaplamanın (zekânın) kavranması ve insan-çevre etkileşiminin bağlamsal çerçevesiyle uyumunu sağlayan fiziksel bir karşılığının (kinetiğin) üzerine kuruludur.*’ şeklinde ifade etmiştir (Başaran, 2015). Günümüz teknolojisinde mikrodenetleyiciler vasıtasıyla kinetik cephelerin istenilen çevresel faktöre karşı duyarlı olmasını sağlamak mümkündür. Güneşin açısına ve konumuna duyarlı bir kinetik cephe ile hem gün ışığının doğru kullanılması sağlanabilir hem de güneşin iç mekânda parlaması önlenir. Buna ek olarak günışığının doğru kullanılmasıyla yıllık ısıtma ve soğutmaya harcanan enerjiden tasarruf sağlanabilir (Özdemir ve Yılmaz Çakmak, 2022).

Kinetik cepheler günümüzde, farklı işlevleri yerine getirmesi beklenen çok sayıda parçaya sahip karmaşık ürünler haline gelmiştir. Karmaşık cephelerin tasarımını kolaylaştırmak ve çevre ile bina cephesi arasında uygun niceliksel ilişkiyi oluşturmak

amacıyla yeni hesaplama yolları ve teknikleri geliştirilmiştir. Karmaşık tasarımlarla başa çıkmak ve daha doğru sonuçlara ulaşabilmek için mimaride parametrik tasarım kavramı ortaya çıkmıştır. Modern tasarımlara sahip mimarlar, mimari trendlerin yeni çağının gelişimini ve karmaşıklığını anlamının en yaratıcı yolunun parametrik tasarım olduğunu iddia etmişlerdir (Eltaweel ve diğ., 2017).

1.1. Çalışmanın Önemi

Dünyadaki enerji kaynaklarındaki azalış birçok disiplinde olduğu gibi mimarlık alanında da çözülmesi gereken bir problem olarak güncelliğini korumaktadır. Ayrıca teknolojik alandaki hızlı gelişmeler ve endüstriyel alandaki hızlı tüketim bilim insanlarını yeni arayışlara yöneltmiştir.

Günümüzde bina cephelerinin, durağan strüktürler olarak değil çevreye duyarlı dinamik mekanizmalar olarak tasarlanması beklenmektedir. Statik cepheler çevresel şartlardan yalnız birine cevap verebilecek şekilde tasarlanabilmektedir. Çevresel şartlar değiştiğinde statik cepheler bu farklılığa ayak uyduramazlar ve bina performanslarında düşüş gerçekleşir. Bu noktada kinetik cepheler önem kazanmaktadır. Çevresel şartlar değişse de hareketleri doğrultusunda değişen iklim koşullarına adapte olabilmektedirler. Çalışma yenilikçi bir yaklaşım olan kinetik cephelerin özelliklerinden bahsetmesi, kinetik cepheye sahip mevcut binalardan örnekler sunması ve son olarak kinetik cephelerin enerji, güneşliği ve parlama performansına etkisinin incelenmesini içermekte olduğundan ve enerjinin korunması anlamında örnek teşkil etmesinden dolayı önem kazanmaktadır.

Ayrıca bina teknolojileri günümüzde, aynı anda birçok disiplini barındıracak şekilde bütünleşmiştir. Her bir disiplin çok karmaşık geniş bir bağlantı içinde diğer disiplinlere bağlanmaktadır. Tasarımcının hayal gücüyle ve geleneksel tasarım yöntemleriyle karmaşık bina çözümlerini yapmaları oldukça zor ve vakit alıcı bir süreç haline gelmiştir. Bu çalışma, bu süreci hızlandıran ve kolaylaştıran parametrik tasarım kavramı hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamanın yanı sıra, akıllı kinetik cephelerin güneşliği, parlama ve enerji performansının yine parametrik tasarım aracının sunduğu imkânlarla nasıl değerlendirileceğini de görülmesini sağlayacaktır.

Bu çalışma, yukarıda belirtilen problemlere yanıt olarak mimarlık alanında ‘akıllı kinetik cephe sistemleri ve yenilikçi teknoloji’ kavramlarının birbirine entegre bir şekilde daha geniş alanda ve daha etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlaması, bunun yanında enerjinin korunumu kavramını da ön planda tutarak yenilikçi atılımları tetikleme ve kullanıcı konfor şartlarını daha ileri bir seviyeye taşıması açısından önem

kazanmaktadır. Bu çalışma, gelecekteki buna benzer çalışmalar için bir örnek teşkil etmesi ve uygulanabilirliğinin tartışılması açısından da önemlidir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, günümüzde birçok disiplinde güncel bir konu olan enerjinin korunumu için günışığının doğru kullanılması amacıyla, bina cephelerinin akıllı kinetik sistemlerle tasarlanmasına, böylelikle dinamik, çevreye duyarlı cepheler oluşturulmasına ve bu dinamik karmaşık cephelerin yine günümüzde popüler bir konu olan parametrik tasarım aracıyla nasıl kolaylıkla çözümlenebileceğine bir örnek teşkil etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda mevcut bir ofis binasının cephesi tesselasyon tekniğiyle oluşturulan akıllı kinetik sistemlerle tasarlanıp parametrik tasarım metotlarıyla modellenerek enerji, günışığı ve parlama performansına etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın hipotezi ise; “akıllı kinetik cepheler, mekânların günışığı, enerji ve parlama performansını artırmaktadır.” olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, kavramsal açıklamalar tanımlandıktan ve literatürde bulunan konuyla ilişkili örnekler ele alındıktan sonra Konya'nın Selçuklu ilçesi Hacıkaymak Mahallesinde bulunan mevcut bir ofis binası cephesinde tasarlanan kinetik cephe ile enerji, günışığı ve parlama analizi yapılmış, kinetik cephenin mevcut bina üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri tartışılmıştır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Tez çalışması, genel olarak tanımlayıcı örnekler ve alan çalışması kısımlarını içeren beş bölümden oluşmaktadır.

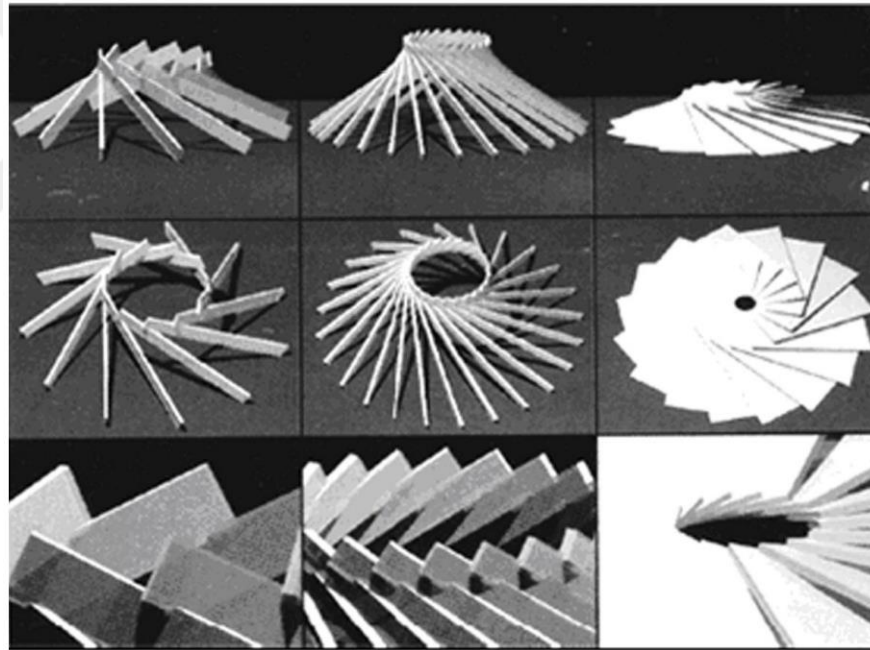
- Birinci bölümde, çalışmanın önemi, amacı ve kapsamı anlatılmıştır.
- Çalışmanın ikinci bölümünde, parametrik tasarım kavramı, kinetik mimari kavramı, akıllı kinetik sistemler ve son olarak tesselasyon tekniği üzerine makale, tez, kitap ve konferans bildirileri üzerine literatür taraması yapılarak konu ile ilgili kaynaklar analiz edilmiştir. Özellikle tesselasyon tekniğine dayalı kinetik cepheye sahip binalar üzerine çeşitli örnekler sunulmuştur. Literatür taraması sonucunda parametrik tasarım aracıyla bina cephelerinde enerji ve günışığı performansı değerlendirmeye yönelik literatürde bulunan özellikle son beş yıla ait güncel çalışmalara yer verilerek örnekler üzerinden incelenmiştir.

- Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan yazılımlar, donanımlar, çalışmada kullanılacak ofis binasının özellikleri, ofis binasının bulunduğu yerin iklimsel verileri olmak üzere çalışmanın materyalleri tanıtılmıştır. Daha sonra ilk olarak çalışmada kullanılacak mevcut ofis binası parametrik tasarım aracı olan Rhino/Grasshopper tasarım programı ile modellenmiş ve güney ve doğu kısımlarındaki cam giydirme cephe üzerine tesselayon tekniği kullanılarak kinetik cephe tasarlanmıştır. Kinetik cephenin parametrik olarak modelleme aşamalarına da bu bölümde yer verilmiştir. Bu kinetik cephe, arduino yazılımı ile güneşin hareketine duyarlı bir şekilde ayarlanarak günışığına duyarlı akıllı bir cephe haline getirilmiştir. Bu bölümde son olarak enerji, günışığı ve parlama analizi için tez kapsamında değerlendirilecek alanlar ve kriterleri üzerinde durularak simülasyon parametrelerine yer verilmiştir.
- Çalışmanın dördüncü bölümünde, Ladybug ve Honeybee eklentileri kullanılarak akıllı kinetik cephenin ofis binasındaki enerji, günışığı ve parlama performansı üzerindeki etkisi simüle edilerek, kinetik cephenin olma ve olmama durumuna göre karşılaştırmalı olarak simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.
- Çalışmanın beşinci bölümünde, çalışmanın sonuçlarına yer verilerek, gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Parametrik Tasarım

Parametrik tasarım, tasarımın amacıyla tepkisi arasındaki ilişkiyi birlikte tanımlayabilen, kodlamalar yaparak parametrelerin ve kuralların ifade edilmesini sağlayan algoritmik düşünceye dayalı bir süreci ifade etmektedir (Yıldız, 2019). Başka bir deyişle parametrik tasarım, bir formun elemanları arasındaki temel ilişkileri kullanarak formun tanımlanması anlamındadır. Elemanlar birbirinden bağımsız olarak düzenlenebilirken, denklemler kümesi de nesnelere arasındaki ilişkinin korunmasını sağlar (Topçu, 2012). Parametrelere dayalı tasarım anlayışında formdan ziyade girilen parametrik değerler önem kazanmaktadır. Parametrelere girilen her farklı değer, birbirinden farklı sonsuz biçimlerin oluşmasına olanak sağlar (Mendilcioğlu, 2017). (Şekil 2.1)

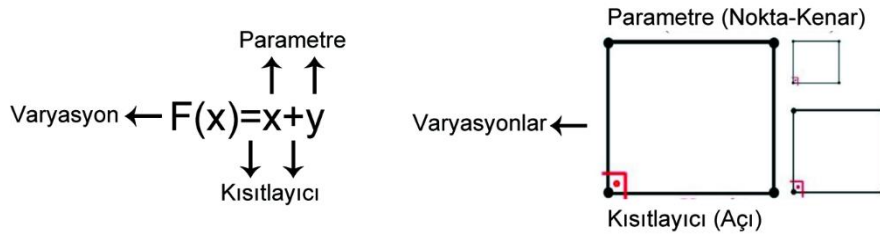


Şekil 2.1. Birimlerin sayısı, yüksekliği ve eğimi ile ilgili parametre değerleri değiştirildikçe oluşan alternatifler (Özden, 2011).

2.1.1. Parametrik Tasarım Elemanları

Parametrik tasarım, parametrelerin birbirleriyle kurdukları ilişkileri bir sistem haline getirerek ve bu sistemle tasarım ürününü ortaya koymaktadır. Parametrik tasarımı cebirsel bir ifadeyle örnekeleyecek olursak, $F(x)=x+y$ fonksiyonunda, x ve y parametre,

+ ve = kısıtlayıcı ve her farklı $f(x)$ fonksiyonu ise bir varyasyon konumundadır (Şekil 2.2). Problem ne kadar karmaşık olursa olsun parametrik tasarım sistemi bu üç ana eleman altında sınıflandırarak problemleri sadeleştirmektedir (Ceylan 1, 2019).



Şekil 2.2. Parametrik Tasarım Elemanları

Parametre: Parametre terimi, Türk Dil Kurumu'nda 'değişken' ifadesiyle tanımlanmıştır. Parametre kelime anlamı olarak, durağan gibi görünen, ancak alacağı her yeni değer için işlevi değiştirilen cebirsel simge ya da sayı, bir denklemin katsayılarına giren nicelik anlamına gelmektedir (Topçu, 2012). Parametreler bağımlı ve bağımsız değişkenler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bağımlı değişkenler, sistemin kurgusunu oluşturan üretken kısımdır. Bağımsız değişkenler ise, sistem sonucu oluşmuş varyasyonları değiştirmemize olanak sağlayan değişkenlerdir (Ceylan 1, 2019).

Kısıtlayıcı: Cebirsel olarak fonksiyonun parametrelerine uygulanacak süreci veya formülü oluşturan ve oluşan sistem sonucunda ortaya çıkan varyasyonların belirli bir küme oluşturmasını sağlayan limitler zinciridir. Sistemde parametrelere hangi işlemlerin uygulanacağı süreci ifade eder. Uygulanacak tasarımlarda, kurguyu uygulanabilirlik açısından tutarlı hale getirir (Ceylan 1, 2019).

Varyasyon: Parametrik tasarım yöntemiyle oluşturulmuş sistemin içerdiği parametrelere kısıtlamaların uygulanmasıyla oluşan sonuçlardır. Varyasyonu oluşturulmuş sistemde genel hatlar korunarak değişiklikler yapıp farklı sonuçlar elde edilebilir (Ceylan 1, 2019).

2.1.2. Parametrik Tasarımın Ortaya Çıkışı

Parametrik tasarım ve parametrik mimari, zengin bir tarihsel arka plana sahiptir. Patrick Schumacher 2008 yılında parametrik mimari adı altında yeni bir mimari tarzın ortaya çıkışını ilk duyurduğunda, Heidari ve diğ. (2018) mimarlık camiasının bu tür mimarinin özelliklerini ve ilkelerini bildikleri için şaşırmadığını, sadece tasarımların bu başlık altında olmadığını ifade etmişlerdir.

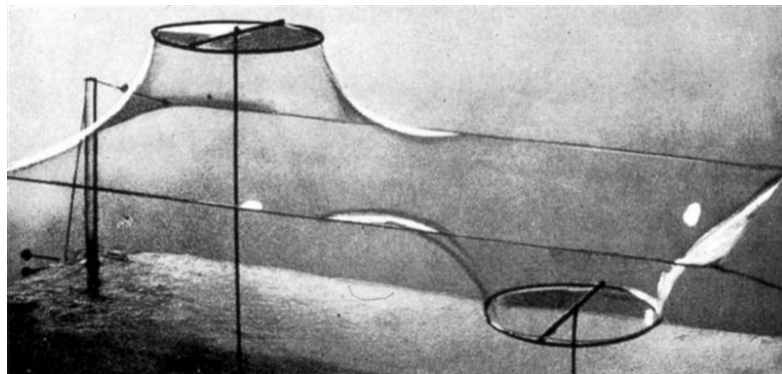
Mimarlar bu alanda iki öncü mimarın deneyimlerinden yararlanmışlardır: Antonio Gaudi ve Frei Otto. Bu iki mimarın çalışmaları ile parametrik mimarinin bir üslup olarak doğuşu arasında bir zaman turu olsa da eserlerinin kısa bir incelemesi parametrik düşünme ve tasarım süreçlerini açıkça göstermektedir (Heidari ve diğ., 2018).

Gaudi'nin çalışmaları (1900'den 1914'e kadar) ve Otto's Studio'nun 1960 ve 1970'lerde gösterdiği çalışmalar arasındaki benzerlikler, Gaudi ve Otto'nun serbest formla çalışmak için esnek modeller kullandıklarını göstermektedir. Yerçekimini, tasarımlarının şeklini kuvvetine göre şekillendirmek için doğanın parametrik girdilerinden biri olarak kullanmışlardır (Heidari ve diğ., 2018).

Gaudi ve Otto belirli parametrik denklemlerin hesaplanmasını hızlandırmak için fiziksel yasaları kullanmışlardır. Örneğin Gaudi bunu yapmak için, mimari hacmi yerçekimine göre şekillendirmenin, yapının veya yapının tahammül etmesi gereken kuvvetleri en aza indirdiği gerçeğine dayanarak asma modellerini kullanmıştır (Şekil 2.3). Otto, çekme yapılarını simüle etmek ve minimum yüzey alanı ve iç gerilime sahip formu bulmak için su kabarcıklarını kullanmıştır (Heidari ve diğ., 2018) (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Gaudi'nin Sagra da familia Bazilikası'nda optimize edilmiş yapı formunu bulmak için deneysel asma modeli (Heidari ve diğ., 2018).

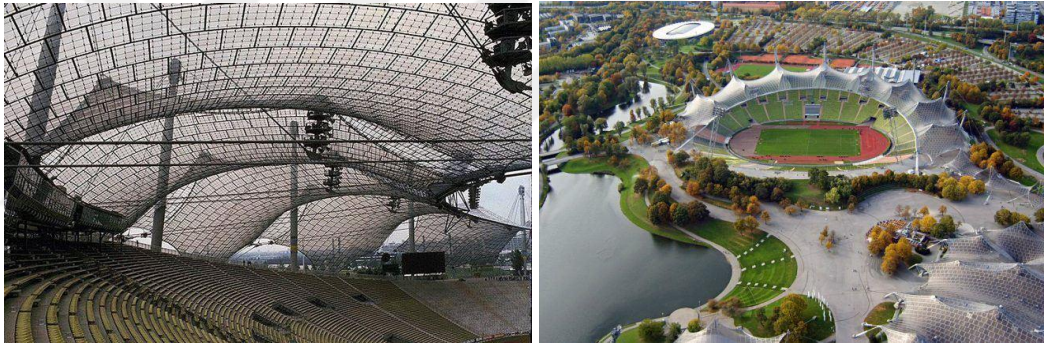


Şekil 2.4. Otto'nun çekme yapısını simüle etmek için kabarcıklı deneysel modeli (Heidari ve diğ., 2018).

Otto ve Gaudi'nin parametrik tasarım yöntemlerini kullanarak tasarladıkları yapılar Şekil 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Gaudi'nin parametrik olarak tasarladığı Sagrada Familia Kilisesi (URL-8)

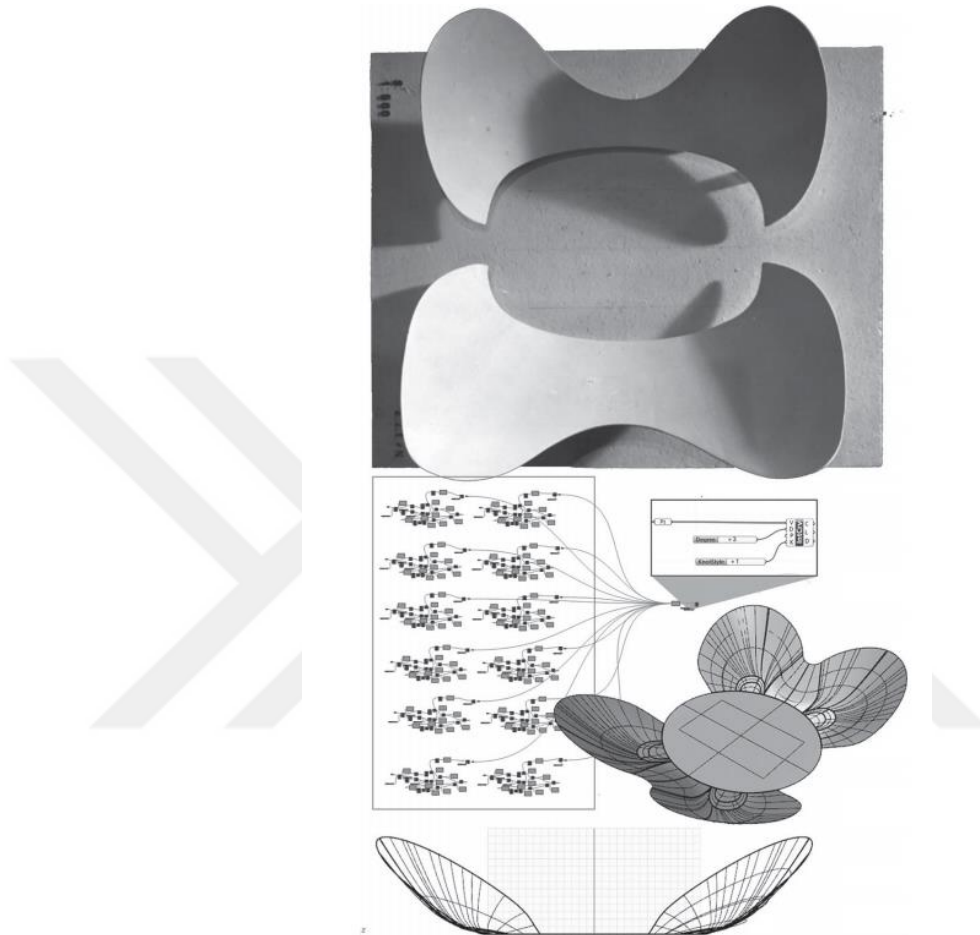


Şekil 2.6. Otto'nun parametrik olarak tasarladığı Olimpiyat Stadyumu (URL-9)

Robert Stiles, 1940'ların başlarında Luigi Moretti'nin 'Writings of Architect' adlı kitabında parametrik mimari hakkındaki kapsamlı yazılarla parametrik kavramının ilk ortaya çıkışını sağladığını iddia etti. Ancak Daniel¹, tezinde bir dizi kristali çizmek için genel adımları tanımlamak için parametrelerin, değişkenlerin ve oranların dilini kullanan James Dana 1888, 'On the Drawing of Figures of Crystals' adlı makalesinin daha erken bir örnek olduğunu açıkladı (Eltaweel ve Su, 2017). İtalyan mimar Luigi Moretti parametrik mimariyi '*Çeşitli parametrelere bağlı boyutlar arasındaki ilişkileri tanımlamayı amaçlayan mimari sistemler*' olarak tanımlamıştır (Öner, 2019). Moretti, 1960 yılına kadar "IBM 610" bilgisayarı kullanarak bir stadyumunun parametrik

¹ Davis D., 2013, Modelled on software engineering: flexible parametric models in the practice of architecture, RMIT University, pages 19,31.

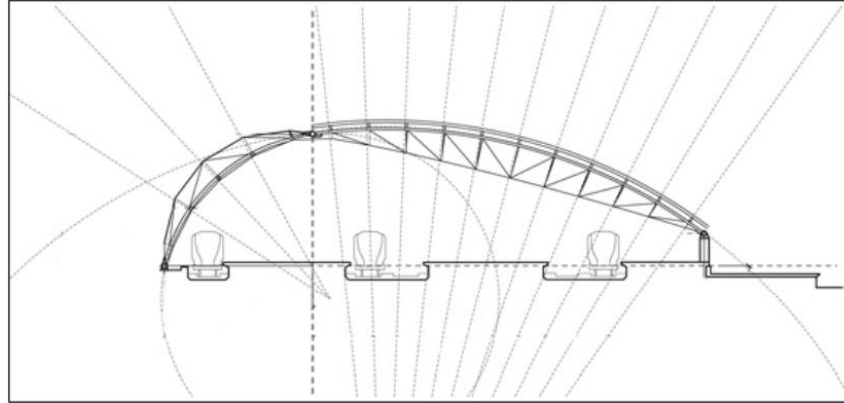
modellerini tasarlamayı başarmıştır (Heidari ve diğ., 2018). Stadyum 19 parametreden oluşan parametrik bir modelden türetilmiştir (Şekil 2.7). Bu parametrik stadyum 1960 yılında 12. Milano Triennali'ndeki parametrik mimari sergisinin bir parçası olarak sunulmuştur (Öner, 2019).



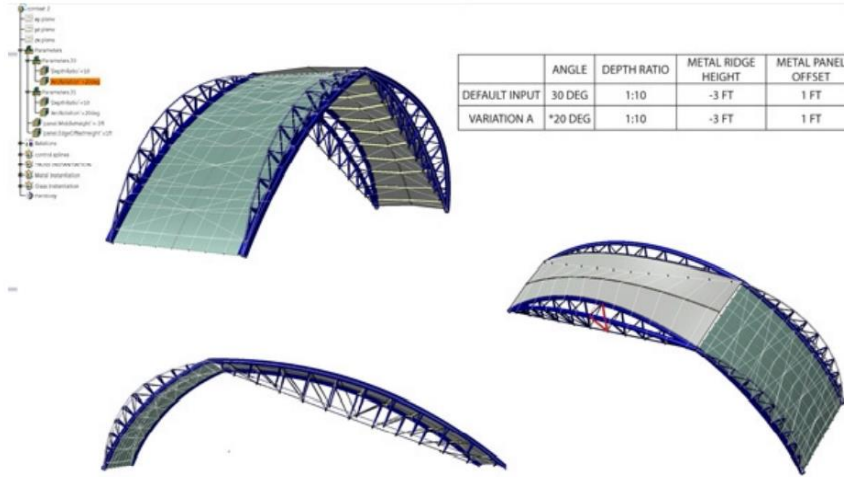
Şekil 2.7. Luigi Moretti'nin futbol stadyumu formülünün parametrik transkripsiyonu (Bianconi ve diğ., 2020).

Waterloo Tren İstasyonu'ndaki geniş çatı örtüsü, 1993'te Nicholas Grimshaw ve ortakları tarafından parametrik tasarım yöntemleri kullanılarak tasarlanmış bir başka örnektir. Eğrisel çatının oluşması için, ölçüsü ve biçimleri birbirinden farklı strüktürel elemanların tek tek tasarlanması gerekmektedir. Fakat parametrik tasarımın avantajları kullanılarak, tek bir maksadın parametrik modeli yapıp bu modelden türeyecek diğer maksadlar için tasarım kuralları belirlenmiştir. Waterloo Tren İstasyonu'nun çatı strüktürü, 3 mafsallı olup, yay benzeri otuzaltı adet birbirinden farklı ölçülerde kemerlerden oluşmaktadır (Şekil 2.8). Kemerlerin hepsi için tasarım kuralları kodlanarak sadece bir kemerin parametrik modeli yapılmıştır. Çatı örtüsü, her biri farklı değerlerde açıklık

parametre değerine sahip bu parametrik kemer örneğinin bir dizisi olmuştur (Özden, 2011) (Şekil 2.9).

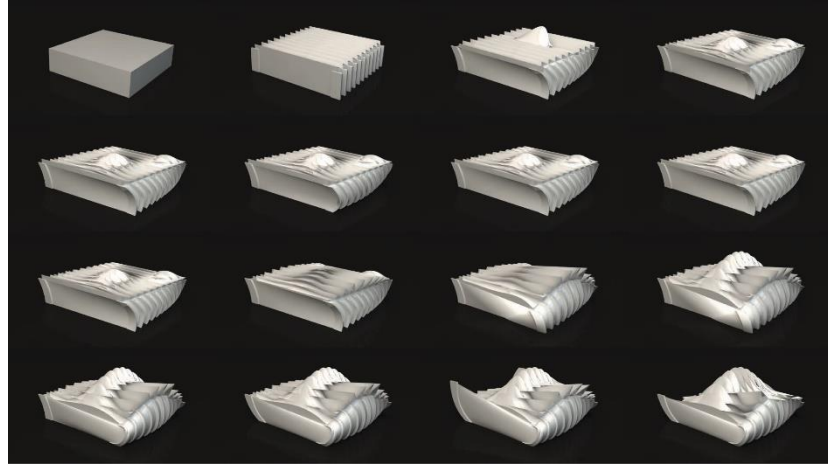


Şekil 2.8. Her Biri Farklı Ölçüdeki 36 Adet Yay Benzeri Strüktür (Özden, 2011)



Şekil 2.9. Çatı strüktürünün parametreleriyle oynanması sonucu oluşan alternatifler (Özden, 2011)

Parametrik biçim etkileşimleri üzerine çalışmalar yapan ilk mimarlardan Mark Burry, parametrik kuram çalışmalarına '*Paramorph*' ismini vermiştir. Bu parametrik kuram çalışmalarında belli parametreler eklenmiş nesnelerin yine parametrik kurallara göre değişim ve dönüşümlerini incelemiştir (Şekil 2.10). Mark Burry; '*Geometrik ilişkileri tanımlama, belirleme ve yeniden düzenleme gibi eşsiz ve özel bir yeteneğe sahiptir.*' sözüyle parametrelere dayalı tasarımın öneminden bahsetmiştir (Mendilcioğlu, 2017).



Şekil 2.10. Burry'nin 'Paramorph' ismini verdiği, parametrik biçim dönüşümlerine dayalı çalışması (Mendilcioğlu, 2017).

Besteci ve mimar Marcos Novak ise belirli algoritmalara dayalı geometrik biçim hesaplaması yapabilen ve 'Mathematica' ismini verdiği yazılımı kullanarak, sayısız değişkenlerin oluşturduğu sınırlandırılmış geometrik biçimler kullanmış, modeller üretmiştir. Novak araştırmalarının sonucunda 'Paracube' ismini verdiği bir model çalışması yapmıştır (Mendilcioğlu, 2017) (Şekil 2.11).

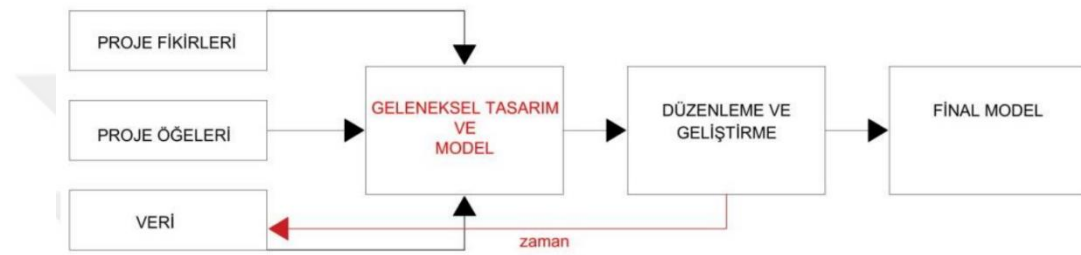


Şekil 2.11. Novak'ın Paracube projesi (2001), parametrik algoritmalarla dijital ortamda yaratılan ilk örneklerdendir (URL-1).

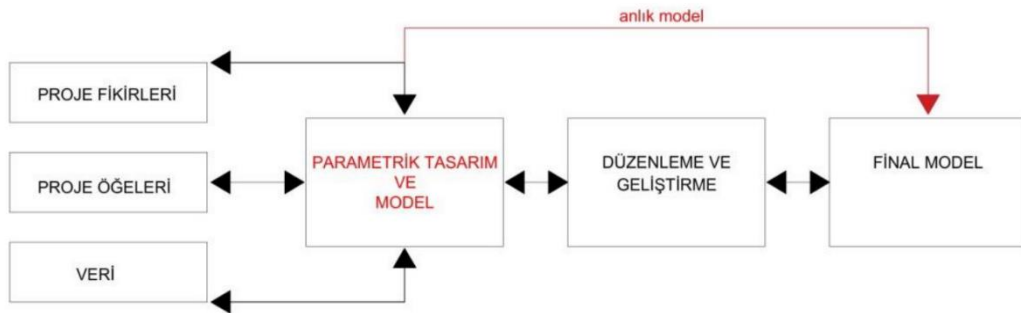
2.1.3. Parametrik Tasarımın Avantajları

Tasarım süreci belirsizliklerden oluşur ve bu belirsizlikler beraberinde tekrarları, denemeleri ve yenilemeyi gerektirebilir. Geleneksel tasarımlarda ilk model oluşturulduktan sonra tasarıma anında müdahale imkânı yoktur ve herhangi bir müdahale

için zaman alıcı bir süreç izlenmesi gerekmektedir (Şekil 2.12). Parametrik tasarım araçları, tasarım bileşenlerini aynı anda koordine etmeyi mümkün kılmaktadır (Şekil 2.13). Optimum tasarıma ulaşıncaya kadar tasarım sürecini yinelemek oldukça kolaydır (Öner, 2019). Düzenleme veya geliştirme gibi parametrelerdeki herhangi bir değişiklik, modelde otomatik olarak ve hemen güncellenecektir, bu da nihai modele bir "kısa yol" gibidir (Eltaweel ve Su, 2017). Parametre, algoritma ve kodlamalardan oluşan yeni bir tasarım terminolojisiyle, tasarımcıya sanal ortamda hızlı bir şekilde sonuç ürünü deneyimleyebilmektedir (URL-2). Özellikle karmaşık tasarımlarda koordinasyon ve zamandan tasarruf açısından avantajlıdır (Öner, 2019).



Şekil 2.12. Geleneksel tasarım süreci (Öner, 2019).



Şekil 2.13. Parametrik tasarım süreci (Öner, 2019).

Parametrik tasarım, sadece bir teknoloji değil aynı zamanda alışılmış geometri oluşturma metotlarını farklılaştırma şekli olarak da betimlenebilir. Parametrik tasarım, sadece araç olarak bilgisayarın kullanıldığı değil, kâğıt gibi son derece sıradan malzemelerin katlanması gibi daha basit ve geleneksel tekniklerle tasarım kavramının 'yaparken öğrenildiği' bir tasarım süreci olarak da kabul edilebilir (URL-2).

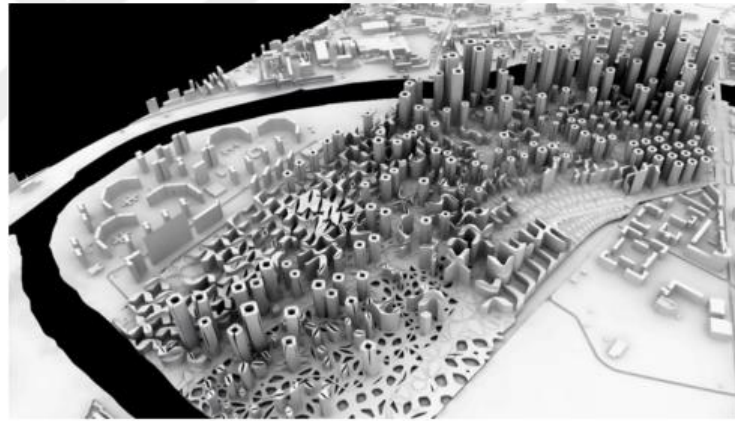
2.1.4. Parametrik Tasarım Uygulama Alanları

Günümüzde parametrik tasarım, karmaşık algoritmik ilişkilerde, disiplinler arası çalışmalarda, yaratıcı formlar oluşturmada ve çok aşamalı işlemler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu tür işlemleri geleneksel araçlarla kontrol etmek, zihnimizde hayal

etmek kolay değildir. Bu nedenle parametrik tasarım araçlarını kullanmak tasarımcılara büyük kolaylık sağlamaktadır (Eltaweel ve Su, 2017). Parametrik tasarım günümüzde;

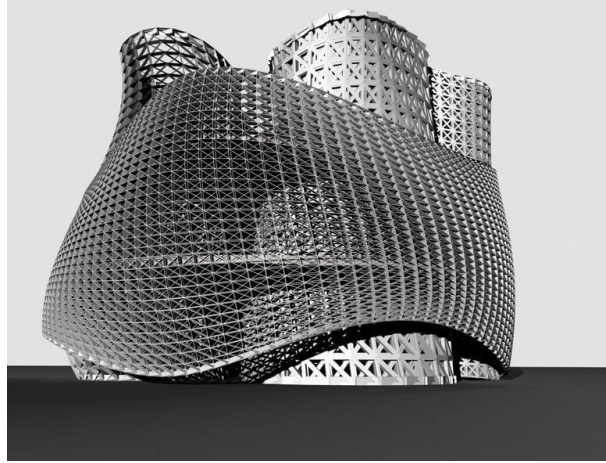
- ✓ Kentsel Planlamada
- ✓ Mimaride
- ✓ Dekorasyonda
- ✓ Moda Sektöründe
- ✓ Sonik Çalışmada,
- ✓ Strüktürel Sistem Çalışmalarında
- ✓ Çevre Çalışmasında kullanılmaktadır.

Kentsel Planlama: Kentsel ölçekli bir tasarımda birçok alt disiplin bulunmaktadır. Disiplinler arası iletişimde her disiplinin kendi özelinde çalışması ve süper pozisyonun oluşturulması karmaşık bir süreç gerektirmektedir (Gaucher, 2018). Parametrik tasarım yöntemi, kentsel tasarım durumunda birçok katmanla başa çıkabilir ve zamandan tasarruf edilmesini sağlar (Eltaweel ve Su, 2017) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Parametrik kent dokusu (Ceylan 1, 2019).

Mimari: Parametrik tasarım yöntemiyle, girdi olarak oluşturulan parametrelere işlenen değerler değiştirilerek farklı tasarım alternatifleri oluşturmak mümkündür. Tasarımın konsept aşamasında, çevresel veriler veya belirlenen diğer faktörler ile programda girdi oluşturabilir ve çeşitli analizler yapılabilir. Ayrıca strüktürel olarak çeşitli formlar test edilebilir (Öner, 2019). Parametrik tasarım, algoritmik yöntemler kullanarak mimari tasarım problemlerine çoklu çözümlerin geniş bir şekilde sunulmasını sağlar. Bu nedenle parametrik tasarım, tasarımcılara tasarım sürecinde yaratıcı çözümler üretmeleri için büyük fırsatlar sunmaktadır (Eltaweel ve Su, 2017) (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Parametrik olarak tasarlanmış yapı (URL-2)

Dekorasyon: Parametrik tasarımın algoritmik ilişkiler ve bağlantılara dayanan yaratıcı formlar ve yinelemeli dinamik nesnelere oluşturulabiliyor olması dekorasyon ürünlerinde de kullanılmasını sağlamıştır. Parametre değerleri değiştirilerek basit öğelerden sınırsız sayıda modüler form elde etmek mümkündür (Eltaweel ve Su, 2017) (Şekil 2.16-2.17).



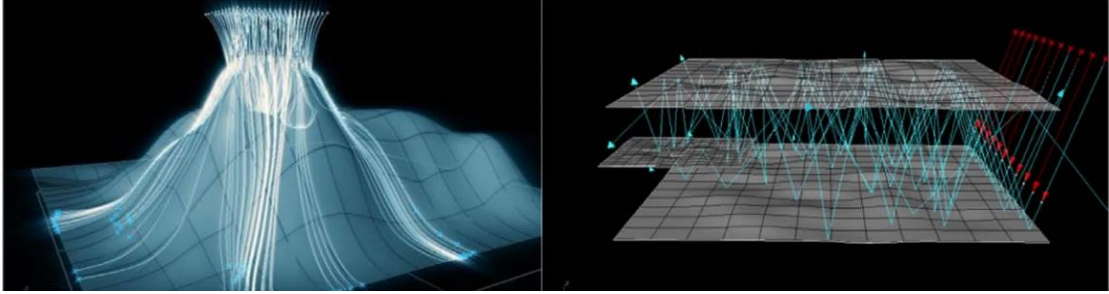
Şekil 2.16-2.17. Parametrik tasarımın dekorasyonda kullanım örnekleri (URL 3-4)

Moda: Moda sektöründeki yenilik arayışı ve parametrik tasarımın öngörülemez ürünler ortaya koyabilmesi moda sektöründe kullanımını artırmıştır (Öner, 2019) (Şekil 2.18).



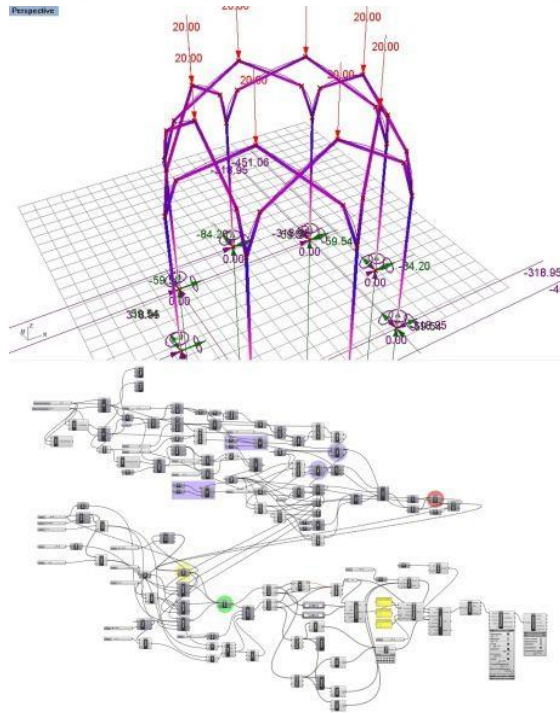
Şekil 2.18. Parametrik tasarımın moda sektöründe kullanım örnekleri (Eltaweel ve Su, 2017).

Sonik Çalışma: Parametrik tasarım araçları, yansımaları (sekmeleri) hesaplamak, su akışı gibi eğimli bir yüzeyden aşağı akış yollarını hesaplamak, çoklu ışınlar oluşturmak için sonik çalışmalarda kullanılabilir (Eltaweel ve Su, 2017) (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Parametrik tasarımın sonik çalışmalarda kullanım örnekleri (Eltaweel ve Su, 2017).

Strüktürel Sistemler: Parametrik tasarımda tek bir prensip formül oluşturularak, ölçü, açı ve kalınlık değişimleriyle ilgili gerekli parametre değerleri ayarlanarak çeşitli strüktürel çözümler oluşturulabilir (Özden, 2011). Kangaroo Physics, Karamba, BullAnt, Hummingbird eklentileri Grasshopper programında çalışan ve strüktürel sistemlerin tasarımı ve analizine yardımcı olan parametrik tasarım eklentileridir (Öner, 2019) (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Parametrik tasarımın strüktürel çalışmalarda kullanım örnekleri, Grasshopper Karamba Eklentisi (URL-5).

Çevre Çalışması: Parametrik tasarım araçları, tasarımların erken aşamalarında test edilebilmesini ve karşılaşılabilecek sorunların önceden tespit edilebilmesini sağlar. Parametrik tasarım araçlarının birçoğu çevre analiz eklentilerine sahiptir. Tüm iklimsel ve çevresel durumların analiz edilebilmesini sağlayan bu eklentiler ile güneş hareketi, rüzgâr hızı, aydınlatma, gölgeleme ve nem faktörleri analiz edilebilmektedir (Öner, 2019). Ayrıca zaman faktörünün bina performansı üzerindeki etkisini dördüncü boyutta analiz ederek veri sağlayabilmektedir.

2.1.5. Parametrik Tasarım Yazılımları

2. Dünya Savaşı sonrasında yaşanan teknolojik gelişmeler, mimarlık ve diğer tasarım alanlarını etkilemiştir. 1962 yılında Ivan Sutherland “Sketchpad”i icat etmiş ve özel kalem ile doğrudan ekran üzerinde çizim yapılmasına olanak veren bu yazılım günümüzde kullanılan grafik tasarım programlarının ilk örneği olarak literatüre geçmiştir (Abbaslı, 2019) (Şekil 2.21). Sketchpad parametrik denklemleri keşfetmenin yeni bir yolunu sunmuştur. Gaudi ve Otto'nun modellerinde olduğu gibi, tasarımcılar parametreleri değiştirerek ve Sketchpad'in geometriyi otomatik olarak yeniden hesaplayıp yeniden çizmesini sağlayarak varyasyonları keşfedebilirler. Ancak Sketchpad'de tasarımcılar modelin ilişkilerini değiştirmekte özgürdü ve bu da geometrinin yeniden hesaplanmasına ve yeniden çizilmesine neden olacaktı. Bu nedenle, çoğu parametrik modelleme yazılımında olduğu gibi, mimarın Sketchpad'i kontrolü sadece modelin parametreleri aracılığıyla değil, aynı zamanda modelin temelindeki ilişkiler aracılığıyla da olur (URL-7).



Şekil 2.21. İlk grafik tasarım yazılımı olan Sketchpad (Abbaslı, 2019).

Günümüzde hızla gelişim kaydeden bilim ve teknolojiye paralel olarak disiplinler arası etkileşim de kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle tıp ve genetik alanlarındaki çalışmalarla birlikte nano ölçekteki maddelerin biçim ve özellikleri mimariye ilham kaynağı olmuştur. Tasarımcılar bu maddelerin bir araya gelme biçimlerini, şekillerinin oluşma aşamalarını, birbirleriyle olan ilişkilerini gözlemleyerek tasarımlarını şekillendirmeye çalışmışlardır. Computer Aided Design (Bilgisayar Yardımıyla Dizayn) (CAD) yazılımları bu noktada karmaşık formları tasarlamada yetersiz kalmakta ve yeni arayışlara yol açmaktadır. Bu arayışlar sonucu parametrik tasarım araçları ortaya çıkmıştır (Çankaya, 2019). Parametrik tasarım, bilgi ve değişkenlerden oluşan hesap çizelgesini, çeşitli senaryoları, etki ve tepkilerden oluşan eylemleri içeren ve aynı zamanda potansiyel çözümleri sunan kapsamlı bir tasarım yaklaşımıdır (Abbaslı, 2019).

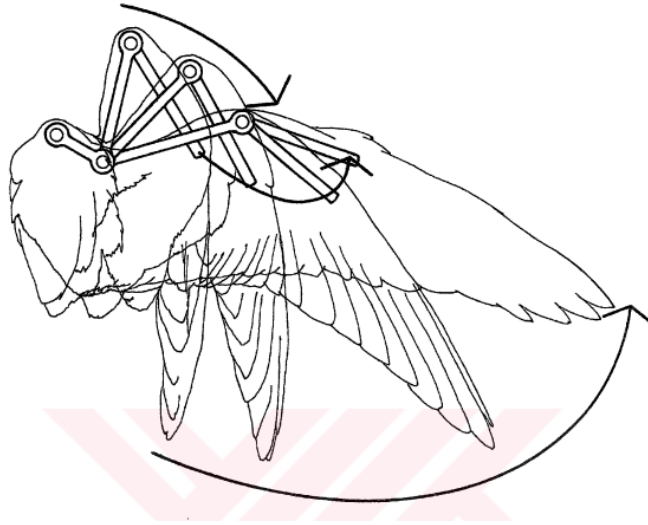
Parametrik modelleme tekniği, karmaşık form ve strüktürlerin referanslar ve limitler belirleme yöntemiyle kolaylıkla oluşturulmasını sağlamaktadır. Ayrıca tasarımcıların, iki boyutlu çizim, üç boyutlu parçalar, eskizler gibi birçok tasarım bilgilerini kullanmalarına olanak sağlamaktadır. Parametrik tasarım tekniğinde tüm bu tasarım bileşenleri etkileşim halindedir. Bu yüzden tasarımcılar, var olan parametreleri değiştirerek çeşitli tasarım alternatif konseptleri oluşturabilirler (Abbaslı, 2019).

Geleneksel modelleme araçları çoğunlukla ‘tasarla ve değiştir’ mantığıyla çalışan ve tasarımcının basit geometrik bir form oluşturmasını sağlayan araçlardır. Autocad, Sketchup, Rhino ve Autodesk Dynamo Studio araçları bu sayısal tasarım araçlarına örnek gösterilebilir. Parametrik modelleme araçları ise tasarımcının ilişkisel düşünerek tasarım parametreleri arasındaki ilişkileri modellemesine ve kurduğu algoritma yoluyla tasarım alternatifleri oluşturmasına olanak veren araçlardır. Bu sayısal tasarım araçlarına örnek olarak ise, Generative Components, Grasshopper, 3D ve Maya Script ve Dynamo gösterilebilir. Parametrik tasarım araçlarından Grasshopper ve Dynamo ilişkisel modellemenin görsel olarak tanımlandığı bir ara yüz sundukları için mimarlar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Kod öğrenmeye gerek kalmadan, görsel mantık ile kodların birbirine bağlanmasıyla herhangi bir form tasarlanabilmektedir (Kaçmaz, 2019).

2.2. Kinetik Mimari

Canlıların hayatlarının devamı için hareket, hareketlilik, değişim ve adaptasyon gibi faktörlere sahip olması şarttır. Yaşayan türlerin hayatta kalması onların kinetik yeteneklerine bağlıdır da denebilir. Bu yeteneklilik, bir türün değişen ihtiyaçlara cevap verebilmesine, çevreye uyum sağlayabilmesine ve adaptasyonuna bağlıdır. Nitekim

evrimsel tarih boyunca birçok aşırı özelleşmiş tür örnekleri adaptasyon kabiliyetlerini kaybettikleri için yok olmuşlardır. Adaptasyon uzun süreli yaşam mücadelesinin anahtarıdır denebilir. Canlıların adaptasyonuna örnek olarak bir kedinin uykuya daldığında kendini içe çekerek kıvrılması verilebilir. Bu hareket kedilerin ısı ve güvenlik için yapmış oldukları adaptasyondur. Aynı şekilde kuşlar da dinlendikleri zaman farklı, uçarken farklı bir forma bürünürler. Uçarken yalnızca kanat yapıları bükülmekle kalmaz tüyler de içe doğru yayılarak uçmaları için gerekli çekme ve kaldırma dengesini sağlarlar. Şekil 2.22’de bir martının uçarken yapmış olduğu kanat mekanizması gösterilmiştir. Canlıların renk değiştirmesi de onların hayatta kalmak için yaptıkları adaptasyona örnek gösterilebilir. Peygamber devesi ve bukalemunların deri hücrelerinin altında bulunan pigmentler vasıtasıyla buldukları yerin rengine göre renklerini değiştirmesi, onların hayatta kalmak ve kendilerini korumak için yaptıkları adaptasyona örnektir (Gönenç, 2004).



Şekil 2.22. Martının Bükülüp Açılan Kanat Mekanizması (Gönenç, 2004).

Binaların da günümüzde tıpkı canlılar gibi çevresel etkilere karşı hareket, hareketlilik, değişim ve adaptasyon gibi faktörlere sahip olması beklenmektedir. Çünkü çevresel etkilerin bir kısmı ancak çevresel adaptasyon ile karşı koyulabilecek niteliktedir. Adaptasyonun sağlanabilmesi için de durağan (statik) öğeler yetersiz kalabilmekte ve mimaride hareketli elemanların bina tasarımında yer alması gerekebilmektedir (Yaşa, 2010). Özellikle son yıllarda, mimaride hareketli olma durumu etkili bir kavram haline almıştır. Böylece mimarlığı statik olma durumundan uzaklaştırarak, birçok işleve yanıt oluşturabilecek şekilde kinetik olarak tasarlamak üzerine yoğunlaşmıştır. Kinetik

mimaride amaç, hareketli yapı veya yapı bileşenleriyle daha esnek, hızla değişen ve artan toplumun her türlü ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen mekânlar tasarlamaktır (Korkmaz, 2001).

Yunanca ‘kineo’ kelimesinden gelen ‘kinetik’ kelimesi ‘hareket’ anlamına gelmektedir. Dolayısıyla ‘hareketli mimarlık’ anlamına gelen kinetik mimarlık, esnek tasarım yaklaşımlarını gerçekleştirmeye olanak sağlayan ve halen gelişmekte olan tasarım konseptidir (Sarioğlu ve Yaman, 2017). Michail A. Fox ise, ‘Interactive Architecture’ isimli kitabında kinetik kavramını; ‘önceden tanımlanmış fiziksel bir boşlukta devingen olarak şekil değiştirebilen objeler ya da uyumlu bir mekânsal düzenleniş yaratabilmek için ortak fiziksel boşluğu paylaşan fiziksel objelerin hareketi²’ şeklinde tanımlamaktadır (Başaran, 2015).

Literatürde kinetik mimari kavramına ilk kez William Zuk ve Roger H. Clark’ın ‘Kinetic Architecture’ isimli kitabında rastlanmaktadır. Yazarlara göre kinetik mimari; ‘*Mimari, üzerine etki eden baskılar değiştikçe, bunları yorumlamamıza imkân sağlayan teknoloji ile sürekli ve hızlanan değişimlere biçimsel yanıtlarla uyum sağlayabilir. Biçim, baskıların form üzerinde oluşturduğu etki sonucunda oluşan yanittir.*³’ şeklinde tanımlanmıştır.

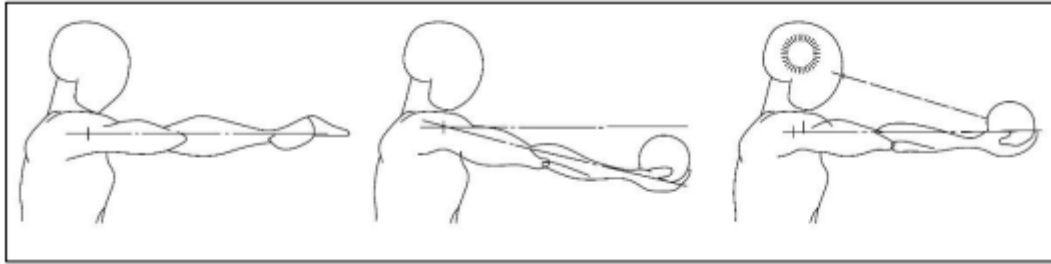
Yine yazarlara göre, Charles Darwin’in nesnelere hayatta kalmasının adaptasyon sağlama yeteneğine bağlı olması teorisi mimari yapılar için de geçerlidir. Bitkilerin güneşe yönelmesi, bazı bitkilerin temasa karşı açılıp kapanarak tepki vermesi ve bazı hayvanların buldukları ortama göre renk adaptasyonu sağlayabilmesi, doğal süreçteki hareketliliğe örnektir. Canlıların doğada bu vb. şekillerle adaptasyon sağlama özellikleri onların temel ihtiyaçlarına cevap oluşturarak hayatta kalmalarını sağlayan dinamik unsurlardır (Kevser Çakır, 2021). Yine doğadan başka bir örnek olarak bir kum yığınının, çevresindeki unsurların konumuna ve rüzgârın hız ve yön gibi faktörlerine karşı sürekli olarak doğrudan şekil değiştirmesi verilebilir. Doğadaki doğal formlar sürekli adaptasyona tabidir. Etki-tepki kuralına uyamayan formlar yok olmaya mahkumdur. Doğada çevre etkilerine direkt tepki göstererek şekillenen formlar, mimarlık alanında tasarımcıların çevre etkilerini nasıl yorumladıklarına bağlıdır. Burada tasarımcılara düşen görev, değişken çevre etkilerine karşı uyum sağlayabilecek form tasarımlarına yönelmektir (Yaşa, 2010).

² Fox, M., Kemp, M., 2009, Interactive Architecture. New York: Princeton Architectural Press, 12-13, 26-27, 31-49.

³ William Zuk, Roger H. Clark, 1970, Kinetic Architecture, New York: Van Nostrand Reinhold, s. 4-5.

Kinetik mimarlık, teknoloji ve mimarının sentezi sonucu ortaya çıkan disiplinler arası bir alanı ifade eder. Kinetik sistemin gerektirdiği elektronik ve mekanik ögelere bağlı olarak mimari dışında farklı disiplinlerle ortak çalışmaya ihtiyaç duyar. Fakat kinetik bina tasarımını ilgilendiren tüm disiplinleri koordine etmek mimarların görevi olup, bu konu üzerine çalışmak isteyen mimarların diğer disiplin alanlarında temel bilgilere hâkim olması gereklidir (Yaşa, 2010).

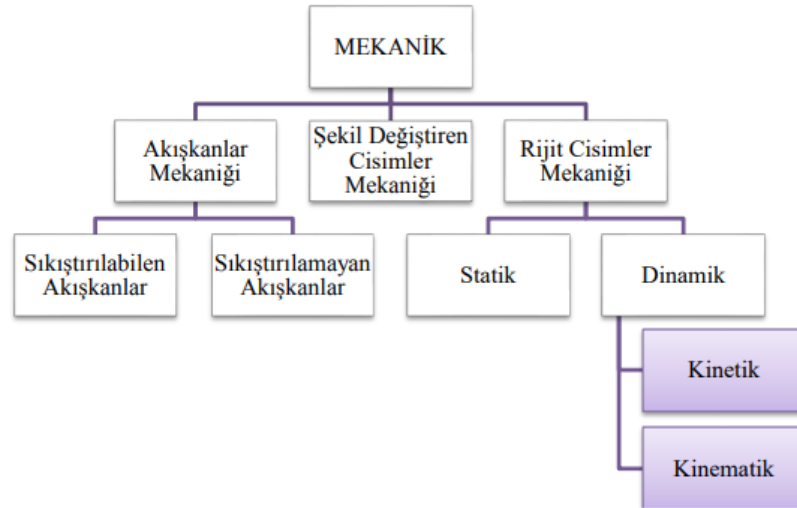
Kinetik bina, tıpkı bir sensör gibi çalışan beyin tarafından çevresel uyarılara, kas ve kemiklerle hareket gerçekleştirerek tepki verildiği bir insan vücuduna da benzetilebilir (Kevser Çakır, 2021) (Şekil 2.23). Bu örnekleme daha çok akıllı kinetik sistemler için geçerlidir. Kinetik bina ögeleri, çevresel girdilerden aldığı verilere göre sensörler vasıtasıyla aktifleşerek hareketi gerçekleştirirler. Bu çalışma, kinetik mimaride kinetik cepheler üzerine yoğunlaşmış, kinetik cephelerin akıllı sistemlerle tasarlanmasına odaklanmıştır.



Şekil 2.23. Kinetik Olarak Doğuştan Sensörlerle Kaslarını Kontrol Eden İnsan Diyagramı (Kevser Çakır, 2021).

2.2.1. Kinetik Mimarının Dayanağı

Kinetik mimarlık kaynaklarda, mekanik bilim dalının rijit cisimler mekaniği kolunun dinamik alt kolunun kinetik kısmında incelenmektedir. (Sarıoğlu ve Yaman, 2017). (Şekil 2.24) Mekanik, cisimlerin bir kuvvet etkisi altında denge ve hareket şartlarını inceleyen bilim dalıdır. Mekanik bilim dalı akışkanlar mekaniği, şekil değiştiren cisimler mekaniği ve rijit cisimler mekaniği olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır. Rijit cisimler mekaniği de kendi içinde denge halindeki cisimlerle ilgilenen statik alt kolu ve kinetik ve kinematik cisimlerle ilgilenen dinamik alt kolu olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır (Gönenç, 2004).



Şekil 2.24. Mekanik bilimi alt dallarının şematik gösterimi (Başaran, 2015).

Akışkanlar mekaniği kendi içinde sıkıştırılmayan ve sıkıştırılabilen akışkanlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu bilim dalının uğraş alanı sıvılara ait problemlerdir. Hidrolik, sıkıştırılmayan akışkanlar grubunun en önemli dalıdır (Gönenç, 2004).

Şekil değiştiren cisimler mekaniği, beklenmedik şekil değişikliklerinde sistemin göçme mukavemeti söz konusu olunca önem kazanmaktadır. Mekaniğin bir dalı olan mukavemetin inceleme alanı bu cisimlerdir (Gönenç, 2004).

Mekaniğin rijit cisimler mekaniği alt dalında cisimler tam rijit olarak kabul edilmektedir. Yük altında bulunan tüm cisimler şekil değişikliğine maruz kalır fakat sistemin hareket ve denge haline önemli bir katkıları olmadığı için göz ardı edilmektedir (Gönenç, 2004). Rijit cisimler mekaniği kendi içerisinde statik ve dinamik olmak üzere iki alt dala ayrılmaktadır. Rijit cisimler mekaniğinin statik alt dalı denge halindeki cisimlerle ilgilenirken, dinamik alt kolu hareket halindeki cisimlerle ilgilenmektedir. Dinamik alt dalı da kendi içinde kinetik ve kinematik olarak ikiye ayrılmaktadır. Öncelikle kinetik ve kinematik kavramlarını iyi anlamak gerekir.

Kinetik: Cismin kütlesi ve hareketi arasındaki bağlantıyı cisme etkileyen kuvvete göre kuran bilim dalıdır. Cisme etki eden kuvvetin sebep olacağı hareketi veya hareketin meydana gelebilmesi için gereken kuvveti hesaplamaya yarar (Başaran, 2015).

Kinematik: Kinetik mimarının de içinde olduğu kinematik bilim dalı bir hareketin nedenini sorgulamadan, hız, zaman, ivme ve yer değiştirme miktarı arasındaki ilişki ile ilgilenir (Başaran, 2015).

2.2.2. Kinetik Mimarinin Tarihsel Gelişim Süreci

Daha çok çağdaş mimarlık kapsamında ön plana çıkmış olan kinetik mimarlığın temeli aslında çok eski çağlara dayanmaktadır. Eski çağlarda kinetik mimari yalnızca insanların yaşamlarını devam ettirmeleri için bir ihtiyaç olarak kullanılmıştır. Kinetik mimari yeni bir kavram değildir fakat fiziksel olarak mimari eserlerde kullanılması sanayi devrimi sonrası teknolojik ürünlerin gelişiminin hızlanmasıyla başlamıştır (Korkmaz, 2001).

Eski çağlarda insanlar göçebe yaşam tarzını benimsedikleri için barınma ihtiyaçlarını geçici yapılarla diğer bir ifadeyle sökülüp takılabilir ya da taşınabilir şekilde tasarladıkları yapılarda karşılaşmışlardır. Yerleşik yaşama geçtikten sonra daha kalıcı, statik yapılar tasarlamışlar ve bu yapılar da ihtiyaçlara göre değişiklik göstererek şekillenmiştir (Bostancı, 2006). Bu yapılar genel olarak hareketsiz olsa da yapıda bulunan kapı, pencere, kepenk vb. yapı elemanları ilkel bir şekilde kinetik mimarinin temelini oluşturmaktadır (Kevser Çakır, 2021). Yapının bileşenlerinde kazanılan bu hareketlilik potansiyeli, yapıya adaptasyon kabiliyeti kazandırmıştır (Bostancı, 2006). Zamanla insan ihtiyaçlarının artması mimari ve teknolojiyi beraberinde zorlamıştır. Endüstri devrimi sonrası teknolojik gelişmeler beraberinde mimarinin de gelişmesini sağlamıştır ve bu gelişim halen devam etmektedir. Endüstri devrimiyle beraber yapılarda hareket sağlayıcılar sadece insanlar olmaktan çıkıp mekanik bileşenler haline gelmiştir. Teknoloji beraberinde, mimariyi statikliğe maruz kalmaktan kurtarıp etkileşimli hale gelmesine ve kinetik mimarinin ortaya çıkmasına ortam hazırlamıştır (Başaran, 2015). Böylece katlanabilen geometriler, dönen, kayan, şişen-sönen, uzayıp kısalan yapı elemanları mimariye eklenerek binalara sürdürülebilirlik ve esneklik katmıştır (Bostancı, 2006). Kinetik bina, kayma, katlanma ve dönme gibi basit geometrik operasyonları içerebildiği gibi, mekanik, kimyasal ve pnömatik sistemleri içeren karmaşık bir yapıda da olabilmektedir (Yaşa, 2010).

Son dönemlerde, sayısal ve dijital tasarım araçlarının etkinliğinin artmasıyla geleneksel tasarım bileşenlerinin yerini kinetik bileşenler olarak kinetik mimarinin pratikte uygulanabilirliğinde artış olmuştur (Karaoğlu ve Yamaçlı, 2022). Bilgisayar desteğiyle karar verebilen, çevresel etkilere göre girdi oluşturup ona göre tepki oluşturabilen ve hareketi gerçekleştiren akıllı kinetik sistemler günümüzün kinetik bina anlayışındaki yeni yaklaşımlardır.

Malzeme teknolojisindeki gelişmeler de kinetik sistemler açısından önem arz etmektedir. Daha hafif ve kullanışlı malzemelerle oluşturulan kinetik sistemler tasarımın

sürdürülebilirliği açısından büyük yarar sağlamaktadır. Bazı malzemeler kullanım açısından kolaylık sağlarken bazı malzemeler zor uygulansa da verimliliği olumlu yönde etkilemektedir. Bu sebeple kinetik sistemler için en elverişli ve sürdürülebilir malzeme seçimine özen gösterilmelidir (Bozkurt, 2010).

2.2.3. Kinetik Mimarinin İşlevsel Faydaları

Dünyada hızla artış gösteren enerji krizi, tasarımcıları sürdürülebilir ve enerji verimliliği yüksek bina tasarımlarına yönlendirmiştir. Enerji etkin tasarım, bir mimari tasarım sürecinde değişiklik gösteren rüzgâr, yönelim ve iklim gibi çevresel faktörleri göz önüne alarak, enerjiyi etkin ve verimli kullanmaya yönelik yapılan tasarımlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş enerjisini binalarda etkin kullanarak yenilikçi, sürdürülebilir ve kendi enerjisini kendi üreten sistemler geliştirilebilir. Güneşin yeryüzüne etkisi devingen olduğu için diğer bir deyişle her bir konum için saat ve tarihe göre yönelimi değiştiği için tasarımcılar binaların enerji etkinliğini artırma ve güneş enerjisinden maksimum fayda sağlama noktasında binaların yüzeylerinin şekillendirilmesini temel ilke edinmişlerdir. Başka bir deyişle tasarımcılar, binanın dış çevre ile etkileşimde bulunduğu ilk yüzey ve binanın enerji tüketimini en çok etkileyen bileşen olması sebebiyle cephe sistemleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Malzeme, bilgisayar teknolojisi ve sensör sistemlerindeki gelişmeler neticesinde, çevresel koşullar etkisiyle kendiliğinden girdiler elde edip, analiz ve hesaplamalar sonucu çıktılara bağlı hareket mekanizmaları ile esnek, değişken, mobil, şartlara karşı uyumlu dış cephe yüzeyleri tasarlanmaktadır. Böylece cephe yüzeyleri değişken koşullara karşı fiziksel hareketlerle uyum sağlayabilmektedir (Karaoğlu ve Yamaçlı, 2022).

Değişken iklim şartlarına uyum sağlayabilen kinetik cepheye sahip binalar, statik binalara kıyasla kullanıcılara çeşitli konfor ve kalite şartları sunmaktadır. Kaliteli ve konforlu ortam, kullanıcılar için psikolojik, fizyolojik, sosyal ve kültürel rahatsızlıkların en aza indirildiği ortamdır. Kişinin psikolojik açıdan bulunduğu mekândan hoşnut olduğu ve fizyolojik olarak çevresine kolayca uyum sağlayabildiği ortam, konforlu olarak kabul edilebilmektedir (Anaç, 2019). Kinetik cepheye sahip binalar, havalandırma, ısı ve görsel konfor, enerji performansı ve akustik kalite gibi birçok işlevsel faydaya sahiptir.

2.2.3.1. Havalandırma

İç mekânda hava kalitesinin sağlıklı olması için, havanın içerisinde kirleticilerin, yetkili kişiler tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonların olmaması ve

kullanıcıların hava kalitesiyle ilgili herhangi bir şikayetinin olmaması gerekmektedir. Binalarda iç hava kalitesi sabit olmayıp, havalandırma ve kirletici kaynağı uzaklığına göre değişiklik arz etmektedir (Aydın ve Mıhlıyanlar, 2017).

Kapalı bir ortamın havasını değiştirmek için başvurulan çeşitli yöntem ve araçların kullanılmasına havalandırma denilmektedir (URL-19). Binalarda havalandırma doğal ve mekanik havalandırma şeklinde olabilir. Mekanik havalandırmada enerji tüketimi fazladır. İç mekânın en büyük nem kaynağı ise dış havadır (Aydın ve Mıhlıyanlar, 2017). Bu yüzden binalarda doğal havalandırma önem kazanmaktadır. Doğal havalandırma yöntemi ile mekânlara taze havanın alınması ve kirli havanın atılması söz konusudur (Engin, 2012).

Binalarda doğal havalandırmanın sağlanabilmesinin yolu ise açılabilir cephelerdir (Engin, 2012). Özellikle sürdürülebilir tasarımlarda bina cephelerinin insan derisi gibi nefes alması ve havalandırma özelliğinin kontrollü olması beklenmektedir. Kontrolsüz hava hareketleri ısı konforu olumsuz etkilemektedir (Anaç, 2019). Kinetik cepheler de doğal havanın kontrollü olarak iç mekâna girmesini sağlayan cephe alternatiflerindedir (Şekil 2.25-2.26).



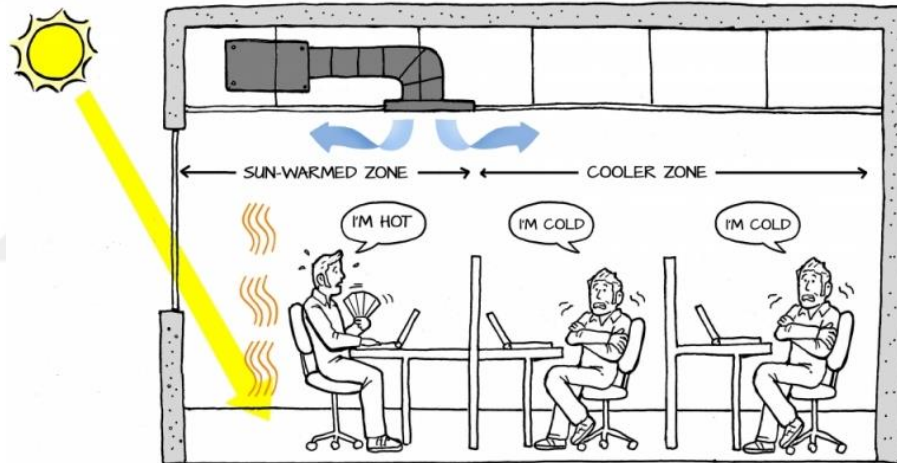
Şekil 2.25-2.26. Bir ofis binasında hareketli cephe ile doğal havalandırma örneği (URL-18)

2.2.3.2. Isıl Konfor

Isıl konfor, kullanıcıların buldukları ortamın ısıtma ve soğutma derecelerinden memnun olmaları, iç hava sıcaklığının optimum düzeyde olmasıdır. İnsan vücudu çevresiyle sürekli ısı alışverişini yapmaktadır. Bu ısı alışverişini, hava sıcaklığı, havadaki nem, hava hızı ve radyant sıcaklık olmak üzere ısı ortamı oluşturan parametreler ve kullanıcı kaynaklı giyim, metabolik hız ve aktivite seviyesi gibi parametreler etkilemektedir. Eğer ki bu ısı alışverişini minimum değerdeyse o ortamda ısı konfor sağlanmış demektir (Solmaz, 2021). Ayrıca binalarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerji de ısı konforu etkilemektedir (Aydın ve Mıhlıyanlar, 2017).

Yapılarda ısı kaybı ve kazançlarının yaklaşık %73'lük kısmı bina cephelerinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bina cephe tasarımları önem kazanmaktadır. Cepheelerde U değeri (ısı geçirgenlik) daha düşük camlar kullanılarak ve cam malzemenin özellikleri iyileştirilerek ısı kaybı ve kazançlarının önüne geçilebilir. Camın ısı direncini artırmak ısı konforu için tek başına yeterli gelmeyebilir. İç ortam konforunu düzenleyici gölgeleme elemanları eklemek ve yapının şeffaf bileşenlerinin yanında opak bileşenlerinin de yalıtımının yapılması gerekebilmektedir (Aydın ve Mıhlayanlar, 2017).

Günümüzde daha yaygın kullanım alanı bulan kinetik sistemlerin cephelerde kullanılmasıyla ve optimal cephe saydamlık oranının sağlanmasıyla yapıların ısı konforu artırılabilir. Ayrıca bu özelliklerin sağlanmasıyla ısı konforuna ek olarak yapının mekanik sistemlere bağımlılığı ve buna bağlı olarak enerji tüketimi azalmış olacaktır (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Bir ofis binasında ısı konforu (URL-20)

2.2.3.3. Görsel Konfor

Aydınlatma, nesnelerin ve çevrenin gereği gibi görülebilmesi için bir yüzeyde birim alana düşen ışık miktarıdır (Özbaysar, 2019). Görsel konfor, yapıya gelen güneş ışığının parlaklık etkisini kontrol edilmesiyle ve gerekli aydınlatma seviyelerinin sağlanmasıyla mümkündür. Tasarımcılar uluslararası araştırmalarda belirlenen gerekli aydınlatma seviyelerini, standart, kılavuz ve yönetmeliklerde bulabilirler (Solmaz, 2021).

Doğru bir cephe tasarımı, güneş ışığından yeterli düzeyde faydalanmak ve mekânı güneş ışığıyla aydınlatmak ile sağlanabilir (Şekil 2.28). Bina cephelerinde oluşturulan kinetik cepheler ile binaya giren güneş ışığını kontrol etmek ve yapay aydınlatma yükünü azaltmak mümkündür. Binalarda güneş ışığını doğru kullanarak enerjiden de tasarruf

sağlanabilir. Yapılarda erken tasarım aşamasından itibaren günışığını aktif kullanmak için gerekli stratejiler belirlenmeli ve tasarım bu stratejiler doğrultusunda şekillenmelidir (Anaç, 2019).



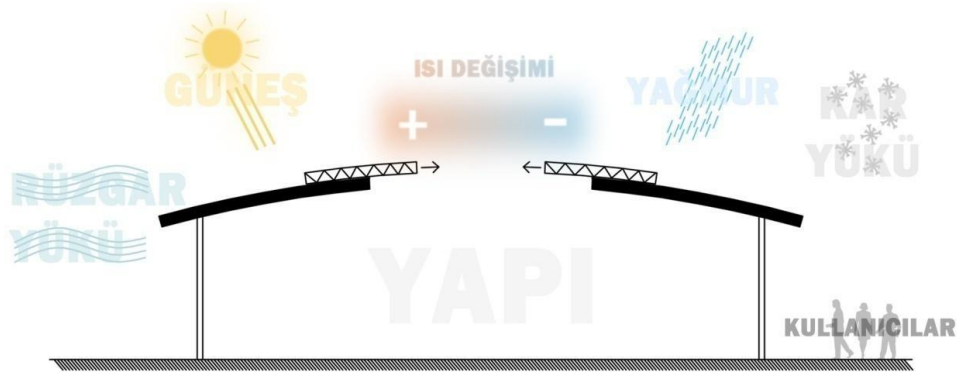
Şekil 2.28. Bir ofis binasında görsel konfor (URL-21)

2.2.3.4. Enerji Performansı

Günümüzde enerji kaçınılmaz bir tasarım kriteri olmuştur. Enerjiye erişim için, bina tasarımlarında maksimum enerji kazancı sağlamak ve kayıpları en aza indirmek temel ilke kabul edilmelidir (Yaşa, 2010). Binanın yeri, yönü, formu, diğer binalara göre konumu, diğer binalarla arasındaki mesafe, binalarda enerji performansını etkileyen etmenlerdir. Bunların yanı sıra binayı çevreleyen yüzeyin ısı geçişini etkileyen özellikleri de binalarda enerji performansını etkilemektedir. Binalarda enerji tasarrufu açısından bu parametrelerin doğru belirlenmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2006).

Binayı çevreleyen yüzey çevresiyle sürekli etkileşim halindedir ve bir bina ancak çevresine uyum sağlayabildiği sürece başarıyı yakalayabilmektedir. Çevre verileri ise durağan değildir, sürekli değişim göstermektedir. Statik binalar yalnızca bir faktöre göre tasarlanabilir. Çevresel verilerde meydana gelen değişim ise statik binalarda, yapının performansında eksilmeye neden olur. Bu yüzden değişen çevresel koşullara göre adapte olabilen binalar tasarlamak gerekmektedir. Bu adaptasyon da değişkenlik gösterebilen malzemelerin tercih edilmesi ya da form değişikliğiyle olabilmektedir. Form değişikliği de günümüzde daha çok bina yüzeylerinde kinetik cephe uygulamalarıyla sağlanmaktadır. Böylece görsel ve mekânsal performanstan feragat etmeden yüzeylerde daha büyük çaplı cam uygulamaları yapılabilir. Sabit güneş kırıcılar güneşin günlük hareketine ayak uyduramazken kinetik cepheler güneşin hareketine göre açılıp kapanarak iç mekân enerji tasarrufunu sağlayabilmektedirler (Şekil 2.29). Sonuç olarak,

bina cephelerinde kinetik sistemlerin kullanılması binanın enerji performansını artırmaktadır (Yaşa, 2010).



Şekil 2.29. Değişken çevre verilerine karşı kinetik sistem (Yaşa, 2010)

2.2.3.5. Akustik Kalite

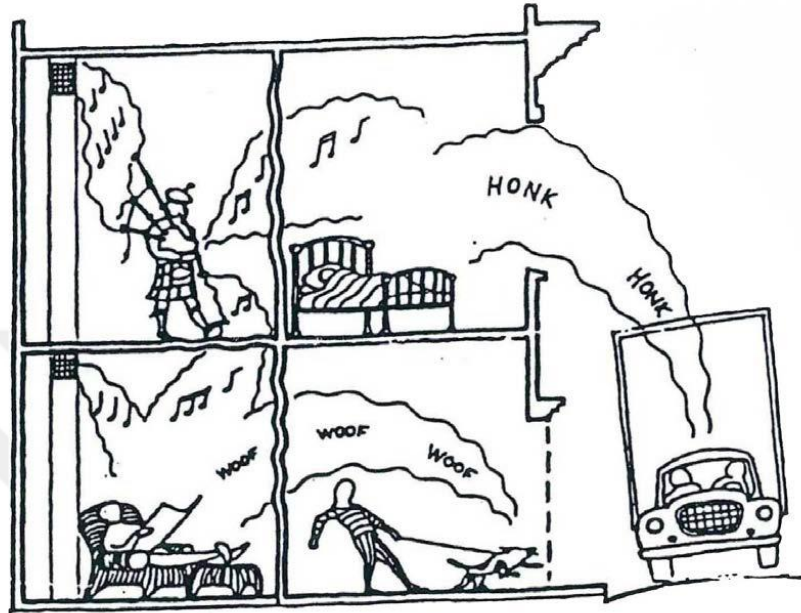
Akustik, sesin dalgalarını, yayılmasını, kaynaklarını ve işitme-algılama, ölçüm, kontrol teknolojileri gibi konuları inceleyen ve uygulanma durumunu konu alan bilim dalıdır. Akustik kalite, gürültü kontrolünün ve hacim akustiğinin sağlanmasıyla insanların fizyolojik olarak kendilerini hoşnut hissetmeleridir (Özbaysar, 2019).

Çevreden gelen gürültüler, yapının birimleri arası aktivitelerden doğan gürültüler ve asansörler vb. yapı servis sistemlerinden gelen gürültüler olmak üzere bina içerisinde akustik kaliteyi belirleyen gürültü kaynakları üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Her binanın kendi içerisinde gürültü önleyici tedbirleri bulunabilmekte fakat çevreden gelen gürültüler çok fazla dikkate alınmamaktadır. Gürültü kontrolü açısından bina cephelerinin kütleli olarak fazla olması gerekirken, ses dalgalarını emmesi gerektiği için ise esnek bir yapıda olmalıdır. Ayrıca bina yüzeylerinde ses yalıtımı için cam kalınlıklarının veya iki cam arasındaki mesafenin artırılması akustik kaliteyi sağlayacaktır (Aydın ve Mıhlıyanlar, 2017).

İç ortam hava kalitesini artırmak için kullanılan HVAC (Heating-Ventilation-Air Condition) sistemler, binalarda akustik kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Çünkü sistemin kendisi zaten bir gürültü kaynağıdır. Bunun yanı sıra havalandırma kanallarının sürekliliği bir ortamdaki sesin kanallar vasıtasıyla başka bir ortama taşınmasını sağlamakta ve bu da iç mekânda gürültüye neden olmaktadır. Bu yüzden akustik kaliteyi sağlayabilmek açısından doğal havalandırmaya başvurmak daha doğru olacaktır (Aydın ve Mıhlıyanlar, 2017).

Binalarda akustik kaliteyi sağlamak, gürültüye karşı koruma sağlamak bina tasarımının vazgeçilmez bir gereksinimidir (Şekil 2.30). Teknolojinin ilerlemesi ile

gürültü kaynakları da artış göstermiştir. Yine teknolojinin gelişmesine bağlı olarak bina yüzeylerinde kullanılan hareketli öğeler bina için gerekli doğal havalandırmayı sağlayarak HVAC sistemlerinden gelen gürültüyü kısmen azaltmakta hem de dış ortamdaki gelecek gürültüye karşı engel oluşturabilmektedir (Özbaysar, 2019).



Şekil 2.30. Dış ortam seslerinin bina içerisine girmesi (Özbaysar, 2019)

2.2.4. Kinetik Mimarinin Sınıflandırılması

Kinetik mimarlık literatürde üç farklı yaklaşıma göre sınıflandırılmıştır. En eski sınıflandırma yaklaşımı 1970’te William Zuk ve Roger H. Clark’ın ‘Kinetic Architecture’ adlı kitabındaki sınıflandırma yaklaşımıdır. Zaten diğer yaklaşımlar da bu kitabı referans alarak ve daha da geliştirilerek yapılan sınıflandırma yaklaşımlarıdır. Zuk ve Clark kinetik sistemleri öncelikle adaptasyon yetenekleri açısından 4 farklı makine seviyesi şeklinde sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma mimarlıkla doğrudan ilgili olmasa da diğer sınıflandırmalar için bir altlık olması açısından önem arz etmektedir (Yaşa, 2010). Zuk ve Clark’ın mimariden daha çok makine teknolojilerini sınıflandırmayı hedefledikleri sınıflandırma aşağıdaki gibidir:

- 1. Seviye Makineler: Tek fonksiyonlu
- 2. Seviye Makineler: Değişken fonksiyonlu ve çok fonksiyonlu
- 3. Seviye Makineler: Otomatik kontrollü, değişken fonksiyonlu
- 4. Seviye Makineler: Otomatik kontrollü, öğrenebilen ve değişken fonksiyonlu (Yaşa, 2010).

Zuk ve Clark'ın diğer sınıflandırma yaklaşımı ise mimari ile ilişkili bir sınıflandırma yaklaşımı olup, kinetik sistem uygulamalarının ne tür amaçlara hizmet edebileceğini göstermeyi hedeflemektedir. Bu sınıflandırmada her bir başlık, mevcut uygulamalar ve örnek deneysel çalışmalar üzerinden örneklendirilerek, kinetik sistemlerin mimaride kullanıldığı alanlara yönelik bir sınıflandırma yapılmıştır. Kontrol mekanizmaları, strüktürel özelliklerine yönelik herhangi bir sınıflandırma yapılmamıştır (Yaşa, 2010). Bu başlıklar şu şekildedir:

- Kinetik Kontrollü Statik Yapılar
- Dinamik Olarak Kendi Kendine Kurulabilen Yapılar
- Kinetik Bileşenler
- Dönüşebilen Yapılar
- Adım Adım Değişebilen Yapılar
- Deforme Olabilen Yapılar
- Mobil Yapılar
- Eklenip Çıkarılabilen Parçalı Yapılar (Yaşa, 2010).

Zuk ve Clark'ın sınıflandırmalarından sonra ikinci sınıflandırma 1999 yılında yayınlanan Michael A. Fox ve Bryant Yeh'e ait olan 'Intelligent Kinetic Systems' adlı kitapta yapılmış olan sınıflandırmadır. Bu kitapta kinetik mimari üç ana sınıfa ayrılmıştır.

1. Yapısal Yenilikler ve Malzeme Teknolojisindeki Gelişmeler

Bu kategoride yöntemler ve araçlar olmak üzere iki farklı yaklaşım söz konusudur. Michael A. Fox' a göre kinetik sistemin işleyebilmesi için bu iki sistemin paralel ilerlemesi gerekmektedir. Mekanik hareketleri yöntemler, hareket kaynaklarını ise araçlar olarak tanımlamıştır (Fox, 2001).

- Yöntemler: Kinetik yapı öğelerinin kayma, dönme ve katlanma gibi basit geometrik dönüşümlerin kullanılarak geometrilerinde meydana gelen şekil ve boyut değişimlerinin incelenmesini önermektedir.
- Araçlar: Araçlar ise mimaride henüz yaygınlaşmamış yeni malzemelerin ve kimyasal, manyetik ve pnömatik gibi mekanik alan konularının araştırılmasını önermektedir (Yaşa, 2010).

2. Mimarideki Kinetik Tipolojiler

Bu kategori, kinetik yapıları hareket ölçeklerine göre değerlendirmektedir.

- Gömülü Kinetik Yapılar: Belirli bir noktada sabitlenmiş fakat yapının tamamının ya da cephe, çatı gibi büyük bir bileşenin tepkilerini kontrol edebilen sistemlerdir.
- Kurulabilir Yapılar: Yalnızca konumlandırıldığı bölgede hareketi sağlayan ve kolayca sökülüp başka yere monte edilebilen sistemlerdir. Örnek olarak, yolculuk sergileri, felaket bölgelerindeki geçici barınaklar ve pavyonlar verilebilir.
- Dinamik Kinetik Yapılar: Belirli bir noktada sabitlenmiş küçük ölçekli hareketli bileşenlerden oluşan sistemlerdir. Bu bileşenler birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Eklemeli, dönüştürülebilir ve hareketli modüler sistemler şeklinde olabilirler (Yaşa, 2010).

3. Kontrol Mekanizmaları

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

Kinetik mimarlıkta hareketli ögeler yapıyı oluşturan herhangi bir yapı elemanı olabileceken, yapının kendisi de olabilmektedir. Bu noktada kinetik mimarlık kapsamında yapılan son sınıflandırma 2004 yılında Koray Korkmaz'ın yapmış olduğu sınıflandırmadır. Korkmaz kinetik sistemleri, strüktürel açıdan ve kinematik çözümlerini baz alarak sınıflandırmıştır. Michael Fox'un kinetik mimarlık üzerine yapmış olduğu tanımdan yola çıkarak kinetik mimarlığı iki sınıfa ayırmıştır (Korkmaz, 2004). Bu sınıflandırma aşağıdaki gibidir;

1. Yapı bileşenlerinin tümünün veya bir kısmının sökülüp, taşınarak birçok yerde tekrar monte edilmesi suretiyle yeni mekânsal ihtiyaçlar için tekrar kurgulanabilmesi (Korkmaz, 2001). Kendi içerisinde de 3 başlık altında sınıflandırılmıştır:
 - ❖ Portatif Yapılar
 - ❖ Konumu Değiştirilebilir Yapılar
 - ❖ Sökülebilir Yapılar (Yaşa, 2010)
2. Yapı bileşenlerinin tümünün veya bir bölümünün mevcut yerinde belirli bir geometrik düzende hareket ederek farklı mekânsal ihtiyaçlara yanıt

oluşturabilmesi (Korkmaz, 2001). Strüktürlerine göre kendi içerisinde 2 başlık altında sınıflandırılmıştır:

- ❖ Rijit Formlu Yapılar
- ❖ Esnek Formlu Yapılar (Yaşa, 2010)

2.2.5. Kinetik Cepheye Sahip Binalardan Örnekler

2.2.5.1. Katlanır Plak Sisteme Sahip Binalar

❖ Al Bahr Kuleleri

Proje, 2012 CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) Ödülleri kapsamında, CTBUH yenilik ödülünü kazanmış, Abu Dhabi Yatırım Konseyinin yeni merkezi için yapılmış uluslararası bir yarışmanın ürünüdür. Yarışmanın formunun ortaya çıkmasındaki temel neden Abu Dhabi'nin yazın 120 °F (~49 °C) sıcaklığa kadar ulaşan çöl iklimine sahip olmasıdır. Bu iklim esas alınarak en az yüzey alanı ve en büyük hacim yakalanmaya çalışılmış ve günümüzdeki Al Bahr Kulelerinin formu bu şekilde ortaya çıkmıştır. Form binanın üst ve alt kısımlarında daralırken orta kısımlarda şişkindir (Şekil 2.31).



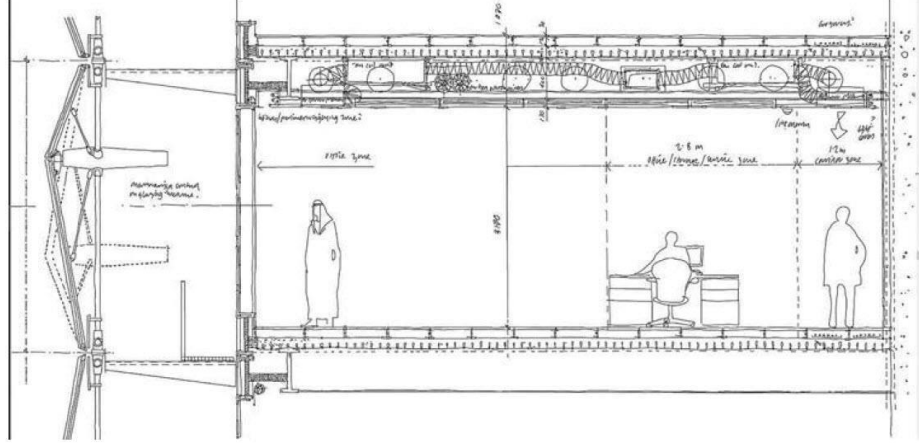
Şekil 2.31. Al Bahr kuleleri (URL-16).

Tasarımcılar, binanın cephesinde taşıyıcı elemanlara monte edilerek kurulmuş ve güneş ışığının yoğunluğuna göre hareket edebilen bir sistem tasarlamışlardır (Şekil 2.32). Modüller eşkenar üçgen elemanlarla oluşturulup altılı modüller şeklinde birbirine bağlanmaktadır (Duran, 2019). Güneşin açılarına göre çeşitli açılarda açılabilen toplamda 1049 altıgen modül bulunmaktadır. Tesselasyon tekniğiyle tasarlanan bu modüllerin oluşmasında Mashrabiya'nın⁴ geometrik ve işlevsel özelliklerinden esinlenilmiştir. Modüller katlanma tabanlı öteleme hareketine sahip bir kinetik cephe örneğini sergilemektedir. Cephe üzerindeki her bir birim gerdirilmiş politetrafloroetilen (PTFE) panellerden oluşmaktadır. Bu paneller tek tek veya gruplar halinde lineer aktüatör tarafından kontrol edilen Bina Yönetim Sistemine (BMS) bağlanmıştır ve oldukça karmaşık bir mekanik sisteme sahiptir (Bayar, 2020). Cephe güneş ışığının iç mekâna kontrollü girmesini sağlayarak, iç mekânda optimum gölgelendirme sağlamak ve gereksiz ısımanın önüne geçmektedir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlayan mekanik hareket, enerji tüketimine neden olmaktadır. Fakat kinetik sistemin hareketi neticesinde bina enerji tüketimi yarı yarıya azalmakta ve soğutma yükünde de %35 azalma sağlamaktadır. Böylece panellerin hareketi için harcanan enerji kazanılan enerjinin yanında çok az kalmaktadır (Maden, 2022) (Şekil 2.33-2.34).



Şekil 2.32. Güneş ışığına göre cephe üzerindeki hareketli elemanların çalışma şekli (Duran, 2019)

⁴ Mashrabiya yerel mimari unsurlardır; bir binanın ikinci veya daha yüksek katlarını kaplayan ve tipik olarak bir iç avluya bakan küçük kafesli bir açıklık şeklindeki bir balkon veya cumba tipi pencere.



Şekil 2.33. Gölgeleme sistemi ve kulenin iç mekânını gösteren kesit (Duran, 2019)



Şekil 2.34. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (Duran, 2019)

❖ Kolding Kampüsü

Al Bahr Kulelerinde olduğu gibi cephe merkezi kontrol sistemine bağlıdır ve cephedeki modüller bağımsız ya da gruplar halinde hareket ederek değişen çevresel koşullara uyum sağlamaktadır (Şekil 2.35). Kolding Kampüsü binasının cephesi, dikey bir aks etrafında sağa ve sola 0 ila 90 arasında değişiklik gösteren açılarla katlanabilen üçgen modüllerden oluşmaktadır. Bu üçgen modüller ısı ve ışığa duyarlı sensörler vasıtasıyla hava koşullarına göre açılıp kapanmaktadır. Panel gölgeleme ve havalandırma olmak üzere iki çeşit faktöre hizmet etmektedir. Açık, yarı açık ve tamamen kapalı konumda olabilen cephe optimum konfigürasyonu yakalamaya çalışmaktadır (Maden, 2022).



Şekil 2.35. Kolding Kampüsü (URL-26).

Cephede bulunan panellerin sabit kalıp enerji tüketimine neden olmadığı zamanlar da bulunmaktadır. Böylece kinetik sistem, binanın enerji tüketiminin yaklaşık %50 azalmasına neden olmuştur. Isıtma ve soğutma için tüketilen enerjiyi azaltmalarının yanında karbon emisyonunu da %27 azalttığı görülmektedir. Ayrıca rüzgâr, güneş gibi doğal kaynakları etkin bir şekilde kullanarak, doğal havalandırma ve doğal aydınlatmaya yardımcı olmaktadır (Maden, 2022) (Şekil 2.36).



Şekil 2.36. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (URL-26)

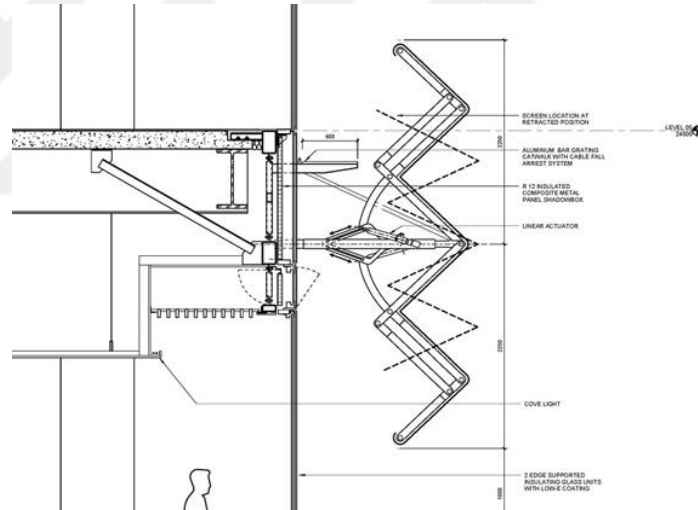
❖ CJ Araştırma ve Geliştirme Merkezi

Güney Kore’de bulunan CJ Araştırma ve Geliştirme Merkezi hem kullanıcı ihtiyaçlarına hem de değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilen kinetik cephe sistemi örneklerindedir (Şekil 2.37). Cephe tasarımı ilk olarak sadece cepheyi kaplamak amacıyla yapılmış olup cephenin bazı kesimlerine sabitlenmiş delikli ve metal panellerden oluşmaktadır. Tasarım sonradan geliştirilerek bugünkü kinetik cephe

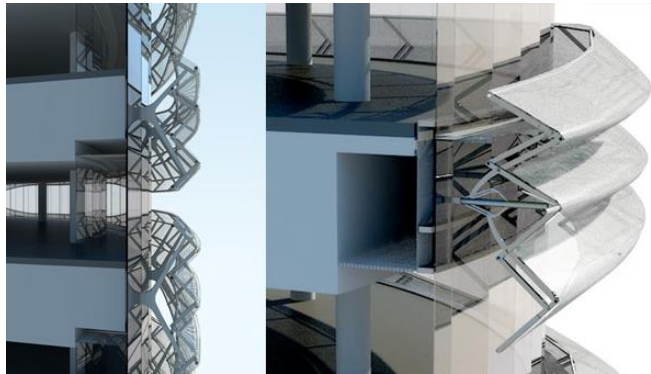
görünümünü kazanmıştır. Sonradan cepheye membran ile kaplı makas mekanizması eklenmiş ve bu mekanizma sisteme katlanma ve açılma esnekliği kazandırmıştır. Sistemi tümüyle harekete geçirmek için birbirinden bağımsız alt kısım ve üst kısımda bulunan iki adet lineer aktüatör kullanılmıştır (Bayar, 2020) (Şekil 2.38-2.39).



Şekil 2.37. CJ Araştırma ve Geliştirme Merkezi (URL-22).



Şekil 2.38. Gölgeleme sistemi ve kullenin iç mekânını gösteren kesit (URL-22).



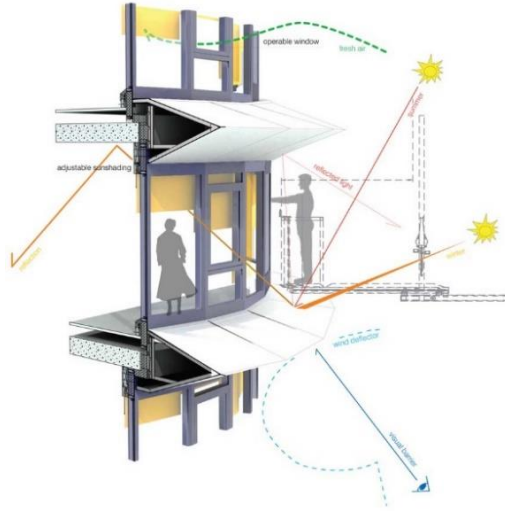
Şekil 2.39. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (URL-22).

❖ Kiefer Technic Showroom

Kiefer Technic Showroom, ötelemeyle katlanma hareketi gerçekleştirerek iç mekân güneş ışınımını kontrol eden kinetik bir sisteme sahiptir (Şekil 2.40). Sistem malzeme olarak delikli alüminyum panellerle kaplıdır. Sistem hava durumu verilerine ve güneşin durumuna göre ışık sensörleri vasıtasıyla veya doğrudan kullanıcı kontrolüyle hareketi gerçekleştirebilmektedir. Toplamda 56 motor tarafından çalıştırılan cephe sistemi çeşitli konfigürasyonlar oluşturmakta olan esnek bir yüzeydir (Bayar, 2020) (Şekil 2.41-2.42).



Şekil 2.40. Kiefer Technic Showroom (URL-23).



Şekil 2.41. Gölgeleme sistemi ve kulenin iç mekânını gösteren kesit (URL-24).



Şekil 2.42. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (URL-23).

❖ Biyokataliz Laboratuvar Binası

Graz Teknik Üniversitesi'nde bulunan Biyokataliz Laboratuvar Binası da ötelemeye katlanma hareketi yapan başka bir kinetik cephe sistemi örneğidir (Şekil 2.43). Binanın güney cephesini kaplayan 216 adet delikli alüminyum panel altılı gruplar halinde birleştirilmiş olup, tek tek de kontrolü sağlanabilmektedir (Bayar, 2020) (Şekil 2.44).



Şekil 2.43. Biyokataliz Laboratuvar Binası (URL-25).



Şekil 2.44. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (URL-25).

2.2.5.2. Düzlemsel Güneş Kırıcı Sisteme Sahip Binalar

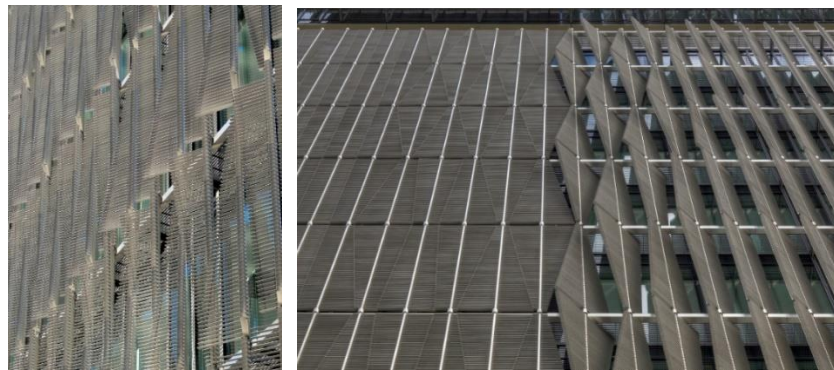
Genellikle farklı katmanların birbiri üzerine kaymasıyla cephede hareketi sağlayan sistemler veya belirli bir aks etrafında dönen bir dizi düzlemsel elemanın hareketinden oluşan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Maden, 2022).

❖ Q1 Thyssen Krupp Genel Merkezi

Yüzeyinde üçgen, dörtgen ve yamuk olmak üzere üç farklı geometri bulunan modüllere sahip Q1 Thyssen Krupp Genel Merkezi'nde her bir modül güneşin geliş açısına göre yatay ve dikey yönde dönme hareketi yapabilmektedir (Şekil 2.45). Her cepheye uygulanabilecek etkin bir çözümdür. Kinetik cephe iç mekân ısı konforu sağlarken binanın enerji tüketimini yarı yarıya düşürmektedir. Karbon salınımı diğer benzer cephelere göre %27 daha azdır. (Maden, 2022) (Şekil 2.46).



Şekil 2.45. Q1 Thyssen Krupp Genel Merkezi Görünüş (URL-27)



Şekil 2.46. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (URL-27).

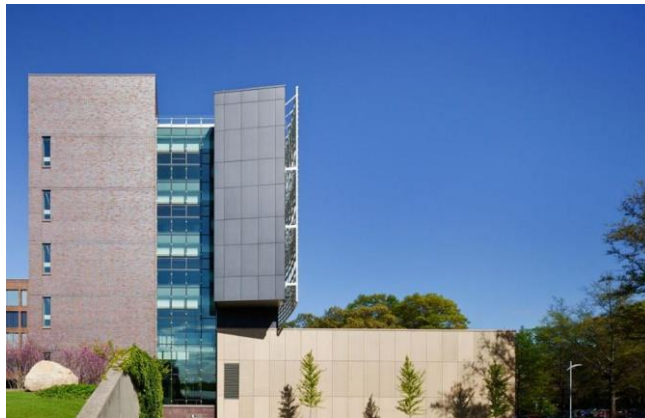
❖ Stony Brook Üniversitesi Geometri ve Fizik Merkezi

Chuck Hoberman'ın Buro Happold ile 2008 yılında kurmuş olduğu Adaptive Building Initiative (ABI) şirketi tarafından tasarlanan Geometri ve Fizik Merkezi'nin

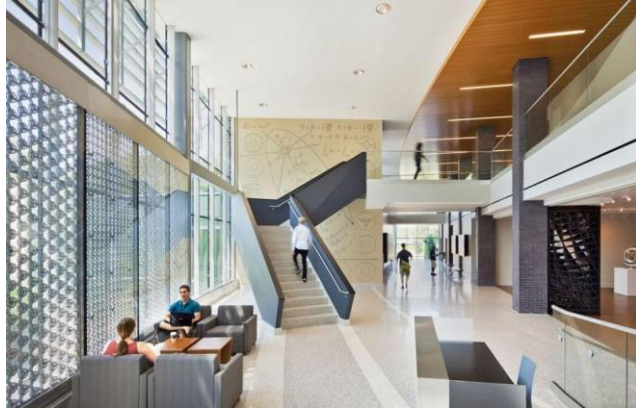
kinetik cephesi enerji gerektiren kompleks bir yapıdadır (Başar, 2014) (Şekil 2.47). Kinetik cephe daire, üçgen, altıgen ve kareden oluşan bir tessellasyon örneğini sergilemektedir. Cephe dört katmandan oluşmakta olup katmanlardan üçü birbiri üzerine kayarak hareketi sağlamaktadır (Maden, 2022). Bu dört katman ise farklı motifleri içeren ve tavana kadar uzanan panellerden oluşmaktadır (Suner, 2022). Motorize bir mekanizma ile gerçekleşen bu kayma hareketi ile iç mekâna giren ışık kontrol altına alınmaktadır ve katmanların örtüşmesi ve ayrışmasıyla oluşan geometrik desenler kaleidoskopik bir desen oluşturmaktadır (Başar, 2014) (Şekil 2.48-2.49). Bu cephede hareket kısıtlıdır çünkü tek bir düzlemde hareket söz konusudur. Bu kinetik cephe, iç mekân ısı ve ışık kontrolünü sağlamanın yanısıra binanın enerji tüketimini %6 azaltmaktadır. Sabit güneş kırıcılara göre yıllık soğutma yükünü ise %15 ila %20 civarında azaltabilmektedir. (Maden, 2022).



Şekil 2.47. Stony Brook Üniversitesi Geometri ve Fizik Merkezi Genel Görünüş (URL-28)



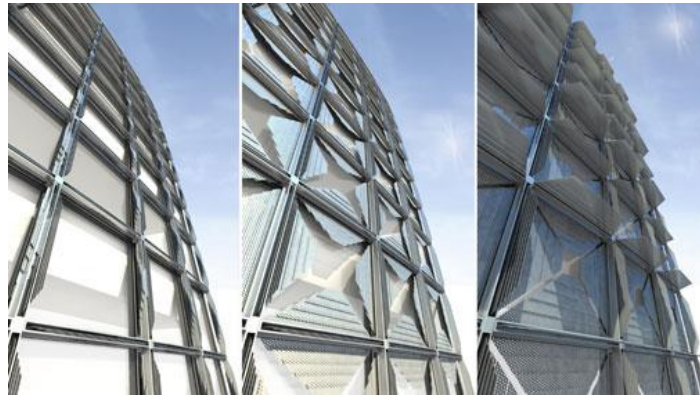
Şekil 2.48. Hareketli Elemanların Yandan Görünüşü (URL-28)



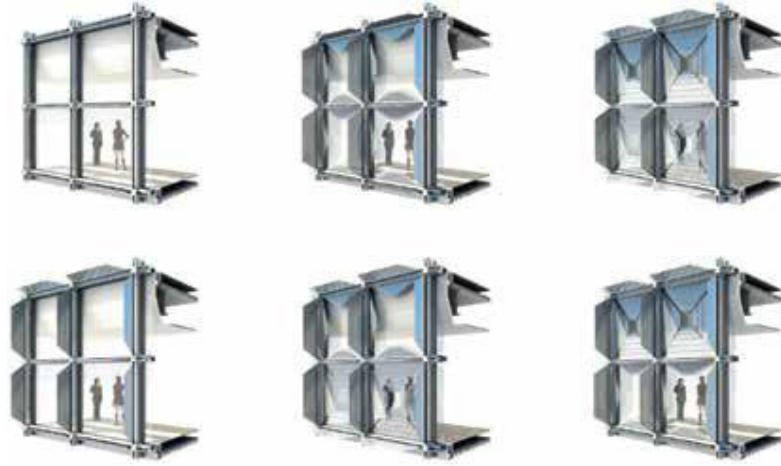
Şekil 2.49. Hareketli Elemanların İç Mekândan Görünüşü (URL-28)

❖ HelioTrace

Sistem cephe boyunca kare modüllerin içerisine yerleştirilmiş dört adet üçgen yüzeyden meydana gelmektedir (Şekil 2.50). Hareket ise bu üçgenlerin kenarlara doğru kayma hareketi sonucu oluşmaktadır (Şekil 2.51). Sistem, cepheyle aynı yönde veya cepheye dik bir şekilde uygulanabilmekte olup etkin bir çözüme olarak tanınmaktadır. Ayrıca kinetik cephe, güneşin hareketine bağlı olarak iç mekân günışığı ve parlama değerlerini kontrol altına almaktadır. Böylelikle yıllık enerji tüketimini %42 azaltmaktadır. Her ne kadar kinetik cephe sistemi hareket mekanizması için enerji gerektirse de elde ettiği kazanç sonucu bina enerji tüketimini yarıya yakın bir değerde azaltmaktadır (Maden, 2022).



Şekil 2.50. Helio Trace Cephesi Hareketli Elemanların Yakından Görünüşü (URL-29).



Şekil 2.51. Helio Trace Sistemi (Maden, 2022).

❖ Arap Dünyası Enstitüsü

1980 yılında Jean Nouvel tarafından tasarlanmış olan Arap Dünyası Enstitüsü Binası Paris'in Rue des Fossés Saint Bernard bölgesinde yer almakta olup İslam kültürüne yönelik bir kültür merkezi niteliğindedir. 1981 ile 1987 yılları arasında inşa edilen yapı 16,894 m²'lik bir inşaat alanına sahiptir. Binada enstitü çalışmaları için ayrılan alanlara ve ofislere ek olarak bir müze, bir kütüphane ve bir restoran da yer almaktadır. Jean Nouvel bu proje ile İslam kültürüne olan katkılarından dolayı Ağa Han Mimarlık Ödülü'ne layık görülmüştür (URL-41).

Nouvel, doğal ışığı yapıda etkin bir şekilde kullanmıştır. Yapının ana özelliği ve yenilikçi unsuru güney cephede bulunan güneş ısısına ve parlamaya karşı koruyan brisesoleiller olmuştur. Yapının tüm cephesi etkin bir şekilde doğal ışık alırken özellikle güney cephesinin bu özelliği yapıya karakteristik bir özellik kazandırmıştır (Şekil 2.52). Yapının güney cephesinde bulunan ışığa duyarlı motor kontrollü diyaframlar sayesinde mekânda sürekli hareketlilik olmaktadır. Işığa duyarlı diyaframlar, güneş ışığının şiddetine göre kapanıp açılmakta ve bu hareketlilik iç mekândaki yüzeylerde ışık-gölge etkisiyle desen oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 2.53). Doğal ışığın mekânda oluşturduğu bu dinamik etki iç mekânda, mekânı değiştirici ve deneyimi geliştirici bir rol oynamaktadır (Bahar ve Yalçınkaya, 2021).



Şekil 2.52. Arap Dünyası Enstitüsü Genel Görünüş (URL-42)



Şekil 2.53. Arap Dünyası Enstitüsü İç Mekândan Görünüş (URL-42)

2.2.5.3. Malzeme Tabanlı Sisteme Sahip Binalar

Malzeme tabanlı sistemlerde, elektrik enerjisine gerek duyulmaksızın malzemenin ısı, nem vb. nedenlerle kendiliğinden harekete geçmesi esası söz konusudur.

❖ Bloom

Bloom, Doris Kim Sung tarafından kurulan Do-Su Studio Architecture tarafından 2012 yılında termobimetallerden üretilmiştir. Bu sistem prototipi, bina yüzeylerini yaşayan bir yüzey haline getirmek amacıyla oluşturulmuştur (Ürkmez, 2019). Gölgeleme, aydınlatma ve aynı zamanda havalandırmayı sağlamaktadır (Sung, 2016).

“Nefes Alıp Veren Metal” olarak da nitelenen Bloom her biri farklı genişleme hızlarına sahip birbirine laminatlanmış 14.000 parça termobimetal tabakasından oluşmaktadır (Şekil 2.54). Sıcaklık yükseldiğinde metal levhalar kıvrılmakta, soğutulduğunda ise levhalar düzleşmektedir. Bu şekilde doğal havalandırma

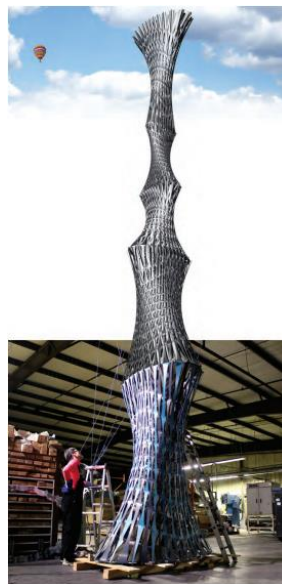
sağlanmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Sistem ana hareketi çevresel etki ile sağladığı için karmaşık sistemlere göre avantaja sahiptir (Ürkmez, 2019).



Şekil 2.54. Bloom Cephe Sistemi (Ürkmez, 2019)

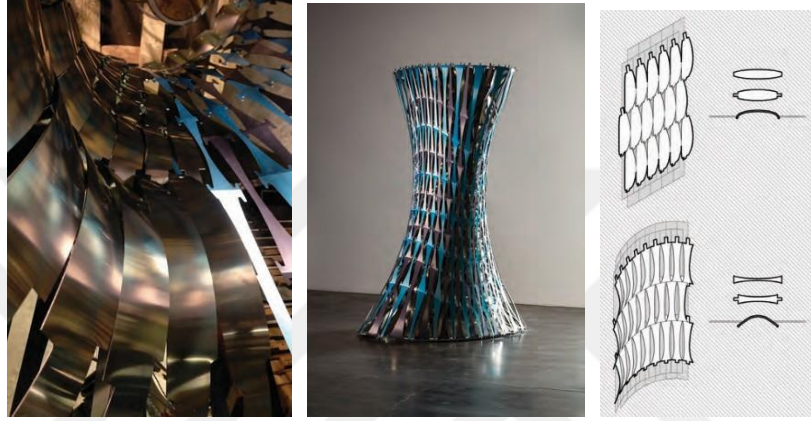
❖ eXo Kulesi

2013 yılında, Exo olarak adlandırılan tasarımın beş segmentte oluşturulması amaçlanmıştır (Şekil 2.55). 0.03 inç kalınlıktaki termobimetaller 250°F'da ısıtılarak uçlarındaki çentiklerle birbirine bağlanmıştır. Termobimetaller silindirin iç tarafına yerleştirilerek turkuaz ve siyah renkteki alimünyum parçalarını gererek genel geometriyi oluştururlar (Sung, 2016).



Şekil 2.55. Exo Kulesi (Sung, 2016).

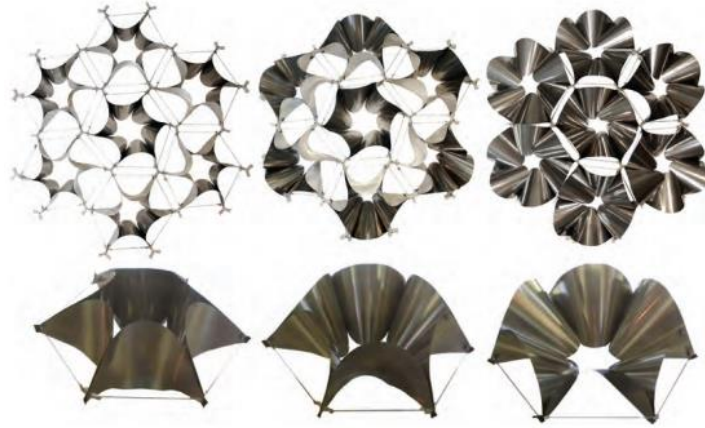
Kalın merkezli puro şeklindeki parçalar, yüzeye daha fazla esneklik ve mukavemet sağlar. Belirli alanlarda, her bir parçanın merkezi biraz daha fazla esneklik kazandırmak için inceltilir ve genel yüzeyin kendi üzerine kıvrılmasına izin verir (Şekil 2.56). Bu tür bir yapıda, hiçbir alete ihtiyaç duyulmadığından, montaj işlemi sırasında insan etkileşiminin ortadan kaldırıldığı ve ulaşılması zor alanlarda, acil durum barınaklarında kullanılarak kendinden montajlı sistemler olarak daha da geliştirilebilir (Sung, 2016).



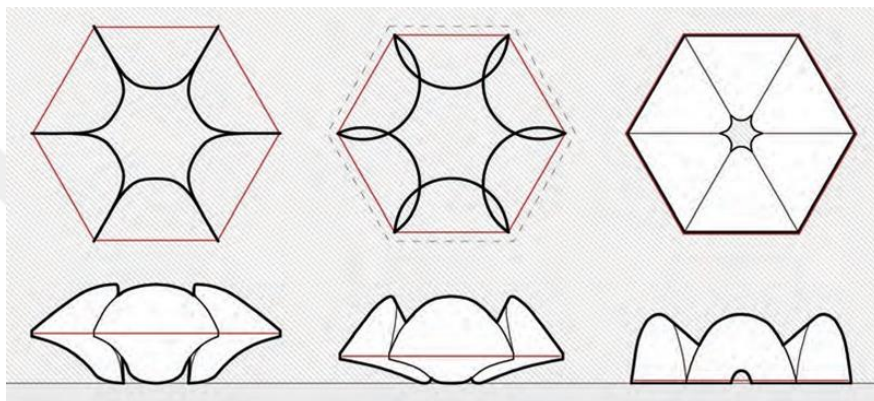
Şekil 2.56. Exo Kulesi farklı genişlikteki parçaların gösterimi (Sung, 2016)

❖ Hex-Sphere

2014 yılında geliştirilen "Hex-Sphere" sistemi hem yerel hem de global şekil değiştirme özelliğine sahiptir (Şekil 2.57). Görsel iletim, çok şeffaftan son derece opaklığa kadar değişir. Her ünite altı adet 0,0025 inch kalınlığında termobimetalden yapılmıştır. Isıtıldığında halihazırda kıvrılmış parçalar daha sıkı kıvrılır ve sisteme yeni bir baskı uygular (Şekil 2.58). Güneşle doğrudan ilişki içinde olduğunda, bu tür bir sistem bir yüzeyi saniyeler içinde yarı saydamdan opak hale getirerek hava hareketini, güneşi, görünümü ve gürültüyü kesebilmektedir (Sung, 2016).



Şekil 2.57. "Hex-Sphere" sistemi (Sung, 2016).



Şekil 2.58. "Hex-Sphere" sisteminin farklı sıcaklıktaki durumları (Sung, 2016).

❖ Pivot Gölge Sistemi

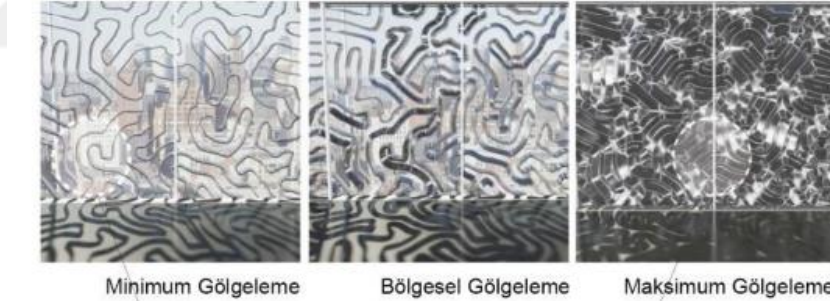
Tüm parçaların kavisli bir yapıda olduğu pivot gölge sistemi çift camlı bir cepheye uygulanmıştır (Şekil 2.59). Sıcak havalarda parçalar şekillerini tersine çevirerek güneşe dik bir pozisyon alırlar. Soğuk havalarda ise sistemin parçaları, genel ışık yönüne paralel konuma gelerek maximum miktarda ışığın binaya doğrudan ya da yansıma yoluyla girmesini sağlarlar. Böylelikle termobimetaller ile güneş, rüzgâr veya diğer çevresel unsurların bir binaya girmesi kontrol edebilir (Sung, 2016).



Şekil 2.59. Pivot Gölge Sistemi'nin çift cepheli bir bina yüzeyinde uygulaması (Sung, 2016).

❖ HomeoStatik Cephe

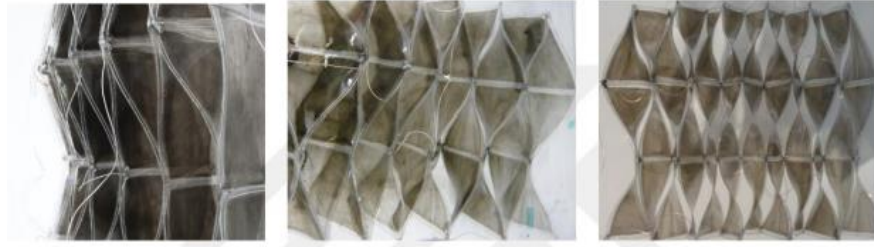
ABD'de Decker Yeadon ofisi tarafından 2011 yılında geliştirilen, biyolojik sistemlerdeki kas ve homeostazdan ilham alan Homeostatik cephe sistemi günışığına göre genişleyip daralmalar yaparak iç mekân sıcaklığını düzenleyen dinamik bir cephe (Şekil 2.60). Sistem Elektroaktif Polimer (EAP) ve gümüş elektrotlardan oluşmaktadır (Ürkmez, 2019). Gümüş elektrotlar, yüzeyine elektriksel bir yük dağıtarak deforme olmasını sağlar; aynı zamanda, gün ışığını da her iki yönde yönlendirmek için yansıtır. Güneşin ışığı binayı ısıttığında, şeridin yüzeyleri binanın içinde gölge oluşturmak için genişler ve günışığı geçişini engelleyerek bina içinde aşırı ısınmayı önler. Sıcaklık düştüğünde, daha fazla ışığa izin vermek için büzülerek günışığı geçişine izin verir (Ergin, 2019). Sistemin her parçası günışığı faktörüne göre birbirinden bağımsız çalışabilmektedir (Ürkmez, 2019). Geleneksel sistemlere göre, üstün hassasiyet avantajı vardır ve daha az güç tüketmektedir. Giderek daha şeffaf hale gelen çağdaş mimariye alternatif olan bu cephe tasarımı halen prototip aşamasındadır (Ergin, 2019).



Şekil 2.60. Homeostatik Cephe Sistemi (Ergin, 2019).

❖ Shape Shift.

Elektroaktif polimerlerin potansiyel uygulamalarını mimari ölçekte araştırmak amaçlı üretilmiş bir prototiptir (URL-39) (Şekil 2.61). Asıl amacı ise akıllı malzemeler kullanılarak çevreye uyarlanabilen yüzey oluşturmaktır. Bu yüzey, kinetik yüzey prototiplerine de bir örnektir. Elektriğe yanıt olarak boyutlarını %380 değiştirebilen şekil hafızalı elektroaktif polimerler kullanılarak oluşturulan yüzeyin, Rhino ve Grasshopper yazılımları ile parametrik modelleri oluşturularak, çeşitli bileşen şekilleri araştırılmış ve CNC ile imalat yapılarak, prototip üretilmiştir (Ergin, 2019) (Şekil 2.62).



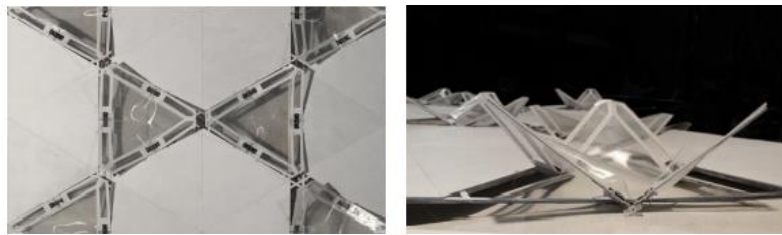
Şekil 2.61. Shape Shift Prototip (Ergin, 2019).



Şekil 2.62. Şekil Değiştirme Bileşenlerindeki Katmanların Genişletilmiş Görünümü (Ürkmez, 2019).

❖ Response_able 2.0.

Şekil hafızalı polimerlerden oluşan Response_able 2.0. yüzeyi, rüzgâr verilerini depolayarak, kullanıcı kararlarına gerçek zamanlı tepki verebilen, önceden programlanmış bir ara yüz tasarımını sunmaktadır (Ergin, 2019) (Şekil 2.63).

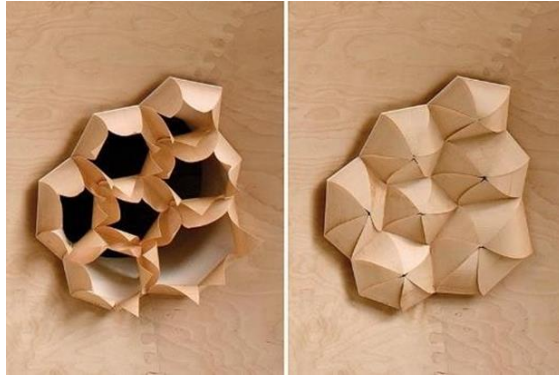


Şekil 2.63. Response_able 2.0. Prototip (Ergin, 2019).

❖ HigoSkin

Achim Menges tarafından 2012 yılında geliştirilen HigoSkin, farklı bir sisteme ihtiyaç duymadan doğal ahşap malzeme ve kompozit polimerlerden oluşan 4D baskı üretim yöntemiyle üretilen ve havadaki nemi kontrol ederek iç ve dış ortam arasında denge sağlamayı amaçlayan akıllı bir sistemdir (Şekil 2.64). Cephedeki altıgen açıklıklar

akıllı malzeme ile kaplı olup ortamdaki nemin artışıyla açılmakta ve ortamdaki nemin azalmasıyla kapanarak nem dengesini sağlamaktadır (Ürkmez, 2019).



Şekil 2.64. Higroskin Açık ve Kapalı Pozisyonlar (Ürkmez, 2019).

Doğal ahşap malzeme anizotropik yapısından dolayı neme karşı şeklini değiştirerek tepki verme özelliğine sahiptir. Yalnız bu sistem homojen olmadığından yanıtları doğru bir şekilde ölçmek mümkün değildir. Ahşap nem etkisiyle deforme olduktan sonra şekil hafızalı malzemeler gibi tamamen eski haline döndürülemez. Bu nedenle programlı yapısı nedeniyle doğal ahşaba göre ölçülebilen higroskopik (nem çeken) özelliklere sahip ve malzemelerin dayanıklılığını arttırmak için daha yüksek 4 boyutlu yazıcı ile üretilmiş ahşap malzeme kullanılmıştır. Sistem güneş enerjisi dışında herhangi bir enerjiye gerek duymayan, neme duyarlı kendi kendine havalandırma sağlayabilen yüzeylerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Ürkmez, 2019).

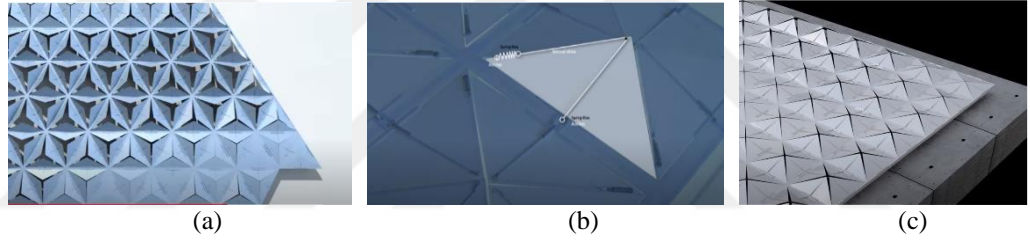
❖ Pixelskin022 Projesi

Pixelskin02 yüzeyi, güncel mimari yüzeylerde günışığı kontrolü ve tabela kullanımı arasındaki çatışmaya bir cevap olarak tasarlanmıştır. Aydınlatma entegrasyonu ve gün ışığı kontrolünü gerçek zamanlı iletişim araçları ile sağlayan uyarlanabilir, interaktif ve elektrografik bir yüzeydir. Yüzey, elektromekanik olarak, düşük çözünürlüklü görüntüler ve videolar üreten saydam bir görsel alan oluşturmaktadır (Ergin ve Girgin, 2019) (Şekil 2.65).



Şekil 2.65. PixelSkin02 elektrografik cephe görüntüsü (URL-10).

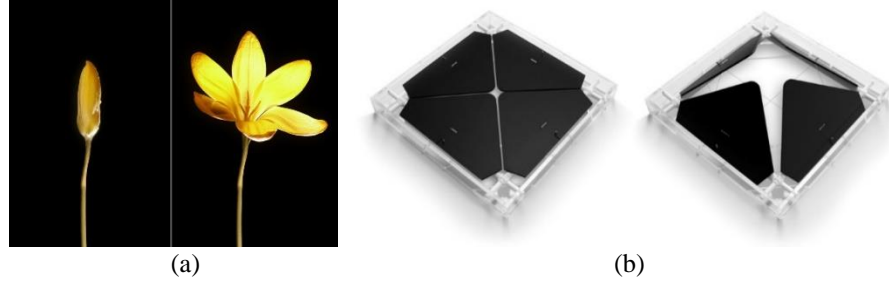
Her bir piksel karosu, şekil hafızalı alaşım (ŞHA) tellerinin aktive ettiği dört adet üçgen panelden oluşmaktadır. “Çoklu Kontrol Tekniği”, hareketli desenler ve görüntüler oluşturmak için piksel-karo koleksiyonunun kontrolünü sağlamaktadır (Şekil 2.66). Yüzeye gömülü mikrodenetleyici konsollar; her panelin açılma düzeyini, saniyede yirmi kez, tamamen açık veya kapalı durum arasında, 255 ayrı konumda düzenlemektedir (Ergin ve Girgin, 2019).



Şekil 2.66. (a) Çoklu kontrol, (b) sıcaklık farkına göre çalışma prensibi, (c) prototip (URL-10).

❖ The Air Flower Projesi

LIFT mimarlık tarafından geliştirilmiş olan The Air Flower projesinin amacı, güç kaynağına gerek duymadan, ŞHA telleri vasıtasıyla iç ve dış hava akışını sağlayarak, iç ortam kalitesini dengede tutmaktır (Ergin ve Girgin, 2019) (Şekil 2.67). Sarı çiğdem bitkisinin doğadaki davranışı olan termonastik tepkisine dayanarak geliştirilmiştir (Şekil 2.68). Termonasti, bitki yapısının sıcaklıktaki değişikliklere tepki olarak kinetik reaksiyonunu tanımlar (URL-11). Sonuç olarak ısııl açıdan aktif bir havalandırma sistemi oluşturulmuştur. (Ergin ve Girgin, 2019).

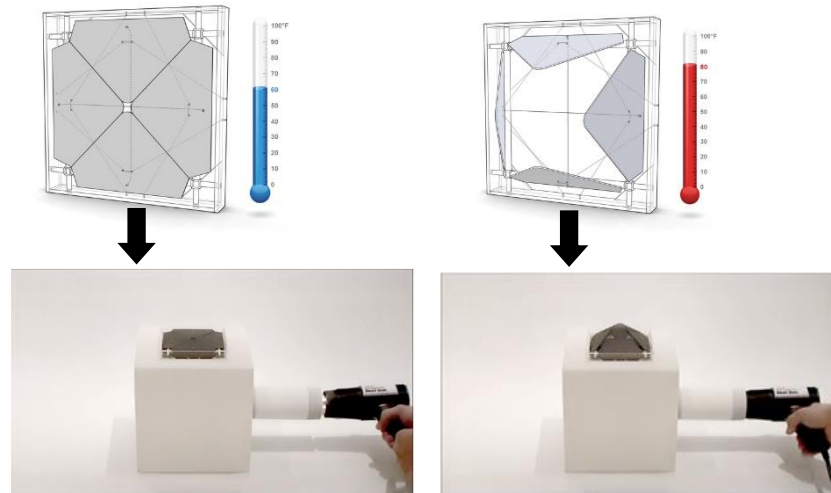


Şekil 2.67. (a) Sarı Çiğdem bitkisinin ısıya karşı davranışı (b) Prototip (URL-11).

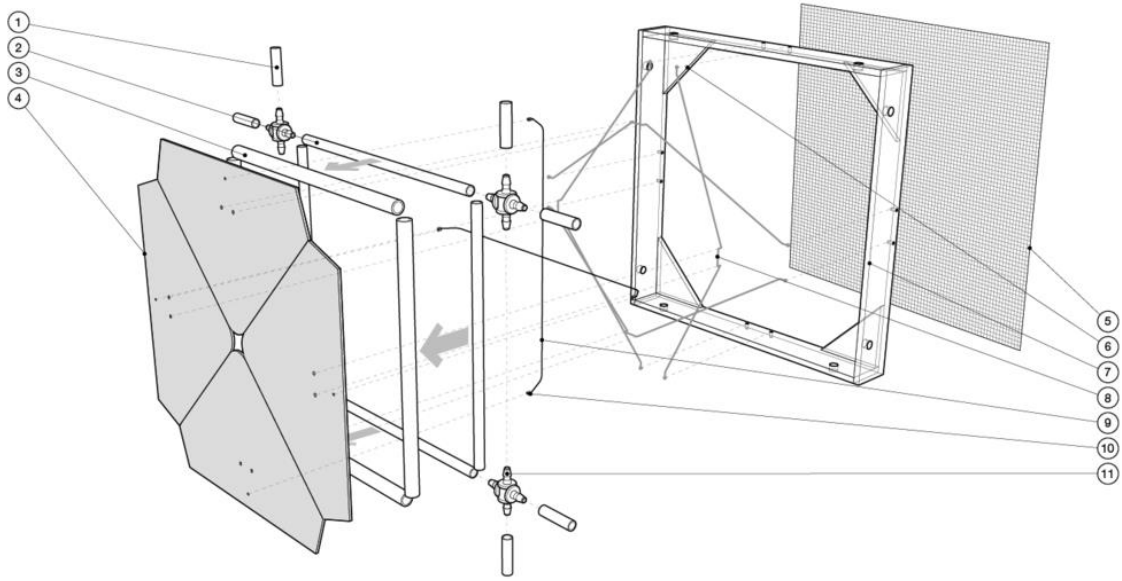


Şekil 2.68. Çift veya tek cidarlı cephe sistemleri için The Air Flower (URL-11).

Prototipin sıcaklığı bir ısı tabancası ile 150°F'a, yaklaşık 65°C'ye getirilir. Bu etki sonucu teller kısalır ve panellerin aynı sarı çiğdem bitkisi gibi açılmasına neden olur. Sıcaklığın azalması ile teller genişlemeye başlar ve her paneli yavaşça kapalı konumuna geri döner (Ergin ve Girgin, 2019) (Şekil 2.69). Dört yapraklı prototipin patlatılmış aksion çizimi şekil 2.70'te gösterilmiştir.



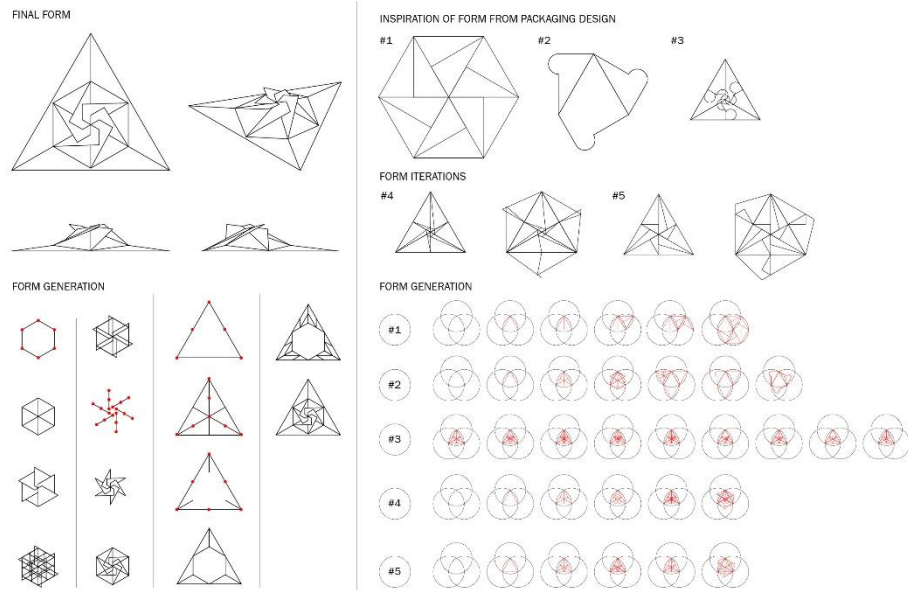
Şekil 2.69. Artan sıcaklık ile ŞHA tellerin kısalarak panelin açılması deneyi (URL-11).



Şekil 2.70. Dört yapraklı prototipin patlatılmış bir akson çizimi. Anahtar: 1) sert bağlantı boruları, 2) iç borular, 3) dış borular, 4) paneller, 5) tel örgü ekran, 6) köşebent plakaları, 7) çerçeve, 8) paneller ve dış çerçeve arasına bağlanmış elastik kordonlar, 9) Şekil Hafızası Alaşım teller, 10) namlu kıvrımlı, 11) dört yöllü konektörler (URL-11).

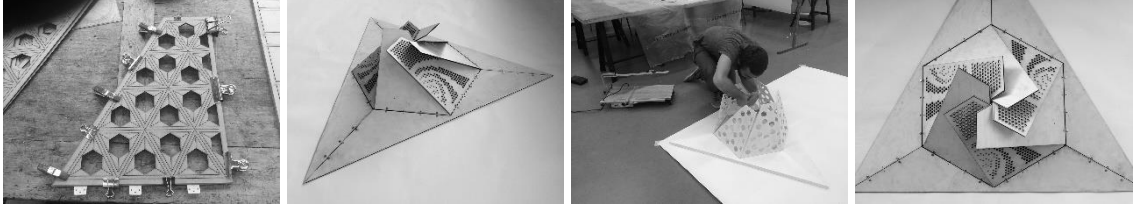
❖ TUB Projesi

Victor Li, Maximilian Quixk, Moritz Funck, Städtebauliche Vertiefung tarafından, 2016 yılında TUB projesi ile ŞHA'lar ile uyarlabilir cephe sistemleri için bir gölgeleme sistemi prototipi oluşturulmuştur. Prototipin oluşturulmasında, ŞHA'ların cephe sistemlerinde kullanılmasına ilham kaynağı olması amaçlanmıştır.



Şekil 2.71. TUB modül tasarım aşaması (URL-12).

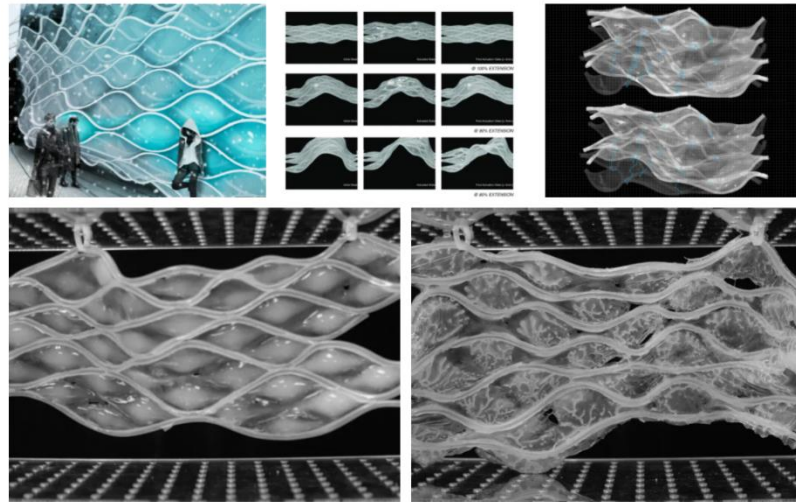
Tasarım formunun şekillenmesinde paket katlama yöntemi esin kaynağı olmuştur (Şekil 2.71). Açıklıklar altı kanattan oluşmakta olup, art arda gelen her bir kanat birbirlerine ŞHA telleri ile bağlanmıştır (Ergin ve Girgin, 2019) (Şekil 2.72). Bu nihai prototip için MDF levhaları kullanılmıştır (URL-12). Ancak ticari uygulama için, hafif metal veya biyoplastik malzeme kullanımı önerilmektedir (Ergin ve Girgin, 2019).



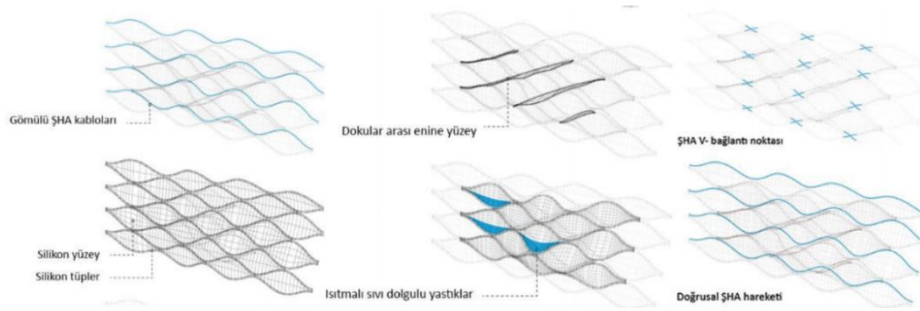
Şekil 2.72. TUB modül, yüzey prototipleri (URL-12).

❖ SKIN: Yumuşak Kinetik Ağ Projesi

Mekânsal modülasyon ve çevresel uyaranlara yanıt verme yeteneğine sahip uyarlanabilir bir kinetik cephenin küçük ölçekli prototiplerinden oluşan SKIN projesi, elektrik akımı altında şekil değiştiren gömülü kas tellerinin ağı etrafında düzenlenmiştir. Tel ağı, yumuşak ve kas benzeri hareketlerle yüzey dönüşümlerini sağlamaktadır. Tel ağının etrafında geliştirilen malzeme sistemi, kompozit yapısı içerisinde kalınlığını, sertliğini veya geçirgenliğini değiştirmektedir (Şekil 2.73). Malzeme sistemindeki değişkenlik, yüzey bölgeleri içinde farklı davranışlar sağlar; hareketin hızını ve derecesini değiştirir, yüzey şeffaflığını değiştirir ve kas teli tarafından üretilen ısının yakalanması ve ısının yüzey bölgeleri içinde dağıtılması gibi diğer performans seviyelerini sağlar (URL-13) (Şekil 2.74).



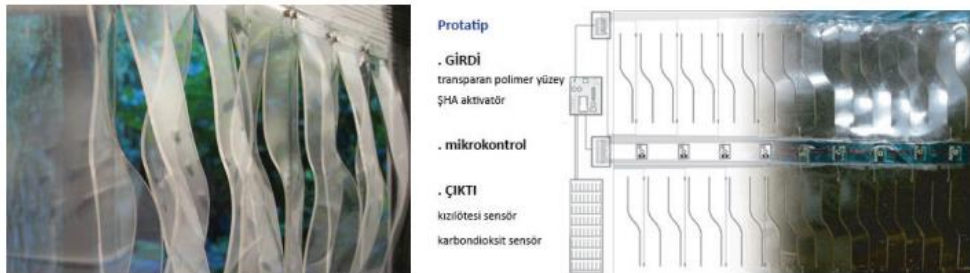
Şekil 2.73. Hareketin hızı, derecesi ve yüzeyin rijitliği ile şeffaflığındaki değişimler (URL-13)



Şekil 2.74. Proje detay gösterimleri (Ergin ve Girgin, 2019).

❖ Living Glass Projesi

S. Yang ve D. Benjamin tarafından 2005 yılında geliştirilen Living Glass projesi, elastik ŞHA'ların hareketi ile iç ortamdaki CO₂ seviyesinin kontrolünü amaçlamaktadır. Solungaçtan ilham alınarak formu tasarlanan projede, ŞHA tellerinin arası polimer yüzey ile kaplanmıştır. CO₂ seviyesi arttığında elektriksel uyarı ile ŞHA telleri kısalmır ve temiz havanın içeri girmesini sağlayacak yarıklar açılır (Şekil 2.75). CO₂ seviyesi iç ve dış ortamda eşitlendiğinde sistem normal haline geri döndürülür (Ergin ve Girgin, 2019).



Şekil 2.75. Hafif duyarlı cephe prototipinin çalışma biçimi (Ergin ve Girgin, 2019).

❖ SmartScreen Projesi

M.Decker ve P. Yeadon tarafından 2011'de tasarlanan SmartScreen, iç hava sıcaklığındaki değişiklikler sonucu otomatik olarak devreye girerek bina içinde termal konfor sağlamayı amaçlayan bir gölgeleme tasarımıdır. SmartScreen sistemi, binanın cam cephesinin içine asılan dinamik bir perde görevi gören ve şekil hafızalı alaşım telleri bütünleştiren bir kumaştır. Sıcaklık çok yüksek olduğunda sistemdeki açıklıklar tamamen kapanır ve binanın fazla güneş ışığı almasını ve ısınmasını engeller; sıcaklık düşük olduğunda ise, kumaşın dokusuna işlenen şekil hafızalı alaşım, açıklıkların programlandığı şekilde açılmasına neden olur ve güneşin bina içine ulaşmasını ve mekânı ısıtmasını sağlar (Şekil 2.76). Her açıklık, bulunduğu bölgedeki sıcaklığa bağlı olarak

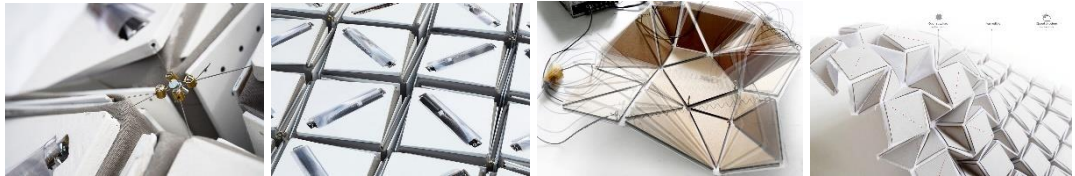
bağımsız olarak açılıp kapanır. Güneş ışığından sağladığı enerji dışında herhangi bir enerjiye ihtiyaç göstermeden çalışır. Bu dinamik yüzeyde Nikel-Titanyum (Ni-Ti), Bakır-Çinko-Alüminyum (CuZnAl) moleküllerinden yapılmış tel şeklindeki malzeme kullanılmıştır (Ürkmez, 2019).

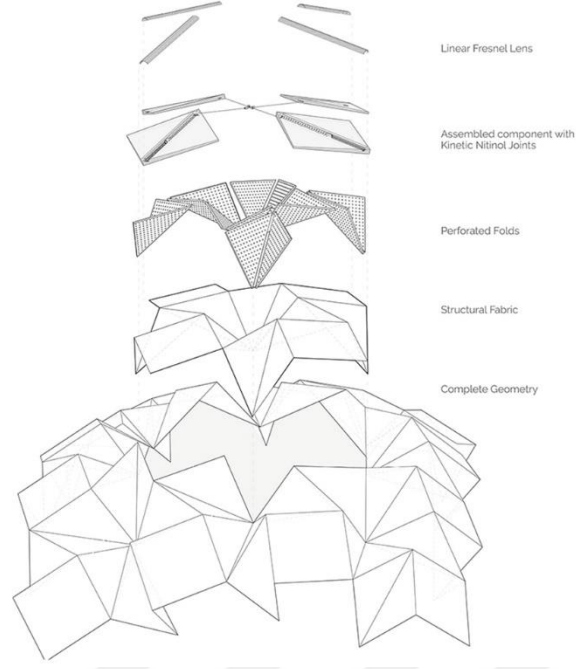


Şekil 2.76. SmartScreen Açık ve Kapalı Pozisyonlar (Ürkmez, 2019)

❖ SELF Adaptive Membrane Projesi

2015 yılında N. Gonzalez ve S. More tarafından geliştirilen kendinden uyarlamalı SELF Adaptive Membrane, aktif performans ile pasif mimarlık stratejileri arasındaki boşluğu birleştiren, aynı zamanda sürdürülebilir bir geleceği şekillendirmek için geliştirilmiş yeni bir uyarlanabilir sistemdir (Şekil 2.77). Güneş ışınımına karşı cephe geometrisini değiştirebilen pasif bir sistem geliştirmek projenin ana amacıdır. Sistemde, elektrik ile aktive edilen ŞHA Nitinol, çinko ile kullanılarak pasif bir kinetik motor sistemi geliştirilmiştir. Çinko yayının dış kuvveti Nitinol'u kısaltır ve genişletir. 2 cm'lik Nitinol yaylar içeren kinetik 16 Nitinol eklemlerli dört eklem kümesi eş zamanlı olarak modeli yeniden şekillendirir. Katlanır mozaik geometri içinde eklemler, sadece hacmi genişletmekle kalmaz, aynı zamanda yüzey alanını da genişletir. Sistem; hafif, yükleri eşit şekilde aktaracak ve diğer elemanlara birleşim ihtiyacını en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır (Ergin ve Girgin, 2019).





Şekil 2.77. SELF Adaptive Membrane Çalışma Şeması ve Görselleri (URL-14).

2.2.5.4. Pnömatik Sisteme Sahip Binalar

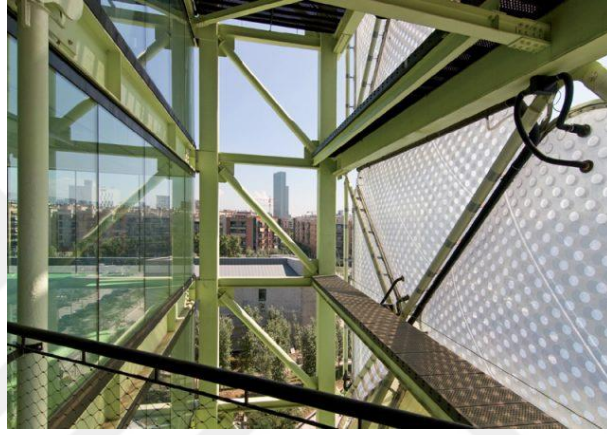
Bu katagorideki kinetik cephelerde hareket sıkıştırılmış hava basıncı ile gerçekleştirilmektedir.

❖ Media-TIC

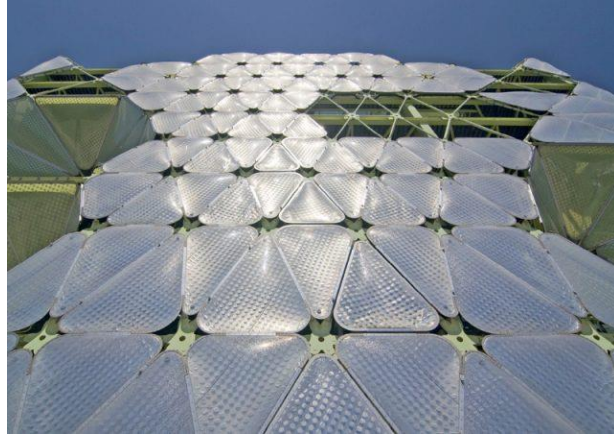
Media-TIC binasının kinetik cephesi, üç katmandan oluşan üçgen modüllerden oluşmaktadır (Şekil 2.78). EFTE ile kaplı cephedeki bu modüller güneş ışığı sonucu ısınmakta ve ısınmaya bağlı olarak modüllerin içerisindeki hava basıncının artmasıyla modüller şişerek opak bir hal almaktadırlar. Böylece iç mekânda ısı ve ışığı kontrol edebilmektedir. Kinetik cephe bina enerji tüketimine %20 oranında katkı sağlamanın yanında, karbon emisyonunu da %55 azaltarak binanın ekolojik ve enerjik performansını artırmaktadır. Ayrıca %80 oranında binaya etkileyen radyasyonu da engelleyerek binanın gereksiz ısı kazanımının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Ayrıca mekanik sistem gerektirmediği için herhangi bir elektrik enerjisine ihtiyaç duymadan iç mekân konfor seviyesini artırmaktadır (Maden, 2022) (Şekil 2.79-2.80).



Şekil 2.78. Media-TIC Binası (URL-30).



Şekil 2.79. Hareketli yapı elemanlarının detay görünüşü (URL-30).



Şekil 2.80. Hareketli yapı elemanlarının yakından görünüşü (URL-30).

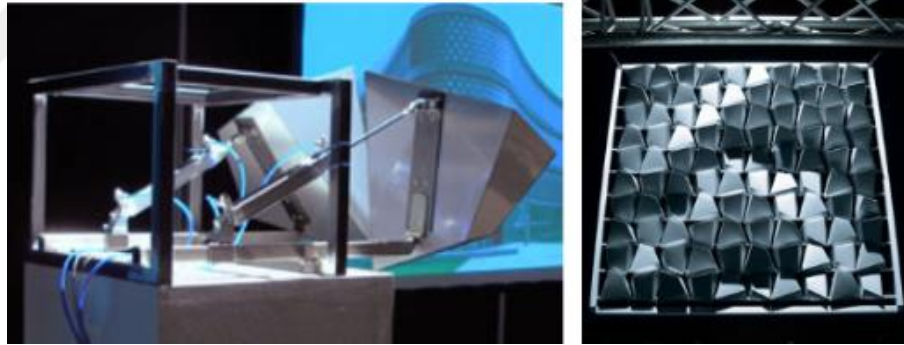
❖ Flare

Whitevoid tarafından üretilen Flare binasının cephesi yüzlerce prizmatik modüllerden oluşan karmaşık bir sisteme sahiptir (Şekil 2.81). Hareket bilgisayar kontrolündeki pnömatik pistonlar yardımıyla sağlanmaktadır (Şekil 2.82). Modüllerin

birbirinden bağımsız olarak farklı yönlere doğru hareket etmesinden dolayı ışık ve havanın iç mekâna girişi de farklı doğrultularda olmaktadır. Diğer cephe tasarımlarına göre hareketin esnekliği bakımından dinamik bir çözüm sunsa da prizmaların birbirine çok yakın olması ışık ve hava girişini sınırlandırmaktadır (Maden, 2022). Fakat kullanılan metal malzemenin ışığı yansıtmasıyla oluşan ışık ve gölge oyunları cepheye ayrı bir dinamiklik katmaktadır (Üstündağ, 2009).



Şekil 2.81. Flare Cephe Sistemi (URL-31)



Şekil 2.82. Flare Cephe Sistemi Detay Görünüş (Üstündağ, 2009)

2.3. Akıllı Kinetik Cephe Sistemleri

Günümüz bilgisayar teknolojisinin verdiği imkanlar doğrultusunda, hareketsiz, bir kerelik ve uyum sağlayabilme duyarlılığına sahip olmayan mimariye göre eşsiz akıllı kinetik cephe sistemleri geliştirilmektedir (Gönenç, 2004). Kinetik cephe sistemlerinde, hareketli bileşenlerin birçoğunun uygulamasında, Fox'un yöntemler olarak isimlendirdiği pnömatik sistemler kullanılmaktadır. Ayrıca birçok mekanik sistemi içinde barındıran robot teknolojilerinden de yararlanılmaktadır. Bazı kinetik cephe sistemleri, motor, insan enerjisi veya aktüatör gibi herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymaksızın hareketi sağlayabiliyorken, aktüatör, algılayıcı ve yazılım teknolojilerinin hepsini birden kullanan

sistemler de bulunmaktadır. Sistem kontrolü için bilgisayar devreye girer ve hareketin kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillenmesini sağlar. Gömülü sistem ve bilgisayardan kontrol imkânı ile hareket daha verimli şekilde sağlanabilmektedir (Bozkurt, 2010). Bilgisayar teknolojisi ile fonksiyonel çevreden gelen uyarı ve girdiler bilgisayar sistemi tarafından yorumlanır, değişen koşul ve ihtiyaçlara en uygun şekilde uyum sağlayabilmek için motor-kontrollü hareketleri yönlendirme imkânı doğar. Akıllı kinetik cephe sistemleri, yapısal mühendislik, sensör teknolojisi ve kolayca uyum sağlayabilen mimari faktörlerinin isomorfik birleşiminden doğmakta ve günümüzün sürekli değişen ihtiyaçlarına uyum sağlamaktadır. Bu sistemler ile mevcut bir nesne gerektiğinde var olmakta, ihtiyaç olmadığında ortadan kaybolmakta ya da şekil değiştirebilmektedir. (Gönenç, 2004). Yapıyı ya da bir yapı elemanını kontrol etme imkânı sağlayan kinetik tiyolojilerin ‘akıllı’ olma durumu günümüzde çevreye duyarlı, sürdürülebilir tasarımlarda öne çıkan yaklaşım haline gelmiştir. Bir sistemin mimaride akıllı olarak nitelendirilebilmesi için bazı kriterler mevcuttur. Bunlar;

- Bilgi toplayıcısı olarak girdi sistemine sahip olma
- Hesaplama ve bilgi analizi yapabilme
- İstekten gelen girdi doğrultusunda tepki gösterebilme
- İhtiyaç duyulan zamanda istenileni gerçekleştirebilme
- Öğrenme yeteneğidir.

Bu doğrultuda bir sistemin akıllı olabilmesi için mutlaka çeşitli yollarla bilgi toplaması gerekmektedir. Sistemler beş farklı yolla bilgi toplama işini gerçekleştirebilmektedir: gerçek zamanlı sensörlerle, dahili yedekleme ve onarım bilgileriyle, manuel girilen bilgilerle (programlama) ve internete bağlanarak (Bostancı, 2006).

2.3.1. Sensör Teknolojisi- Gömülü Hesaplama

Sensör Teknolojisi- Gömülü Hesaplama çalışma alanı, bilgisayar destekli bir kontrol mekanizması ile çevredeki değişimlere duyarlı kalarak, kinetik nesnelere kontrol eden sensör teknolojisini tanımlamaktadır. Sistem enerji tasarrufu, kullanıcı konforu vb. faktörlere karşı en iyi uyumu sağlayabilmek amacıyla çevreden gelen verileri analiz ederek sonuçlara göre motor-kontrollü hareketleri yönlendirmektedir (Gönenç, 2004).

2.3.2. Kontrol Mekanizmaları

Kinetik kavramı, objelerin hareket ettirilebilen mekanik parçalarının uygulamaları şeklinde de tanımlanabilir. Kinetik mimarlıkta dahili, harici ve kompozit olmak üzere üç

ana kontrol mekanizması bulunmaktadır. Dahili kontrol, açılır-kapanır sistemler gibi sistem bölümlerini çeşitlendirebilecek küçük parçalara ayrılmasıyla kontrol edilen mekanizmalardır. Harici kontrol ise, takılıp sökülebilen bölme duvarlar gibi sistemin ya kendiliğinden ya da dışarıdan başka bir kaynağın güç uygulamasıyla hareket etme mekanizmasıdır. Kompozit kontrolde dahili ve harici kontrol mekanizmaları beraber çalışarak sistemin hem formunun farklılaşmasını hem de kütleli olarak hareket edebilme yeteneği kazandırmasını sağlamak mümkündür. Bu kontrol mekanizmaları geleneksel olarak çalışabildiği gibi akıllı mekanizmalar olarak da çalışabilmektedir. Sistemlerin akıllı olma durum ve dereceleri bu kontrol sınıflandırması içindeki pozisyonlarına göre şekillenmektedir (Bostancı, 2006).

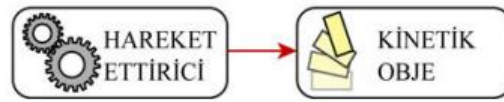
2.3.3. Kontrollü Hareketlerin Çeşitleri

Mimarideki kinetik hareketi kontrol çeşitleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır;

- Direkt Kontrol
- Dolaylı Kontrol
- Duyarlı Dolaylı Kontrol
- Aynı Anda Her Yerde Olan Duyarlı Dolaylı Kontrol
- Kendi Kendine Öğrenebilen Duyarlı Dolaylı Kontrol

2.3.3.1. Direkt Kontrol

Elektrik motoru ya da insan gücü bir tür hareket enerjisinden oluşan ve doğrudan gelen bir kaynak sonucu kontrolün ve buna bağlı hareketin oluşmasıdır. Çatıda bulunan ışıklığın motor ya da insan gücüyle doğrudan açılıp kapanması örnek verilebilir (Bostancı, 2006) (Şekil 2.83).

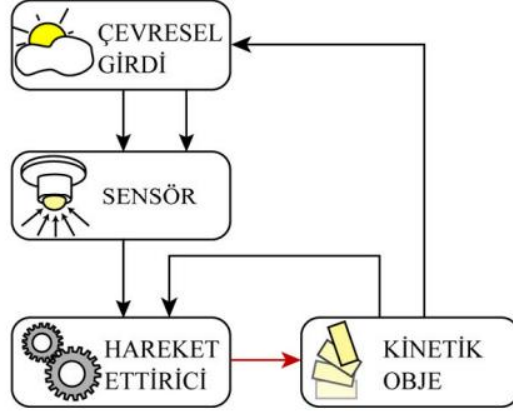


Şekil 2.83. Doğrudan Kontrol Şematik Gösterimi (Bostancı, 2006).

2.3.3.2. Dolaylı Kontrol

Dolaylı kontrolde çevresel özellikleri girdi olarak kabul eden bir sistem ve hareketin bu girdiye bağlı olarak gerçekleşmesi söz konusudur. Girdi elemanının gönderdiği talimatlar neticesinde kinetik obje eylemini gerçekleştirmektedir. Harekete

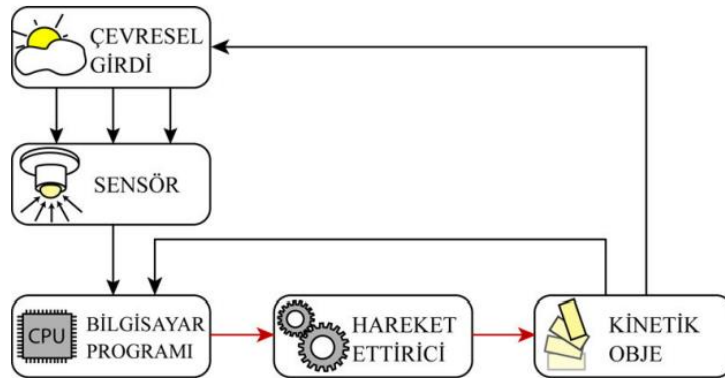
bağlı olarak sensörlerin aktif olmasıyla yanan kat ışıkları örnek olarak gösterilebilir (Bostancı, 2006) (Şekil 2.84).



Şekil 2.84. Dolaylı Kontrol Şematik Gösterimi (Bostancı, 2006).

2.3.3.3. Duyarlı Dolaylı Kontrol

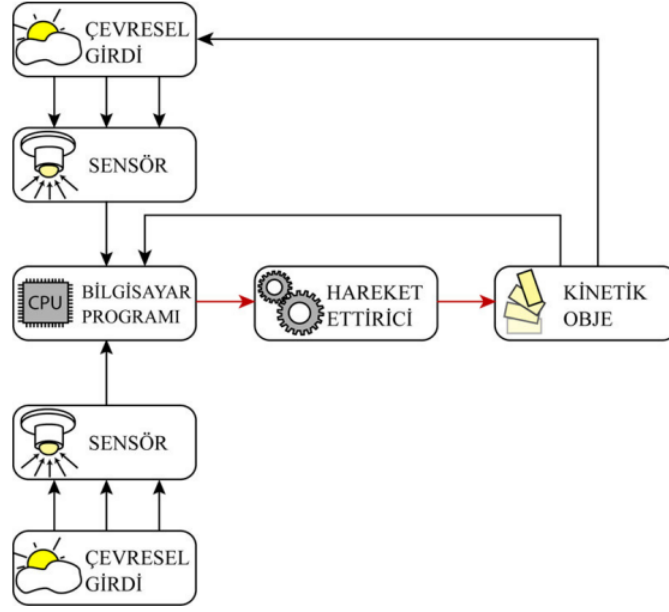
Duyarlı dolaylı kontrolde, duyarlı kontrole ek olarak bir işlemci sistemine ihtiyaç duyulur. Bu işlemci sistemi ile girdiden elde edilen bilgi analiz edilerek hareket kararına dönüştürülür. Tıpkı sensörler veya programlanmış sistemler gibi araçların iletileri işlenerek hareket ettirici aracılığıyla kinetik yapı elemanında hesaplanmış hareket elde edilir (Bostancı, 2006) (Şekil 2.85).



Şekil 2.85. Duyarlı Dolaylı Kontrol Şematik Gösterimi (Bostancı, 2006).

2.3.3.4. Çoklu Duyarlı Dolaylı Kontrol

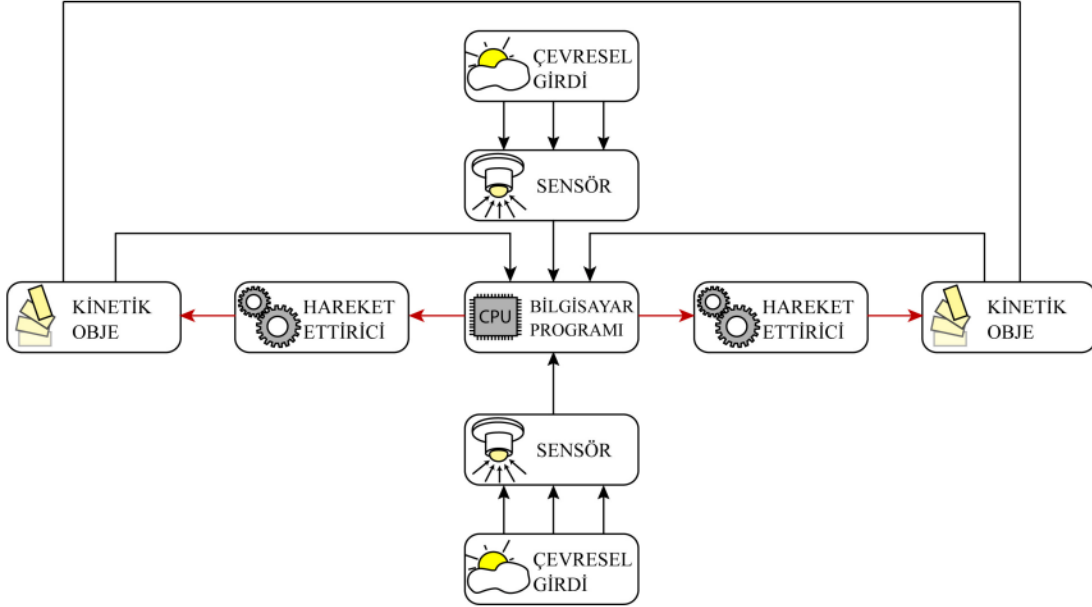
Bu kontrol sisteminde birden fazla girdi aracı bulunmakta olup hareket sensör sistemleri tarafından optimum kararın verilmesiyle gerçekleşmektedir (Şekil 2.86).



Şekil 2.86. Çoklu Duyarlı Dolaylı Kontrol Şematik Gösterimi (Bostancı, 2006).

2.3.3.5. Aynı Anda Her Yerde Olan Duyarlı Dolaylı Kontrol

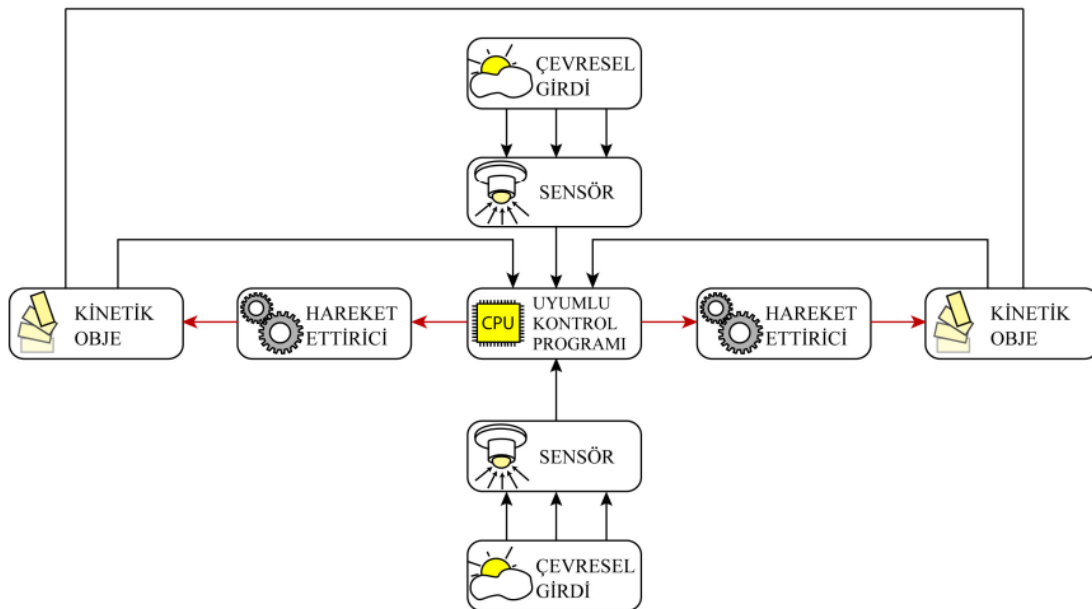
Bu kontrol biçiminde birçok bağımsız sensör ve erişim düzeneğinin beraber çalışması söz konusudur. Analiz edilen sensör girdisinin hareket mekanizmasındaki yansımaları hareketin gerçekleşmesini sağlar. Bu sistemde kendi kendini yöneten sensör-motor çiftleri bir ağ bütünü şeklinde çalışır ve uyum sağlayabilen, geri beslemeli, önceden tahmin edilebilen kontrol algoritması ile hareket gerçekleştirilir (Bostancı, 2006) (Şekil 2.87).



Şekil 2.87. Aynı Anda Her Yerde Olan Duyarlı Dolaylı Kontrol Şematik Gösterimi (Bostancı, 2006)

2.3.3.6. Kendi Kendine Öğrenebilen Duyarlı Dolaylı Kontrol

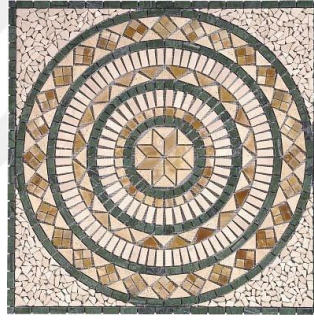
Bu kontrol biçiminde sistem öğrenme yeteneğiyle koordineli bir şekilde çalışır ve öğrendiği bilgilerden elde ettiği tecrübeyle kendini daha iyi sonuçlara ulaştırmak için çalışır (Bostancı, 2006) (Şekil 2.88).



Şekil 2.88. Kendi Kendine Öğrenebilen Duyarlı Dolaylı Kontrol Şematik Gösterimi (Bostancı, 2006)

2.4. Tesselasyon

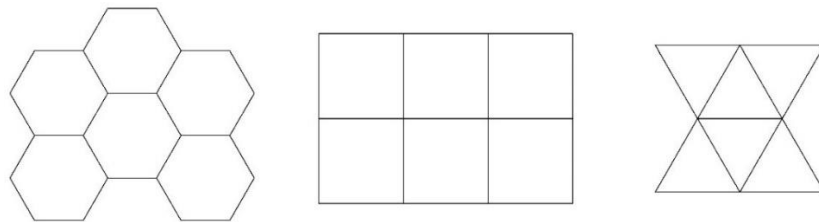
Matematiksel bir tekniği ifade eden mozaikleştirme kavramı, herhangi bir boşluk veya örtüşme olmadan bir düzlemi geometrilerle kaplamak için kullanılan bir ifadedir (Matinpour, 2019) (Şekil 2.89). Mozaik kelimesi köken olarak tessella'dan gelmektedir. Latince'de tessella kelimesi, mozaik yapımında kullanılan küçük küp ve kare şeklindeki taş, kil veya cam parçası anlamına gelmektedir. Tessella kelimesi Yunanca'da ise 'dört' anlamını ifade eden tessera kelimesinden türemiştir (Bayar, 2020). Tesselasyon tekniğine, mühendislik, sanat ve antik dönemden itibaren en çok kullanım alanına sahip olan mimarlık dalında rastlanılmaktadır (Gazi ve Korkmaz, 2015). Tesselasyonun mimarideki uygulama alanı bir zemin, duvar, tavan olabileceği gibi cephelerde de olabilmektedir. Tesselasyonlar biçimsel olarak düzenli tesselasyonlar, yarı düzenli tesselasyonlar ve demi-düzenli tesselasyonlar olmak üzere sınıflandırılır (Matinpour, 2019).



Şekil 2.89. Mozaikleştirme Örneği (URL-17)

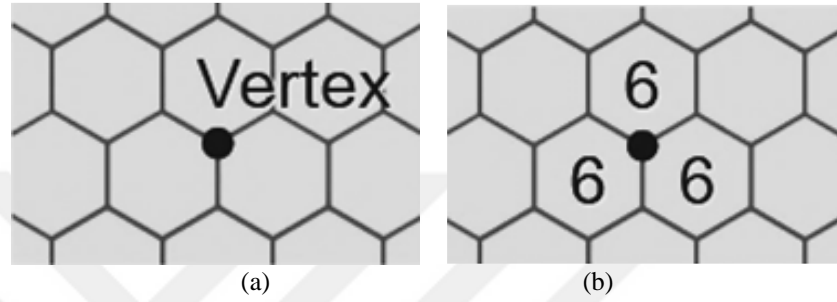
❖ Düzenli Tesselasyon

Düzgün bir çokgenin tekrarı sonucu oluşan tesselasyonlara düzenli tesselasyon denilmektedir. Düzenli tesselasyonlardan bazıları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Matinpour, 2019) (Şekil 2.90). Düzenli tesselasyonlar üçgen, kare ve altıgen olmak üzere sadece üç çeşittir.



Şekil 2.90. Düzenli tesselasyonlar (Bayar, 2020)

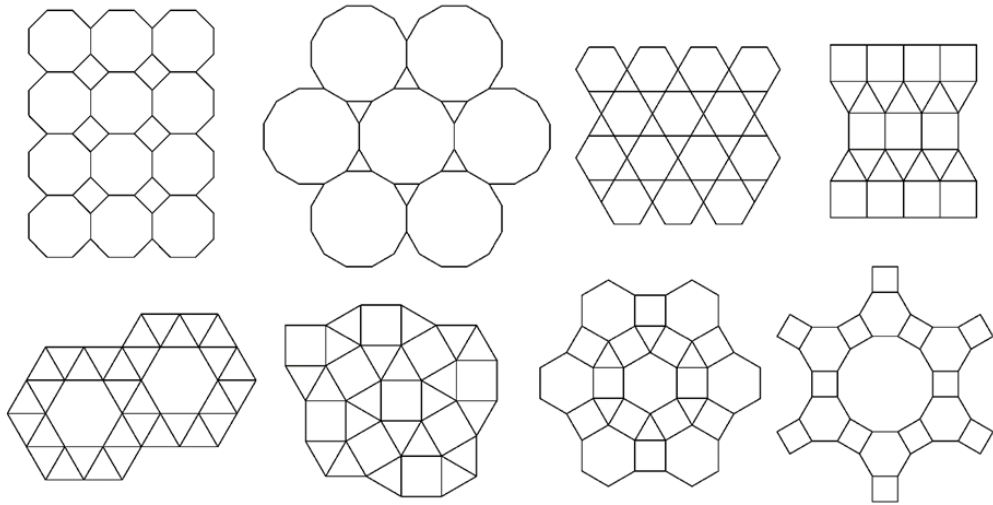
Tepe noktası, tessellasyonların en önemli bölümüdür. Çokgende her bir köşe noktası bir tepe noktasını ifade etmektedir. Tepeler, tessellasyonda hangi çokgenlerin bir araya geldiğini belirtmektedir (Şekil 2.91). Örnek olarak aşağıdaki şekilde verilen altıgenlerden oluşmuş tessellasyonda, altıgenin bir noktasında üç tane altıgen bulunmuştur. Tessellasyonların isimlendirilmesinde de bu tepelerden yararlanır. Yine aşağıdaki örnekten hareketle altıgenin altı tarafı bulunmakta olup bir tepede de üç altıgen bulunmasından dolayı, '6,6.6' veya (6,3) tessellasyon şeklinde isimlendirilmektedir.



Şekil 2.91. (a) Tessellasyonlarda tepe; (b) Tessellasyonların isimlendirmesi (Matinpour, 2019)

❖ Yarı Düzenli Tessellasyon

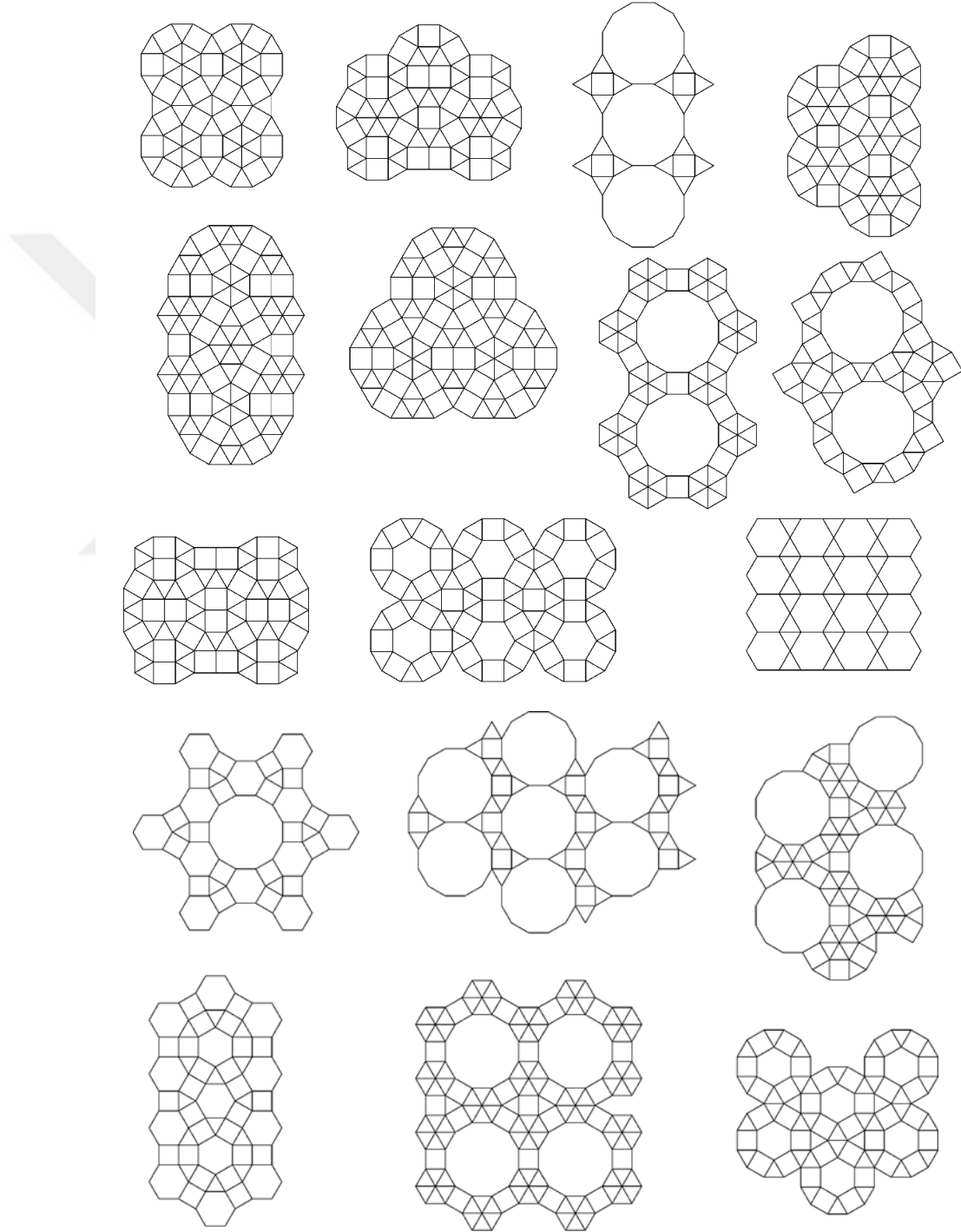
Bu tessellasyonda, her tepe noktası çevresinde 360 derece oluşturmak amacıyla bir çokgenin bir kenarını paylaştığı iki ya da daha fazla özdeş çokgen söz konusudur. Sekiz tane yarı düzenli tessellasyon bulunmakta olup bu sekiz tessellasyona Arşimet mozaikleri de denilmektedir (Bayar, 2020) (Şekil 2.92).



Şekil 2.92. Yarı düzenli tessellasyonlar (Bayar, 2020)

❖ Demi- Düzenli Tesselasyon

Bu tesselasyon için literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, demi-düzenli tesselasyonun, düzenli ve yarı düzenli tesselasyonların birleşiminden oluştuğu yönündedir. Diğer yaklaşım ise birden fazla geçişlilik sınıfı köşesine sahip olan tesselasyon olduğuna yönündedir. Demi-düzenli tesselasyon örnekleri 17 adettir (Bayar, 2020) (Şekil 2.93).

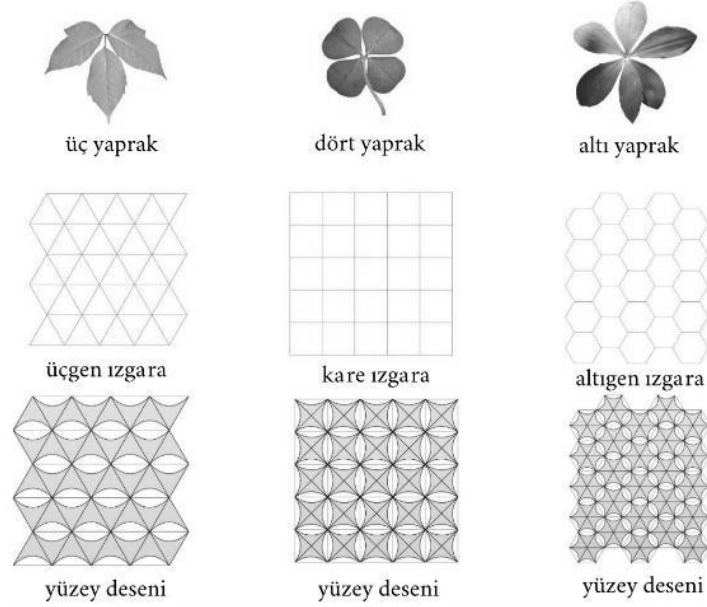


Şekil 2.93. Demi düzenli tesselasyonlar (Bayar, 2020)

Tesselsasyonların biçimsel olarak çıkış noktası doğadaki biçimlerdir. Geçmişten günümüze insanlar tasarımlarında hep doğadaki oluşumları taklit etmişlerdir. Doğadaki biçimlerin geometrisini ve düzenini hep irdelemişlerdir. Özellikle bitkilerin iklimsel değişimler karşısındaki davranışları ve geometrileri tasarımcılara ilham kaynağı olmuştur. Doğada bulunan bazı canlılar ve özellikle bitkiler tesselsasyonların desteğiyle çevreleriyle kontrol sağlayacak bir harmoni oluşturmuşlardır. Böylelikle yaşamları için gerekli enerjiyi çevrelerinden karşılayarak, bünyelerindeki atıkları uzaklaştırmışlardır (Matinpour, 2019).

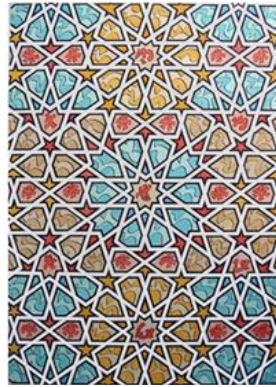
Canlıların çevreye uyum sağlayabilmesi açısından gösterdikleri fizyolojik özelliklerinden bazılarını çalışmanın kinetik mimari kısmında kısaca değinilmişti. Canlıların özellikle bitkilerin fizyolojik özelliklerinin yanı sıra morfolojik özellikleri de mimari biçimlendirme açısından ilham kaynağı olabilmektedir. Bu konuda Atawula'nın 2016 yılında yapmış olduğu bir çalışmada yapı modülünün biçimi için bitki yapraklarını düzenlenmiştir. Çalışmada biçimsel arayışta çevresel koşullar ve gerekli güneşiğine bağlı olarak farklı biçimsel örnekler ortaya çıkmıştır (Matinpour, 2019). Atawula: '*Doğada bitkiler üç yapraklı, dört yapraklı veya altı yapraklı biçimde bulunur. Burada, yaprakların desenleri analiz edilerek farklı desenler ortaya çıkması sağlanmıştır. Bu modellere bağlı olarak, üçgen ızgara, dikdörtgen ızgara ve altıgen ızgara ile yüzey tesselsasyonları oluşturulabilir*⁵' Mimari yüzeylerde bu tesselsasyonları aktif etmek için, yaprakların farklı çevresel girdilere karşı nasıl tepki oluşturdukları gözlenerek bu gözlemlerden esinlenilebilir (Matinpour, 2019) (Şekil 2.94).

⁵ Atawula, A., 2016, Bioinspired Kinetic Architecture and Adaptive. Master Thesis, Yıldız Thechnical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul, 50-51.



Şekil 2.94. Bitki yapraklarından esinlenilen biçimler (Matinpour, 2019)

Mimarların yüzyıllardır uğraş alanlarında biri bina yüzeylerini tasarlamaktır. Atawula'nın çalışmasında da görüldüğü gibi doğadaki oluşumlar yüzey tasarımlarında esin kaynağı olabilmektedir. Tesselasyon diğer adıyla mozaikleme olan matematiksel teknikten bina yüzeylerinde faydalanılmaktadır. Tesselasyon evlerin, yolların ve kalelerin yüzeylerini kaplamak için veya sanatsal eserlerde süsleme tekniği olarak kullanılabilir. Dünyadaki birçok uygarlıkta da kullanım alanı bulan tesselasyon sanatının kullanımı süslemelere verilen önemin artmasıyla artış göstermiştir. En çok kullanım alanını ise islam mimarisinde bulmuştur (Bayar, 2020) (Şekil 2.95).



Şekil 2.95. İslam mimarisinde tesselasyona örnek (Bayar, 2020)

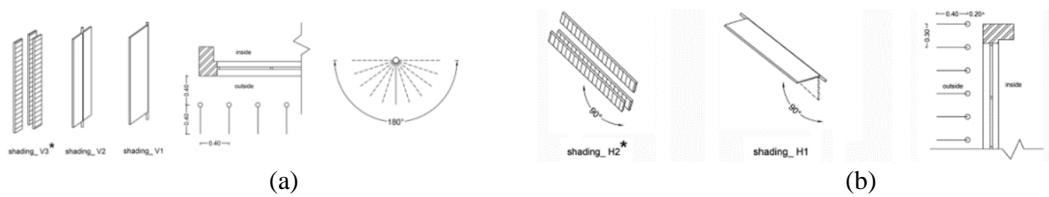
Günümüzde inşaat teknolojisinin gelişmesi, malzeme alanında yenilikçi keşifler, elektronik sistemlerdeki ilerlemeler ile tesselasyon tekniği yalnızca düzlemsel yüzeylerde

uygulanmakla kalmayıp karmaşık ve üç boyutlu şekiller üzerinde de uygulanmaya başlanmıştır (Bayar, 2020). Çalışma kapsamında gösterilen kinetik cepheye sahip binalardan örnekler kısmında karmaşık tesselsasyonun binalardaki uygulamalarına çok sayıda örnek verilmiştir. Sonuç olarak kinetik cephelerde genel olarak tesselsasyon tekniği karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi ise tesselsasyon tekniğinde aralarında boşluk bırakmadan düzlemin geometrilere bölünmesi, kinetik cephe sistemlerinin daha verimli çalışabilmesini ve başarılı sonuç vermesini sağlamasıdır. Bu tez kapsamında da daha verimli sonuç elde etmek amacıyla kinetik cephenin oluşturulmasında tesselsasyon tekniği tercih edilmiştir.

2.5. Konuyla İlgili Çalışmalar

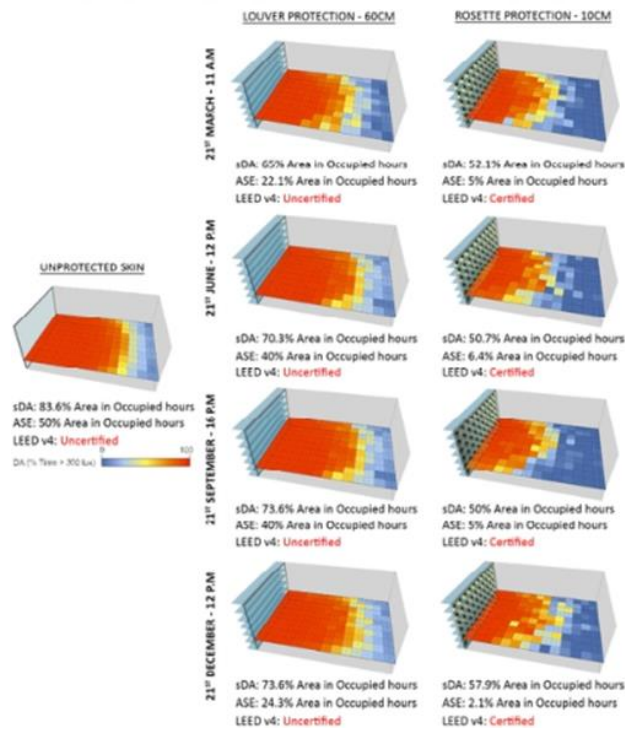
Çalışmada öncelikle, parametrik tasarım kavramı, kinetik mimari kavramı, akıllı kinetik cephe sistemleri ve tesselsasyon tekniği üzerine literatürde bulunan bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde ise parametrik tasarım araçlarından Grasshopper'ı kullanarak enerji, güneş ışığı ve parlama performansını değerlendirmeye yönelik son beş yılda literatürde ne tür çalışmalar yapılmış ve nasıl sonuçlar elde etmişler karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir.

Valitabar ve diğ. (2018) makalesinde, sanal bir formatta duyarlı cephelerin karşılaştırmalı bir çalışmasını sunmayı amaçlamıştır. Görsel konforun modellenmesi ve değerlendirilmesi ve 3D modelde enerji tüketiminin hesaplanmasını amaçlamaktadır. Optimum duyarlı cepheyi elde etmek için toplamda beş farklı dikey ve yatay duyarlı cepheler yeni bir formla karşılaştırılmıştır (Şekil 2.96). Bu form, her pozisyonda yeterli gün ışığı alma potansiyeline sahiptir. Ayrıca gölgeleme elamanlarının arasında boşluk olması gün boyunca bina sakinlerinin dış mekânla bağlantısının kopmamasını sağlar. Araştırmanın sonuçları, ikincil kaplamada birkaç değişiklikle yeni konseptin, daha yüksek düzeyde görsel konfor sağlarken, duyarlı cephelerin enerji kullanımını azaltabileceğini göstermektedir (Valitabar ve diğ., 2018).



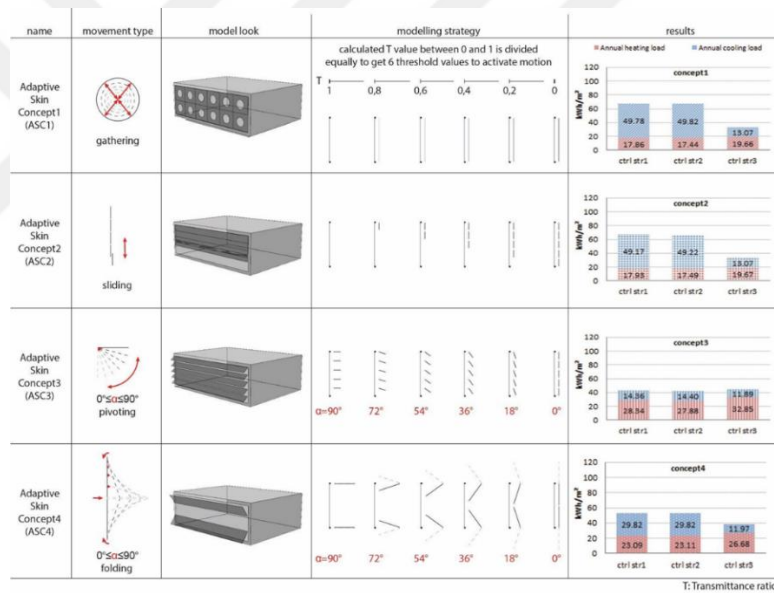
Şekil 2.96. (a) Dikey gölgelemenin ayrıntıları (b) Yatay gölgelemenin ayrıntıları (Valitabar ve diğ., 2018)

Tabadkani ve diğ. makalesinde, Tahran'da bulunan ve tek güney cepheye sahip bir ofis biriminin güneşliği ve görsel konfor performansını değerlendirmek amacıyla tasarlanan uyarlanabilir cephe sistemin parametrik analizini ve değerlendirmesini konu edinmiştir. Yıllık güneşliği ölçümlerini ve iç mekân parlama rahatsızlığını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. DIVA güneşliği eklentisini kullanarak islami yıldız desenleri veya diğer adıyla rozet olarak bilinen modüller ve panjurlar olmak üzere iki geometrik cephe sistemi modellemiştir. Cepheye olan mesafe, farklı zamanlar, geçirgenlik özellikleri, renkler vb. çeşitli değişkenler dikkate alınarak toplamda 6480 tasarım varyantı oluşturulmuştur. Sonuç olarak, rozet desenlerinin döndürülmesi, yatay panjurlar kurularak doğrudan güneş ışığına maruz kalmayı engellerken, iç mekân aydınlatmasının dağıtılması üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu görülmüştür (Şekil 2.97). Ayrıca LEEDv4 standartlarına göre görsel konfor gereksinimlerini karşılamak için plastik ve metal malzemelerin desen konfigürasyonlarının en iyi kombinasyonu sağladığı sonucuna varılmıştır. Görsel rahatsızlık yıllık güneşliğine maruz kalma değeri (ASE) %10 oranında azalırken, ofis biriminde kamaşma ortadan kalkmıştır. Son olarak mekânsal güneşliği özerkliğinde (sDA) artış gözlenmiş ve dinamik cephelerin statik cephelere kıyasla daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır (Tabadkani ve diğ., 2018).



Şekil 2.97. Gölgeleme elemanı olmadan, panjur ve rozet modülleri varken güneşliği performansı (Tabadkani ve diğ., 2018)

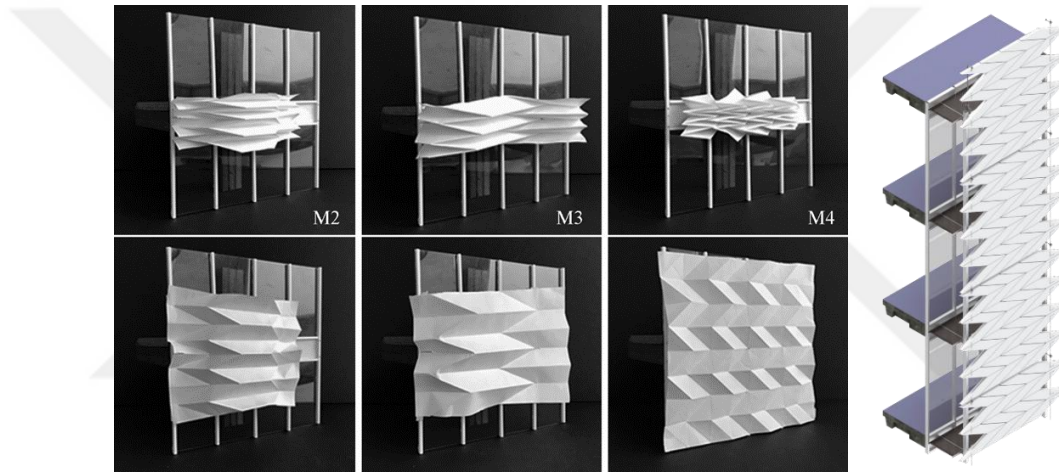
Baş yüksek lisans tez çalışmasında, İstanbul'da yüksek katlı bir ofis binası için uyarlanabilir bir kabuğun enerji tasarrufu potansiyelini araştırmayı amaçlamıştır. Daha sonra, örnek teşkil eden bir ofis binasına uyacak şekilde enerji tasarruflu, uyarlanabilir bir kabuk konseptinin detaylandırılarak enerji tasarruf performansını incelenmesi amaçlanmaktadır. Son olarak detaylandırılan uyarlanabilir kabuk sistemin elemanları, sistem detayları ve mevcut bir ofis binası ile bağlantısının önerilmesi amaçlanmaktadır. İlk olarak İstanbul'da yüksek katlı bir ofis binası için en uygun ve enerji açısından verimli olan uyarlanabilir bina kabuğu konseptini bulmak için bir dizi simülasyon yapılmıştır. Farklı hareket tipine sahip dört uyarlanabilir kabuk konsepti üretilmiştir (Şekil 2.98). Sonuçlar yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi talepleri bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her bir uyarlanabilir kabuk konsepti, temel üniteye kıyasla ısıtma ve soğutma yüklerinde önemli bir düşüş göstermiştir (Baş, 2019).



Şekil 2.98. Tüm adaptif gölgeleme sistemlerinin gösterimi (Baş, 2019)

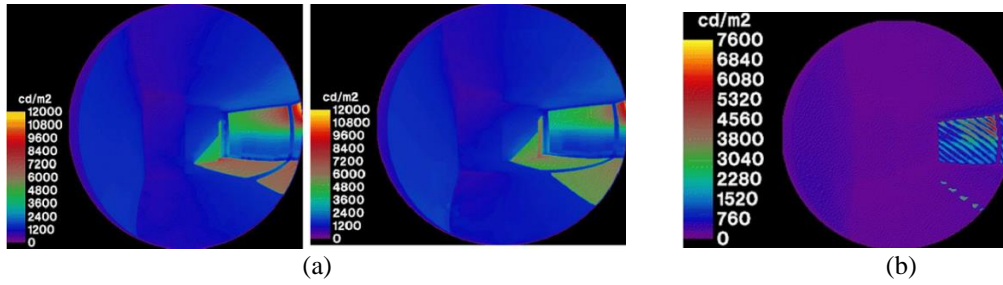
Katlanabilir hareket tipine sahip uyarlanabilir kabuk konsepti, diğerleri arasında en iyi sonucu veren konsept olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın son aşaması, en iyi performans gösteren uyarlanabilir bina kabuğunu örnek bir yüksek katlı ofis binasına uyacak şekilde detaylandırarak bir öneri oluşturmaktır. Simülasyon sonuçlarında en düşük enerji tüketimine sahip katlanan uyarlanabilir kabuk konseptinin prensiplerine dayanarak, origami desenlerinden ilham alınarak katlanan uyarlanabilir bir bina kabuğu birimi geliştirilmiştir. Miura-ori modeli, sadece bir noktadan katlanabilme kolaylığı sağlaması ve desenin parametrelerini değiştirerek sonsuz sayıda desen oluşturma imkânı

vermesi nedeniyle uyarlanabilir bina kabuğunun katlama modelinin tasarımı için kullanılmıştır (Şekil 2.99). Miura-ori desenine dayanarak tasarlanan uyarlanabilir bina kabuğu, enerji performansını incelemek için uyarlanabilir kabuk konseptlerinde kullanılan modelleme stratejisi ile simülasyon programına tanıtılmıştır. Miura-ori desenine dayanarak detaylandırılan uyarlanabilir kabuk sistemi ile katlanan kabuk konseptinin simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. İstanbul'da yüksek katlı ofis binaları için üretilen adaptif bina kabuğu konseptleri, yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji taleplerinde %21,2 ile %61,87 arasında azalmaya neden olabilmektedir. Önerilen adaptif bina kabuğu ise yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi talebinde katlanabilir adaptif bina kabuğuna kıyasla %7,16 oranında düşüşe neden olmaktadır (Baş, 2019).



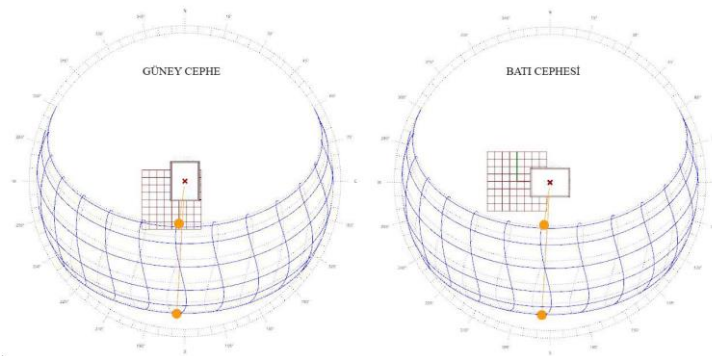
Şekil 2.99. 1/20 ölçekli mevcut cephe modeli ile önerilen adaptif gölgeleme sistemi (Baş, 2019)

Yavuzarslan, yüksek lisans tez çalışmasında, İzmir'de bulunan cam cepheli yüksek katlı bir ofis binasının cephesine gölgeleme cihazı uygulayarak, ısıl konforunun yanı sıra enerji verimliliği açısından mevcut ve uygulanan durum arasındaki farkları incelemektedir. Çalışmada sonuç olarak cepheye uygulanmış olan gölgeleme elemanı ile elde edilen 1000 sonuç tartışılmıştır. Ofisin gölgeleme elemanı ile tasarlanması sonucu enerji noktasında %50 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 2.100). Ayrıca argon ve hava dolu özellikleri göz önünde bulundurularak dört farklı cam türünden oluşan 80 farklı sonuç incelenmiştir. Sonuç olarak argon dolgulu cam tipi hava dolu cam türüne göre toplam enerji tüketimini %20,6 oranında azaltmaktadır (Yavuzarslan, 2019).



Şekil 2.100. (a) Haftalık ve yıllık en yüksek değerler (önce) (b) Gölgeleme cihazı uygulamasından sonra yıllık değerler (Yavuzarslan, 2019)

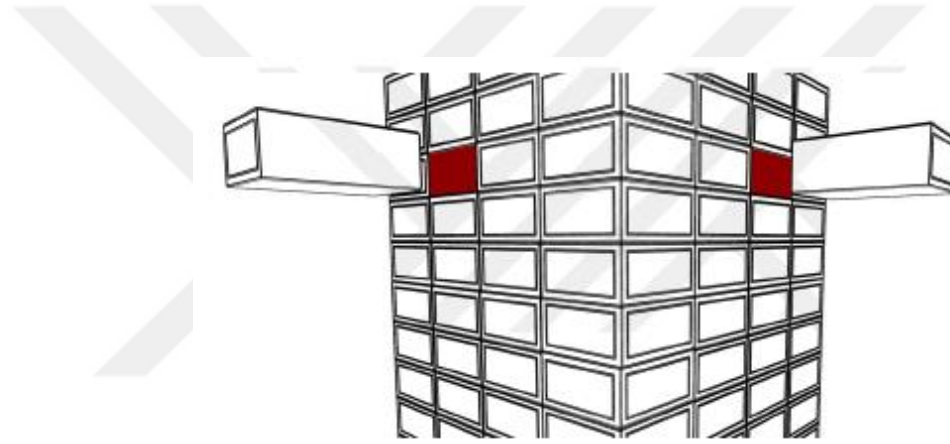
Ceylan, yüksek lisans tez çalışmasında, gelişmiş cephe sistemlerinde gün ışığı sistemlerini ve stratejilerini araştırmaktadır. Erken tasarım aşamasında cephe tasarımının iç mekân aydınlatma performansına etkisi incelenmek istenmiştir. Ankara'da tip bir ofis modülünde, güneş kontrol elemanlarının güney ve batı yönleri için gün ışığı performansını inceleyerek, her iki cephe yönü için maksimum aydınlık düzeyi ve minimum kamaşma sağlayan optimum cephe sistemini bulmayı amaçlamaktadır (Şekil 2.101). Tip ofis modülü ve güneş kontrol elemanları modelleri Rhinoceros yazılımı kullanılarak oluşturulmuş, DIVA eklentisi ile iklim etkin gün ışığı analizleri yapılmıştır. Yıllık analizler sonucunda güney ve batı yönleri için yatay gölgeleme sistemi uygun bulunmuştur. Çalışmanın sonunda her iki cephe yönü için performansı yüksek olan gölgeleme ve yönlendirme sistemleri birleştirilerek kombinasyon çalışması yapılmış ve gölgeleme sistemlerine ışık rafının etkisi değerlendirilmiştir (Ceylan 2, 2019).



Şekil 2.101. Güney ve batı cepheleri 21 Haziran ve 21 Aralık tarihleri saat 12:00 için güneş yörüngesi planı (Ceylan 2, 2019)

Öner, tez çalışmasında, farklı hareket kabiliyetlerine sahip, cepheye düşey veya yatay olarak konumlanmış uyum gösteren gölgeleme bileşen tiplerinin İstanbul iklim koşullarında görsel ve ısı performansının değerlendirmesini yapmak ve hangi tipin optimum performans sağladığını bulmak amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında referans bir

ofis odası ve uyum gösteren gölgeleme bileşenleri (UGGB) tiplerinin bütün detayları Grasshopperda modellenerek, DIVA eklentisiyle görsel ve ısıl performans analizi gerçekleştirilmiştir. İstanbul iklim koşullarında 21 Haziran günü baz alınarak, açık gökyüzü tipi olan, ‘ClearSkyWithSun’ gökyüzü modeli seçilerek, ofis çalışma saatlerinin 8.00 ile 18.00 arası olduğu varsayıp güney ve batı yönüne bakan iki ayrı ofis birimi için saatlik değerlendirme yapılmıştır (Şekil 2.102). Hem görsel performans hem de ısıl performans değerlendirildiğinde güney yönü için A2, batı yönü için B2 en iyi performansı gösteren tiptir. Sabit gölgeleme bileşenlerinde güney ve güneye yakın cepheler için yatay gölgeleme elemanlarının, doğu ve batı cepheleri için ise düşey gölgeleme elemanlarının kullanımının gösterdikleri performans bakımından daha uygun olması durumunun, UGGB için geçerli olmadığı gözlemlenmiştir (Öner, 2019).

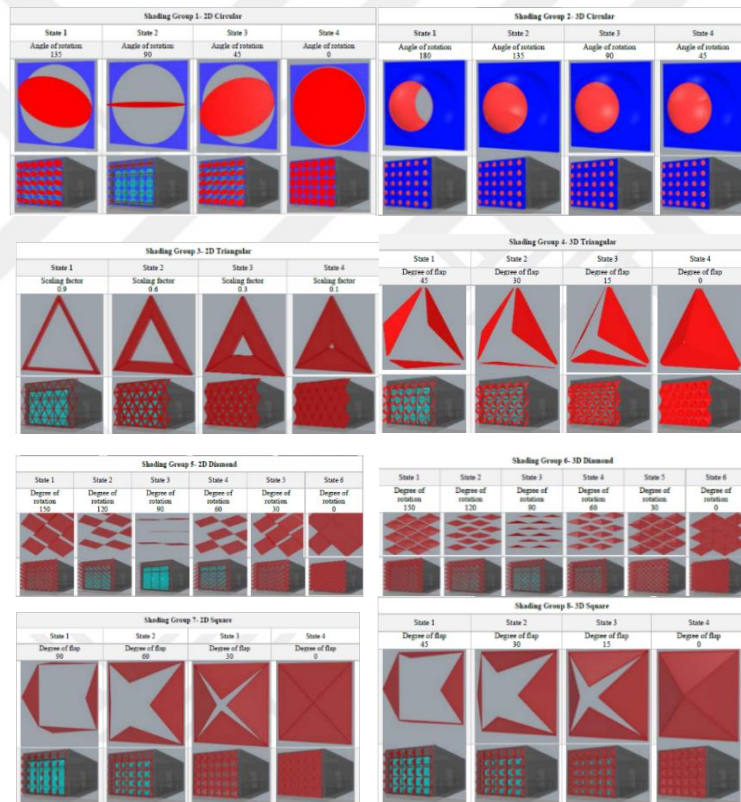


Şekil 2.102. Referans iki odanın binadaki konumu (Öner, 2019)

Bayar yüksek lisans tez çalışmasında, sürekli değişen iklimsel koşullara uyum sağlayabilecek kinetik bir cephe örneği sunmaktadır. Bu kinetik cephe örneği ile, bina içerisindeki aydınlık seviyesi ve cephedeki güneş ışınım seviyesi için ‘çok amaçlı evrimsel optimizasyon’ tekniğiyle, optimum sonuçları elde etmek amaçlanmıştır. Çalışmanın diğer bir odak noktası olan hesaplamalı optimizasyon kullanılarak daha verimli bir kinetik cephe sistemi geliştirilmiştir. Kinetik cephe, altıgenlerden oluşan düzenli tessellasyon tekniğiyle tasarlanmıştır. Önerilen kinetik cephe, binanın hangi yöne baktığına bakılmaksızın her bina tipi için uygundur. Bu kinetik cephe, iç mekân aydınlatmasının istenilen seviyede tutulmasını ve bina cephesindeki güneş radyasyonu seviyesinin büyük ölçüde azalmasını sağlamıştır (Bayar, 2020).

Musa yüksek lisans tez çalışmasında, daire, üçgen, elmas ve kare olmak üzere dört farklı uyarlanabilir cephe sistemini (UCS) iki ve üç boyutlu geometrik konfigürasyonlar

olmak üzere sınıflandırmış ve hücre tipi⁶ bir ofis binasının cephesi üzerinden simülasyon yöntemiyle güneşliği seviyeleri, görsel performans ve enerji performansını değerlendirmeye odaklanmış ve analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır (Şekil 2.103). Simülasyon sonuçlarına göre, dairesel üç boyutlu UCS hariç, diğer üç boyutlu geometriye sahip UCS'ler güneşliği açısından iki boyutlu geometriye sahip UCS'lere göre daha iyi performans göstermişlerdir. Parlama kontrolü açısından sekiz geometride etkin sonuç göstermiştir. Ayrıca her bir geometri sahip UCS'ler referans ofis binasının enerji kullanımını indirmiş ve enerji performansını artırmıştır. Nihai sonuç olarak, çalışma uyarlanabilir cephe sistemlerinin bina performansı ve kullanıcı konforu açısından önemini ve tasarım aşamasında bina performans değerlendirmelerinin önemini göstermektedir (Musa, 2021).

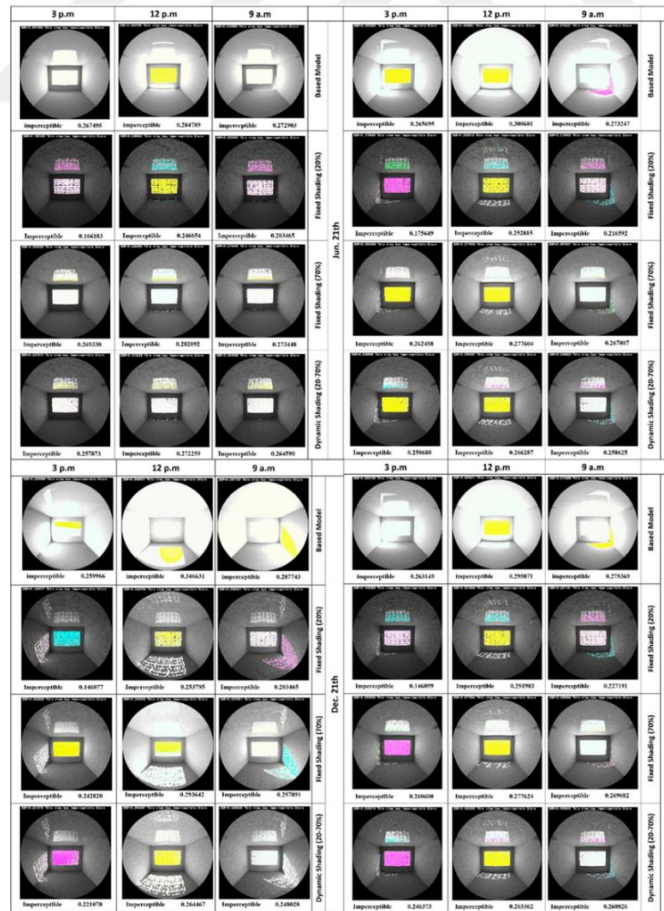


Şekil 2.103. 2D ve 3D UCS'lerin gölgelendirme kontrolü ve gölgelendirme durumları (Musa, 2021)

Bazzazzadeh ve diğ. makalesinde, enerji ve güneşliği performansı için optimum hedefler doğrultusunda ofis binaları için gölgeleme sistemleri tasarlamayı

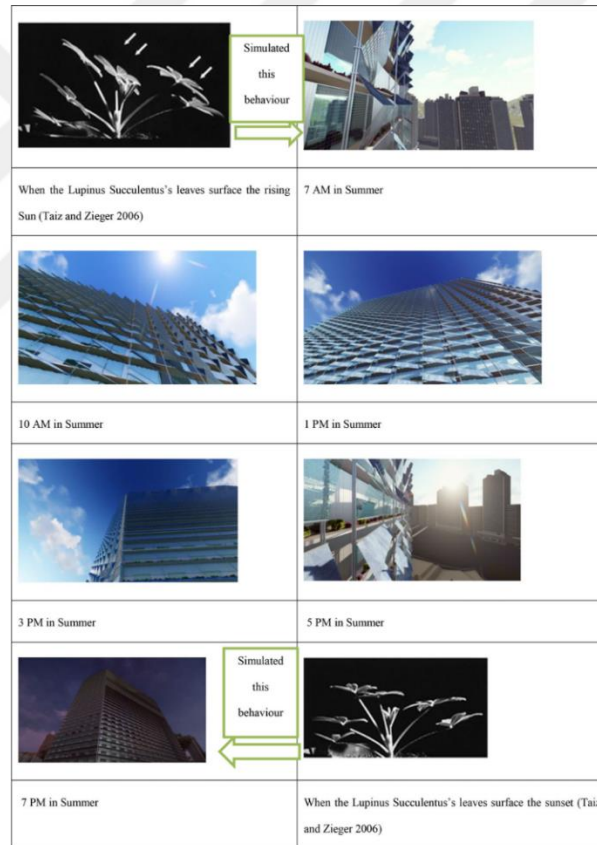
⁶ Hücre Tipi Ofis: Etkileşimin az olduğu, bireysel ve odaklanmayı gerektiren işlerin yürütüldüğü organizasyonları kapsayan ofis tipidir. İşitsel ve görsel erişimin azaldığı, mekâna ulaşımın tek bir kapı ve koridor aracılığı sağlandığı ofislerdir (Erdoğan, 2021).

hedeflemektedir. Yöntem olarak üç aşamalı bir araştırma yöntemi tercih etmiştir. Biri geleneksel İran yapılarından esinlenilmiş olmak üzere üç farklı pencere gölgesi ikisi farklı açıklıklarda olmak üzere sabit ve sonuncusu dinamik olarak modellenmiştir. Her bir seçenek yıl boyunca enerji performansı ve günışığı açısından yılın ekinoks tarihlerinde ve üç farklı saat diliminde edinilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir (Şekil 2.104). Sabit ve dinamik seçenekleri karşılaştırmak ve dinamik seçenekler arasından en iyi sonucu bulmak için çok amaçlı bir optimizasyon yoluyla analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak dinamik gölgeleme elemanlarının, sabit gölgeleme elemanlarına kıyasla enerji verimliliği, bina sakinlerinin görsel konforu ve gün ışığının verimli kullanımını açısından yaklaşık %10 daha verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada, dinamik gölgeleme elemanları yılın farklı mevsimlerinde ve farklı zamanlarında analiz edilerek gölgeleme elemanı için optimum form belirlenmiştir. Bu makalede, ofis yapısında dinamik gölgeleme elemanı kullanmanın bina performansını artırdığı açıkça görülmektedir. Şekil 2.102’de de ekinoks tarihlerinde günün belli üç saatinde ofis yapısında meydana gelen günışığı parlama analizleri verilmiştir (Bazzazzade, 2021).



Şekil 2.104. Gün Işığı Parlama İndeksi (DGI) analizi (Bazzazzade, 2021)

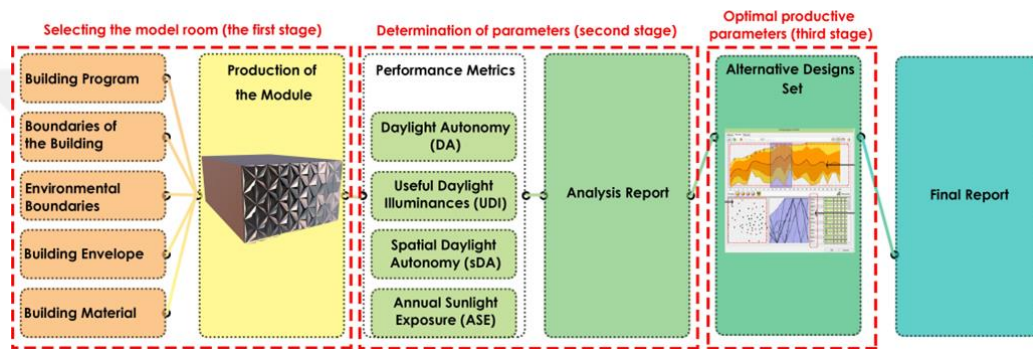
Anzaniyan makalesinde, yenilenemeyen enerji tüketimini azaltmak ve bina sakinlerinin konforunu sağlamak amacıyla *Lupinus Succulentus* bitkilerinin güneş izleme yönündeki hareket mekanizmasından ilham alarak bir kinetik cephe prototipi tasarlanmış ve üretmiştir. Bu kinetik cephe, Tahran'da bulunan yüksek katlı bir binanın bir açık ofisinin güney cephesi için parametrik tasarım aracıyla oluşturularak simüle edilmiştir (Şekil 2.105). Bu doğrultuda bu çalışma, kinetik mimari, biyomimikri ve bina sakinlerinin görsel ve ısıl konforları arasındaki entegrasyonunu kullanarak biyo-kinetik bir cepheyi araştırmaktadır. Sonuç olarak biyo-kinetik cephe, soğutma yükünün %7 oranında azalmasına, elektrikli aydınlatma yükünün ise %48 oranında azalmasına neden olmaktadır. Genel olarak, sıcak aylarda enerji tüketimini %12 oranında azaltmaktadır. Ayrıca binaya doğrudan ışığın girmesine engel olmaktadır (Anzaniyan, 2022).



Şekil 2.105. *Lupinus Succulentus* bitkisinin davranışı ve kinetik cephenin hareketi (Anzaniyan, 2022)

Özdemir ve Yılmaz Çakmak makalesinde, iklime duyarlı tasarımların geliştirilmesine katkıda bulunmayı temel amaç edinmişlerdir. Çalışmada sıcak ve kurak bir iklime sahip olan Mardin ilinde bulunan hem dinamik ve hem düz gölgeleme sistemine sahip bir ofis yapısı ele alınmıştır. Ofis yapısında günüşiği ve kamaşma

kalitesinin analizi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 2.106). Grasshopper eklentisi ve güneşiği eklentisi olan ClimateStudio araçlarıyla parametrik olarak modellenen ofis yapısı simüle edilmiştir. Sonuç olarak, güneşin konumuna göre dönüşebilen dinamik gölgeleme sistemi, LEEDv4 standardına uygun sonuçlar göstermiştir. Cephenin yıllık güneşiğine maruz kalma değeri olan yıllık güneşiğine maruz kalma (ASE) değerini %10'a varan oranlarda, mekânsal güneşiği otonomisini (sDA) ise %60 veya daha fazla oranda minimuma indirmiştir. Dinamik gölgeleme sistemine sahip ofis yapısının LEEDv4 sertifikasına dayalı maksimum görsel konfor düzeyine ulaştığı görülmüştür (Özdemir ve Yılmaz Çakmak, 2022).



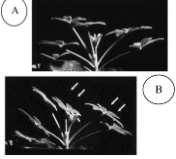
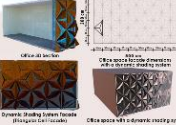
Şekil 2.106. Araştırma sürecinin uygulama aşamaları (Özdemir ve Yılmaz Çakmak, 2022)

Aşağıdaki tabloda yukarıda sunulan literatürdeki çalışmaların karşılaştırmalı analizine yer verilmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Son beş yılda enerji, güneşiği ve parlama simülasyonuna dair literatürde bulunan çalışmalar

Yazar	Karakteristik Elementi	Yılı	Kullanılan Eklenti	Analiz Çerçevesi	Sonuç
Valıtabar, M. ve diğ.		2018	Honeybee, Ladybug	Görsel Konfor ve Enerji	İkincil kaplamada birkaç değişiklikle yeni konseptin, daha yüksek düzeyde görsel konfor sağlarken, duyarlı cephelerin enerji kullanımını azaltabileceğini göstermektedir.
Tabadkani, A. ve diğ.		2018	Ladybug, DIVA (Radiance, Daysim, Galapagos)	Güneşiği ve Görsel Konfor	Görsel rahatsızlık (ASE) %10 oranında azalırken, ofis biriminde kamaşma ortadan kalkmıştır. Son olarak sDA'da artış gözlenmiş ve dinamik cephelerin statik cephelere kıyasla daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.
					İstanbul'da yüksek katlı ofis binaları için üretilen adaptif bina kabuğu konseptleri, yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji

Baş, C.		2019	Honeybee, Ladybug (Energyplus)	Enerji	taleplerinde %21,2 ile %61,87 arasında azalmaya neden olabilmektedir. Önerilen adaptif bina kabuğu ise yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi talebinde katlanabilir adaptif bina kabuğuna kıyasla %7,16 oranında düşüğe neden olmaktadır.
Yavuzarslan, G.		2019	Honeybee, Ladybug	Enerji	Ofisin gölgeleme elemanı ile tasarlanması sonucu enerji noktasında %50 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
Ceylan 2, Ö.		2019	DIVA	Güneş ışığı	Yıllık analizler sonucunda güney ve batı yönleri için yatay gölgeleme sistemi uygun bulunmuştur.
Öner, D.		2019	DIVA/Arcsim (Energyplus, Radiance)	Görsel Performans ve Enerji	Güney yönü için A2, batı yönü için B2 en iyi performansı gösteren tiptir. Sabit gölgeleme bileşenlerinde güney ve güneye yakın cepheler için yatay gölgeleme elemanlarının, doğu ve batı cepheleri için ise düşey gölgeleme elemanlarının kullanımının gösterdikleri performans bakımından daha uygun olması durumunun, UGGB için geçerli olmadığı gözlemlenmiştir.
Bayar, M.		2020	Honeybee, Ladybug (Radiance)	Güneş ışığı ve Aydınlatma Seviyesi	Önerilen kinetik cephe, iç mekân aydınlatmasını istenilen seviyede tutulmasını ve bina cephesindeki güneş radyasyonu seviyesinin büyük ölçüde azalmasını sağlamıştır.
Musa, M.K.		2021	DIVA (Energyplus)	Güneş ışığı, Görsel Performans ve Enerji	Dairesel üç boyutlu UCS hariç, diğer üç boyutlu geometriye sahip UCS'ler güneş ışığı açısından iki boyutlu geometriye sahip UCS'lere göre daha iyi performans göstermişlerdir. Parlama kontrolü açısından sekiz geometride etkin sonuç göstermiştir. Ayrıca her bir geometri sahip UCS'ler referans ofis binasının enerji kullanımını indirgemiş yani enerji performansını artırmıştır.
Bazzazadeh, H. ve diğ.		2021	Honeybee, Ladybug, Calibri (Energyplus)	Güneş ışığı ve Enerji	Dinamik gölgeleme elemanlarının, sabit gölgeleme elemanlarına kıyasla enerji verimliliği, bina sakinlerinin görsel konforu ve gün ışığının verimli kullanımı açısından yaklaşık %10 daha verimli olduğu görülmüştür.

Anzaniyan, E. ve diğ.		2022	Honeybee, Ladybug (Daysim ve Energyplus)	Enerji ve Görsel Konfor	Sonuç olarak biyo-kinetik cephe, soğutma yükünün %7 oranında azalmasına, elektrikli aydınlatma yükünün ise %48 oranında azalmasına neden olmaktadır. Genel olarak, sıcak aylarda enerji tüketimini %12 oranında azaltmaktadır. Ayrıca binaya doğrudan ışığın girmesine engel olmaktadır.
Özdemir, H. ve Yılmaz Çakmak, B.		2022	ClimateStudio , Galapagos	Güneşli ve Parlama Kalitesi Analizi	Cephenin yıllık güneşli maruz kalma değeri olan ASE değerini %10'a varan oranlarda, mekânsal güneşli otonomisini yani sDA değerini ise %60 veya daha fazla oranda minimuma indirmiştir. Yani dinamik gölgeleme sistemine sahip ofis yapısının LEEDv4 sertifikasına dayalı maksimum görsel konfor düzeyine ulaştığı görülmüştür.

Sonuç olarak güneşli, enerji ve parlama kapsamında son 5 yılda yapılan çalışmalar analiz edildiğinde daha çok hayali hücre tipi ofisler üzerinden simülasyonların gerçekleştirildiği görülmektedir. Birkaç tane mevcut bina üzerinde deneme yapılırsa da o ofis binaları da hücre tipi ofis yapısı olarak belirlenmiştir. Ayrıca genellikle enerji, güneşli ve parlama analizlerinin üçünün de aynı anda yapıldığı çok az çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışma hücre tipi olmayan mevcut bir binanın tamamı için değerlendirmeye konu olduğu için ve enerji, güneşli ve parlama analizlerinin tamamını barındırdığı için diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Donanımlar

Teknoloji her geçen gün gelişmekte olup akıllı sistemlerin insan hayatındaki yeri de buna paralel olarak artmaktadır. Günümüzde neredeyse insanların her anı akıllı cihazlar ile kontrol edilmekte ve denetlenmektedir. Arduino da elektronik beyin olarak adlandırılabilen bir mikrodenetleyicidir (Aksu, 2020) (Şekil 3.1). İlk Arduino projesi, kuzey İtalya'nın Ivrea kentindeki Etkileşim Tasarımı Enstitüsü Ivrea'da başladı. Arduino Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino ve David Mellis tarafından kuruldu. Arduino adı ise, Arduin of Ivrea adındaki bir İtalyan Orta çağ kralının adından gelmektedir (URL-40).

Arduino son derece basit bir mikroişlemci devresine sahip, yazılıma dayalı açık kaynak programlama arayüzüdür. Arduino projeleri bir bilgisayar bağlantısıyla beraber çalıştırılabileceği gibi tek başına da çalıştırılabilmektedir. USB arayüzü ile bilgisayarla bağlantısı kurulabilir (Koçak ve Kirbaş, 2016). Arduino kartlar ile optik, manyetik, termal, mekanik vb. sensörler vasıtasıyla çevreden gelen birçok veri okunarak hafızaya kaydedilir. Sonrasında, kontrol edilecek sisteme bluetooth veya internet üzerinden gerekli komutlar gönderilir (Allahverdi ve diğ., 2019).



Şekil 3.1. Arduino UNO R3 önyüzü görünümü (Özdemirci ve diğ., 2017)

Bu çalışma, Arduino mikrodenetleyicisinin dijitali fiziksel dünyaya nasıl bağlanabileceğini göstermektedir. Çalışma, temelde kinetik cephe elemanlarının güneş ışınlarının geliş açısına göre hareket etmesi esasına dayanmaktadır. Bu doğrultuda gün boyunca güneş ışınlarından maksimum verimlilikle yararlanmak ve olası parlamaya engel olmak amaçlanmıştır. Arduinio mikrodenetleyicisi ile, LDR (Light Dependent Resistor) isimli ve fotodirenç olarak bilinen sensörler aracılığıyla güneşin pozisyonundaki

mevsimsel değişikler de hesaba katılarak güneşin günlük hareketi izlenebilmektedir (URL-34). Bu çalışmada LDR sensörleri ile harekete geçen akıllı bir kinetik cephe tasarlanmıştır.

3.2. Kullanılan Yazılımlar

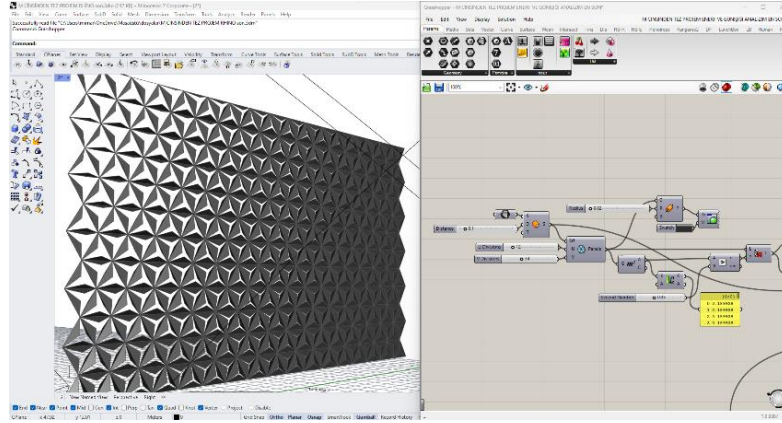
Bu çalışma kapsamında, arayüzünün kullanışlı olması, günışığı ve enerji analizleri için alt yapı olarak Energyplus ve Radiance gibi kabul görmüş ve test edilmiş, güvenilir yazılımları kullanması sebebiyle Grasshopper/Rhino programı tercih edilmiştir.

3.2.1. Rhino-Grasshopper

Parametrik tasarım araçları her geçen gün hızla yenilikler kaydederek gelişmekte ve tasarımcılar için kullanımı basitleştirilmektedir. Rhino-Grasshopper programı da bu yenilik çalışmaları içinde vücut bulmuş bir parametrik tasarım aracıdır (Kurugül, 2012). Özellikle tasarımcılar, mimarlar ve öğrenciler için giderek daha fazla arzu edilen bir modelleme aracı haline gelmektedir. Grasshopper bir 3D modelleme cihazı olan Rhino için bir “grafiksel algoritma editörü” (grasshopper3d.com) eklentisidir denilebilir (Bara’u, 2018).

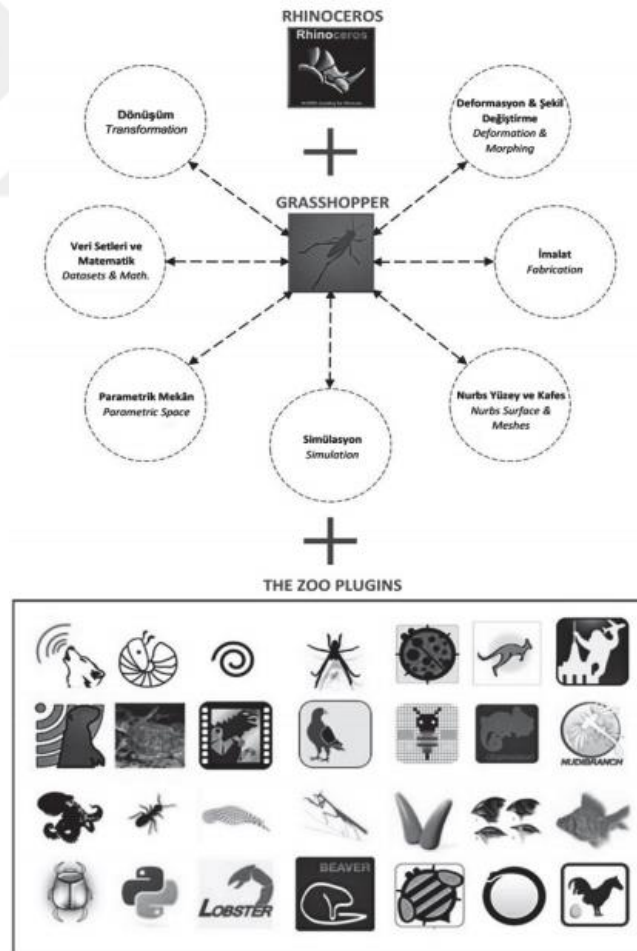
McNeel şirketinin 1992 yılında Autodesk firması için geliştirmeye çalıştığı Rhino yazılımı, Autodesk ile anlaşma yapılamayınca kendine özgün bir tasarım programı olarak geliştirilmiş yenilikçi bir tasarım programıdır. Halen geliştirilmekte olan bu yazılım, NURBS (non-uniform rational basis spline) modelleme tabanlı bir yazılımdır. Türkçeye “tekdüze olmayan rasyonel temel çizgi yivleri” olarak girmiş bir modelleme yöntemidir. Diğer tasarım programlarından farklı olarak çok hassas bir modelleme tekniğine sahip ucuz bir yazılımdır (Abbaslı, 2019).

David Rutten tarafından geliştirilen ve Rhino yazılımının eklentisi olan Grasshopper eklentisi ilk kez 2007 yılında piyasada yerini almıştır. Grasshopper eklentisi üretken algoritmaları kullanarak parametrik tasarımların kolaylıkla oluşturulmasını sağlamaktadır (Abbaslı, 2019). Algoritmik olarak yapabileceklerinin yanısıra, Rhino komutlarına kıyasla kullanıcılara daha fazla seçenek sunmaktadır. Başlangıçta bir tasarımın geçmiş aşamalarını takip etmek için oluşturulan bir programlama dili olan Grasshopper eklentisi, daha sonra tasarımlar üzerinde değişiklikler yapmaya imkân veren bir modelleme aracına dönüşmüştür. Grasshopper programının ara yüzü şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Rhino ve Grasshopper ara yüzü

Grasshopper’da uygulanan işlemler matematikselidir ve aynı zamanda mantıksal bağlantılar da vardır. Bu işlemler parametrik modelden bağımsız olarak değiştirilebilir veya kaldırılabilir. Grasshopper ara yüzünün kullanıcılara sağladığı avantajlar Şekil 3.3’te gösterilmiştir (Aydın ve Yaman, 2015).



Şekil 3.3. Rhinoceros, Grasshopper ve The Zoo Plugins Çalışma Şeması (Aydın ve Yaman, 2015).

- Dönüşüm (Transformation): Geometriyi modellemenin ve üretimin temel işlemidir. İstenilen tasarımı yönlendirmeye (kopyalama, taşıma vb.) ve ölçeklendirmeye yardımcı olur.
- Veri Setleri ve Matematik (Datasets & Math.): Basit ve anlaşılır bir algoritma sistemi ile çalışan bu sistemde, algoritmalarda kullanılan sayılar ve objeler ile matematik fonksiyonları kullanılarak sonsuz geometrik kombinasyonlar oluşturulabilir.
- Parametrik Mekân (Parametric Space): Grasshopper, simetrik klasik fikirlerden uzak Nurbs ve sürekli eğrisellik tasarım modeline olanak sağlar. 1 boyutlu olarak eğriler, 2 boyutlu olarak yüzeyler ve 3 boyutlu olarak objeler şeklinde üç gruba ayrılır.
- Nurbs Yüzey ve Kafes (Nurbs Surface & Meshes): Grasshopper'da birden fazla yüzey bileşeni vardır. İstenilen yüzeyi oluşturabilmek için nokta ve eğri-çizgi verileri oluşturulabilir ve modellenebilir.
- İmalat (Fabrication): Grasshopper ve 3 boyutlu yazıcılar arasında veri alışverişi sağlanarak tasarımcıların kendi tasarım ürünlerini üretebilmesine olanak sağlanmaktadır.
- Deformasyon & Şekil Değiştirme (Deformation & Morphing): Grasshopper'da geometriler deformasyon ile bükülebilmekte, kesilebilmekte, kaynaştırılabilmekte ve şekli değiştirilerek deforme edilebilmektedir.

3.2.2. The Zoo Plugins

Grasshopper içine kurulan mevcut 183 adet eklenti daha çok mimarlık ve inşaat alanında karşılaşılan spesifik konu ve sorunlara çözüm için geliştirilmiştir. 'The Zoo Plugins' veya 'Animals in the Jungle' olarak adlandırılan bu eklentiler 'Grasshopper Developer Website' tarafından ücretsiz olarak indirilebilmektedir. Her bir eklentinin simgesinde hayvan figürleri kullanılmış ve hayvan isimleriyle adlandırılmıştır. Doug McIlroy, 'Unix Philosophy Programming' programlama dili aracılığıyla her eklenti için bir veya birkaç konu üzerinde çalışmıştır (Aydın ve Yaman, 2015).

Grasshopper Library klasörüne kurulan eklentiler, kullanıcının amacına göre seçilerek araç kutusu kullanılır hale getirilir. Mimar ve mühendisler tarafından kullanılan 28 eklentinin kısaca tanımları aşağıda verilmiştir (Aydın ve Yaman, 2015).

1.  Millipede: Yapısal analiz ve optimizasyon bileşenidir.
2.  Kangaroo: İnteraktif simülasyon, optimizasyon ve form oluşturma için kullanılan gerçek fizik motorudur.
3.  Mantis: Doğrudan matematik ile etkileşime olanak sağlar.
4.  Lobster: 6 eksenli (kollu) robot ile ters-kinematik çözüm için kullanılır.
5.  gHowl: Farklı uygulamalar ve fiziksel aygıtlar ile iletişimi ve bilgi alışverişini sağlar.
6.  Rhino Python: Birden fazla programlama paradigmalarını destekleyen modern bir programlama dilidir.
7.  Hoopsnake: Veri ağacı/ Data listesi için verilerin kopyasını oluşturan ve verileri saklayan eklentidir.
8.  Horster Tools: Rhinoceros objelerini tip, katman ve diğer özellikleriyle içe ve dışa aktarımı sağlar.
9.  Goat: Bir optimizasyon çözücü eklentisidir. Matematiksel yaklaşım ile hızlı ve belirleyici sonuçlar elde edilmesini sağlar.
10.  Silkworm: 3D üretim için Grasshopper ve Rhinoceros geometrilerini G-Code'a çeviren bir eklentidir.
11.  SpiderWeb: Grafikler üzerinde ön şekillendirme hesaplamaları için fonksiyonellik sağlayan .NET kütüphanesidir.
12.  Beaver: Parametrik modelleme ile otomasyon panel üretimini sağlar.

13.  Nudibranch: Mesafeye dayalı değer veri setlerini oluşturmak için Grasshopper kapasitesini otomatikleştiren ve kolaylaştıran bir dizi bileşendir.
14.  Godzilla: Kolay ve hassas robotik simülasyonların oluşturulmasını sağlar.
15.  Bumblebee: Microsoft Excel (XL) ve Grasshopper (GH) arasındaki veri transferini sağlayarak analitik araçlar yardımıyla grafiklerin ve veri setlerinin oluşturulmasını sağlar.
16.  Prairie Dog: Grasshopper için dolaylı kontrollerin hızlıca oluşturulmasına imkân verir.
17.  Finches: Rhino ve Grasshopper içine kolayca import, export, grup işlemleri ve GIS verilerinin aktarılmasını sağlar.
18.  Ladybug: Grasshopper için bir açık kaynak çevre eklentisidir.
19.  Honeybee: Grasshopper ile Energyplus, Radiance, Daysim ve Openstudio bağlantısını sağlayarak enerji ve günışığı simülasyonu oluşturulmasını sağlar.
20.  Weaverbird: Kafes düzenlemesi ve transformasyonu için kullanılır.
21.  Scarab: Grasshopper için Maxwell render menüsü ve malzemelerinin kullanılmasını sağlar.
22.  KingKong: Panel tasarım ve katlanabilir simülasyon eklentisidir.
23.  Chameleon: Grasshopper ve Revit'in birlikte çalışmasını, simülasyonunu ve etkin iş akış uygulamasını sağlar.
24.  Goldfish: C++ ile yazılmış gerçek zamanlı bir CFD (Computational Fluid Dynamics) çözücü eklentisidir.



25. Ortoo: Grasshopper geometrilerin ve objelerin paylaşımını sağlar.



26. Turtle: Ngon Face-Vertex mesh tanımlı bir açık kaynak kütüphanesidir.



27. Octopus: Çok amaçlı evrimsel optimizasyon için kullanılmaktadır. Her hedefin uç noktaları arasında bir dizi optimize edilmiş takas çözümleri üreterek, aynı anda birçok hedefin aranmasına olanak tanır (URL-15).



28. Firefly: Sayısal ve fiziksel prototip keşfetme imkânı veren, sayısal ve fiziksel ortamlar arası gerçek zamanlı veri akışı sağlayan bir eklentidir.



29. LunchBox: Matematiksel şekilleri, panelleri, yapıları ve iş akışını keşfetmeye yönelik bir Grasshopper eklentisidir.



30. Dragonfly: Tüm odaların zemin plakalarının ekstrüzyonu olduğu varsayıldığı bina geometrisinin soyutlanmış 2B temsilinden yararlanarak büyük ölçekli Energyplus ve Radiance modellerinin oluşturulmasını ve manipüle edilmesini sağlar.



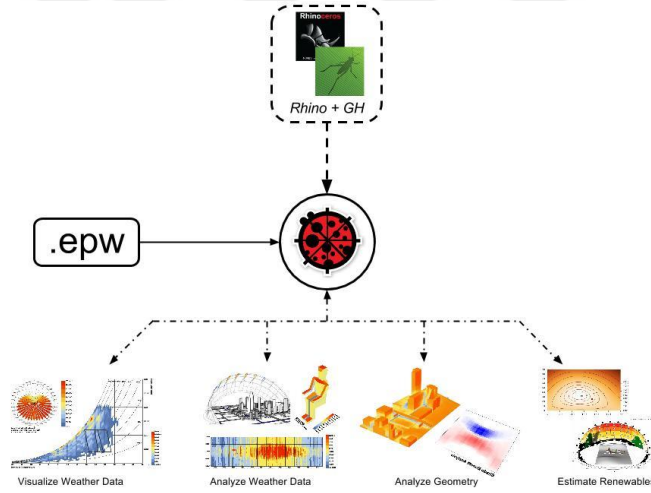
31. Butterfly: Grasshopper'ı gelişmiş hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) simülasyonlarını çalıştırmak için kullanılabilen Openfoam motoruna bağlar.

Ladybug araçları, yenilikçi simülasyon sürecinin parametrik iş akışına yardımcı olmak için hava durumu verileri analizini kullanmaktadır. Ladybug araçları, Ladybug, Honeybee, Butterfly ve Dragonfly olmak üzere Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi dört tanedir. Bunlardan özellikle Ladybug ve Honeybee, bir projenin ilk aşamasında tasarımcılara önemli çevresel sorunlara yanıt bulması kapsamında yol göstermektedir. Bu araçlar ile, tasarımların olası çevresel faktörlere nasıl tepki vereceğini görselleştirmek mümkündür. Bundan dolayı bu eklentiler, formun performansı takip ettiği ve bir binanın gün ışığı ve enerji performansını belirlemek için kullanıldığı her projenin kendine özgü performans hedeflerini karşılaması açısından önem kazanmaktadır (Bara'u, 2018).



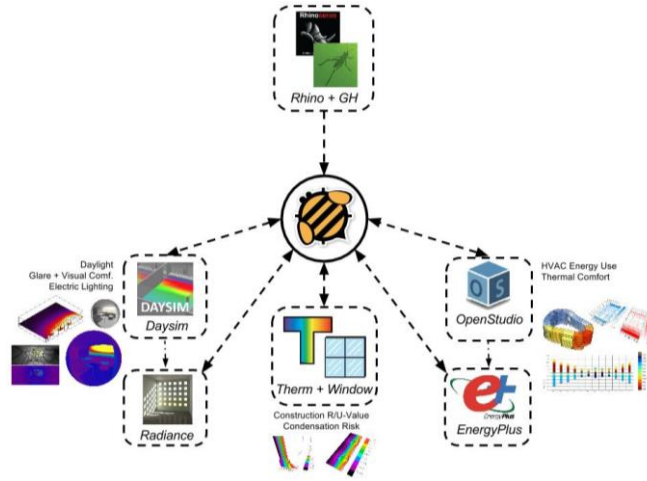
Şekil 3.4. Ladybug Araçları (URL-32)

Ladybug araçlarından biri olan Ladybug, standart Energyplus Hava Durumu verilerinin (EPW) indirilmesini ve Grasshopper'a aktarılmasını desteklemektedir (Şekil 3.5). Ladybug eklentisinin temel avantajı bir tasarımın ilk aşamasında karar verme sürecini destekleyen çeşitli iklim grafikleri sunmasıdır. Ayrıca tasarımdaki olası değişimler hakkında anında geri bildirim sağlamakta olup görsel programlama ortamı ile entegre bir şekilde çalışmaktadır (Bara'ı, 2018).



Şekil 3.5. Ladybug eklentisi (URL-33)

Ladybug araçlarından Honeybee ise, Radiance kullanarak gün ışığı simülasyonları ve Openstudio kullanarak enerji modelleri oluşturulmasına olanak sağlayan bir eklentidir. Ayrıca Therm kullanarak da kabuk ısı akışı oluşturulmasına ve görselleştirilmesine olanak sağlamaktadır (URL-32) (Şekil 3.6). Grasshopper grafik programlama arayüzü ile Daysim, Radiance, Energyplus ve Openstudio gibi kabul görmüş simülasyon motorları arasındaki bağlantı Honeybee eklentisiyle sağlanabilmektedir. Honeybee eklentisi Ladybug eklentisine göre, daha inovatif çalışmalar için tasarlanmış olsa da kitle oluşturmaya dayalı analizler yapmaktadır (Bara'ı, 2018).



Şekil 3.6. Honeybee eklentisi (URL-33)

3.3. Tasarımda Kullanılacak Ofis Binası

Araştırmalara göre, enerji tüketiminin bina türlerine göre dağılımı yapıldığında ofis yapıları %18'lik bir payla en çok enerji harcayan bina türleri arasında ikinci sırada yer almaktadır (Taşoluk, 2014). Bir diğer araştırma verilerine göre ofis yapılarında tüketilen enerjinin %40'lık kısmı ısıtma, %40'ı soğutma ve havalandırma, kalan %20'lik kısmı ise yapay aydınlatma için kullanılmaktadır (Anaç, 2019). Ayrıca ofis yapılarındaki enerji talebinin 2035 yılı itibariyle %20 artması beklenmektedir (Şahin, 2016). Bu yüzden ofis yapılarında doğal aydınlatmayı (güneş ışığını) doğru kullanmak önem kazanmaktadır. Ofis yapılarında doğal aydınlatmayı doğru bir şekilde kullanmak enerji tüketiminin azaltılmasını mümkün kıldığı gibi, verimli ve konforlu bir çalışma ortamı da oluşturmaktadır. Böylelikle, çalışanların performansının ve üretkenliğinin artmasında da olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bu tez kapsamında en çok enerji harcayan bina türlerinden biri olması sebebiyle bir ofis binası ele alınmış, bu ofis binası üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Konya'nın Selçuklu ilçesinin Hacıkaymak Mahallesi'nde bulunan, 586 m²'lik inşaat alanına sahip, 4 kat ve bir çatı katından oluşan bir ofis binası çalışmanın materyali olarak belirlenmiştir. Bu ofis binasının tercih edilme sebepleri;

- ✓ Cephelinin cam giydirme olması dolayısıyla kinetik cephe tasarlanmasına uygun olması,
- ✓ Güneş ışığından etkin faydalanabilmesi açısından çalışma yapılabilecek cam giydirme cephelerinin doğu ve güney kısımlarda bulunmasıdır.

Aşağıda tez çalışması kapsamında üzerinde çalışılacak ofis binasının Google Earth görüntüsü ve görseli gösterilmiştir (Şekil 3.7) (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Tez kapsamında üzerinde çalışılacak ofis binasının ada-parsel bilgileri



Şekil 3.8. Tez kapsamında üzerinde çalışılacak ofis binası görseli

Ofis binasının kat planları aşağıdaki tablo 3.1’de gösterilmiştir. Orta kısmında sirkülasyon alanı bulunan ofis binasında, sirkülasyon alanının sağında ve solunda ofis odaları bulunmaktadır. Bina doğuya doğru yaklaşık 4 derecelik açı yaparak konumlanmış olup batı kısmı bitişik nizamlıdır.

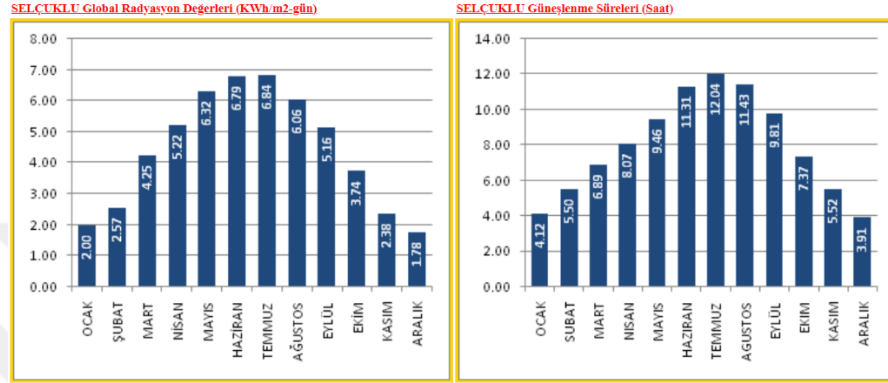
Tablo 3.1. Ofis binasının kat planları

Çalışmada enerji analizi için ofis binasının tamamı değerlendirmeye konu olacakken, güneş ışığı analizi için sadece kinetik cephe tasarlanacak olan birinci, ikinci ve üçüncü kat planları, parlama analizi için ise hem güney hem batı cepheye bakması dolayısıyla tasarlanacak kinetik cepheyi 2 farklı açıdan görmesi ve ara kat olmasından dolayı 2. Katta bulunan dubleks mesken eki niteliğindeki oda üzerinden analiz ve değerlendirme yapılmıştır. Çalışma kapsamında hava akımı ve yapılı çevre dikkate alınmamıştır.

3.4. Konya İklimsel Veriler

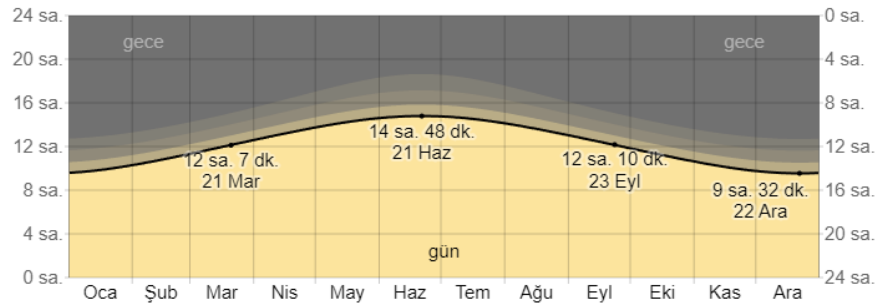
Türkiye 36° ve 42° kuzey enlemlerinde yer almakta olup tipik Akdeniz iklimi görülmektedir. Türkiye güneş enerji potansiyeli açısından avantajlı bir ülkedir

(Yavuzarslan, 2019). Ortalama yıllık güneş radyasyonu değeri 4.18 kWh / m² 'dir. Ortalama yıllık güneşlenme süresi 7.5 saattir. Çalışmada kullanılacak ofis binasının bulunduğu yer olan Konya ili Selçuklu ilçesi için ise ortalama yıllık güneş radyasyon değeri 4.42 kWh / m² 'dir. Ortalama yıllık güneşlenme süresi 7.95 saattir. Şekil 3.9'da Konya ilinin Selçuklu ilçesinin yıllık radyasyon değerleri ve güneşlenme sürelerini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 3.9. Konya Selçuklu ilçesi Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri (URL-37)

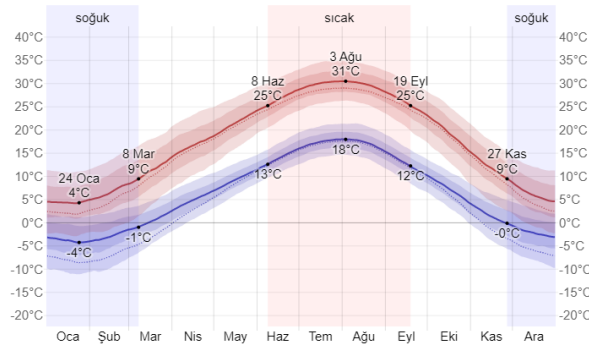
Konya gün uzunluğu yıl boyunca önemli ölçüde değişiklik arz etmektedir. 2023 yılında en kısa gün 22 Aralık tarihinde 9 saat 32 dakika gün ışığıyla gerçekleşirken en uzun günü ise 21 Haziran tarihinde 14 saat 48 dakika gün ışığıyla gerçekleşir (URL-38) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Konya ili Yıllık Seher ve Tan Saatleri (URL-38)

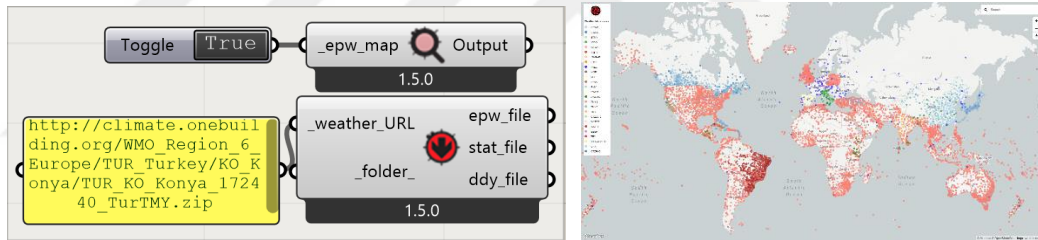
Konya ili için sıcak mevsim 3,3 ay uzunluğundadır ve 8 Haziran tarihinde başlayıp 19 Eylül tarihine kadar sürmektedir. Günlük ortalama yüksek sıcaklık 25°C üzerindedir. Konya bölgesindeki en sıcak ay Temmuz'dur. Bu ayda ortalama yüksek sıcaklık 30°C iken düşük sıcaklık 17°C düzeyindedir. Soğuk mevsim ise 3,4 ay uzunluğundadır ve 27 Kasım tarihinde başlayıp 8 Mart tarihine kadar sürmektedir. Günlük ortalama yüksek

sıcaklık 9°C altındadır. Konya bölgesindeki en soğuk ay Ocak'tır. Bu ayda ortalama düşük sıcaklık -4°C iken yüksek sıcaklık 4°C düzeyindedir (URL-38) (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Konya İli Yıllık Ortalama Yüksek ve Düşük Sıcaklık Değerleri (URL-38)

Çalışmada Konya ili için iklimsel verilerin tanımlanmasında, Energyplus tabanlı ve 'epw.' dosya uzantılı 'TUR_KO_Konya_172440_TurTMY' dosyası kullanılmıştır. Konya ili ASHRAE standartlarına göre altıncı bölgede yer almaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Grasshopper da epw uzantısı ile Konya ili iklimsel verilerin tanımlanması

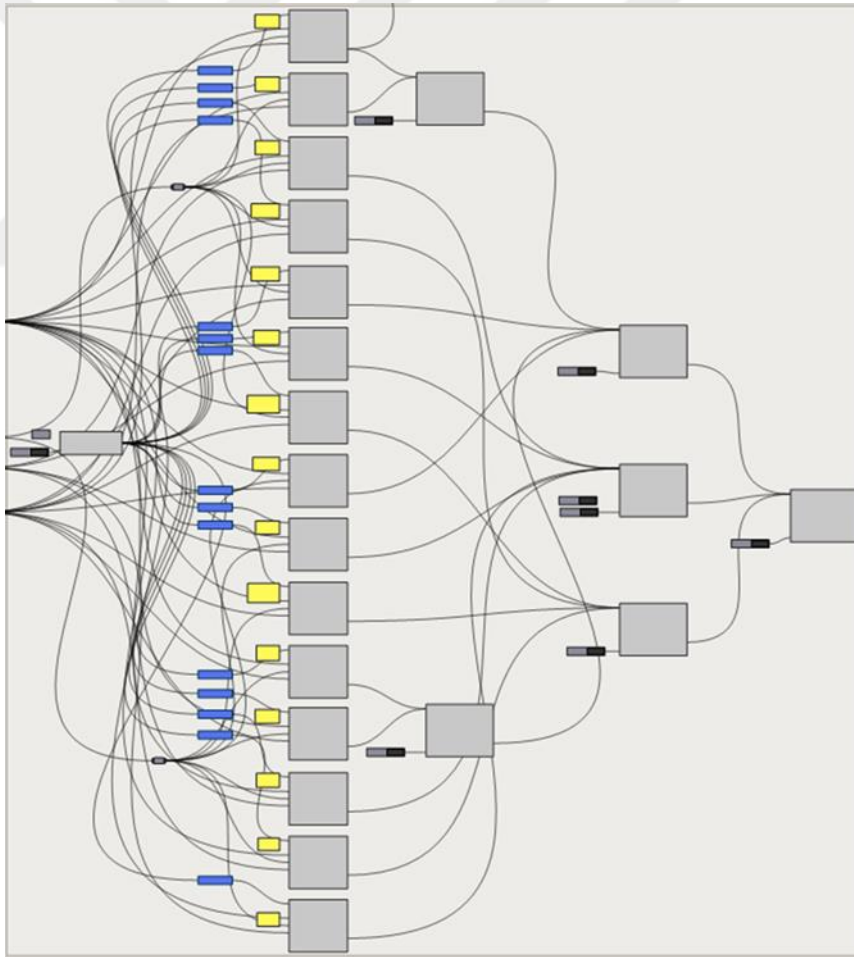
Türkiye'de binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisini belirlemek için TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardı kullanılmaktadır. TS 825'in Aralık 2013'teki güncellenmiş son durumuna göre Türkiye 5 derece gün bölgesine ayrılmıştır. Bu standarda göre ise Konya ili 3. Derece gün illeri arasında yer almaktadır (Atmaca, 2016). 3. Derece gün illeri arasında yer aldığı için, Tablo 3.2'ye göre çalışma kapsamında kullanılacak pencere U değeri 1,8 olarak kabul edilmiştir. Duvar, çatı ve döşeme için TS 825'e göre kabul edilen değerlere en yakın değerler seçilmiştir. Çalışmada duvarın U değeri 0,45, çatının U değeri 0,25 ve kat döşemelerinin U değeri 0,39 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.2. Bölgelere Göre En Fazla Değer Olarak Kabul Edilmesi Tavsiye Edilen U Değerleri (Atmaca, 2016).

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_i (W/m ² K)	U_P^* (W/m ² K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

3.5. Simülasyon Modelinin Oluşturulması

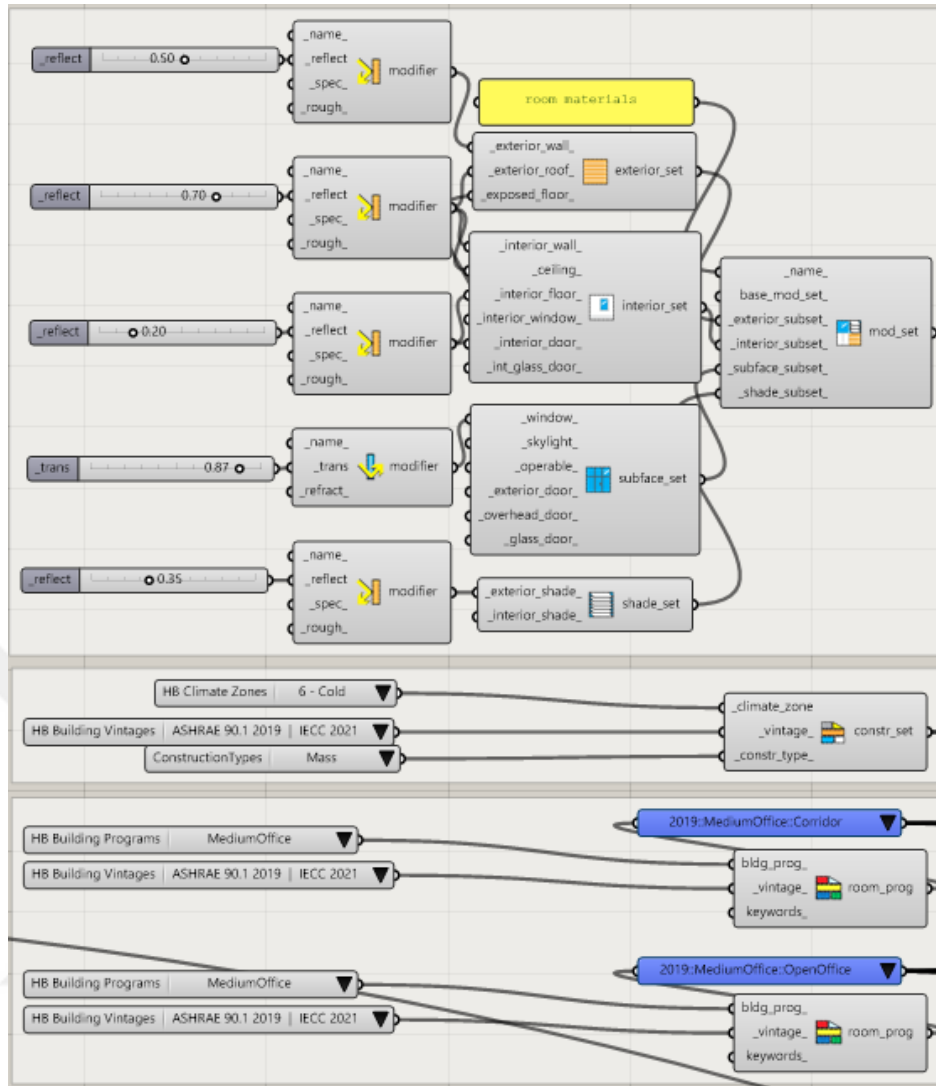
Modellemeye ilk olarak ofis odaların birbiriyle bağlantısının Grasshopper programında tanıtılması ile başlanmıştır. Her odanın komşu odalarla ve sirkülasyon alanıyla bağlantısı işlenmiştir (Şekil 3.13). Her oda için gerekli malzeme ve inşaat özellikleri ayrı ayrı tanımlanmıştır.



Şekil 3.13. Ofis odalarının Grasshopper programında tanımlanması

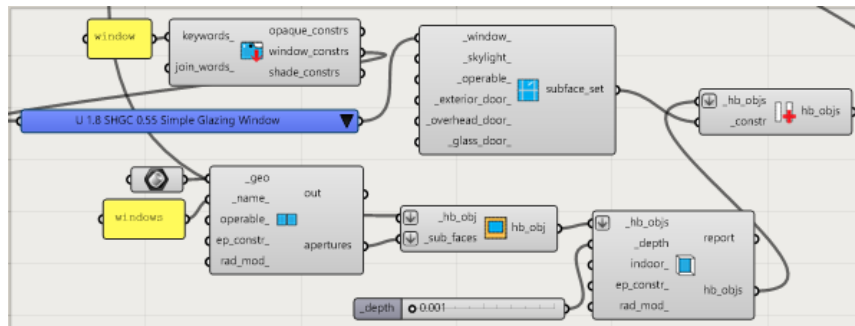
Yüzeylerin yansıtma oranları TS EN 12464 nolu “Işık ve Işıklandırma – İç Mahallerinin Aydınlatılması Bölüm 1: Kapalı Alandaki İç Mahalleri” standardında tavsiye edilen yansıtma aralıklarına göre belirlenmiştir. Yüzeylerin yansıtma oranları dış duvarlar için %50, iç mekân duvarları için %70 olarak atanmıştır. İç mekân zemin için %20’lik yansıtma oranı atanırken, tasarlanan kinetik cephe için %35’lik bir yansıtma oranı atanmıştır. Cam cephenin geçirgenliği ise %87 olarak atanmıştır.

Grasshopper programı Türk standartlarının direk seçimine uygun bir arayüze sahip değildir. Fakat kullanılan katsayıları, hesaplanan girdileri ve veri girişlerini Türkiye iklim koşullarına göre yapılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışma kapsamında ASHRAE standardı, orta büyüklükte bir ofis binasının kullanıcı yoğunluğu, aydınlatma yükü, sıcak su ihtiyacı, elektrikli aletlerin kullanımı, kullanım saatleri gibi set pointlerin tanımlanması için kullanılmış, U değerleri TS 825’e göre girilmiştir. Programda ASHRAE’nin son güncel hali olan ASHRAE 90.1 2019 | IECC 2021 standardı kabul edilmiştir. Bu standartlar enerji analizinde enerji kullanım yoğunluğunun (EUI) hesaplanması için gereklidir. Bu yüzden ASHRAE orta büyüklükteki ofis binalarında kabul edilen standart değerler bu çalışma içinde kabul edilmiştir. İklim bölgesi olarak Konya ilinin ASHRAE standartlarına göre bulunmuş olduğu 6. Soğuk iklim bölgesi seçilmiştir. Yapı türü olarak programda ‘MediumOffice’ türü seçilmiştir. Sirkülasyon alanları ve ofis alanları için iki ayrı program tüm birimlere özelliklerine göre ayrı ayrı atanmıştır (Şekil 3.14).



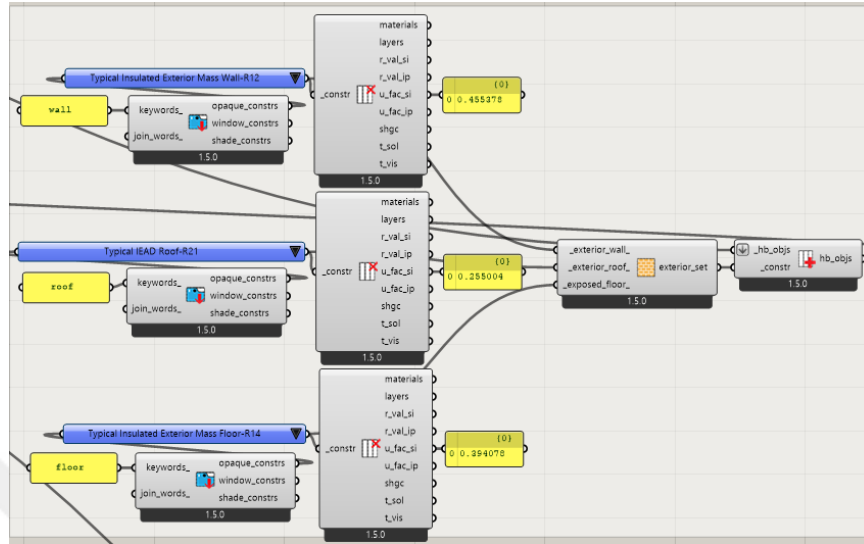
Şekil 3.14. Ofis odalarının malzeme özelliklerinin tanımlanması

Odalarla ilgili modelleme işlemleri tamamlandıktan sonra pencere U değeri, sınır gölgelikleri ve pencerelerin tanımlanması işlemine geçilmiştir. Aşağıdaki Grasshopper kodu ile ofis binasının pencereleri ve pencere özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Ofis pencerelerinin ve özelliklerinin tanımlanması

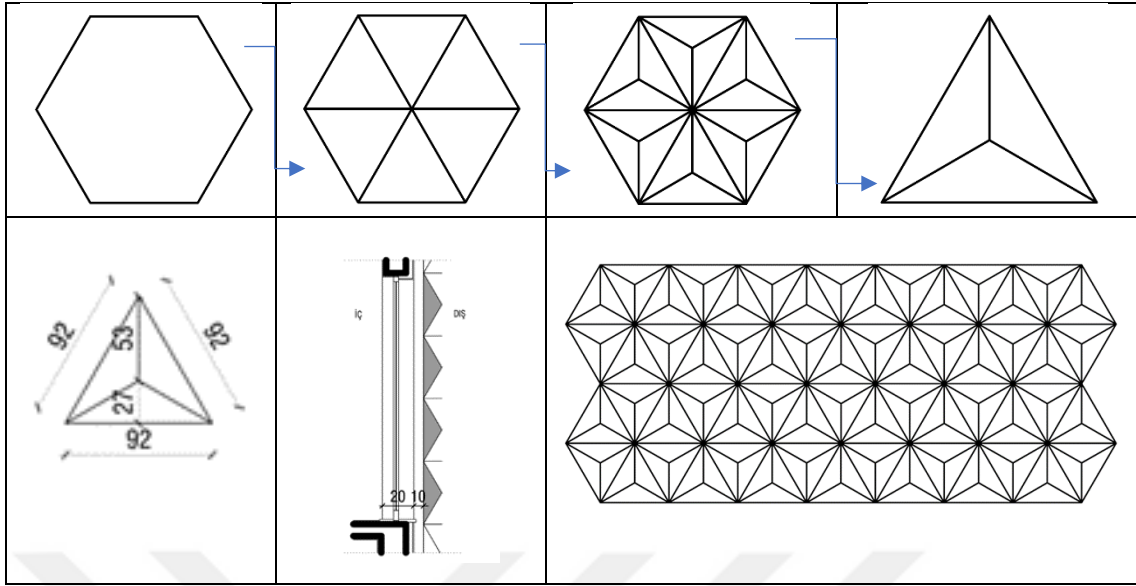
Pencere U değerleri girildikten sonra iç mekân zemin, dış cephe duvarlar ve çatı gibi opak yüzeylerin U değerleri için programın sunduğu seçeneklerden TS 825' e en uygun olanları tercih edilmiş ve modelle bağlantısı sağlanmıştır (Şekil 3.16)



Şekil 3.16. Opak yüzeylerin U değerlerinin tanımlanması

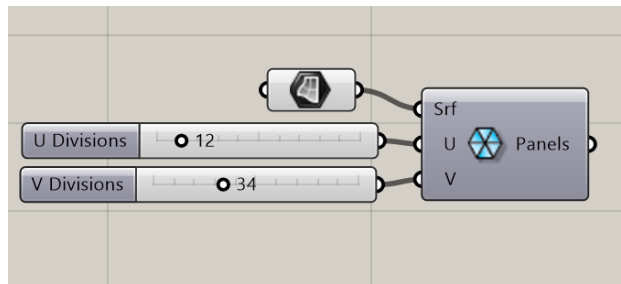
3.6. Tesselasyon Yöntemiyle Akıllı Kinetik Cephenin Oluşturulması

Kinetik cephe sisteminin tasarım aşamasında, sistemin verimli çalışabilmesi ve başarılı sonuç verebilmesi için aralarında boşluk olmadan geometrilerin yan yan dizilmesi esasına dayanan tesselasyon tekniği kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında altıgenin köşegenlerinin çizilmesiyle oluşan eşkenar üçgenler çalışmanın düzenli tesselasyon modüllerini oluşturmaktadır. Oluşan eşkenar üçgenlerin köşe noktalarının ağırlık merkezinde birleştirilmesiyle oluşan şekil, sistemin açılıp kapanma mekanizmasını göstermektedir. Sistem belirli bir aks etrafında dönen bir dizi düzlemsel elemanın hareketinden oluştuğu için çalışmanın ikinci bölümünde yer alan örnekler kısmında düzlemsel güneş kırıcı sisteme sahip binalar kısmına dahil olmaktadır. Sistemde eşkenar üçgenin kenar çizgileri düzlemsel üçgenlerin açılıp kapanma akslarını oluşturmaktadır. Oluşan eşkenar üçgenlerin bir kenar uzunluğu ise 92 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Tablo 3.3'te Tesselasyon tekniğiyle kinetik cephenin oluşturulma aşamalarına ve kinetik cephe sistemi tamamen açıkken bir kat için sistem kesit detayına yer verilmiştir.

Tablo 3.3. Tesselasyon tekniğiyle kinetik cephenin oluşturulma aşamaları

3.7. Tasarlanan Akıllı Kinetik Cephenin Parametrik Olarak Modellenmesi

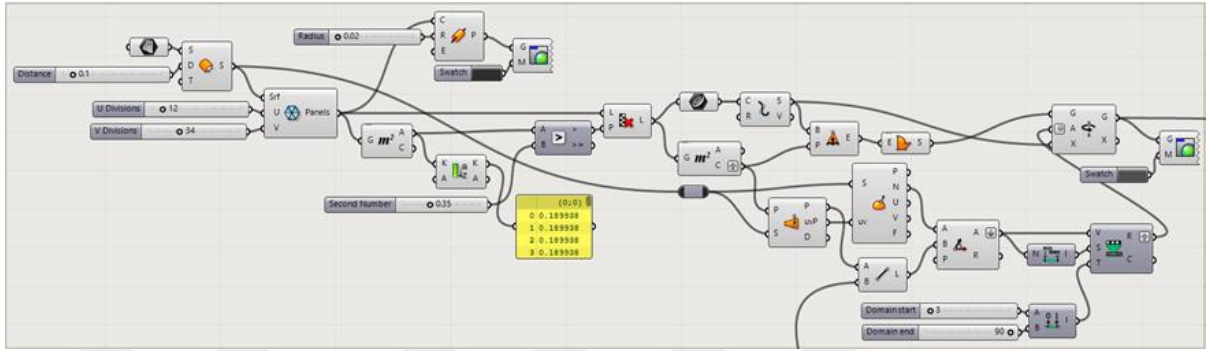
Parametrik tasarım, tasarım parametrelerinin, kurallarının, tanımlarının ve tasarım nesnelerinin ilişkilerinin belirlendiği matematiksel bir süreçtir. Parametrik tasarımla karmaşık geometrilerin tasarımı bazı kurallara dayandırılarak, olası değişimler kolaylıkla yapılabilmekte ve sonuçlar anında izlenebilmektedir. Çalışmada yüzeylerin altıgenlere, altıgenlerinde eşkenar üçgenlere bölünebilmesi için Grasshopper programına LunchBox eklentisi yüklenmiştir. LunchBox eklentisi ile Grasshopperda matematiksel şekilleri oluşturmak daha kolay olmaktadır. Kinetik cephenin oluşturulabilmesi için LunchBox eklentisinin Paneller sekmesi altında bulunan ‘Triangle Panels B’ bileşeni kullanılmıştır (Şekil 3.17).



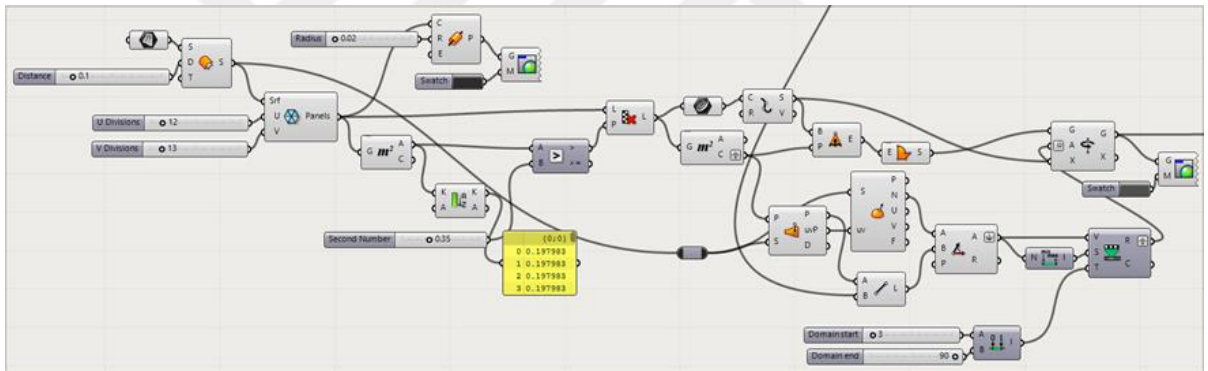
Şekil 3.17. Grasshopperda kinetik cephenin oluşturulması için kullanılan Lunchbox eklentisinin ‘Triangle Panels B’ bileşeni.

Ofisin kütleli olarak modellenmesi tamamlandıktan sonra kinetik cephenin modellenme aşamasına geçilmiştir. Ofisin güney ve doğu kısımları için iki ayrı yüzey oluşturularak kinetik cephe bu yüzeyler üzerine tasarlanmıştır. İki ayrı cephe için iki

farklı Grasshopper kodu tanımlanmıştır (Şekil 3.18) (Şekil 3.19). Farklı yüzey alanına sahip yüzeyler için dikeyde her katta 4 sıra eşkenar üçgen olacak şekilde 12'şer üçgen, yatayda ise güney cephe için 13 eşkenar üçgen ve doğu cephe için 34 üçgen olacak şekilde kinetik cephe oluşturulmuştur. Kinetik cephe ile cam cephe arasında 10 cm mesafe bırakılmıştır.

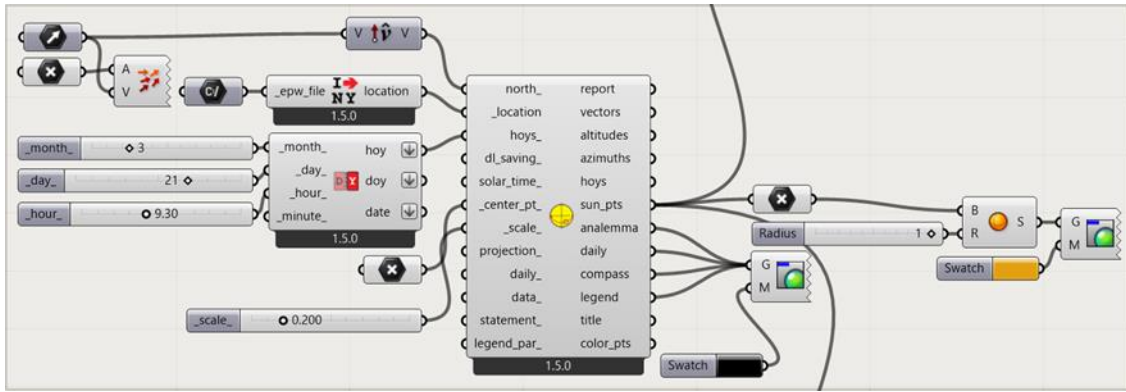


Şekil 3.18. Doğu Cephe için Kinetik cepheyi oluşturan Grasshopper kodu



Şekil 3.19. Güney Cephe için Kinetik cepheyi oluşturan Grasshopper kodu

Grasshopperda kinetik cepheler de oluşturulduktan sonra kinetik cephelerin güneş yolu ile bağlantısını sağlama aşamasına gelinmiştir. Öncelikle Grasshopper Ladybug eklentisini kullanılarak Konya ili iklim verilerinin indirilmesi ve Grasshopper arayüzüne aktarılması sağlanmıştır. Daha sonra Grasshopper arayüzüne indirilen Konya ili iklim verilerinin tanımlanmış olduğu güneş yolu ofis binasının konumuna göre yönlendirilerek konumlandırılmıştır. Güneş yolunun sunpath çıktısı ile kinetik cephelerin güneş yolu ile bağlantısı sağlanmıştır. Güneş yolu ile istenilen tarih ve saatte kinetik cephelerin güneşin konumuna göre açılıp kapanma durumu sağlanarak güneşe duyarlı akıllı bir kinetik cephe oluşturulmuştur (Şekil 3.20).



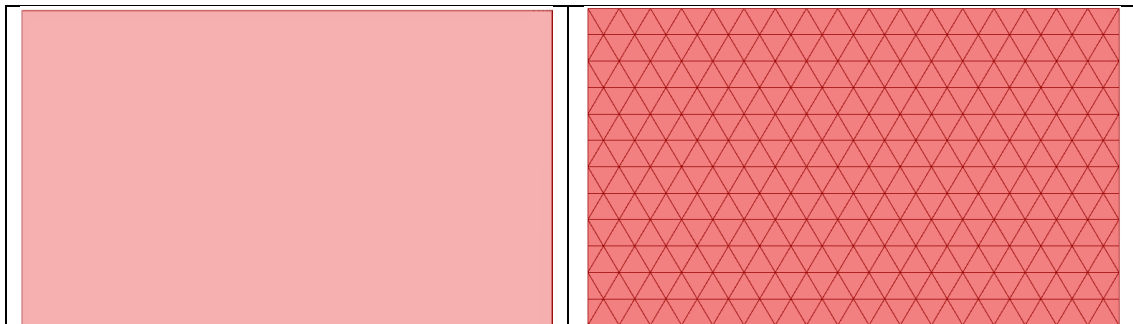
Şekil 3.20. Kinetik Cephelerin Bağlandığı Güneş Yolunun Grasshopper Kodu

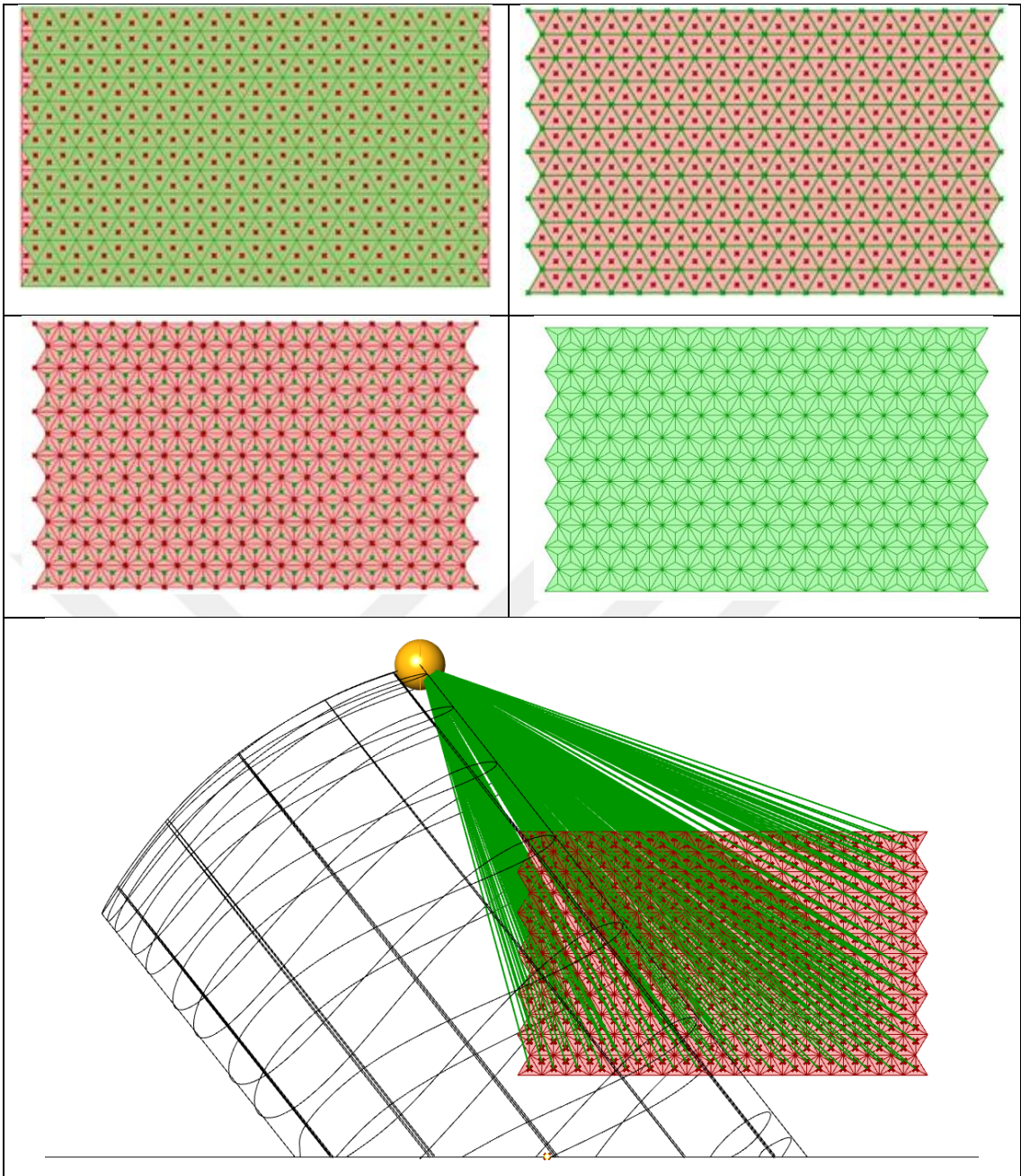
Kinetik Cephenin Grasshopper da oluşturulma aşamaları;

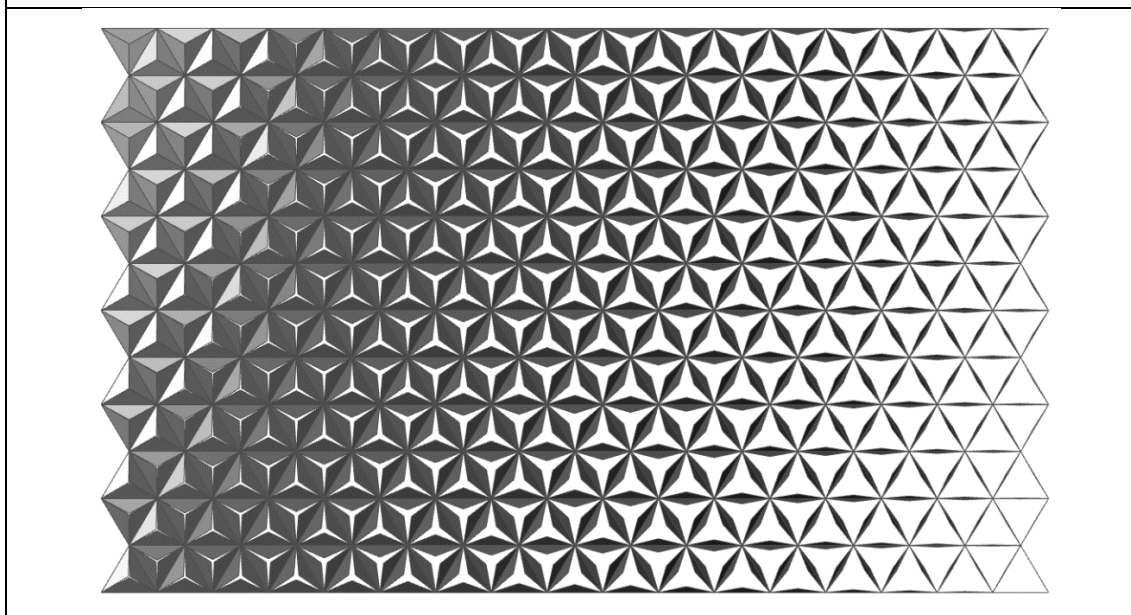
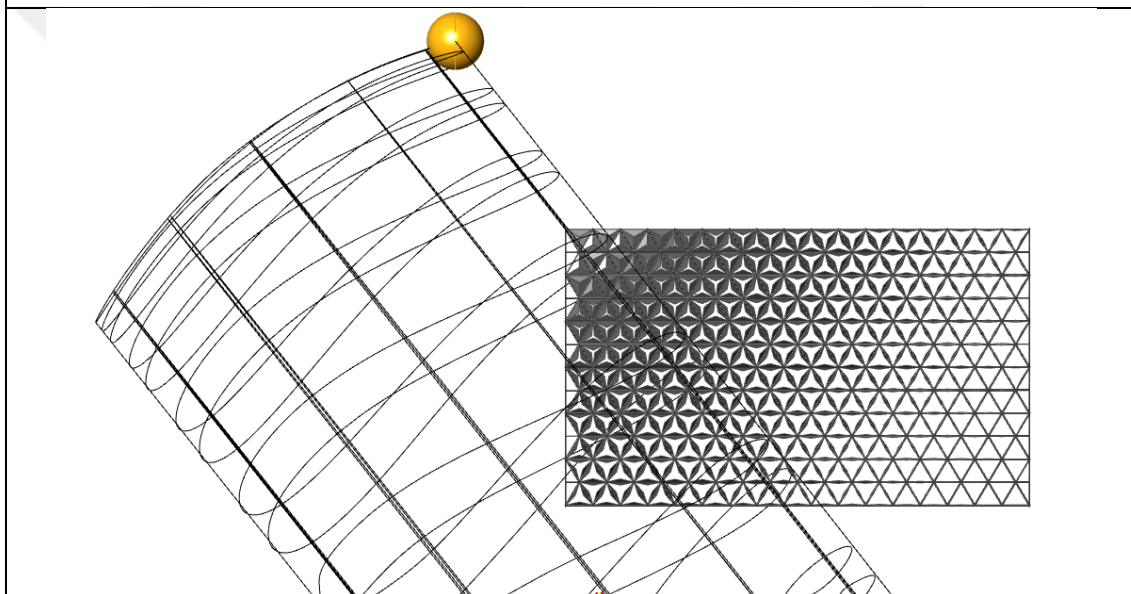
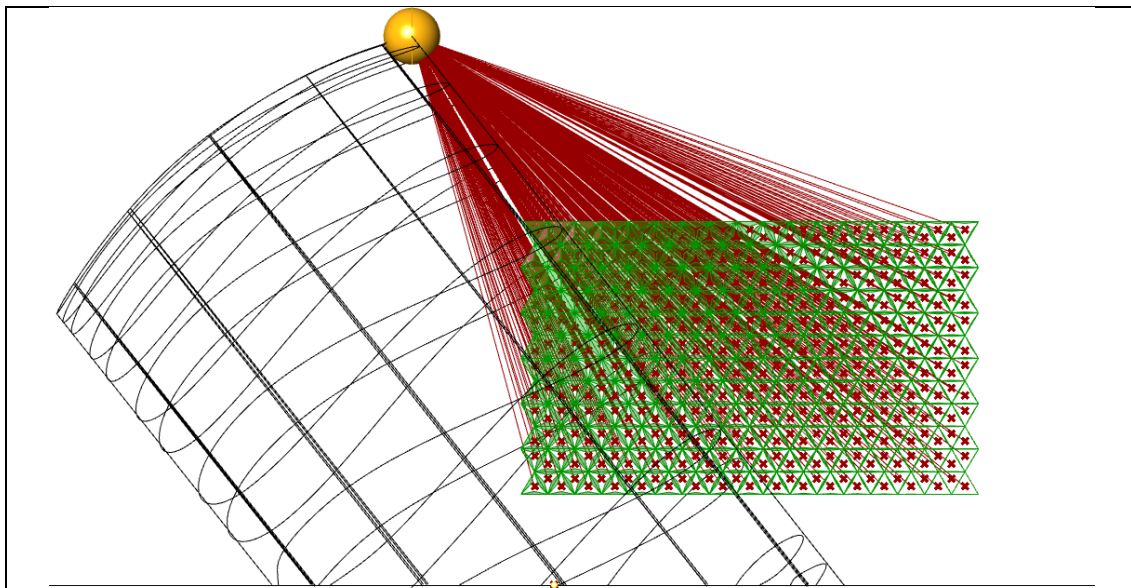
- Cepheyi kaplayan yüzeyin Grasshopper yüzey bileşeninde tanımlanması,
- LunchBox eklentisi ile yüzeyin eşkenar üçgenlere bölünmesi,
- Üçgenlerin alanlarının hesaplanarak, kenarlarda kalan küçük üçgenlerin çalışma kapsamında kullanılmamak üzere çıkartılması,
- Kalan eşkenar üçgenlerin köşe noktaları ile ağırlık merkezlerini birleştiren çizgilerin çizilmesi,
- Kinetik cephenin açılma mekanizması için açılma eksenini ve açısının tanımlanması,
- Eşkenar üçgenlerin ağırlık merkezlerinde oluşturulan düzlemlerin güneş yolunun sunpath çıktısına bağlanması,
- Bu bağlantı sonucunda güneş yolunda tanımlanan tarihe ve saate göre kinetik cephenin kendiliğinden açılıp kapanmasının sağlanması.

Aşağıda Tablo 3.4'te kinetik cephenin Grasshopper da oluşturulmasının ve güneş yoluyla bağlantısının sağlanmasının aşamaları gösterilmiştir.

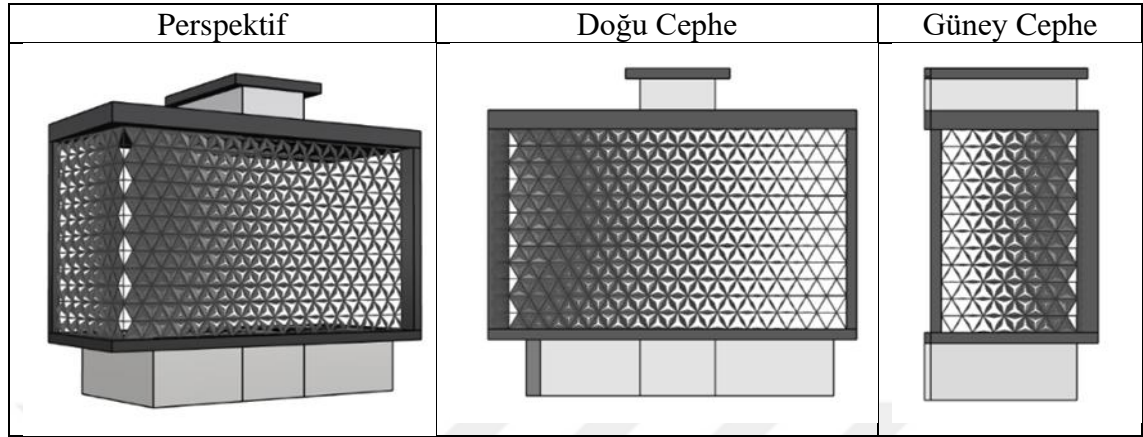
Tablo 3.4. Kinetik Cephenin Grasshopper da Oluşturulması ve Güneş yoluyla bağlantısının sağlanması







Ofis binası ve kinetik cephenin modelleme aşaması tamamlandıktan sonra enerji, güneşiği ve parlama analizleri için gerekli kodlar girilmiştir. Aşağıda ofis binasının Rhinodaki modellenmiş görünümüne yer verilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Ofis binasının perspektifi, doğu ve güney cephesinin görünüşü

3.8. Kinetik Cephenin Enerji, Güneşiği ve Parlama Simülasyonu

Ofis binasının cephesine yerleştirilen kinetik cephe sisteminin analizlerine geçilmeden önce değerlendirilecek kriterler ve varsayılan değerler hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. Binalarda güneşiğini doğru kullanmak ile yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacı dolayısıyla kullanılan elektrik enerjisi miktarını azaltmak mümkündür. Ayrıca kışın güneşiğini doğru kullanarak termal konfor sağlanabilir. Böylece ısıtma için harcanan enerji miktarı da azalmış olur. Tamamen cam cephe olan binalarda aşırı güneşiğinin mekânlara nüfus etmesi ise kullanıcıları olumsuz etkilemektedir (Engin, 2022). Kısaca güneşiğini mekânlarda doğru ve yeteri kadar kullanmak gerekmektedir. Bu da akıllı kinetik cephe sistemleri ile mümkündür.

Beccali ve Galatio⁷ tarafından yapılan literatür taraması kapsamlı çalışmada güneşiği ile ilgili yapılan çeşitli çalışmaların güneşiği değerlendirme yöntemleri analiz edilmiş ve en çok kullanılan güneşiği değerlendirme yöntemlerinin güneşiği özerkliği (DA) ve faydalı güneşiği aydınlığı (UDI) olduğu sonucuna varılmıştır (Kılıç ve Köknel Yener, 2018). Çalışmada güneşiği, enerji ve parlama açısından aşağıdaki Tablo 3.5'te belirtilen değerler üzerinden kinetik cephe varken ve yokken simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar dördüncü bölümde sunulmuştur.

⁷ Galatioto,A., Beccali,M., 2016, Aspect and issues of daylighting assesment:A Review Study, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol:66, page:852-860.

Tablo 3.5. Çalışma Kapsamında Değerlendirilecek Değerler Listesi

GÜNIŞIĞI	ENERJİ	PARLAMA
Daylight Autonomy (DA)	End Use Intensity (EUI) (kWh/m ²)	High Dynamic Range (HDR)
Spatial Daylight Autonomy (sDA)	Yıllık Isıtma Enerjisi Kullanımı (kWh)	Daylight Glare Probability (DGP) (cd/m ²)
Useful Daylight Illuminance (UDI)	Yıllık Soğutma Enerjisi Kullanımı (kWh)	Falsecolor HDR

- Daylight Autonomy (DA): Yüzde olarak günışığı özerkliğini ifade etmektedir (URL-36). Günışığı özerkliği, bir mekânın yatay düzlemi üzerinden değerlendirme yaparak, mekân için gerekli olan minimum aydınlık düzeyinin sadece günışığı tarafından karşılandığı saatlerin bir yıl boyunca mekânın toplam kullanım saatlerine oranı olarak ifade edilmektedir. Sonuç olarak elde edilen değer aynı zamanda yıllık olarak aydınlatma için gerekli enerji ihtiyacını da göstermektedir. Günışığı seviyesi için kısmi puanlama yöntemiyle istenilen aydınlık düzeyinin yalnızca günışığı sayesinde sağlanma sürekliliğini ifade eden değer ise cDA değeri olarak ifade edilmektedir. cDA, DA'ya benzemekte olup tek farkı aydınlatma eşiğinin altındaki değerlerinde hesaba katılmasıdır (Kılıç ve Köknel Yener, 2018).
- Spatial Daylight Autonomy (sDA): 2012 yılında IES tarafından iç mekân günışığı değerlendirme yöntemlerine yeni bir yaklaşım olarak öne sürülmüştür. Mekânsal günışığı özerkliğini ifade etmektedir. İç ortamlardaki ortam günışığı seviyelerinin yıllık yeterliliğini tanımlayan bir ölçüdür. sDA değeri alanın yüzdesi olarak ifade edilir. Çalışma mekânları üzerinden yapılan analizler sonucunda, 08.00 ila 18.00 arası toplamda 10 saat olan kullanım saatlerinde çalışma mekânının taban alanının %50'si için hedef aydınlık düzeyi olarak belirlenen 300 lux'ün sağlanması istenmektedir (Kılıç ve Köknel Yener, 2018).
- Useful Daylight Illuminance (UDI): Yüzde olarak yararlı gün ışığı aydınlatmasını ifade etmektedir. Aydınlatmanın minimum ve maksimum eşikler arasında kaldığı sürenin yüzdesidir (URL-36). 2005 yılında Mardaljevic ve Nabil⁸ tarafından iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemi olarak belirlenmiştir. İç mekânda günışığı performansını değerlendirmek amacıyla kullanıcılar için faydalı olarak nitelendirilen bir değer aralığı belirlenmiştir. Ofis çalışanları üzerinden yapılan

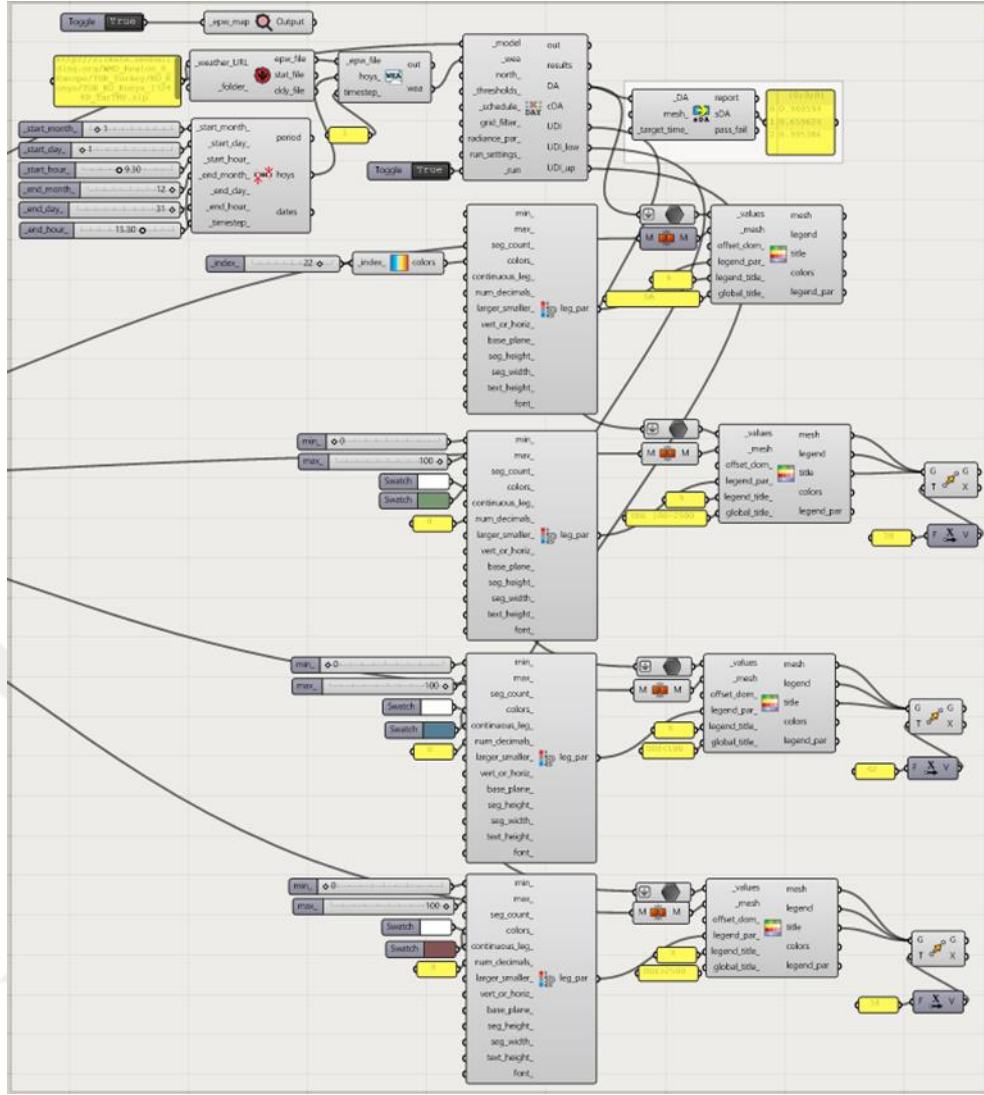
⁸ Nabil, A., Mardaljevic, J., 2005, Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41-59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>.

değerlendirmeye göre aşağıdaki Tablo 3.6'daki değerler eşik değerleri olarak kabul edilmiştir (Kılıç ve Köknel Yener, 2018).

Tablo 3.6. Yapılan değerlendirmeye göre UDI Varsayılan Değer Aralıkları (Kılıç ve Köknel Yener, 2018).

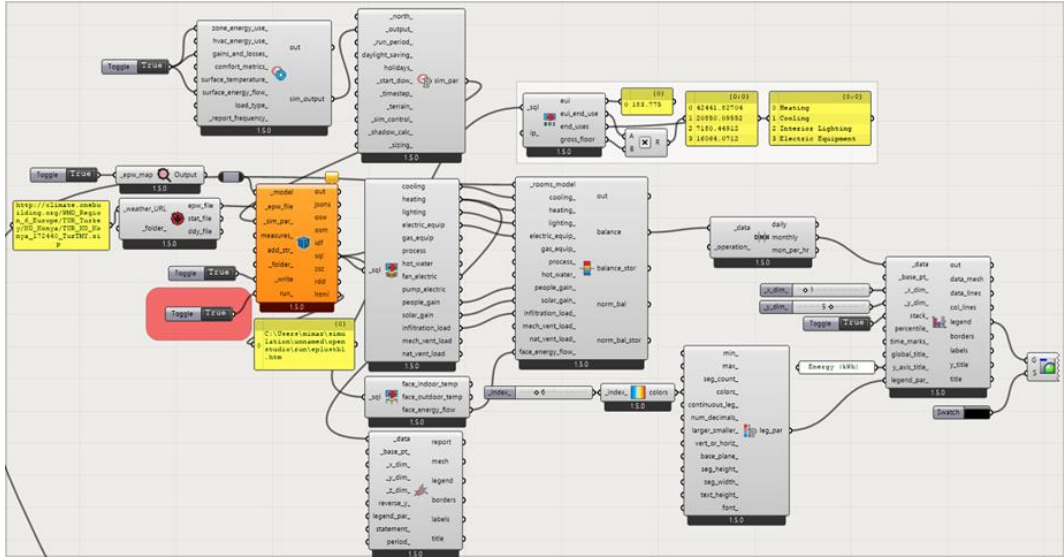
UDI 'Yetersiz günışığı aydınlığı'	(<100 lux)
UDI 'Ek bir yapma aydınlatma ilavesi ile yeterli günışığı aydınlığı'	(100 lux < x < 500 lux)
UDI 'Yeterli günışığı aydınlığı'	(500 lux < x < 2000, 2500 lux)
UDI 'Görsel ve/veya termal konforsuzluğa sebep olabilecek günışığı aydınlığı'	(2000, 2500 lux <)

Yapılan çalışmalar analiz edildiğinde yukarıdaki değerlerin faydalı olma durumunun yapının türüne, kullanıcı profiline, eylem çeşidine göre değişebildiği ayrıca görsel ve termal konforsuzluğa neden olabilecek günışığı aydınlığının farklı çalışmalarda farklılık gösterebildiği görülmüştür. Faydalı günışığı aydınlığı genellikle binanın kullanım saatleri üzerinden hesaplanmakta olup yıl boyunca gerçekleşen günışığı etkin saatleri üzerinden de değerlendirme yapılabilmektedir (Kılıç ve Köknel Yener, 2018). Aşağıda çalışmada kullanılan ve yıllık günışığı DA, sDA, cDA ve UDI değerlerini veren Grasshopper kodunun bağlantıları gösterilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Grasshopper Yıllık Güneş Analiz Kodu Bağlantıları

- End Use Intensity (EUI): Son kullanım yoğunluğu olarak ifade edilen EUI değeri, tüm elektrik, yakıt, bölgesel ısıtma/soğutma vb.nin toplamının brüt zemin alanına bölünmesiyle oluşan değerdir (URL-35). Aşağıda Grasshopper Openstudio bileşeni ile enerji analizini hesaplamak için gerekli kodların bağlantıları gösterilmiştir. Bu kodlar ile enerji dengesi grafiğine ve saatlik ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin görsel sonucuna ulaşmak mümkündür. Ayrıca EUI değeri ve yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketim miktarlarına da ulaşılabilmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Openstudio Enerji Dengesi ve Saatlik Enerji Analizi Simülasyon Parametreleri

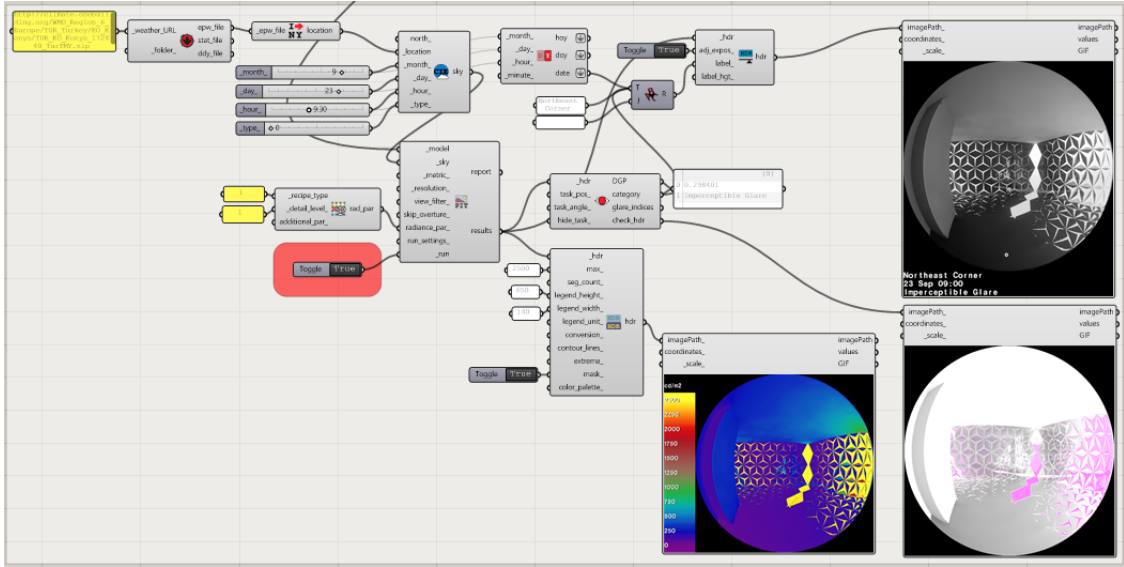
- High Dynamic Range (HDR): Ayarlanmış yüksek dinamik aralık olarak ifade edilen HDR görüntü sunar (URL-36).
- Daylight Glare Probability (DGP): Güneşin parlaması olasılığı değerini ifade etmektedir. 0 ile 1 arasında bir değer olarak tanımlanır (URL-36). Tablo 3.7’de güneşin parlaması olasılığı için kabul edilen değer aralıkları verilmiştir.

Tablo 3.7. DGP Varsayılan Değer Aralıkları (URL-36)

Güneşin Parlama Olasılığı için Kabul Edilen Değer Aralıkları	
Algılanamaz Parlama	[0.35 > DGP]
Algılanabilir Parlama	[0.4 > DGP >= 0.35]
Rahatsız Edici Parlama	[0.45 > DGP >= 0.4]
Çok Yüksek Derecede Parlama	[DGP >= 0.45]

- Falsecolor HDR: Birim alana düşen ışığın ölçüsüne göre (parlaklık dereceleri) renklendirilmiş görüntüyü ifade eder (URL-36).

Aşağıda ofis binasının ikinci katında bulunan dubleks mesken eki oda biriminin analizleri için oluşturulmuş, HDR, DGP ve Falsecolor HDR görüntülerini ve yüzde olarak güneşin parlaması olasılığını gösteren Grasshopper kodunun bağlantıları gösterilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Grasshopper Parlama Analizi Kodunun Bağlantı Şeması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Simülasyon Sonuçları

Konya'nın Selçuklu ilçesinin Hacıkaymak Mahallesinde bulunan ofis binasının simülasyonu için gerekli tüm kodlar girilerek analizlerin yapılma aşamasına gelinmiştir. Konya iline ait hava durumu verileri, açık kaynaklı bir araç olan Grasshopper programı aracılığıyla algoritmaya aktarılmış ve sonuçlar izlenmiştir. Kinetik cephe cam cepheden 10 cm uzaklıktadır. Kinetik cephe Arduino mikrodenetleyicisinin sensörleri vasıtasıyla güneşin hareketine duyarlı olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde de belirtildiği gibi kontrol çeşidi olarak akıllı kinetik sistemler içerisinde 'duyarlı dolaylı kontrol' başlığı altında değerlendirilmektedir. Duyarlı dolaylı kontrolde bir işlemci sistemine ihtiyaç duyulur. Bu işlemci sistemi ile girdiden elde edilen bilgi analiz edilerek hareket kararına dönüştürülür. Tıpkı sensörler veya programlanmış sistemler gibi araçların iletileri işlenerek hareket ettirici aracılığıyla kinetik yapı elemanında hesaplanmış hareket elde edilir (Bostancı, 2006).

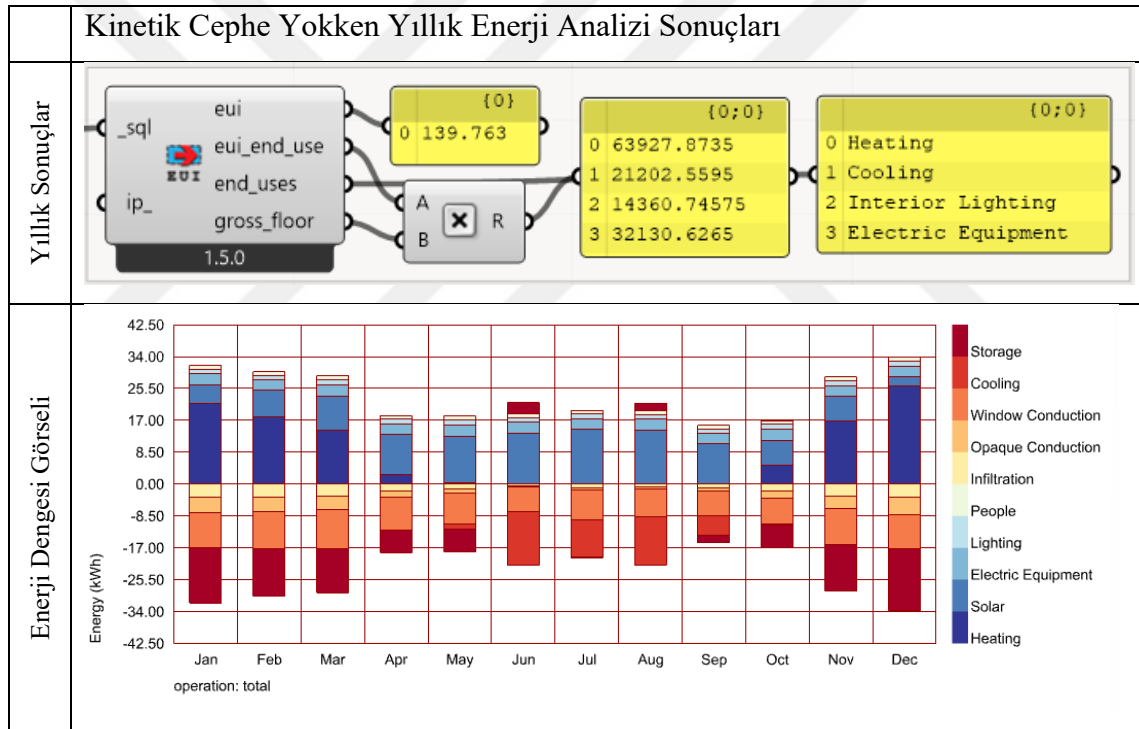
4.1.1. Enerji Analizi Simülasyon Sonuçları

Çalışmada genel olarak kinetik cephe varken ve yokken olmak üzere iki farklı durum üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Honeybee, Openstudio kullanarak enerji modelleri oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada da epw. uzantılı hava durumu verilerinin tanımlandığı Openstudio bileşeni enerji analizi için tercih edilmiştir. Enerji analizi için kinetik cephenin 21 Aralık, 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihlerinde, 3 farklı saat dilimindeki pozisyonları ve kinetik cephenin olmama durumu olmak üzere 13 farklı durum üzerinden yıllık enerji simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Enerji analizi kapsamında, enerji son kullanım yoğunluğu olarak ifade edilen EUI değeri ve yıllık toplam ısıtma ve soğutmaya harcanan enerji değerleri üzerinden karşılaştırma yapılmıştır.

Ofis binasında kinetik cephe elemanları yokken yapılan enerji analizi sonuçlarına göre yıllık EUI değeri 139.763 kWh/m² olarak bulunmuştur (Tablo 3.8). Yıllık ısıtmaya harcanan toplam enerji tüketimi 63927.8735 kWh, soğutmaya harcanan toplam enerji tüketimi ise 21202.5595 kWh olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.8'de kinetik cephe yokken yıllık enerji dengesinin aylara göre dağılımının görseline de yer verilmiştir. Enerji dengesi görselinde şemanın üstünde kalan kısımlar kazançları, altta kalan kısımlar ise kayıpları ifade etmektedir. Kırmızıyla ifade edilen denge parametresi ise kazanç ve kayıpların her

ay için eşit olma durumunu göstermektedir ki bu durum parametrelerin doğru girildiğinin ve sistemin doğru çalıştığıının da göstergesidir. Çalışma kapsamında enerji dengesinde özellikle ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerini değerlendirmek esas alındığı için enerji dengesi görseli belli parametrelerle sınırlandırılmıştır. Sadece kinetik cephe olmadan alınan enerji dengesi görseli kazanç ve kayıpların sebeplerini anlayabilmek açısından daha detaylı olarak sunulmuştur. Görselden de anlaşılacağı gibi kışın ısıtmaya harcanan enerjinin yüksek olmasının en büyük sebebi pencerelerden kaynaklanmakla beraber sızma ve opak cisimlerden kaynaklı kayıplarda ısıtma enerji tüketimini artırmaktadır. Yine görsele göre yazın solar enerji kazançlarının kışa göre daha büyük oranda olduğu görülmektedir.

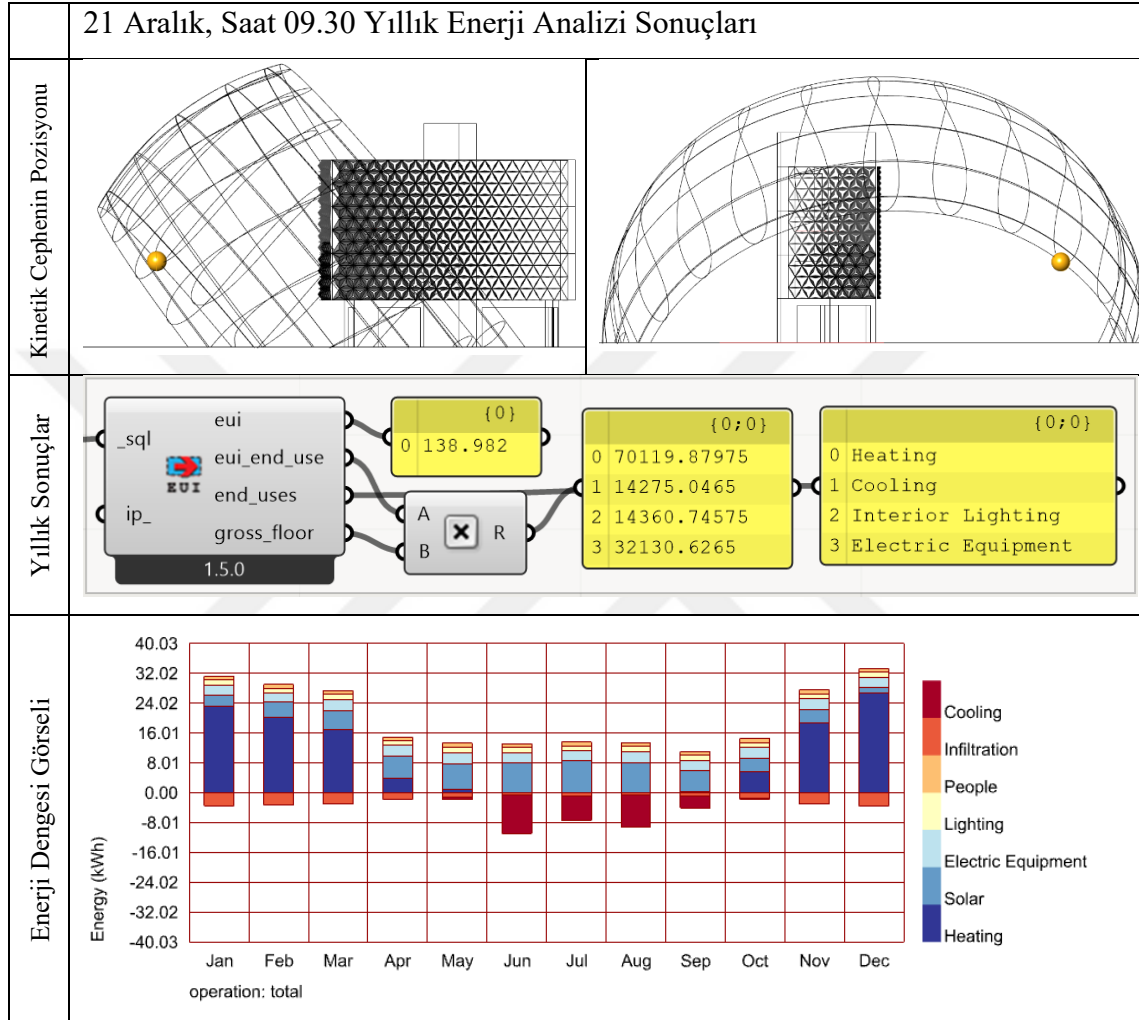
Tablo 3.8. Kinetik cephe yokken yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları



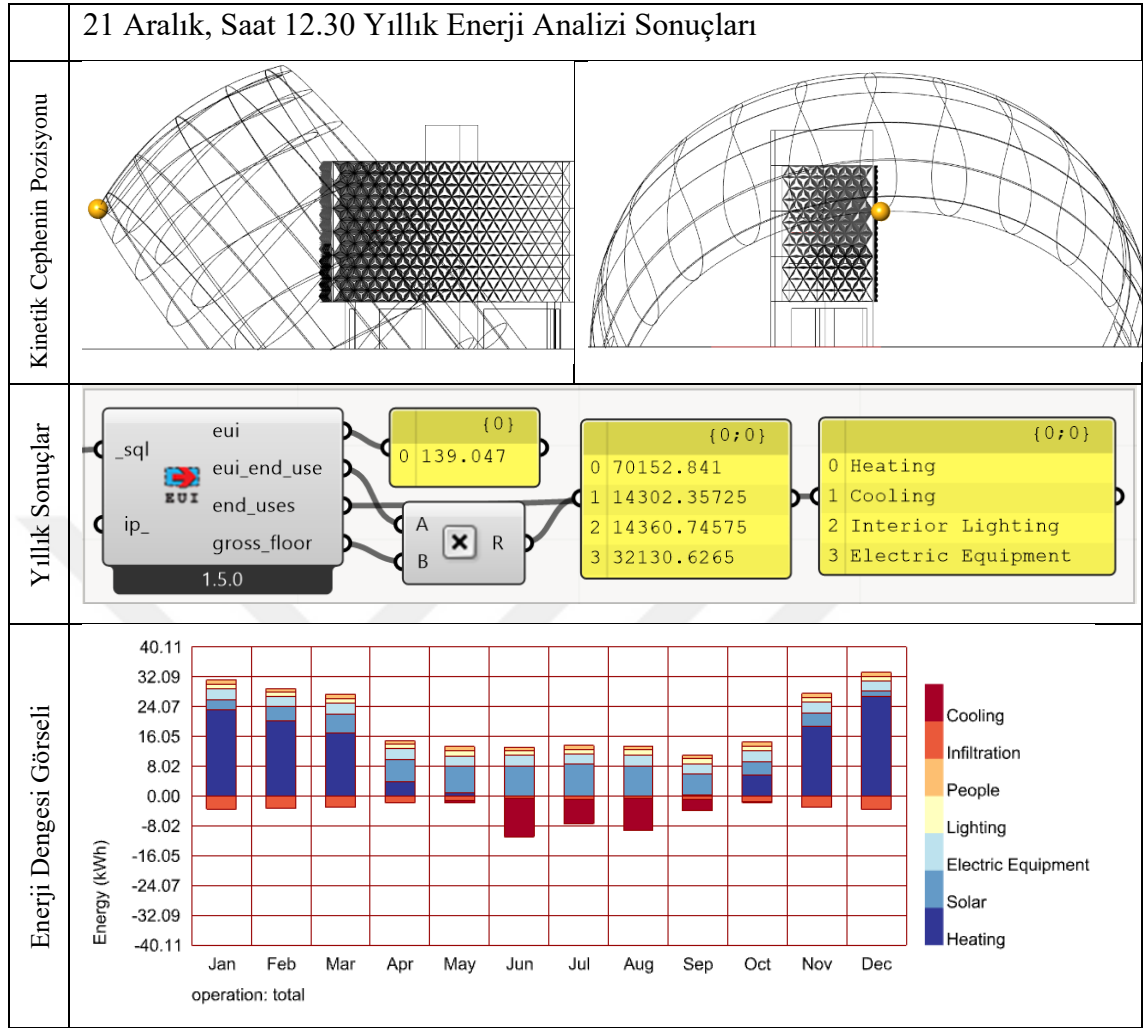
Tablo 3.9, Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’de 21 Aralık tarihinde günün belirlenen saatlerinde kinetik cephenin pozisyonuna göre yıllık enerji analizlerinin sonuçlarına yer verilmiştir. Yıllık EUI değerleri 21 Aralık saat 9.30 için 138.982 kWh/m², saat 12.30 için 139.047 kWh/m² ve saat 15.30 için ise 139.259 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık ısıtmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 70119.87975 kWh, saat 12.30 için 70152.84100 kWh ve saat 15.30 için ise 68524.55525 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık

soğutmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 14275.04650 kWh, saat 12.30 için 14302.35725 kWh ve saat 15.30 için ise 16130.29400 kWh olarak hesaplanmıştır.

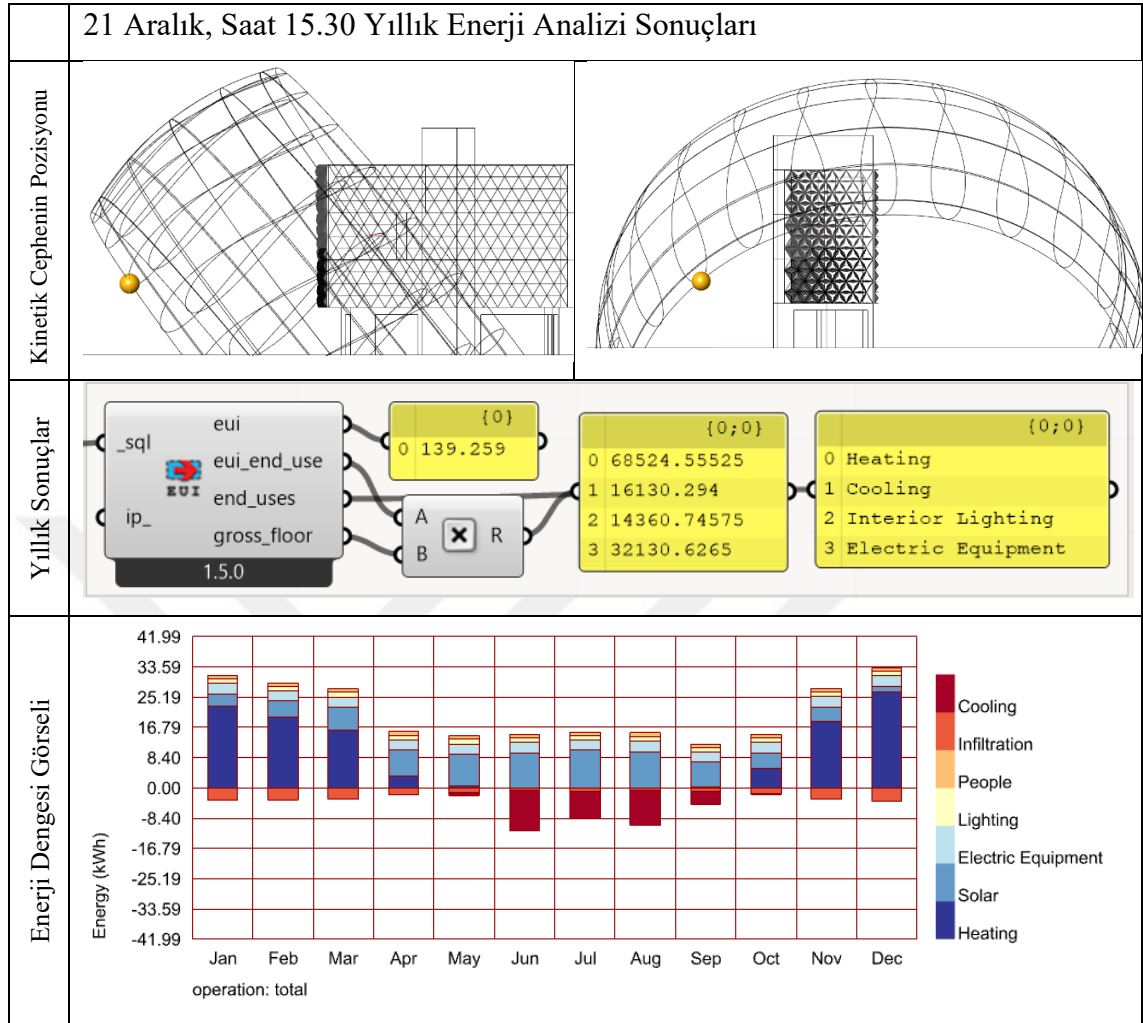
Tablo 3.9. Kinetik cephenin 21 Aralık, saat 9.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyonu sonuçları



Tablo 3.10. Kinetik cephenin 21 Aralık, saat 12.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları

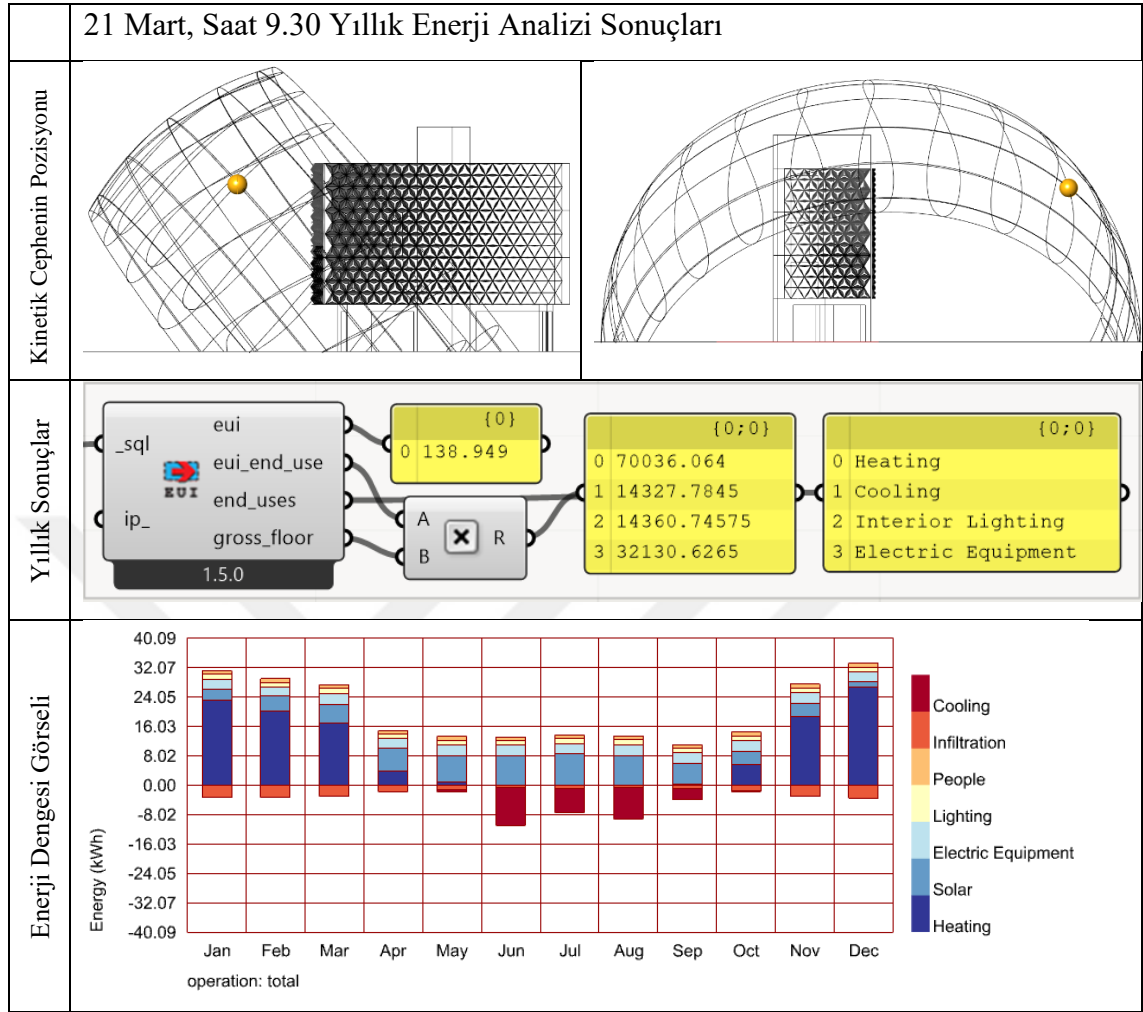


Tablo 3.11. Kinetik cephenin 21 Aralık, saat 15.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları

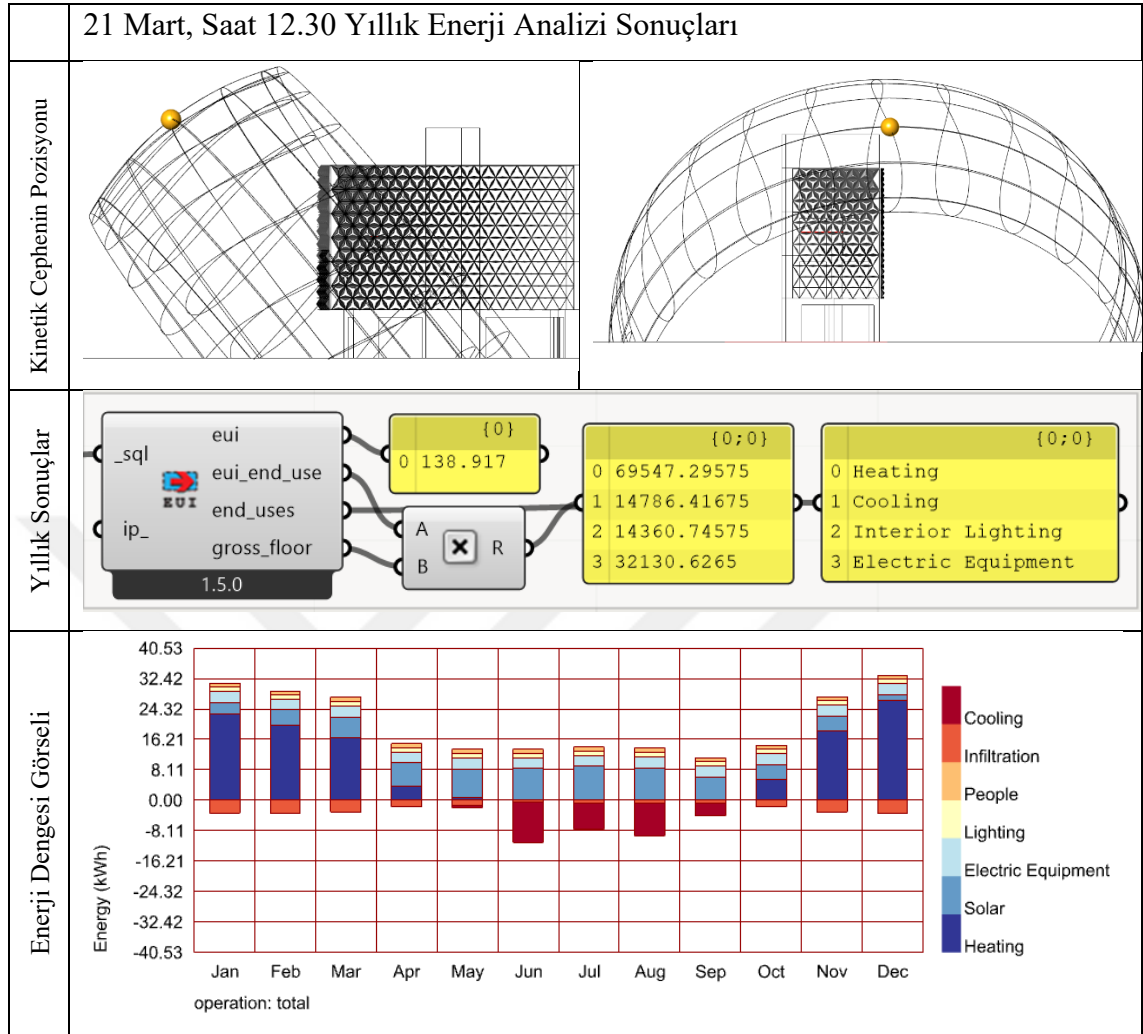


Tablo 3.12, Tablo 3.13 ve Tablo 3.14'te 21 Mart tarihinde günün belirlenen saatlerinde kinetik cephenin pozisyonuna göre yıllık enerji analizlerinin sonuçlarına yer verilmiştir. Yıllık EUI değerleri 21 Mart saat 9.30 için 138.949 kWh/m², saat 12.30 için 138.917 kWh/m² ve saat 15.30 için ise 139.227 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık ısıtmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 70036.06400 kWh, saat 12.30 için 69547.29575 kWh ve saat 15.30 için ise 68441.68125 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık soğutmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 14327.78450 kWh, saat 12.30 için 14786.41675 kWh ve saat 15.30 için ise 16183.03200 kWh olarak hesaplanmıştır.

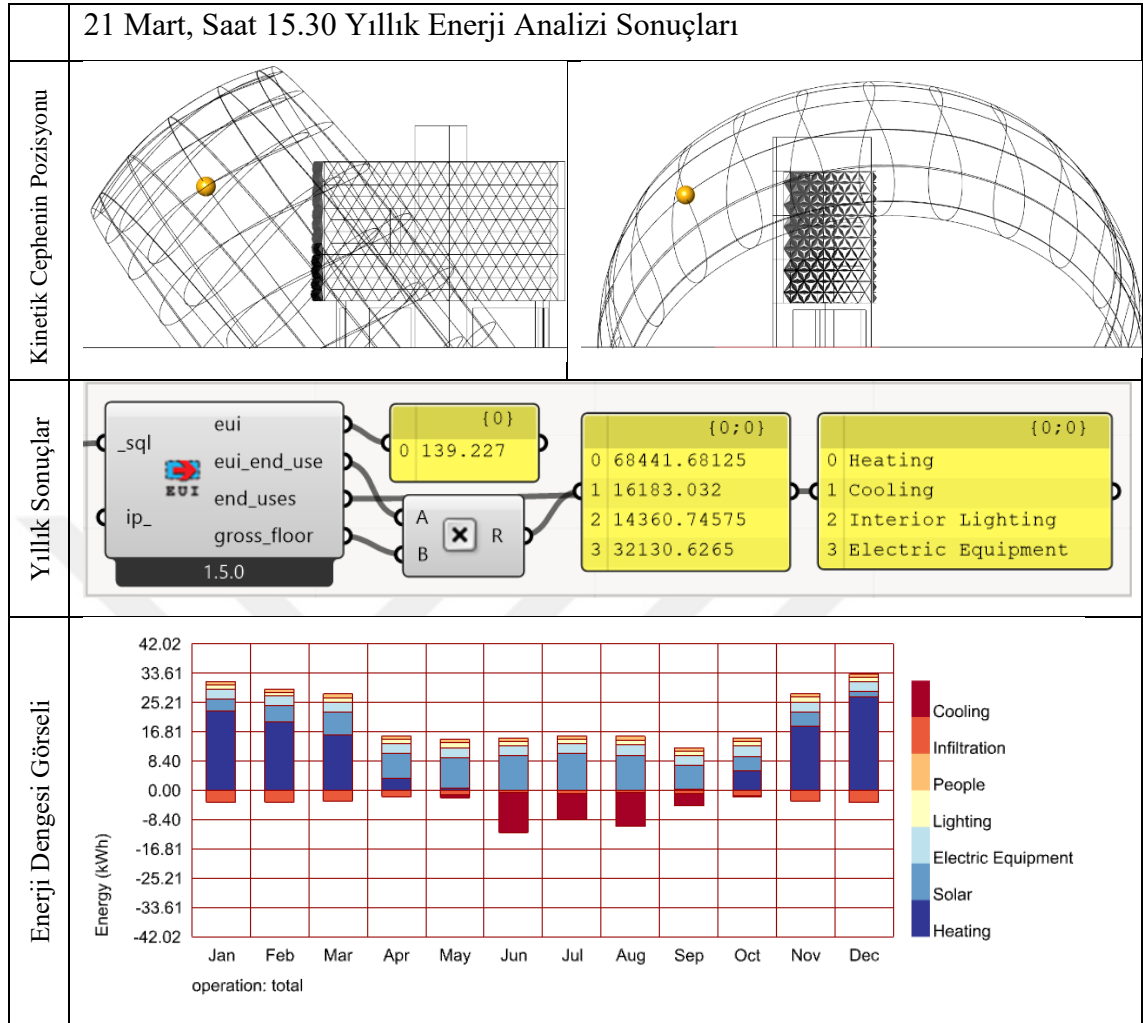
Tablo 3.12. Kinetik cephenin 21 Mart, saat 9.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları



Tablo 3.13. Kinetik cephenin 21 Mart, saat 12.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları

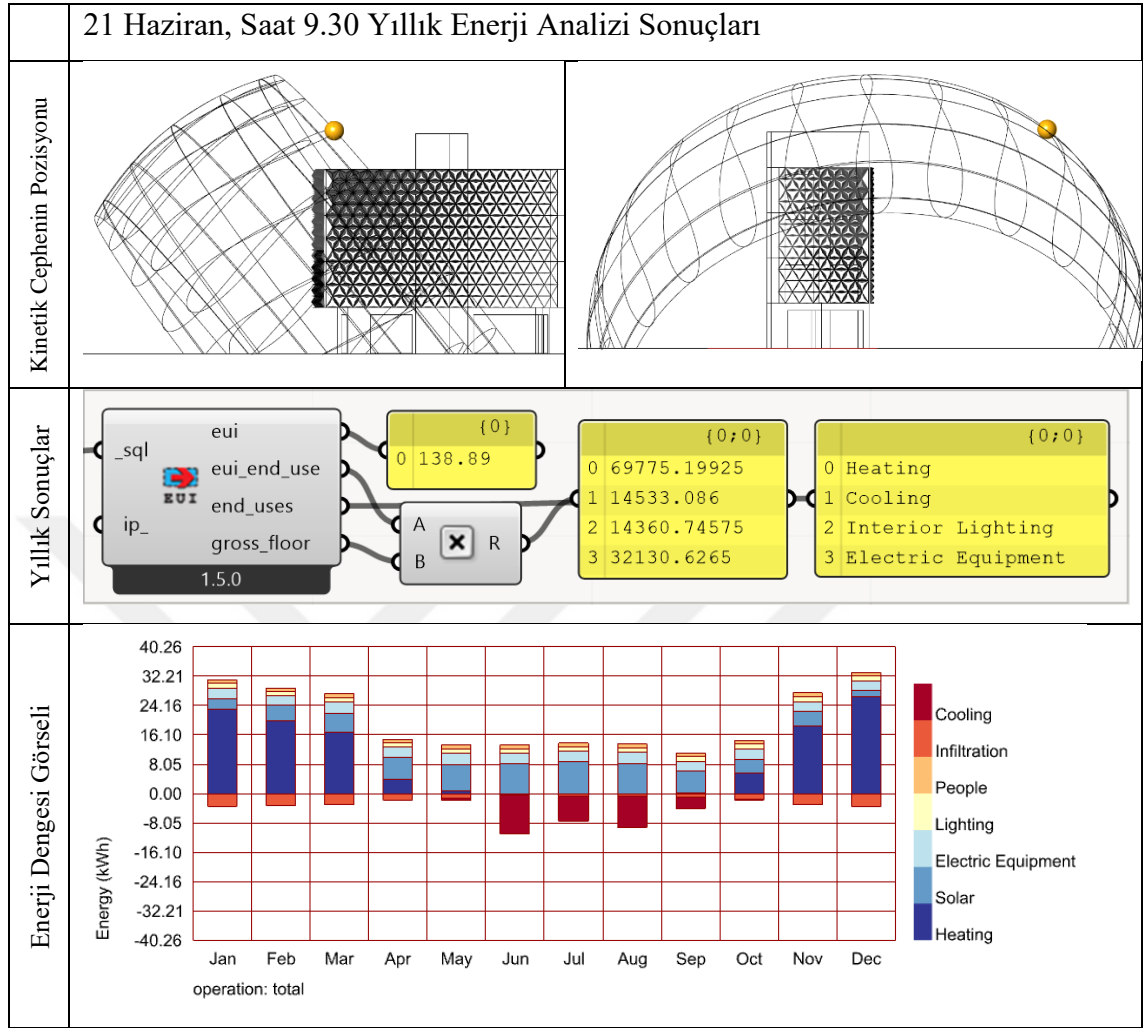


Tablo 3.14. Kinetik cephenin 21 Mart, saat 15.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyonu sonuçları

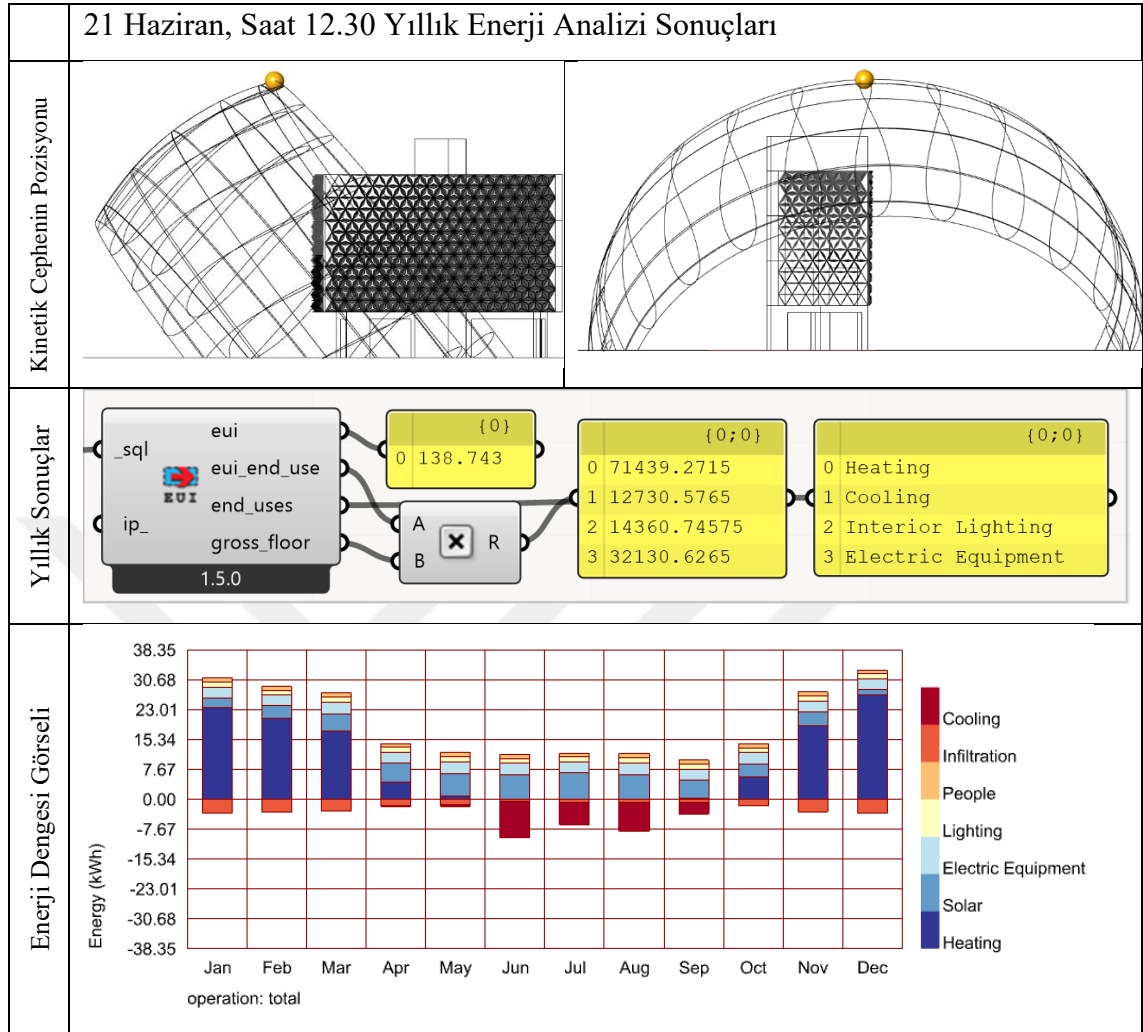


Tablo 3.15, Tablo 3.16 ve Tablo 3.17'de 21 Haziran tarihinde günün belirlenen saatlerinde kinetik cephenin pozisyonuna göre yıllık enerji analizlerinin sonuçlarına yer verilmiştir. Yıllık EUI değerleri 21 Haziran saat 9.30 için 138.890 kWh/m², saat 12.30 için 138.743 kWh/m² ve saat 15.30 için ise 139.533 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık ısıtmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 69775.19925 kWh, saat 12.30 için 71439.27150 kWh ve saat 15.30 için ise 68997.31375 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık soğutmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 14533.08600 kWh, saat 12.30 için 12730.5765 kWh ve saat 15.30 için ise 15916.51675 kWh olarak hesaplanmıştır.

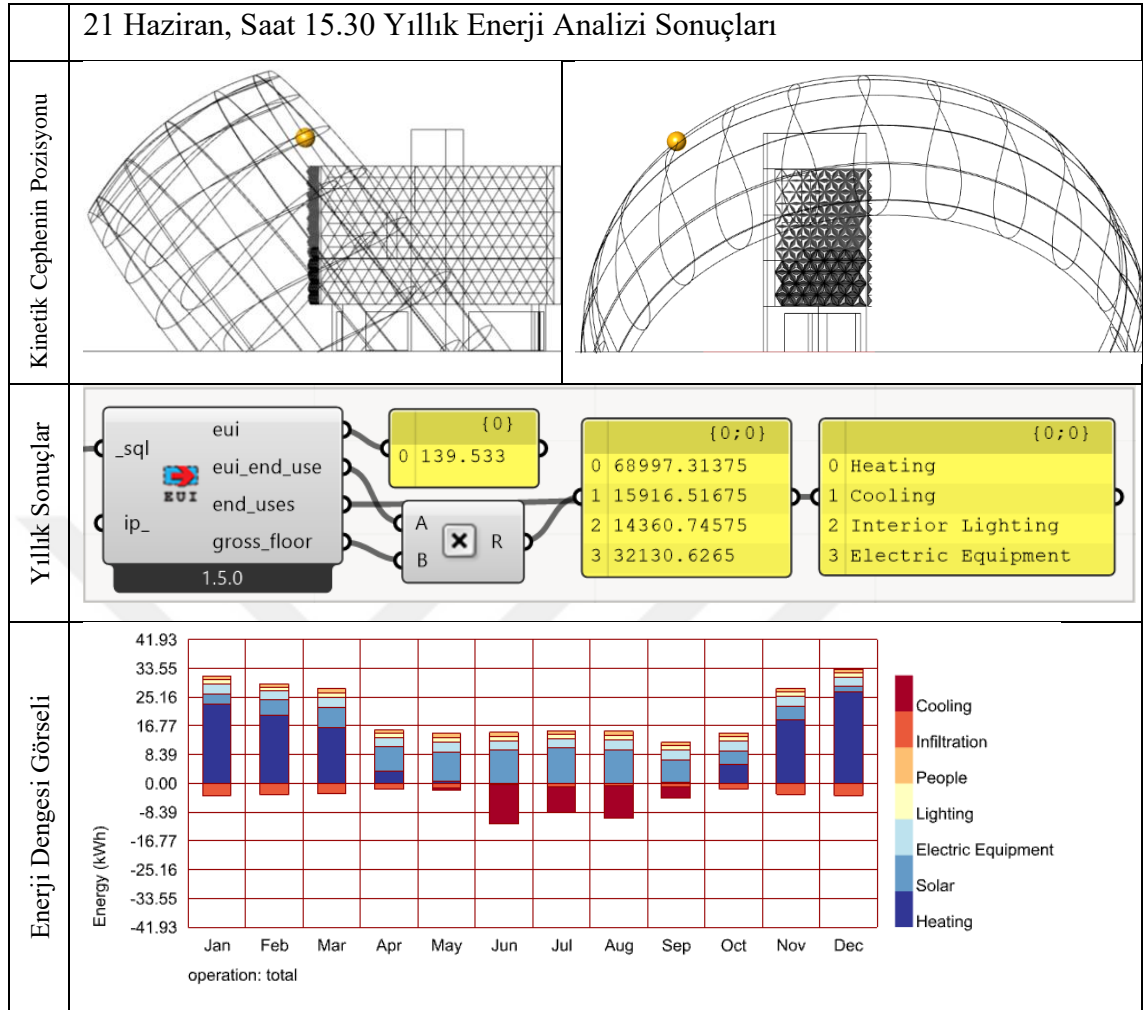
Tablo 3.15. Kinetik cephenin 21 Haziran, saat 9.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları



Tablo 3.16. Kinetik cephenin 21 Haziran, saat 12.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları

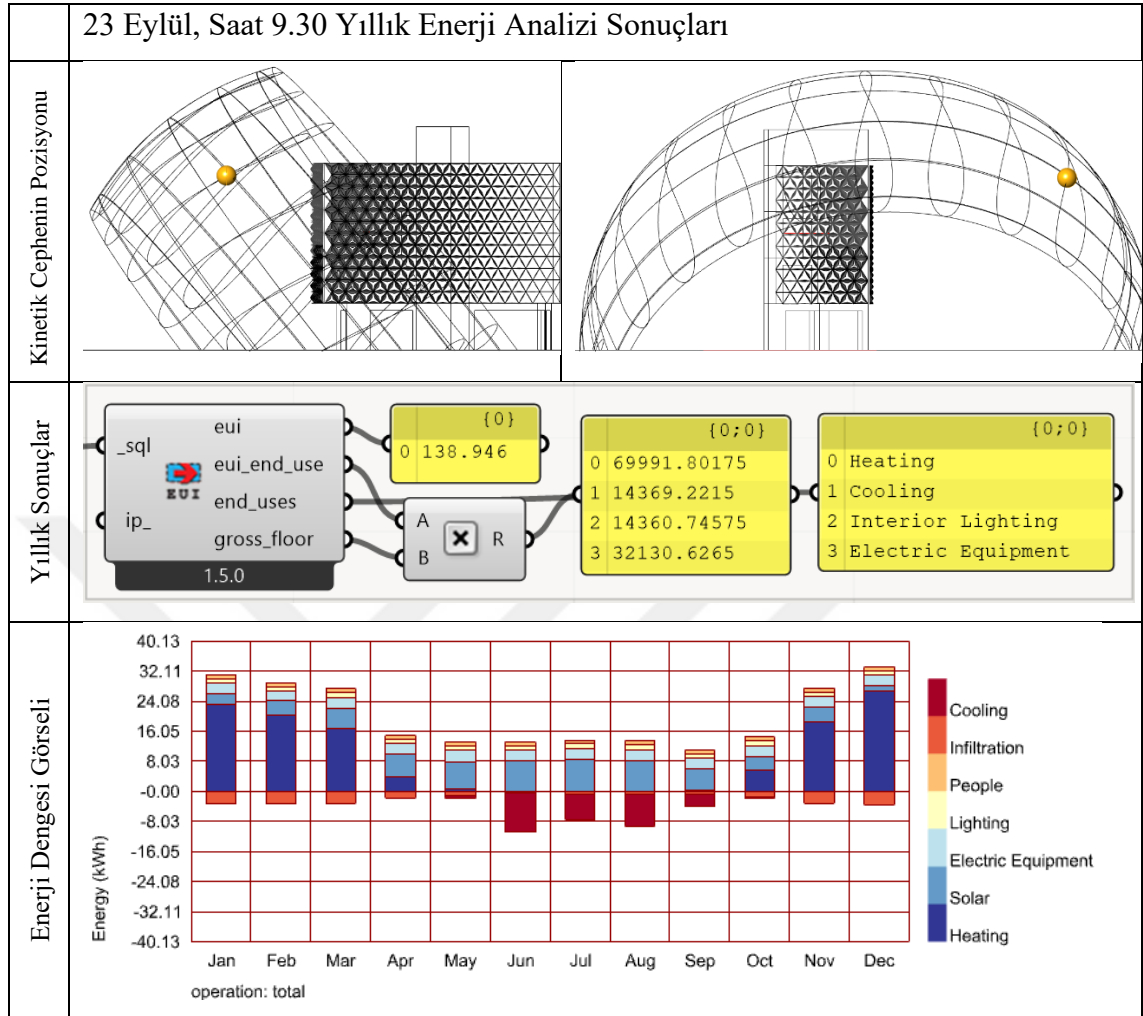


Tablo 3.17. Kinetik cephenin 21 Haziran, saat 15.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları

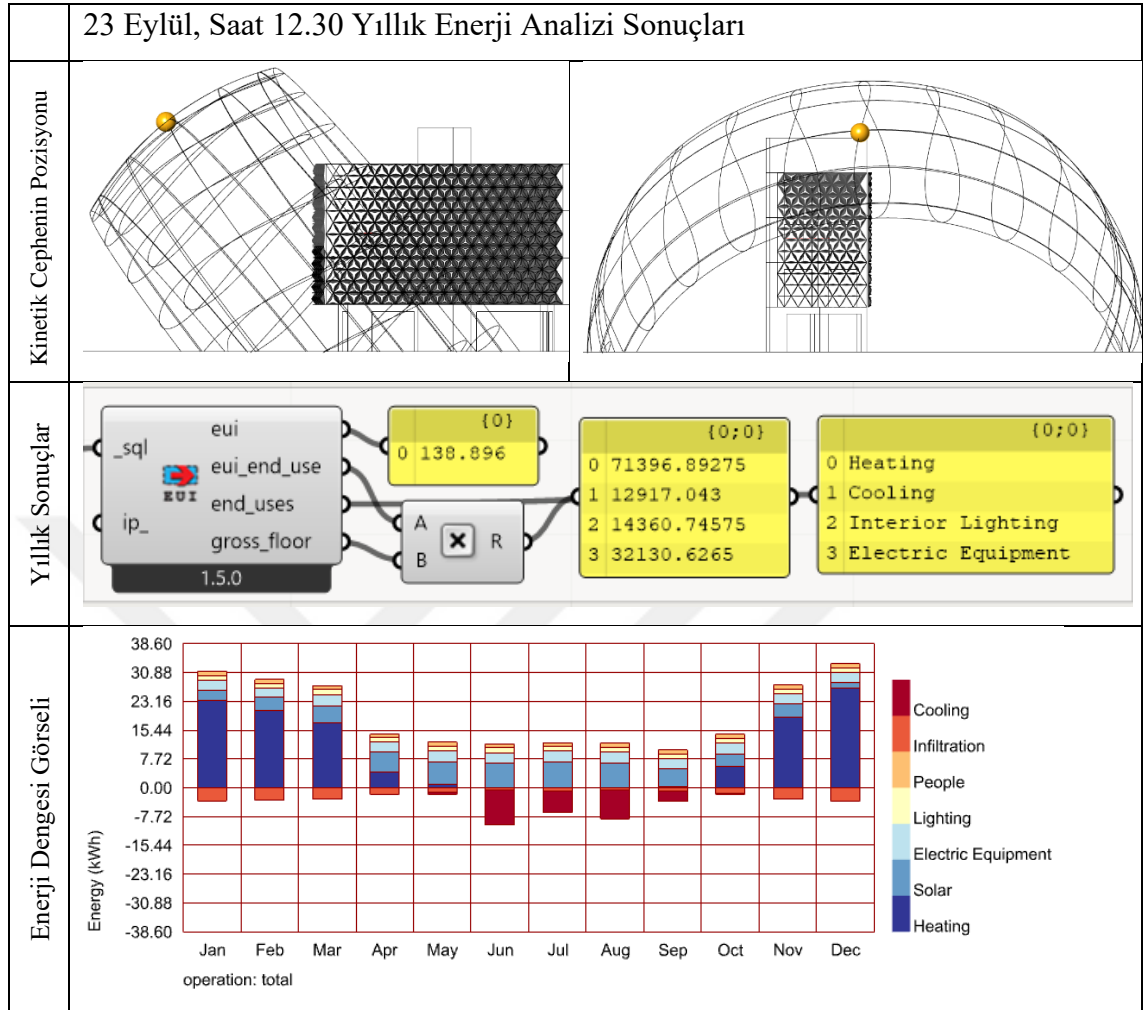


Tablo 3.18, Tablo 3.19 ve Tablo 3.20'de 23 Eylül tarihinde günün belirlenen saatlerinde kinetik cephenin pozisyonuna göre yıllık enerji analizlerinin sonuçlarına yer verilmiştir. Yıllık EUI değerleri 23 Eylül saat 9.30 için 138.946 kWh/m², saat 12.30 için 138.896 kWh/m² ve saat 15.30 için ise 139.238 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık ısıtmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için 69991.80175 kWh, saat 12.30 için 71396.89275 kWh ve saat 15.30 için ise 68455.80750 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık soğutmaya harcanan toplam enerji saat 9.30 için, 14369.22150 kWh, saat 12.30 için 12917.04300 kWh ve saat 15.30 için ise 16180.20675 kWh olarak hesaplanmıştır.

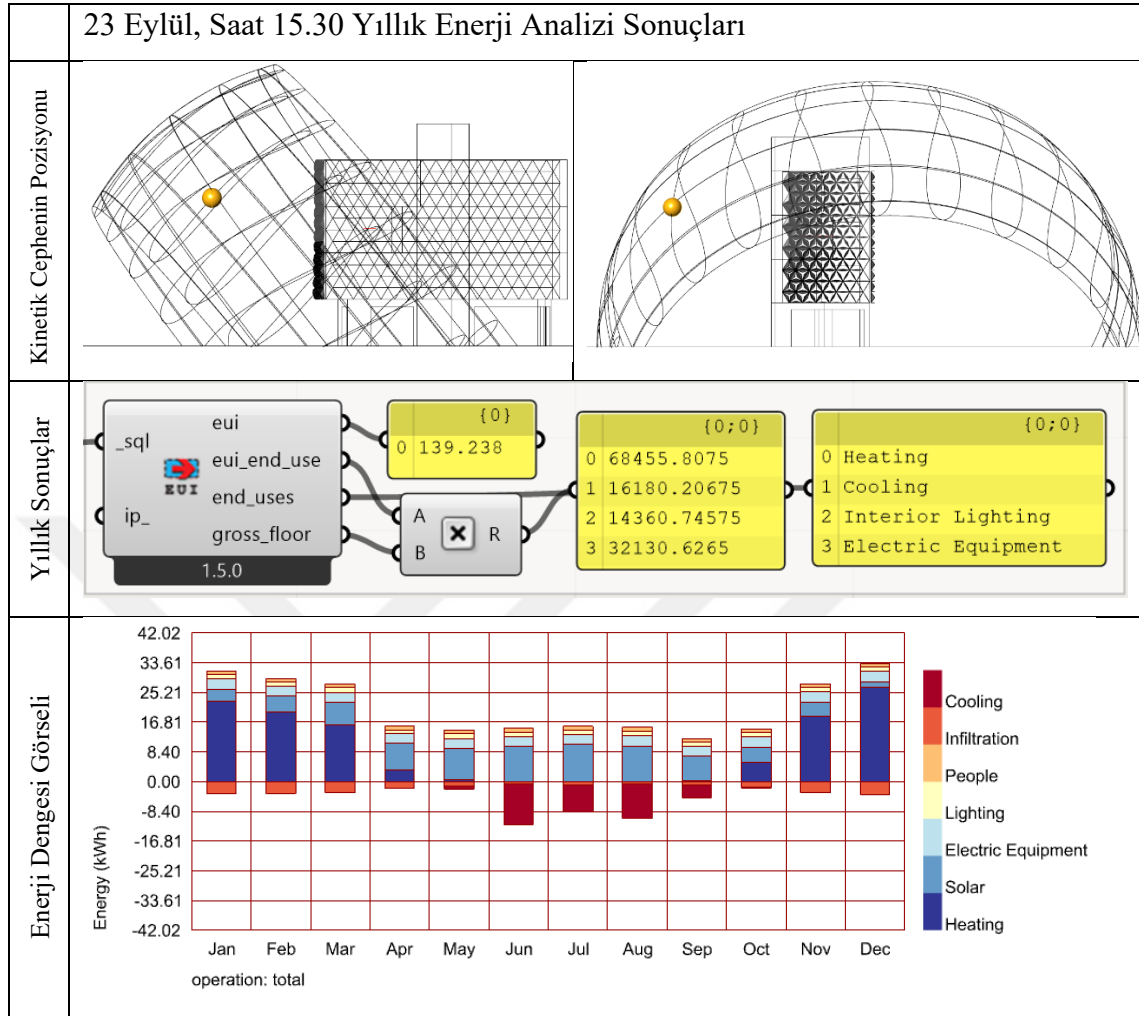
Tablo 3.18. Kinetik cephenin 23 Eylül, saat 9.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları



Tablo 3.19. Kinetik cephenin 23 Eylül, saat 12.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları



Tablo 3.20. Kinetik cephenin 23 Eylül, saat 15.30'daki pozisyonuna göre yıllık enerji analizi simülasyon sonuçları



Yıllık enerji analizi sonuçlarının geneline bakıldığında kinetik cephe yokken elde edilen EUI değerinin, kinetik cephe varken elde edilen 12 farklı değere göre arada çok büyük derecede bir fark olmasa da daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca kinetik cephenin eklenmesi tüm sonuçlar için yazın soğutma enerji tüketiminin azalmasına neden olurken, kışın ısıtma enerjisi tüketiminde de artışa neden olmuştur. Aşağıda kinetik cephe varken ve yokken elde edilen 13 farklı EUI değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Tablo 3.21).

Tablo 3.21. Kinetik cephe varken ve yokken elde edilen 13 farklı EUI değerlerinin karşılaştırılması

<u>Kinetik Cephe Yokken</u>	EUI değeri 139.763 kWh/m ² olarak hesaplanmıştır.		
<u>Kinetik Cephe Varken</u>	Saat 9.30'da EUI değeri	Saat 12.30'da EUI değeri	Saat 15.30'da EUI değeri
21 Aralık'ta Kinetik Cephenin Pozisyonuna Göre	138.982 kWh/m ²	139.047 kWh/m ²	139.259 kWh/m ²
21 Mart'ta Kinetik Cephenin Pozisyonuna Göre	138.949 kWh/m ²	138.917 kWh/m ²	139.227 kWh/m ²
21 Haziran'da Kinetik Cephenin Pozisyonuna Göre	138.890 kWh/m ²	138.743 kWh/m ²	139.533 kWh/m ²
23 Eylül'de Kinetik Cephenin Pozisyonuna Göre	138.946 kWh/m ²	138.896 kWh/m ²	139.238 kWh/m ²

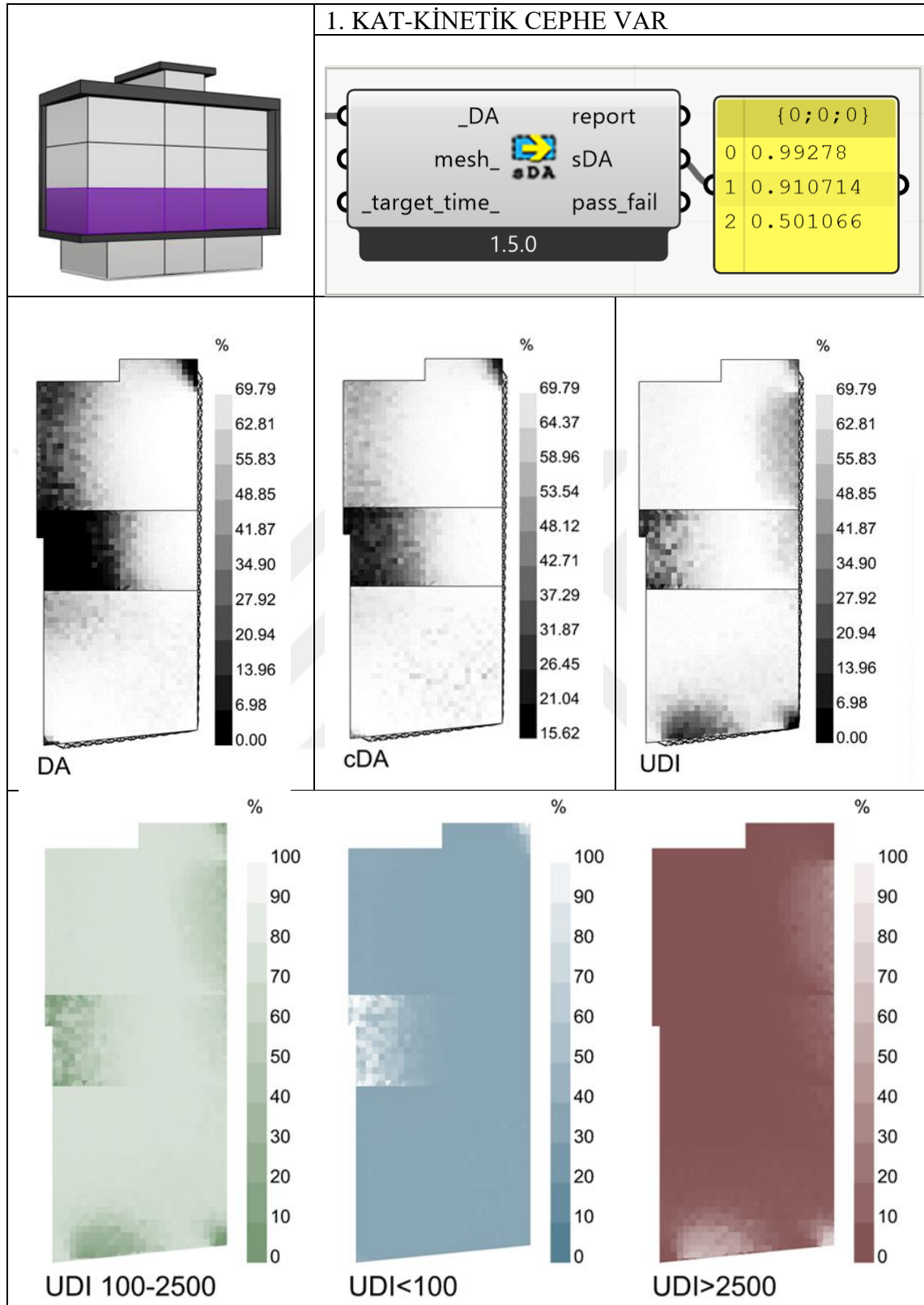
Tabloya göre saat 15.30'da kinetik cephe pozisyonunun çoğu kısmının açık olmasından dolayı belirlenen 4 farklı tarihte de kinetik cephe yokken elde edilen EUI değerine yakın bir değer elde edilmiştir. Bu 4 farklı tarih arasında ise saat 15.30'da kinetik cephenin çoğu kısmının açık olmasından dolayı özellikle yazın daha fazla soğutma enerjisine ihtiyaç duyulduğundan EUI değeri daha yüksek çıkmıştır. Kinetik cephe varken saat 9.30 ve 12.30'da elde edilen EUI değerlerinin tamamına bakıldığında kinetik cephenin yazın EUI değerinde daha olumlu sonuçlara neden olduğu görülmektedir.

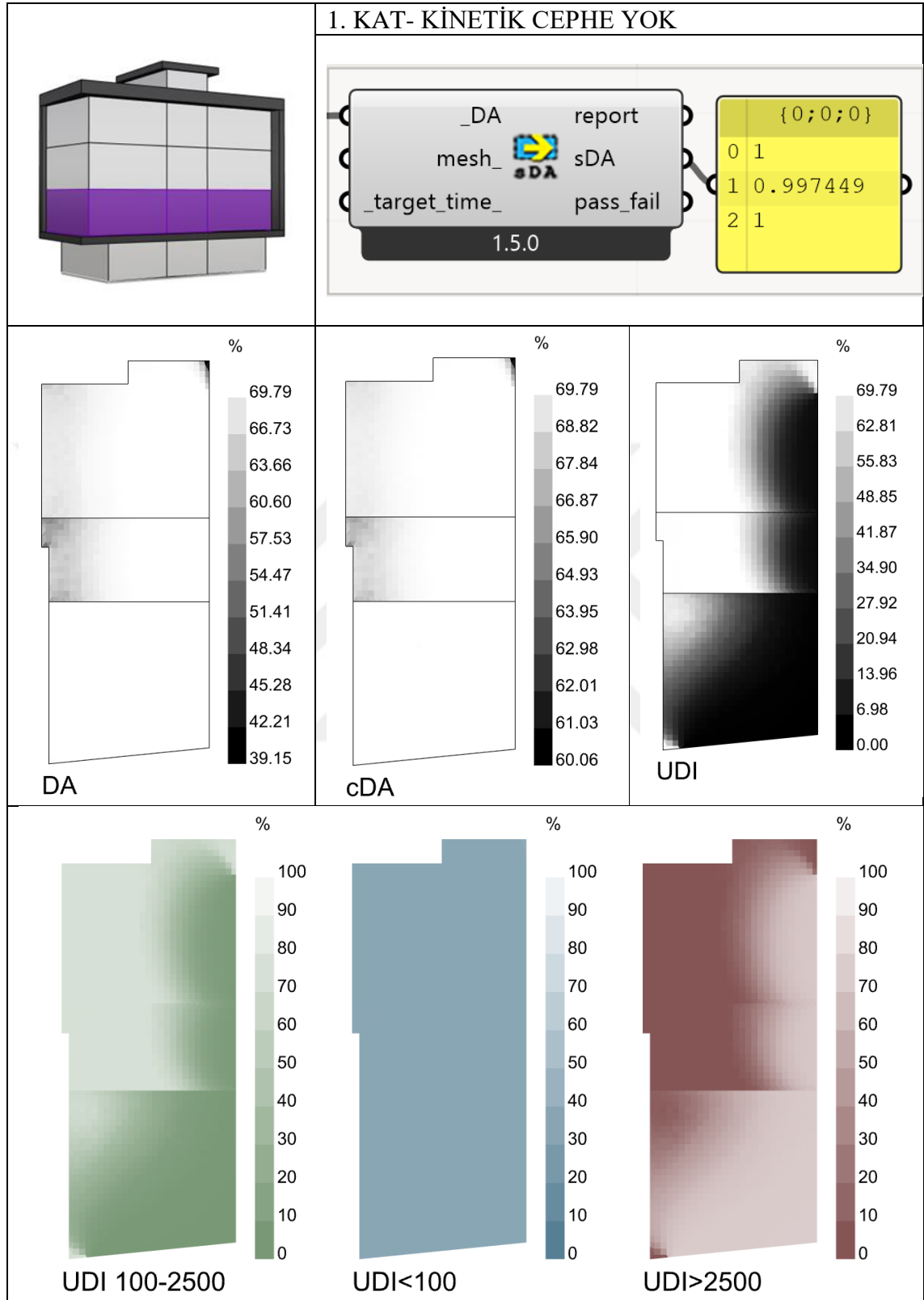
4.1.2. Güneşli Analizi Simülasyon Sonuçları

Çalışmada güneşli ölçme kriterleri arasından Gün Işığı Özerkliği (DA), Yararlı Gün Işığı Aydınlatması (UDI) ve Mekânsal Güneşli Özerkliği (sDA) olmak üzere 3 farklı ölçüt tercih edilmiştir. Ayrıca cDA değerinin görsel sonucuna da yer verilmiştir. sDA'nın DA'ya göre en büyük avantajı sDA'nın analiz edilen alanın tamamını temsil eden tek bir değer olarak sonuçlanmasıdır (Tabadkani ve diğ., 2018). Güneşli analizleri yıllık olarak ölçülüp güneşliğin etkin olduğu saat aralıklarıyla sınırlandırılmıştır. Saat 9.30 ile 15.30 saat aralığı güneşli simülasyonu için sınır saat aralıkları olarak kabul edilmiştir. Batı cephesinin bitişik nizam olması da saat 15.30'un sınır olmasında etkili olmuştur. Güneşli analizleri grid bazlı yapıldığı için enerji analizinde olduğu gibi ofisin tamamını değil, sadece kinetik cephenin bulunduğu 1.,2., ve 3. Kat planları üzerinden ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçların daha iyi izlenebilmesi için simülasyona sadece kinetik cephenin olduğu cephelerdeki pencereler dahil edilmiştir. Simülasyonda kinetik cephenin sadece belli bir tarihe göre konumlanması söz konusudur. Her kat için kinetik cephenin olma ve olmama durumuna göre analizler gerçekleştirilerek sonuçlar aşağıda tablolandırılmıştır.

1.Kat için sDA değerleri sirkülasyon alanı ve her iki tarafındaki odalar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda sarı renkli alanda yer alan değerler sirkülasyon

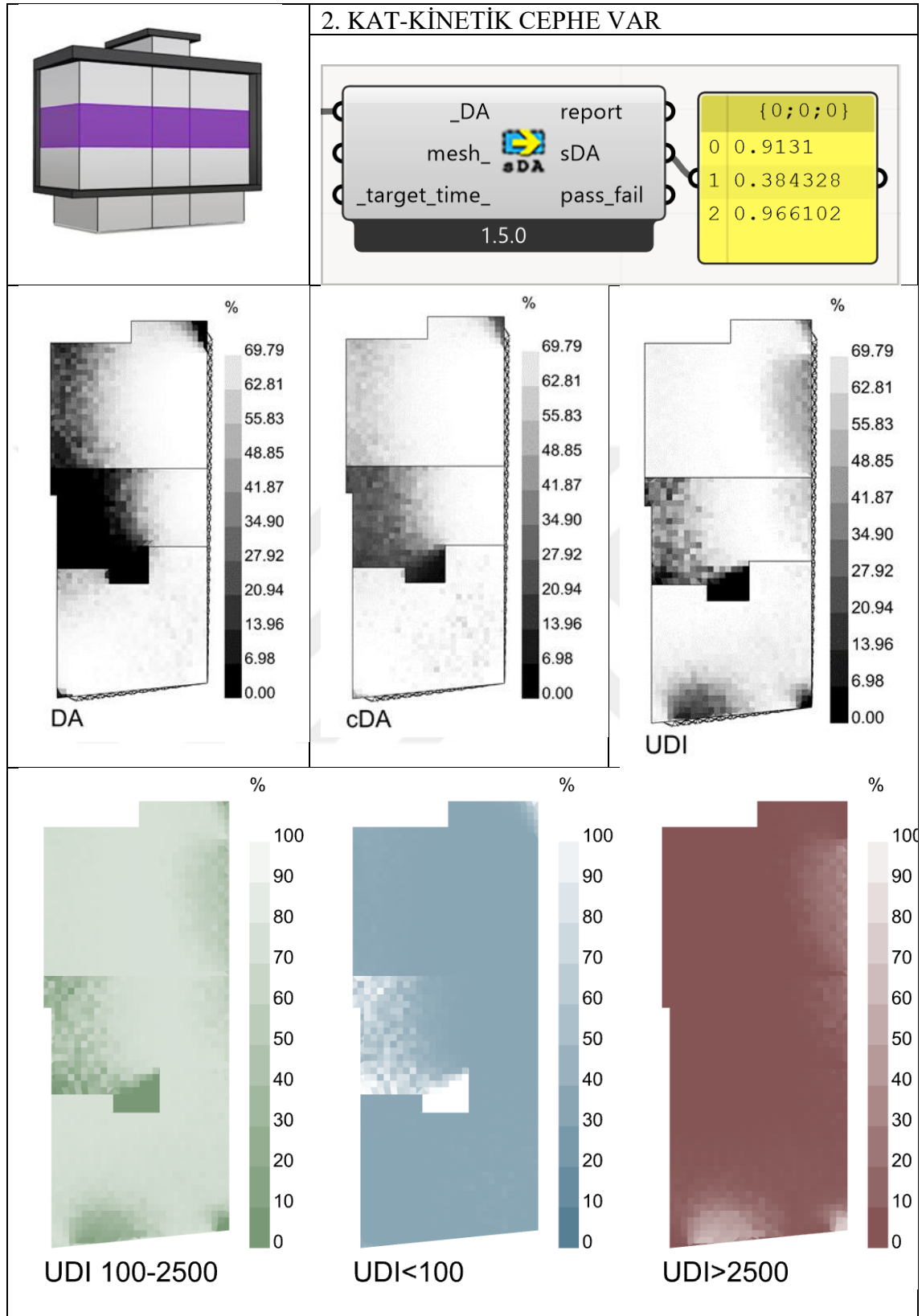
alanı ve iki odanın sDA değerlerini ifade etmektedir. sDA değerlerine bakıldığında sirkülasyon alanında kinetik cephenin eklenmiş olması sDA değerinin %50'lere düşürmüştür. Diğer odalardan güneşe bakan oda için %1'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Diğer oda için ise %8'lik bir düşüş vardır. Birinci kat planı için kinetik cephenin eklenmesiyle UDI değerlerinde 2500 lux'ün üzerinde aydınlatma değeri olan mekânlar azalmış ve 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânlar oluşmuştur. 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânlar ofis kat planı göz önüne alındığında asansörün olduğu kısma denk gelmekte olup aydınlık eşiğinin altında değer alması sorun teşkil etmemektedir. DA ve cDA'nın maksimum değerleri %69.79 olarak ölçülmüştür. Kinetik cephenin eklenmesi minimum ölçülen değerlerde değişikliğe neden olmuştur. Tablo 3.22 ve Tablo 3.23'te birinci kat için kinetik cephe varken ve yokken yıllık güneşiği analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.22. Birinci kat için kinetik cephe varken yıllık güneşliği analizi simülasyon sonuçları

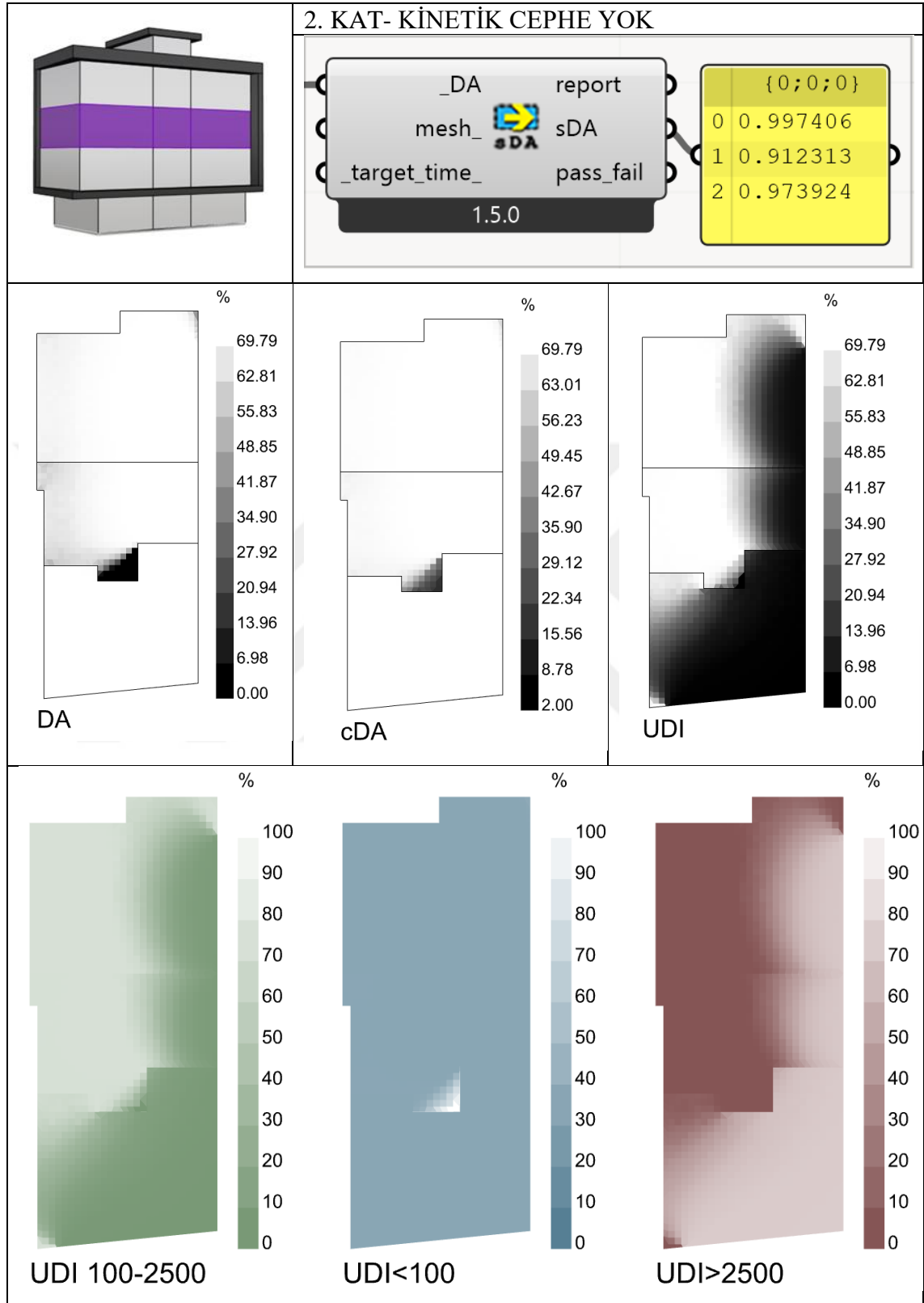
Tablo 3.23. Birinci kat için kinetik cephe yokken yıllık güneşliği analizi simülasyon sonuçları

2.Kat için sDA değerleri sirkülasyon alanı ve her iki tarafındaki odalar için yine ayrı ayrı hesaplanmıştır. sDA değerlerine bakıldığında sirkülasyon alanında kinetik cephenin eklenmiş olması sDA değerini %38'lere düşürmüştür. Diğer odalardan güneşe bakan oda için %3'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Diğer oda için ise %6'luk bir düşüş vardır. İkinci kat planı için kinetik cephenin eklenmesiyle UDI değerlerinde 2500 lux'ün üzerinde aydınlatma değeri olan mekânlar azalmış ve 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânlarda artış gözlenmiştir. 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânlar ofis kat planı göz önüne alındığında asansörün olduğu kısma denk gelmekte olup aydınlık eşiğinin altında değer alması sorun teşkil etmemektedir. Bu kat planı için kinetik cephe yokken de 100 lux'ün altında değer alan ofis odasının girişindeki girintiden dolayı yetersiz aydınlatmaya sahip alanın olduğu görülmektedir. DA ve cDA'nın maksimum değerleri %69.79 olarak ölçülmüştür. Kinetik cephenin eklenmesi cDA için minimum ölçülen değerde değişikliğe neden olmuştur. Tablo 3.24 ve Tablo 3.25'te ikinci kat için kinetik cephe varken ve yokken yıllık günışığı analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.24. İkinci kat için kinetik cephe varken yıllık güneşliği analizi simülasyon sonuçları

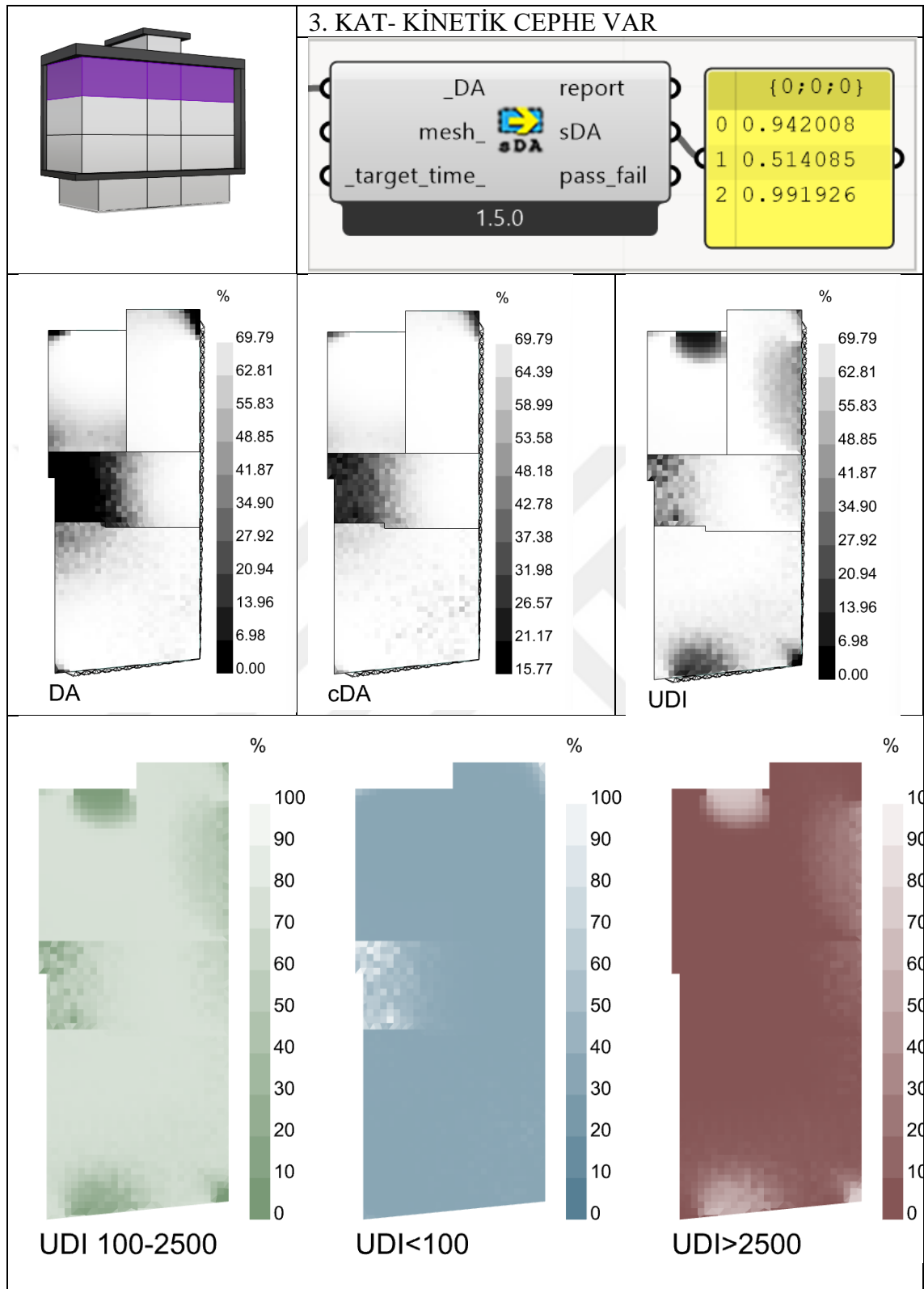


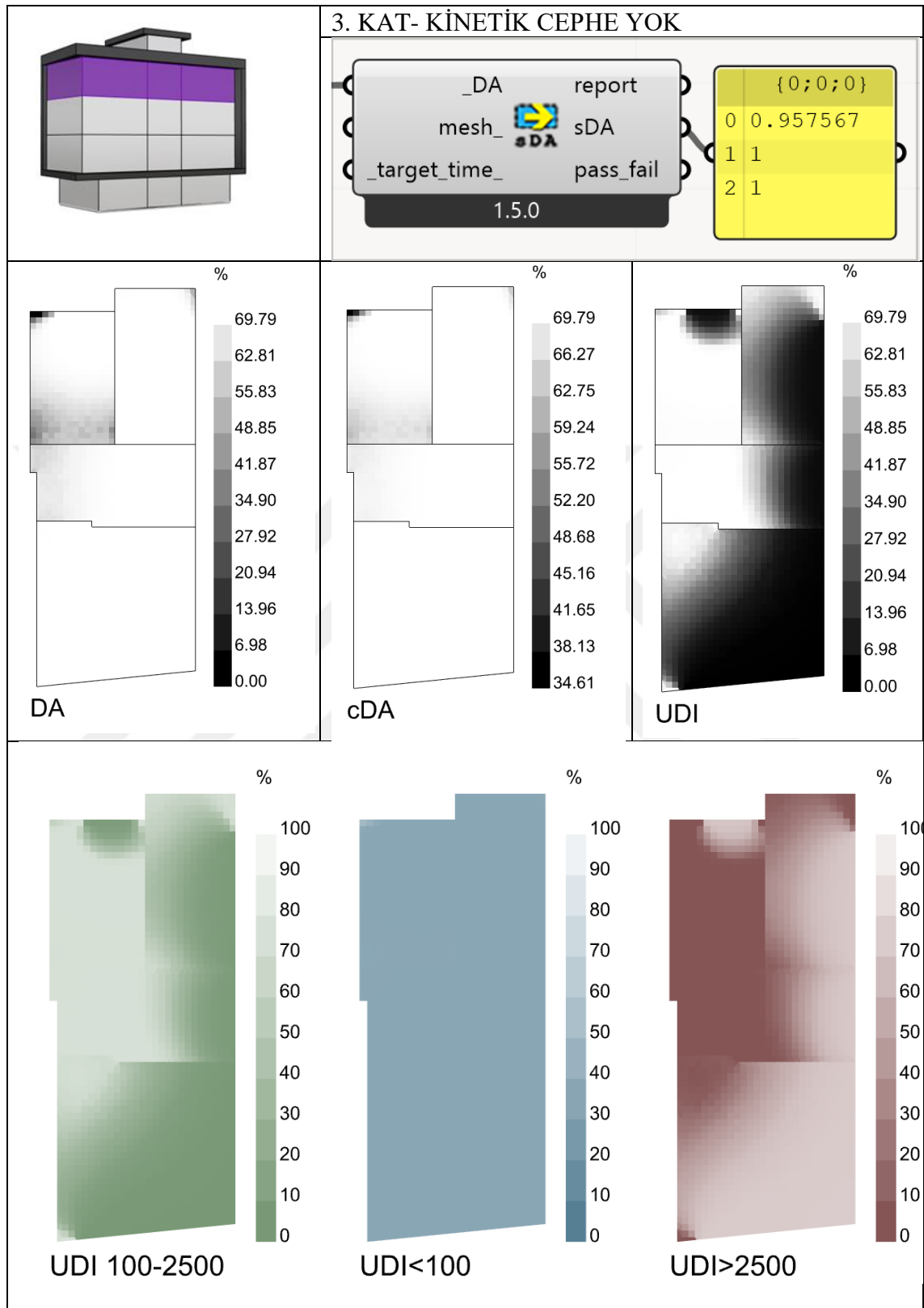
Tablo 3.25. İkinci kat için kinetik cephe yokken yıllık günışığı analizi simülasyon sonuçları



3.Kat için sDA değerleri sirkulasyon alanı ve her iki tarafındaki odalar için yine diğer katlarda olduğu gibi ayrı ayrı hesaplanmıştır. sDA değerlerine bakıldığında sirkulasyon alanında kinetik cephenin eklenmiş olması sDA değerinin %51'lere dūřürmüřtür. Dięer odalardan güneye bakan oda için %1'lik bir dūřüř gözlemlenmiştir. Dięer oda için ise %6'lık bir dūřüř vardır. Üçüncü kat planı için kinetik cephenin eklenmesiyle UDI değerlerinde 2500 lux'ün üzerinde aydınlatma değeri olan mekânlar azalmış ve 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânlar oluşmuştur. 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânlar ofis kat planı göz önüne alındığında asansörün olduğu kısma denk gelmekte olup aydınlık eşiğinin altında değer alması sorun teşkil etmemektedir. DA ve cDA'nın maksimum değerleri %69.79 olarak ölçülmüştür. Kinetik cephenin eklenmesi cDA için minimum ölçülen değerde değişikliğe neden olmuştur. Tablo 3.26 ve Tablo 3.27'de üçüncü kat için kinetik cephe varken ve yokken yıllık günüşiği analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.26. Üçüncü kat için kinetik cephe varken yıllık güneşliği analizi simülasyon sonuçları



Tablo 3.27. Üçüncü kat için kinetik cephe yokken yıllık günışığı analizi simülasyon sonuçları

Katların tamamı için kinetik cephe, sDA değerlerinde %19 oranında bir düşüşe sebep olmuştur. Fakat her iki tarafının da cam cephe olmasından dolayı güneye bakan cephedeki odalar için bu düşüşün kinetik cephe olsa bile oldukça az olduğu görülmektedir. Ayrıca her kat için DA ve sürekli gün ışığı özerkliği ifade eden cDA değerlerinde kinetik cephenin eklenmesiyle olumlu sonuçlar gözlemlendiği söylenebilir.

Her kat için faydalı günışığı aydınlığı UDI değerlerine bakıldığında görsel ve termal konforsuzluğa neden olabilecek günışığı aydınlığı eşik seviyesi 2500 lux'ün üzerindeki alanların kinetik cephenin eklenmesiyle azalmıştır. Kinetik cephenin eklenmesiyle yetersiz günışığı aydınlığı eşik seviyesi olan 100 lux'ün altında değer alan alanlar oluşmuştur.

4.1.3. Parlama Analizi Simülasyon Sonuçları

Çalışmada günışığı parlama simülasyonu için daha önce de belirtildiği gibi ikinci katta bulunan dubleks mesken eki oda tercih edilmiş, simülasyonlar bu oda üzerinden yürütülmüştür. Parlama analizi ile, ofis çalışanlarının görsel rahatsızlıklarını ölçmek ve gerekli önlemleri almak mümkündür. Parlama kontrol altına alındığında, kullanıcıların dış mekânı algılaması kolaylaşır, parlamanın vermiş olduğu rahatsızlık azalır ve sonuç olarak kullanıcı konforu sağlanmış olur. Bu çalışmada günışığı parlama ölçümleri için 21 Aralık, 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihleri seçilmiştir. Her bir tarih için 9.30, 12.30 ve 15.30 saatlerinde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu seçili günlerde güneşin konumu en yüksek, en alçak ya da ortadadır. Böylece, sadece bu 4 gün ile günışığı ölçümleri ile parlama hakkında doğru kararlar verilebilir.

21 Aralık tarihinde yapılan günışığı parlama olasılığı ölçüm sonuçlarına göre saat 9.30 ve 12.30'da kinetik cephe yokken çok yüksek derecede bir parlama gözlenmiştir. Fakat kinetik cephenin eklenmesiyle bu çok yüksek derecedeki parlama algılanamaz bir parlamaya dönüşmüştür. 21 Aralık tarihinde saat 15.30 da kinetik cephe olsun veya olmasın algılanabilir bir parlama gözlenmemiştir. Tablo 3.28'de ofis binasındaki bir oda için 21 Aralık'ta günışığı parlama analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.28. 21 Aralık'ta günışığı parlama analizi simülasyon sonuçları

21 Aralık	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)
9.30			 0.308732			 0.615573
12.30			 0.27760			 0.543676
15.30			 0.21182			 0.252266
	Kinetik Cephe Var			Kinetik Cephe Yok		

21 Mart tarihinde yapılan günışığı parlama olasılığı ölçüm sonuçlarına göre yine saat 9.30 ve 12.30'da kinetik cephe yokken çok yüksek derecede bir parlama gözlenmiştir. Kinetik cephe eklenmeden yapılan ölçüme göre saat 15.30'da ise rahatsız edici olmasa da algılanabilir bir parlama gözlemlenmiştir. Kinetik cephenin eklenmesi ile tüm bu saat değerlerinde algılanabilir bir parlama gözlemlenmemiştir. Tablo 3.29'da ofis binasındaki bir oda için 21 Mart'ta günışığı parlama analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.29. 21 Mart'ta gnii parlama analizi simülasyon sonuçları

21 Mart	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)
9.30						
			0.295592			0.59468
12.30						
			0.325436			0.520731
15.30						
			0.316954			0.371512
	Kinetik Cephe Var			Kinetik Cephe Yok		

21 Haziran'da yapılan gnii parlama olasılığı ölçüm sonuçlarına göre elde edilen değerlerde değişim olsa da değer aralıklarına bakıldığında 21 Mart'ta elde edilen sonuçlarla aynı Şekilde yorumlamak mümkündür. Kinetik cephenin eklenmesi bu tarihte de saat 9.30 ve 12.30 saatlerinde rahatsız edici parlamanın önüne geçilmesini sağlamaktadır. Tablo 3.30'da ofis binasındaki bir oda için 21 Haziran'da gnii parlama analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.30. 21 Haziran'da güneşli parlama analizi simülasyon sonuçları

21 Haziran	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)
9.30						0.311665
12.30						0.320112
15.30						0.32342
	Kinetik Cephe Var			Kinetik Cephe Yok		

23 Eylül tarihinde yapılan güneşli parlama olasılığı ölçüm sonuçlarına göre saat 9.30 ve 12.30'da kinetik cephe yokken çok yüksek derecede bir parlama gözlenmiştir. Kinetik cephe eklenmeden yapılan ölçüme göre saat 15.30'da ise rahatsız edici olmasa da algılanabilir bir parlama gözlemlenmiştir. Kinetik cephenin eklenmesi ile tüm bu saat değerlerinde algılanabilir bir parlama gözlemlenmemiştir. Tablo 3.31'de ofis binasındaki bir oda için 23 Eylül'de güneşli parlama analizi simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3.31. 23 Eylül'de günışığı parlama analizi simülasyon sonuçları

23 Eylül	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)	Falsecolor HDR	High Dynamic Range (HDR)	Daylight Glare Probability (DGP)
9.30						
			0.300819			0.591746
12.30						
			0.33264			0.513054
15.30						
			0.308755			0.35607
	Kinetik Cephe Var			Kinetik Cephe Yok		

Kinetik cephenin eklenmesi tüm tarih ve saatlerde parlamasının tamamen önüne geçmiş ve algılanabilir bir parlama kinetik cephe varken gözlenmemiştir.

4.2. Tartışma

Günümüz mimarisinde, binalarda enerji performansını ve kullanıcı konforunu sağlamak için kinetik cephe tasarımlarına eğilim noktasında artan bir talep söz konusudur. Kinetik cephelerin karmaşık yapısı çağımız teknolojisinde parametrik tasarım araçlarıyla kolayca çözümlenebilmektedir. Tam bir cam cephenin dezavantajları düşünüldüğünde, soğutma yükünün artan ışık seviyesine bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Bu da binanın toplam enerji yükünün dolayısıyla binanın karbon emisyonunun artmasına neden olur. Kinetik cepheler, istenmeyen yaz sıcaklıklarında iç mekânların gölgelenmesini ve dolayısıyla soğutmaya harcanan enerjinin azaltılmasını sağladığından olumlu görülmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre yıllık enerji tüketimin de toplamda bir azalışa sebep olsa da ısıtma enerji tüketiminde herhangi bir azalışa neden olmamakla beraber artış da gözlenmiştir. Buna sebep olarak, kinetik cephenin günışığından faydalanma olasılığını azaltmasıdır denilebilir. Enerji analiz sonuçlarına göre soğutma enerjisi tüketimini azalttığı için kinetik cephelerin yaz için daha verimli oldukları söylenebilir. Saat 15.30'da kinetik cephenin pozisyonu kinetik cephe yokken ki durumuna yakın olduğu için EUI değerinde çok fazla değişim olmamıştır. Genel EUI

değerlerine bakıldığında kinetik cephe yazın soğutma enerji tüketimini azaltsa da kışın ısıtma enerji tüketimini artırmasından dolayı yıllık enerji kullanım yoğunluğunun çok fazla değişmemesine neden olmuştur. Yani kinetik cephenin varlığı enerji performansında genel olarak çok olumlu sonuçlanmamıştır. Fakat kış ayları da dahil olmak üzere yılın tamamında kamaşma, faydalı günışığı aydınlığı ve yıllık günışığı özerkliği noktasında oldukça olumlu sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasının kaynak araştırması bölümünde, ‘parametrik tasarım’, ‘kinetik mimari’, ‘akıllı kinetik cephe sistemleri’ ve son olarak ‘tesselasyon’ kavramları üzerine çeşitli kaynaklardan yapılan detaylı araştırmalar sonucunda edinilen bilgiler sunulmuştur. Kaynak araştırması kısmının son bölümünde son 5 yılda enerji ve güneş ışığı değerlendirmeye yönelik literatürde bulunan güncel çalışmalar tablo şeklinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmanın alan kısmında, Konya’nın Selçuklu ilçesinin Hacıkaymak Mahallesinde bulunan mevcut ofis binası Rhino/Grasshopper programında parametrik olarak modellenmiştir. Daha sonra tesselasyon tekniğine dayalı olarak tasarlanan kinetik cephe parametrik olarak da modellenerek ofis binasının güney ve doğu cam cepheli kısımlarına yerleştirilmiştir. Kinetik cephenin güneş yoluyla bağlantısı da yapılarak güneşe duyarlı akıllı kinetik cephe oluşturulmuştur. Gerçek hayatta bu proje uygulanırsa Arduino mikrodenetleyicinin güneşin hareketine duyarlı sensörleri vasıtasıyla hareket gerçekleştirilecektir. Çalışmada son olarak Grasshopper arayüzünde Honeybee ve Ladybug eklentileri ile Radiance, Energyplus ve Openstudio gibi kabul görmüş simülasyon motorları arasındaki bağlantı kurularak enerji, güneş ışığı ve parlama analizleri yapılmıştır.

Çalışmada simülasyonlara geçilmeden önce tez kapsamında karşılaştırma ve değerlendirmeye konu olacak değerler üzerine kısa kısa bilgiler sunulmuştur. Çalışmada yıllık güneş ışığı analizlerinde DA, sDA, UDI değerleri, yıllık enerji analizlerinde EUI değerleri ve yıllık toplam ısıtma ve soğutmaya harcanan enerji miktarları ve son olarak güneş ışığı parlama analizlerinde HDR, Falsecolor HDR görüntülerinin yanında DGP değeri yüzdesel olarak ve her bir değer kinetik cephenin olma ve olmama durumuna göre ayrı ayrı sunulmuştur.

Yıllık enerji analizi sonuçları;

- Tamamen cam cepheli ofis binalarının cephelerinin akıllı kinetik sistemler ile kaplanması özellikle yazın soğutma ihtiyacı arttığında önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayacaktır. Bu çalışmada akıllı kinetik cephenin yılın tamamı için soğutma yükünü yaklaşık olarak %35 oranlarında azalttığı görülmektedir. Isıtma enerjisinde herhangi bir azalış gözlenmemekle beraber kinetik cephenin güneş ışığını engellemesinden dolayı artış gözlenmiştir. Fakat yıllık toplam enerji

kullanımına bakıldığında kinetik cephenin enerji kullanımını azalttığı görülmektedir.

- Kinetik cephenin olma durumu enerji son kullanım yoğunluğunun azalmasını sağlamıştır. Yıllık enerji analizi sonuçlarının geneline bakıldığında kinetik cephe yokken elde edilen EUI değerinin, kinetik cephe varken elde edilen 12 farklı değere göre arada çok büyük derecede bir fark olmasa da daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu azalışın çok az olması kinetik cephenin enerji performansı açısından çok etkili olmadığını göstermektedir.

Yıllık günışığı analizi sonuçları;

- Katların tamamı için sDA değerlerinin ortalaması hesaplandığında kinetik cephe sDA değerini %19 oranında minimuma indirmiştir. Fakat her iki tarafının da cam cephe olmasından dolayı güneğe bakan cephedeki odalar için bu düşüşün kinetik cephe olsa bile oldukça az olduğu görülmektedir. Ayrıca her kat için DA ve sürekli gün ışığı özerkliğini ifade eden cDA değerlerinde kinetik cephenin eklenmesiyle olumlu sonuçlar gözlemlendiği söylenebilir.
- Her kat için faydalı günışığı aydınlığı yani UDI değerlerine bakıldığında görsel ve termal konforsuzluğa neden olabilecek günışığı aydınlığı eşik seviyesi 2500 lux'ün üzerinde aydınlatma değeri olan mekânların kinetik cephenin eklenmesiyle azaldığı gözlemlenmiştir. Kinetik cephenin eklenmesiyle yetersiz günışığı aydınlığı eşik seviyesinde olan yani 100 lux'ün altında aydınlatma değeri olan mekânların oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat bu alanlar zaten sirkülasyon alanında asansörün olduğu kısma denk gelen alanlardır ve ofis çalışanları için rahatsız edici bir durum oluşturmamaktadır.

Günışığı parlama analizi sonuçları;

- Analiz yapılan tüm tarihlerde yapılan günışığı parlama olasılığı ölçüm sonuçlarına bakıldığında kinetik cephe yokken sadece 21 Aralık tarihi saat 15.30 da herhangi bir algılanabilir parlama gözlemlenmemiştir. Kinetik cephe yokken diğer tarihlerde ise saat 15.30 da rahatsız edici olmasa da algılanabilir bir parlama gözlemlenmiştir. Zaten kinetik cephe olmadan diğer tarih ve saatlerde rahatsız edici bir parlama söz konusudur. Kinetik cephenin eklenmesi tüm tarih ve saatlerde parlamasının tamamen önüne geçmiş ve algılanabilir bir parlama kinetik cephe varken gözlemlenmemiştir.

Sonuç olarak akıllı kinetik cephelerin statik cephelere göre enerji, günışığı ve parlama verimliliği daha fazladır. Fakat kinetik cephenin enerji kullanımını da enerji verimliliği kapsamında göz önünde bulundurulmalıdır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada, günümüzde artan farkındalık neticesinde enerjinin korunumu kapsamında farklı iki güncel konuya değinilmiştir: Yenilikçi teknoloji ve akıllı kinetik cephe sistemleri. Gelecekteki çalışmalar için öneriler ise şu şekildedir;

- Bu tez kapsamında kinetik cepheyi oluşturmak için düzenli tesselsasyonlardan üçgen geometrisi tercih edilmiştir. Ancak daha uygulanabilir çözümler oluşturmak için diğer tesselsasyon teknikleri ve geometrileri de tercih edilebilir.
- İleriki çalışmalarda sonuçları daha iyi gözlemleyebilmek için simülasyon tekniğinin yanı sıra prototip oluşturma yöntemi de tercih edilebilir.
- Bu çalışmada tek bir simülasyon programı üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda sonuçların tutarlılığını daha iyi gözlemlemek açısından farklı simülasyon programlarıyla da çalışmalar test edilebilir.

Çalışmanın gelecekteki kinetik cephelerde enerji, günışığı ve parlama analizi gerektiren çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Akıllı kinetik cephe sistemlerinin enerji, günışığı ve kamaşma noktasında verdiği sonuçlar görüldüğünde çalışmanın ne kadar dikkate değer bir araştırma alanı olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbaslı, U., 2019, Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları ile Parametrik Oyun Alanı Tasarımı, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Haziran.
- Aksu, C., 2020, Arduino ile Çalışan Çok Fonksiyonlu Robot, Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bilgisayar Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Allahverdi, Ç., Şahan, A., Özdemir, M.Y., 2019, Mühendislik ve Temel Bilim Projelerinde Arduino Kullanımı, International Congress on Human- Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, July 5-7, Ürgüp, Nevşehir, Türkiye, DOI: 10.36287/setsoci.4.5.016.
- Anzaniyan, E., Alaghmandan, M., Montaser Koohsari, A., 2022, Design, fabrication and computational simulation of a biokinetic façade inspired by the mechanism of the *Lupinus Succulentus* plant for daylight and energy efficiency, *Science and Technology for the Built Environment*, cilt 28, sayı 10, 1456-1471, DOI: 10.1080/23744731.2022.2122675, to link to this article: <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2122675>.
- Atawula, A., 2016, Biomspired Kinetic Architecture and Adaptive. Master Thesis, Yıldız Thechnical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul, 50-51.
- Atmaca, U., 2016, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler, *Tesisat Mühendisliği*, sayı 154, s. 21-35.
- Aydın, D., Mihlayanlar, E., 2017, Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin İncelenmesi, *Megaron*, 12(2):213–227, DOI: 10.5505/megaron.2017.07830.
- Aydın, M. ve Yaman, H., 2015, Mimari Konstrüktif Parametrik Tasarım Araçları: Rhinoceros & Grasshopper & The Zoo Plugins, Conference Paper, June, [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2021].
- Bahar, Z., Yalçinkaya, Ş., 2021, Bir Tasarım Ögesi Olarak Gün Işığı: Jean Nouvel, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 1724-1738, DOI: 10.29130/dubited.894120.
- Bara'u, G.W., 2018, Energy And Daylight Performance Analysis Of Double Skin Façade Systems In Hot Arid Climate: A Case Study In Nigeria, Yaşar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Haziran.
- Baş, C., 2019, Investigating The Energy Efficiency of Adaptive Building Skins and Proposing a Detailed Folding Adaptive Skin System Design for an Office Building In Istanbul, Istanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, Haziran.

- Başar, C., 2014, Mekân Hareketlerinin Fiziksel, Topolojik ve Deneysel Bağlımlar Üzerinden İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Mimari Tasarım Programı, Ocak.
- Başaran, Ö., 2015, Kinetik Gölgeleme Elemanları Entegre Edilmiş Bir Binanın Enerji Etkinliğinin Arttırılması, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Mart.
- Bayar, M., 2020, Design and Computational Optimization of a Kinetic Facade, Yaşar University Graduate School, Master Thesis, Department Of Architecture, Presentation Date: 27.04.2020, Bornova / İzmir, April 2020.
- Bazzazzadeh, H., Swit-Jankowska, B., Fazeli, N., Nadolny, A., Safar ali najar, B., Hashemi safaei, S., Mahdavejad, M., 2021, Efficient Shading Device as an Important Part of Daylightophil Architecture; a Designerly Framework of High-Performance Architecture for an Office Building in Tehran, *Energies*, 14, 8272. <https://doi.org/10.3390/en1424827>.
- Bianconi, F., Filippucci, M., Buffi, A. and Vitali, L., 2020, Morphological and visual optimization in stadium design: a digital reinterpretation of Luigi Moretti's stadiums' *Architectural Science Review*, Vol. 63, NO. 2, 194–209, <https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1686341> [Ziyaret Tarihi: 12 Aralık 2020].
- Bostancı, C.S., 2006, Akıllı Kinetik Güneş Kontrol Sistemi Önerisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, FBE Mimarlık Ana Bilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programında Hazırlanan, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bozkurt, C., 2010, Kinetik Sistemlerle Çalışan, Biyomimetik Bir Kentsel Donatı Tasarımı- Urbancot, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Haziran.
- Ceylan 1, K., 2019, Hesaplamalı Tasarım Pratiğinin Kentsel Planlamadaki Potansiyelleri: Balıkesir Örneği, Balıkesir Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Eylül.
- Ceylan 2, Ö., 2019, Gelişmiş Cephe Sistemlerinde Güneş Kontrolü: Ankara'daki Bir Ofis Binasında Performans Analizi, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Temmuz.
- Çankaya, M.C., 2019, Parametrik Tasarım Yaklaşımı ile Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Doğu Kıyısının Düzenlenmesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Van.
- Davis D., 2013, Modelled on software engineering: flexible parametric models in the practice of architecture, RMIT University, pages 19,31.
- Duran, N., 2019, Kinetik Mimarlık Bağlamındaki Hareketli Yapı Uygulamalarının İnceleme ve Değerlendirmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

- Eltaweel, A. and Su, Y., 2017, Parametric design and daylighting: A literature review, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 73, 1086-1103.
- Engin, N., 2012, Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma, Tesisat Mühendisliği, Sayı 129, s:62-69, Mayıs/Haziran.
- Engin, S., 2022, Kinetik Cephe Sistemlerinin Yapı Performansına Günüşiği, Kamaşma ve Enerji Performansı Üzerindeki Etkileri, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yapı Fiziği ve Malzemesi Programı, Ekim.
- Erdoğan, D., 2021, Erişilebilirliğin Çok Katlı ve Az Katlı Ofis Yapıları Üzerinden Değerlendirilmesi, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 6(1), 249-266, ISSN: 2564-6109, DOI: 10.26835/my.808669.
- Ergin, Ö. ve Girgin, C., 2019, Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Şekil Hafızalı Alaşım ve Uygulamaları, *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2, Kış, 169-181.
- Ergin, Ö., 2019, Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar ve Akıllı Malzemelerin Kullanımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.
- Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G. and Ranzi, G., 2016, Shape Morphing Solar Shadings: A Review, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 55, 863-884.
- Fox, M. A., 2001. Ephemeralization. OZ, *Journal of Architecture*, Published by the Kansas State University Department of Architecture.
- Fox, M., Kemp, M., 2009, *Interactive Architecture*. New York: Princeton Architectural Press, 12-13, 26-27, 31-49.
- Galatioto, A., Beccali, M., 2016, Aspect and issues of daylighting assesment: A Review Study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol:66, page:852-860.
- Gazi, A., Korkmaz, K., 2015, 8.8.4 Tesselasyon Kullanarak Genişleyebilen Strüktür Tasarımı (8.8.4 Expandable Structure Design Using Tesselation), *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu*, 441-442, İzmir, 14-17 Haziran.
- Gönenç, K., 2004, Mimaride Kinetizm, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, FBE Mimarlık Ana Bilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programında Hazırlanan, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Heidari, A., Sahebzadeh, S., Sadeghfar, M. and Taghvaei, B.E., 2018, Parametric Architecture In It's Second Phase Of Evolution, *Journal of Building Performance*, Volume 9, Issue 1, 16 April.

- Kaçmaz, Ş., 2019, Parametrik Tasarım ve Bım, Yapı Bilgi Modelleme, *Uluslararası Hakemli Akademik Dergi*, Cilt 01, Sayı 01, Nisan.
- Karaoğlu, G., Yamaçlı, R., 2022, Kinetik Cephe Sistemlerinin Enerji Verimliliği Kapsamında Değerlendirilmesi, Mekân Tasarımında Sürdürülebilir Yaklaşımlar, Bölüm 1, Kasım, Ankara.
- Kevser Çakır, Z., 2021, Kinetik Mimarlık Kapsamında Dinamik Cephe Sistemlerinin İncelenmesi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Mimarlık Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kılıç, Z.A., Köknel Yener, A., 2018, Cephe Tasarımının İç Mekân Günışığı Performansına Etkisinin Belirlenmesi, 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı, 12-13 Nisan, T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi, Ataköy Yerleşkesi, Akıngüç Oditoryumu.
- Koçak, C., Kirbaş, İ., 2016, Arduino Tabanlı Prototip Akıllı Ev Sistemi Tasarımı, February, <https://www.researchgate.net/publication/338388914>.
- Korkmaz, K., 2001, Mimarlıkta Çelik ve Cam, Ege Mimarlık Dergisi, Mimarlar Odası İzmir Şubesi, 37.
- Korkmaz, K., 2004, "An Analytical Study of the Design Potentials in Kinetic Architecture", Doktora Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Kurugül, S., 2012, Tasarım Eğitiminde Akıl Yürütmeyi Tartışmak: Sayısal Araçlarla Bir Tasarım Alıştırması Denemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Ana Bilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı, Ocak.
- Maden, F., 2022, Tesselasyon Tabanlı Kinetik Cephe Tasarımları, Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, February, s:104-111. <https://www.researchgate.net/publication/358900378>.
- Matinpour, M., 2019, İslami Geometrik Örüntülerin Kinetik Yüzey Oluşturma Potansiyelleri Üzerinde Bir Deneme, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Haziran.
- Mendilcioğlu, R.F., 2017, Parametrik Tasarım Yönteminin Sürdürülebilir İç Mekanlarda Doğal Aydınlatmaya Etkisi, Hacettepe Üniversitesi, *Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İç Mimari ve Çevre Tasarımı Ana Sanat Dalı, Sanatta Yeterlik Tezi, Ankara.
- Musa, M.K., 2021, Evaluating the Daylight and Energy Performance of Different Adaptive Facade Systems for a Hypothetical Cell-Type Office Unit, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilimleri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Haziran.
- Öner, D., 2019, 'Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenlerinin Parametrik Tasarım Araçlarıyla Performans Değerlendirmesi', İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, Aralık.

- Özbaysar, M., 2019, Sürdürülebilir Mimarlık ve Yaşamsal Konfor Bağlamında Çevre Kontrolü Bileşenlerinin Toplu Konut Binalarında İncelenmesi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Özdemir, H., Yılmaz Çakmak, B., 2022, Evaluation of Daylight and Glare Quality of Office Spaces with Flat and Dynamic Shading System Facades in Hot Arid Climate, *Journal of Daylighting*, 9, 197-208, doi:10.15627/jd.2022.15.
- Özdemirci, E., Ersin, Ç., Canal, M.R., 2017, Arduino Uno Uygulama Setinin Gerçekleştirilmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1*: 127-133, ISSN Online: 1309-2243.
- Özden, O., 2011, Sayısal Mimarlık Uygulamalarının Yapım Süreçlerinin İrdelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Bilgisi Bölümü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Mart, İzmir.
- Nabil, A., Mardaljevic, J., 2005, Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41-59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>.
- Sarıcioğlu P., Yaman, M., 2017, Kinetik Mimari Elemanların Ofis Yapılarında Kullanımı, I. International Academic Research Congress, s:881-888. www.inescongress.com.
- Solmaz, Z., 2021, Yüksek Yapılarda Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin İç Ortam Konforuna Etkisi, *International Journal of Mardin Studies, (IJMS)*, 2(2), s. 57-74.
- Suner, A., 2022, 'Adaptive Architecture' Çevresel Etmenlere Göre Değişebilen Mimari, *Ekoyapı Dergisi*, Mayıs-Haziran.
- Sung, D., 2016, Smart Geometries for Smart Materials: Taming Thermobimetals to Behave, *Journal Of Architectural Education*, Issn: 1046-4883 (Print) 1531-314x (Online) Journal Homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/rjae20> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2020].
- Şahin, C., 2016, Ofis Binalarının Enerji-Etkin Yenilenmesi (Retrofit) Sürecinde Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı İşletmesi Programı.
- Tabadkani, A., Banihashemi, S., Hosseini, M.R., 2018, Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis, *Building Simulation*, volume 11, pages663–676.
- Taşoluk, D., 2014, Mimari Tasarıma Bir Girdi Olarak Doğal Aydınlatma, Konya'daki Ofis Binalarının Doğal Aydınlatma Bakımından İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ocak.

- Topçu, M., 2012, Bilgisayar Teknolojilerinin Mimari Tasarım Üzerindeki Etkileri, Yakınoğu Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Lefkoşa.
- Ürkmez, B., 2019, Use Of Smart Materials In The Design Of Dynamic Intelligent Surfaces, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Ana Bilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı, Haziran.
- Üstündağ, B., 2009, Bina Cephesi ve İşlevlerinin Görsel Analiz Kapsamında Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Şubat.
- Valıtabar, M., Moghimi, M., Mahdavinejad, M., Pilechiha, P., 2018, Design Optimum Responsive Façade Based On Visual Comfort And Energy Performance, Learning, Adapting and Prototyping, Proceedings of the 23rd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2018, Volume 2, 93-102.
- Yağlı, S., 2019, ‘Teknolojik Gelişmelerin Etkisi ile Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler’, Hacettepe Üniversitesi, *Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Yaşa, A., 2010, ‘Mimari Kinetik Sistemler ve Performansa Dayalı Tasarım Önerileri’ Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, FBE Mimarlık Ana Bilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yavuzarslan, G., 2019, Using Computer Analysis for Calculating Energy Efficiency and Implementing Shading Device for Glass Façade of a High Rise Building In İzmir, Yaşar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Ocak.
- Yıldız, Y., 2019, Parametrik Tasarım Yaklaşımının Mimari Tasarım Sürecine Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ekim.
- Yılmaz, Z., 2006, Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi (91)*, S:387-398.
- Yüksel Ayvaz, Ö., 2019, ‘Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları’, Karadeniz Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- William Zuk, Roger H. Clark, 1970, Kinetic Architecture, New York: Van Nostrand Reinhold, s. 4-5.
- (URL-1): <https://digilander.libero.it/giuliadica/02emmer.htm> [Ziyaret Tarihi: 12 Aralık 2021].
- (URL-2): <https://insapedia.com/parametrik-tasarim-nedir-parametrik-mimari-yaklasimi-ve-ornekleri/> [Ziyaret Tarihi: 12 Aralık 2021].

- (URL-3): <https://www.homify.com.tr/fotograf/150564/formitable> [Ziyaret Tarihi: 12 Aralık 2021].
- (URL-4): <https://www.cessarchitecture.com/projeler/hb-modern-parametrik-villa/> [Ziyaret Tarihi: 13 Aralık 2021].
- (URL-5): <https://www.grasshopper3d.com/photo/poster-eng/next?context=user> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2021].
- (URL-6): <https://wewanttolearn.wordpress.com/2012/08/15/a-year-of-grasshopper-experiments-with-ds10/amp/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2021].
- (URL-7): <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2021].
- (URL-8): <https://architectureas.wordpress.com/tag/parametric-design/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2021].
- (URL-9): <https://www.arkitektuel.com/munih-olimpiyat-stadyumu/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2021].
- (URL-10): <https://www.youtube.com/watch?v=rWIKe5GWhq8> [Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2021].
- (URL-11): <http://www.liftarchitects.com/air-flower> [Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2021].
- (URL-12): [TUB Prototypes – shape memory alloy shading | LCW \(tactile-architecture.com\)](http://www.tub-architecture.com) [Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2021].
- (URL-13): [SKIN: Soft Kinetic Network – Laboratory for Integrative Design](http://www.skin-lab.com) [Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2021].
- (URL-14): <http://materiability.com/portfolio/self-adaptive-membrane/> [Ziyaret Tarihi: 21 Ocak 2021].
- (URL-15): <https://www.food4rhino.com/app/octopus> [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2021].
- (URL-16): [https://www.researchgate.net/figure/The-Al-Bahr-Towers-is-a-high-performance-design-inspired-by-its-context fig1_283683836](https://www.researchgate.net/figure/The-Al-Bahr-Towers-is-a-high-performance-design-inspired-by-its-context_fig1_283683836) [Ziyaret Tarihi: 9 Kasım 2022].
- (URL-17): <https://royalcakilmozaik.com/bahce-peyzajinda-dogal-tas-bordur-ve-madalyon-kullanimi/> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2022].
- (URL-18): <https://gksdergisi.com/colt-shadoglass-hem-sik-hem-fonsiyonel/> [Ziyaret Tarihi: 15 Mart 2023].
- (URL-19): <https://www.havalandirmasistemleri.info/bilgi-bankasi/havalandirma-nedir/> [Ziyaret Tarihi: 15 Mart 2023].

- (URL-20): <http://yalova.csb.gov.tr/isil-konfor-kosullari-haber-158880> [Ziyaret Tarihi: 16 Mart 2023].
- (URL-21): <https://www.vidrioandino.com/multi-confort/confort-visual> [Ziyaret Tarihi: 16 Mart 2023].
- (URL-22): <https://www.evolo.us/cj-research-centers-kinetic-folding-facade-yazdani-studio/> [Ziyaret Tarihi: 17 Mart 2023].
- (URL-23): <https://www.architonic.com/en/project/ernst-giselbrecht-partner-dynamic-facade-kiefer-technic-showroom/5100449> [Ziyaret Tarihi: 17 Mart 2023].
- (URL-24): <http://moremorexless.blogspot.com/2017/01/kiefer-technic-showroom-dynamic-facade.html> [Ziyaret Tarihi: 19 Mart 2023].
- (URL-25): https://pro.inap2.com/works/works_824/ [Ziyaret Tarihi: 19 Mart 2023].
- (URL-26): <http://arcdog.com/portfolio/sdu-university-of-southern-denmark-campus-kolding/> [Ziyaret Tarihi: 19 Mart 2023].
- (URL-27): <https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associés> [Ziyaret Tarihi: 19 Mart 2023].
- (URL-28): <https://archityperreview.com/project/suny-stony-brook-university-simons-center-for-geometry-and-physics/> [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2023].
- (URL-29): <https://www.arketipomagazine.it/heliotrace/> [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2023].
- (URL-30): <https://www.arkitektuel.com/media-tic/> [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2023].
- (URL-31): <http://hilalcephesistemleri.com/galeri/silikon-cephe/> [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2023].
- (URL-32): <https://www.youtube.com/watch?v=SOSH-KU4yoI&t=2s> [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2023].
- (URL-33): <https://www.food4rhino.com/en/app/ladybug-tools> [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2023].
- (URL-34): <https://www.robocombo.com/blog/icerik/arduino-ile-akilli-gunes-takip-sistemi-projesi-yapimi> [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2023].
- (URL-35): <https://docs.ladybug.tools/hb-energy-primer/components> [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2023].
- (URL-36): <https://docs.ladybug.tools/hb-radiance-primer/components> [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2023].

(URL-37): <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/42.aspx> [Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2023].

(URL-38): <https://tr.weatherspark.com/y/97310/Konya-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca> [Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2023].

(URL-39): <https://materiability.com/portfolio/shapeshift/> [Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2023].

(URL-40): <https://projedefteri.com/blog/arduinonun-tarihi/#:~:text=Arduino%20projesi%2C%20kuzey%20%C4%B0talya'n%C4%B1n,BASIC%20Stamp%20mikrodenetleyici%20kullanarak%20yapt%C4%B1lar.> [Ziyaret Tarihi: 5 Temmuz 2023].

(URL-41): https://tr.wikipedia.org/wiki/Arap_Dünya_Enstitüsü [Ziyaret Tarihi: 12 Temmuz 2023].

(URL-42): <http://mimdap.org/2010/09/jean-nouvelden-goz-alycy-muze-cephesi/> [Ziyaret Tarihi: 12 Temmuz 2023].