T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı

PERFORMANSA DAYALI CEPHE SİSTEMLERİ VE PARAMETRİK TASARIMIN GÜNIŞIĞI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Merve SAVRUNLU

Danışman

Doç. Dr. Türkan UZUN

İstanbul – 2024

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Merve SAVRUNLU

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Performansa Dayalı Cephe Sistemleri ve Parametrik Tasarımın Günışığı Açısından İncelenmesi

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Mimarlık

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 24.04.2024

Sayfa Sayısı : 209

Tez Danışmanları : 1. Doç. Dr. Türkan UZUN
2. Doç. Dr. Ümit Turgay ARPACIOĞLU (eş danışman)

Dizin Terimleri : Parametrik tasarım, kinetik cephe, çift cidarlı cephe, adaptif cephe, akıllı cephe, günışığı analizi

Türkçe Özet : Mimarlıkta parametrik modeller, performansa dayalı tasarım karar ve kısıtlama faktörlerine oldukça etkin bir şekilde yanıt verebilmektedir. Parametrelere göre doğru bir şekilde tasarlanmış cephe, enerji verimli bina tasarımı için büyük bir önem taşımaktadır.

Dağıtım Listesi :
1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Merve SAVRUNLU

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı

PERFORMANSA DAYALI CEPHE SİSTEMLERİ VE PARAMETRİK TASARIMIN GÜNIŞIĞI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Merve SAVRUNLU

Danışman

Doç. Dr. Türkan UZUN

İstanbul – 2024

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Merve SAVRUNLU

…/…/2024

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Merve SAVRUNLU'nun **"Performansa Dayalı Cephe Sistemleri ve Parametrik Tasarımın Günışığı Açısından İncelenmesi"** adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Mimarlık anabilim dalı, Mimarlık bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan — *Prof. Dr. Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU*

İmza

Üye — *Doç. Dr. Türkan UZUN* (Danışman)

İmza

Üye — *Doç. Dr. Hülya Soydaş ÇAKIR*

İmza

Üye — *Doç. Dr. Ümit Turgay ARPACIOĞLU* (İkinci Danışman)

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 20..

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Günümüzde enerji üretimi ve tüketimi artmaktadır. Endüstriyel faaliyetler, ulaşım, tarım faaliyetleri ve enerji üretimi gibi nedenlerden dolayı oldukça yüksek miktarda sera gazı emisyonu olmaktadır. Sera gazı emisyonunun atmosferde birikmesi sonucu küresel ısınma meydana gelmektedir. Bununla mücadele edebilmek için fosil yakıtlarının kullanımı azaltılabilir. Türkiye'deki toplam enerjinin %20'si ulaşım, %37'si bina ve %43'ü endüstri alanında kullanılmaktadır. Eğer küresel ısınmanın önüne geçmek isteniyorsa binalar daha az enerji tüketilecek şekilde tasarlanmalıdır. Dijital teknikler mimari tasarımla beraber kullanılmaya başlanmıştır. Böylece karmaşık formların modellemesi kolaylaşabilmiş ve enerji verimliliği için analizlerin yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde tezin problemi, amacı, önemi ve yöntemi üzerinde durulmuştur. İkinci bölümünde performansa dayalı tasarım ve cephe sistemlerinden bahsedilmiştir. Günümüzde enerjinin üretimi ve tüketimi hayati bir yere sahiptir. Binaların daha az enerji tüketecek şekilde tasarlanması önemli bir hale gelir. Bu durum mimarları, yeni tasarım yöntemleri arayışına yöneltmiştir.

Performansa dayalı tasarım, bina performansının tasarım için önemli bir faktör olduğu tasarım yöntemidir. Geleneksel CAD simülasyon süreçlerinden farklıdır. Performansa dayalı simülasyonlar kullanarak tasarım modeli doğrudan değiştirilebilir.

Enerji kayıplarının büyük bir bölümü bina yüzeyinde gerçekleşir. Bundan dolayı performansa dayalı cephe tasarımlarından adaptif cephe, kinetik cephe, çift cidarlı cephe ve akıllı cephe üzerinde durulmuştur. Bu cephelerin kullanıldığı yapılar incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının üçüncü bölümünde parametrik tasarım üzerinde durulmuştur. İlk olarak matematikte kullanılan parametre kelimesi değişken anlamına gelmektedir. Daha sonradan bu kelime tasarımcılar tarafından da kullanılmaya başlanmıştır. Önceden bir model oluşturulduktan sonra mimar parametrelerden herhangi birisini değiştirmek isterse değiştirilen parametreye göre en başa dönüp modeli tekrardan oluşturması gerekir. Bu durum zaman kaybına neden

olur. Zamanla teknolojinin gelişmesiyle mimarlık alanında yeni yazılımlar kullanılmaya başlanmıştır. Grasshopper, Dynamo gibi parametrik tasarıma olanak sağlayan yazılımlar piyasaya sürüldü. Geçmişte her ne kadar sketchpad gibi parametrik temelli tasarım programları kullanılsa da Dynamo, Grasshopper gibi yazılımların piyasaya sürülmesiyle parametrik modelleme mimari alanda yaygınlaşmaya başladı. Dünyanın birçok yerinde parametrik modelleme tasarımcılar tarafından kullanıldı. Dördüncü bölümünde parametrik tasarım metoduyla tasarlanan uygulanmış mimari örnekler incelenmiştir. Farklı ölçeklere ve işlevlere sahip çalışmalar seçilmiştir.

Bu tez çalışmasının son bölümünde analiz çalışması yapılmıştır. Bu bölümde İstanbul Gelişim Tower olarak adlandırılan K blok kule binası ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi D blok seçilmiştir. Bu blokların modellenmesinde Rhinoceros, parametrik cephenin modellenmesinde Grasshopper, binaların günışığı analizlerinde ise Honeybee programından yararlanılmıştır. Grasshopper programının eklentisi Honeybee kullanılarak binaların mevcut cephelerinin günışığı analizleri yapılmıştır. Binaların analizler için seçilen noktaların aydınlık düzeyleri tablolaştırılmıştır. Mevcut cepheler yerine parametrik bir metot kullanılarak cephe tasarlansaydı günışığı analizi nasıl olurdu sorusuna cevap verebilmek için Grasshopper kullanarak parametrik cephe denemeleri yapılmıştır. Zengin çeşitliliğe olanak tanıyan cephe varyasyonları tezin ilgili bölümlerinde modüller kullanılarak cephe tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu cephe tasarımları yine Grasshopper yazılımı kullanılarak binaların boyutlarına göre modellendi. Bu sefer parametrik cepheye göre modellenmiş binaların günışığı analizi yapılmıştır. Seçilen noktaların aydınlık düzeylerine göre analizlerin sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Parametrik tasarım, kinetik cephe, çift cidarlı cephe, adaptif cephe, akıllı cephe, günışığı analizi

SUMMARY

Today, energy production and consumption are increasing. A very high amount of greenhouse gas emissions occur due to reasons such as industrial activities, transportation, agricultural activities and energy production. Global warming occurs as a result of the accumulation of greenhouse gas emissions in the atmosphere. To combat this, the use of fossil fuels can be reduced. 20% of the total energy in Turkey is used in transportation, 37% in buildings and 43% in industry. If global warming is to be prevented, buildings should be designed to consume less energy. Digital techniques have begun to be used together with architectural design. Thus, modeling of complex forms became easier and enabled analyzes for energy efficiency.

The first part of this study focuses on the problem, purpose, importance and method of the thesis. In the second part, performance-based design and facade systems are mentioned. Today, the production and consumption of energy has a vital place. Designing buildings to consume less energy becomes critical. This situation has led architects to search for design methods.

Performance-based design is a design method in which building performance is an important factor for design. It differs from conventional CAD simulation processes. The design model can be modified directly using performance-based simulations.

Most of the energy losses occur on the building surface. Therefore, performance-based facade designs such as adaptive facade, kinetic facade, double skin facade and intelligent facade are emphasized. The buildings where these facades were used were examined.

The third part of this thesis focuses on parametric design. The word parameter, first used in mathematics, means variable. Later, this word started to be used by designers as well. After a model has been created, if the architect wants to change any of the parameters, he must go back to the beginning and recreate the model according to the changed parameter. This causes loss of time. Over time, with the development of technology, new software began to be used in the field of architecture. Software that enables parametric design such as Grasshopper and

Dynamo have been released. Although parametric-based design programs such as Sketchpad were used in the past, parametric modeling began to become widespread in the architectural field with the release of software such as Dynamo and Grasshopper. Parametric modeling has been used by designers in many parts of the world. In the fourth section, applied architectural examples designed with the parametric design method were examined. Studies with different scales and functions were selected.

In the last part of this thesis study, analysis was carried out. In this section, the K block tower building called Istanbul Gelişim Tower and the former Architecture and Engineering Faculty D block were selected. Rhinoceros was used to model these blocks, Grasshopper was used to model the parametric façade, and Honeybee was used to analyze the daylight of the buildings. Daylight analyzes of the existing facades of the buildings were made using Honeybee, the add-on of the Grasshopper program. The illuminance levels of the points selected for analysis in the buildings are tabulated. In order to answer the question of what the daylight analysis would be like if the facade was designed using a parametric method instead of the existing facades, parametric facade experiments were carried out using Grasshopper. Facade variations that allow for rich diversity have been designed using modules in the relevant sections of the thesis. These facade designs were modeled according to the dimensions of the buildings using Grasshopper software. This time, daylight analysis of buildings modeled according to parametric facades was performed. The results of the analyzes were compared with each other according to the illuminance of the selected points.

Key Words: Parametric design, kinetic facade, double skin facade, adaptive facade, intelligent facade, daylight analysis

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
SUMMARY ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **viii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xi**
ÖNSÖZ ..... **xv**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

1.1. Tezin Problemi 4
1.2. Tezin Amacı 4
1.3. Tezin Önemi 4
1.4. Yöntemi 5
1.4.1. Kurumsal / Kavramsal Çerçevesi 7
1.4.2. Varsayımları 7
1.4.3. Sınırlılıkları 7
1.4.4. Veri Toplama Tekniği 7
1.5. Tez Akış Şeması 8

İKİNCİ BÖLÜM
PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE CEPHE SİSTEMLERİ

2.1. Performansa Dayalı Tasarımın Tanımı 9
2.2. Performansa Dayalı Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması 10
2.2.1. Adaptif Cephe 10
2.2.2. Kinetik Cepheler 13
2.2.3. Dünyadaki Kinetik Cephe Örnekleri 17
2.3. Çift Cidarlı Cephe 36
2.3.1. Çift Cidarlı Cephenin Olumlu Özellikleri 37
2.3.2. Çift Cidarlı Cephenin Olumsuz Özellikleri 39
2.3.3. Çift Cidarlı Cephenin Sınıflandırılması 40
2.3.3.1. Havalandırma Modu 41
2.3.3.2. Hava boşluğunun bölünmesi 42
2.3.4. Çift Cidarlı Cephe Örnekleri 45
2.4. Akıllı Cephe 56
2.5. Akıllı Cephe Örnekleri 59
2.6. Performansa Dayalı Cephe Sistemlerinin Karşılaştırılması 67

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
PARAMETRİK TASARIM KAVRAMI

3.1. Parametrik Tasarımın Tanımı ve Tarihçesi 78
3.2. Parametrik Tasarım Yazılımları 82
3.3. Parametrik Tasarımın Uygulandığı Alanlar 86
3.3.1. Mimarlık 87
3.3.1.1. Biyomimikri 87
3.3.1.2. Fraktal 91
3.3.2. Şehir Planlama 93
3.3.3. Çevresel Analizler 94
3.3.4. Strüktürel Çalışma 95
3.3.5. Dekorasyon 95
3.3.6. Moda 96

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
MİMARLIKTA DÜNYADAN PARAMETRİK TASARIM ÖRNEKLERİ

4.1. Waterloo İstasyonundaki Dış Hatlar Terminali 98
4.2. Dragonfly 99
4.3. The Golden Terraces / Złote Tarasy 100
4.4. Genetic Merdiven 101
4.5. Flux Exhibition Flux Installation 102
4.6. Aviva Stadyumu 103
4.7. nonLin/Lin Pavilion 104
4.8. Metropol Parasol 105
4.9. Cayan (Infinity) Kulesi 106
4.10. Whiteout 107
4.11. Hangzhou Olimpik Spor Merkezi 108
4.12. Shanghai Kulesi 109

BEŞİNCİ BÖLÜM
ANALİZ ÇALIŞMASI

5.1. Çalışmanın Yöntemi 113
5.2. Yapıların Bulunduğu İklim ve Çevre Koşulları 115
5.3. Yapıların Bulunduğu Konum ve Günışığı Analizleri 115
5.4. Binaların Mevcut Cephe Analizleri 120
5.5. Parametrik Tasarım Metodunu Kullanarak Desenlerin Tasarlanması 132
5.5.1. Modül Denemesi 1 134
5.5.2. Modül Denemesi 2 136
5.5.3. Modül Denemesi 3 137

5.5.4. Modül Denemesi 4 137
5.5.5. Modül Denemesi 5 139
5.5.6. Modül Denemesi 6 139
5.5.7. Modül Denemesi 7 140
5.5.8. Modül Denemesi 8 141
5.5.9. Modül Denemesi 9 141
5.5.10. Modül Denemesi 10 142
5.6. Parametrik Tasarım Metodunu Kullanarak Cephelerin Tasarlanması 143
5.6.1. Cephe Denemesi 1 147
5.6.2. Cephe Denemesi 2 148
5.6.3. Cephe Denemesi 3 148
5.6.4. Cephe Denemesi 4 149
5.6.5. Cephe Denemesi 5 150
5.6.6. Cephe Denemesi 6 150
5.6.7. Cephe Denemesi 7 150
5.7. Binalarda Parametrik Cephe Analizleri ve Mevcut Cephe Analizlerinin Karşılaştırılması 154

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 160
KAYNAKÇA 164
URL KAYNAKÇASI 171
EKLER 175
ÖZGEÇMİŞ 184

KISALTMALAR

ABD	**:**	Amerika Birleşik Devletleri
CAD	**:**	Computer Aided Design
Cfa	**:**	Ilıman Dönencealtı İklimi
Cfb	**:**	Okyanusal İklim
Csa	**:**	Akdeniz İklimi
DIVA	**:**	Design Iterate Validate Adapt
EPW	**:**	EnergyPlus Weather Data
FV	**:**	Fotovoltaik
IDE	**:**	Entegre Geliştirme Ortamı
MMF	**:**	Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Tez merkezindeki kinetik cephe ve parametrik tasarımla ilgili tezler 6
Tablo 2. Tez kapsamında incelenen kinetik cepheler 33
Tablo 3. Çift cidarlı cephe tipolojisi 41
Tablo 4. Kutu tipi çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001) 43
Tablo 5. Şaft kutu tipi çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001) 43
Tablo 6. Koridor tipi çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001) 44
Tablo 7. Çok katlı çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001) 45
Tablo 8. Çift cidarlı cephe örneklerinin tablosu 54
Tablo 9. Tez kapsamında incelenen akıllı cephe örnekleri 66
Tablo 10. İncelenen örneklerin karşılaştırılması 68
Tablo 11. İncelenen cephelerin karşılaştırılması 72
Tablo 12. Parametrik modelleme yazılımları (Zhao & Angelis, 2019) 85
Tablo 13. Dört temel entegre geliştirme ortamı (IDEs) (Zhao & Angelis , 2019) 85
Tablo 14. Tezde incelenen örneklerin karşılaştırılması 111
Tablo 15. Mevsimlere göre güneş yörüngesi diyagramı analizleri 117
Tablo 16. Doğrudan güneş ışınımının etkilediği saatlerin analizleri 119
Tablo 17. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 21 Haziran günışığı analizi 123
Tablo 18. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 23 Eylül günışığı analizi 124
Tablo 19. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 21 Aralık günışığı analizi 125
Tablo 20. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 21 Mart günışığı analizi 126
Tablo 21. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 21 Haziran günışığı analizi 127
Tablo 22. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 23 Eylül günışığı analizi 128
Tablo 23. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 21 Aralık günışığı analizi 129
Tablo 24. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 21 Mart günışığı analizi 130
Tablo 25. Gelişim kule mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktaların aydınlık düzeyi 131
Tablo 26. Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi binasının mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktaların aydınlık düzeyi 132

Tablo 27. Desen denemeleri.....133
Tablo 28. Birimlerin bir araya getirilmiş hali.....140
Tablo 29. Birimlerin bir araya getirilmiş hali.....141
Tablo 30. Birimlerin bir araya getirilmiş hali.....142
Tablo 31. Birimlerin bir araya getirilmiş hali.....143
Tablo 32. Parametrik cephe denemeleri.....143
Tablo 33. Parametrik cephelerin kapalıdan açığa doğru görüntülerinin sıralanması.....146
Tablo 34. Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinde ve gelişim kulede parametrik cephe denemesi görüntüleri.....152
Tablo 35. Gelişim kulenin parametrik cephe günışığı analizinde seçilen noktalara göre aydınlık düzeyi.....155
Tablo 36. Eski Gelişim ve Mimarlık Fakültesi binasının parametrik cephe günışığı analizinde seçilen noktalara göre aydınlık düzeyi.....157

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Binalarda yakıta göre enerji tüketimi 2010-2022 (Url 1).....2
Şekil 2. Adaptif cephenin sınıflandırılması (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).....11
Şekil 3. Adaptif güneş kontrol sistemleri (Hraska, 2018).....12
Şekil 4. Kontrol teknolojilerine göre adaptif cephelerin sınıflandırılması (Matin ve Eydgahi, 2019).....13
Şekil 5. Tek Eksenli Kayma Çok Eksenli Kayma 15
Şekil 6. Dikey Katlama Yatay Katlama 15
Şekil 7. Tek Eksenli Rotasyon Çok Eksenli Rotasyon 15
Şekil 8. Ölçeklendirme.....16
Şekil 9. Formel değişiklik 16
Şekil 10. Arap Dünya Enstitüsü Cephesi (Url 2) 18
Şekil 11. Kahire'den maşrabiya örnekleri (Url 3, Url 4 ve Url 5).....18
Şekil 12. Arap Dünya Enstitüsü cephesindeki diyaframlar (Url 6 ve Url 7).....19
Şekil 13. Arap Dünya Enstitüsü iç kısmı (Url 8 ve Url 9).....20
Şekil 14. Kiefer Teknik Galerisi (Url 10) 21
Şekil 15. Flare cephe tasarımı (Url 11) 22
Şekil 16. Media-TIC Binası (José Miguel Hernandez ve Luis Ros) 23
Şekil 17. Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi, Essen, Almanya (Url 12) 24
Şekil 18. HelioTrace (Url 13) 24
Şekil 19. Al Bahr Kulesi, Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri (Url 14, Url 15 ve Url 16)...25
Şekil 20. Altıgen birimin kapalı, yarı kapalı ve açık hali (Url 17) 26
Şekil 21. Cennet kuşu çiçeğinin çalışma mekanizması (Haidari, 2015) 27
Şekil 22. One Ocean Pavyonu (Url 18) 27
Şekil 23. HygroSkin, yüksek bağıl nemde açık ve düşük bağıl nemde kapalı modüller (Url 19).....28
Şekil 24. Sharifi-ha Evi Cephesi (Url 20).....29
Şekil 25. Sharifi-ha Evi cephesi açık ve kapalı (Url 21).....30
Şekil 26. SDU Kolding Kampüs kinetik cephesi (Url 22 ve Url 23) 31
Şekil 27. Air Flow (Er) (Url 24).....32
Şekil 28. Bund Finans Merkezi, N.Foster (Url 25).....32
Şekil 29. Çift cidarlı cephe sistemi (Jankovic ve Goia, 2021).....36
Şekil 30. Literatür çalışmalarında çift cidarlı cephe sistemlerinin üzerinde en çok durulan avantajların yüzdeleri (İnan & Başaran, 2015).....39
Şekil 31. Literatür çalışmalarında çift cidarlı cephe sistemlerinin üzerinde en çok durulan dezavantajların yüzdeleri (İnan & Başaran, 2015).....40
Şekil 32. Havalandırma modlarının diyagramı (Loncour, Deneyer, Blasco, Flamant, & Wouters, 2004) 42
Şekil 33. Kutu, şaft kutusu, koridor ve çok katlı çift cidarlı cephe (Barbosa & Ip, 2014).....42
Şekil 34. Cambridge Halk Kütüphanesi 46

Şekil 35. Commerzbank Genel Merkezi (Url 26).....47
Şekil 36. Düsseldorf City Gate (Url 27 ve Url 28).....48
Şekil 37. Aurora Place office tower and residences (Url 29).....49
Şekil 38. 30 St Mary Axe (Url 30).....50
Şekil 39. Biyomedikal Bilim Araştırma Binası Çift Cidarlı Cephe (Url 31 ve Azarbayjani, 2022).....51
Şekil 40. The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi (Url 32).....52
Şekil 41. John E. Jaqua Center for Student Athletes dışarıdan görünüşü ve hava boşluğu (Azarbayjani, 2022).....53
Şekil 42. Galleria Centercity (Url 33).....54
Şekil 43. Akıllı cephe parametreleri (Nashaat & Waseef, 2017).....58
Şekil 44. GreenPix Medya ekranı (Url 34).....60
Şekil 45. The Crystal dış görünümü ve iç mekânı (Url 35).....61
Şekil 46. BIQ binasının dış görünüşü ve panelin yakından görünüşü (Url 36).....62
Şekil 47. Panelin ve alglerin yakından görünüşü (Url 37).....62
Şekil 48. Bullitt Center dış görünüm ve iç mekânı (Url 38).....63
Şekil 49. The Edge binasının dış görünüşü ve iç mekânı (Url 39).....64
Şekil 50. Frasers Kulesinin dış görünümü ve iç mekânı (Url 40).....65
Şekil 51. Tez kapsamında seçilen yapıların yıllara göre grafiği.....75
Şekil 52. Tez kapsamında seçilen yapıların işlevlere göre grafiği.....75
Şekil 53. Örneklerde cephe performansına göre verilen puanların toplamı.....76
Şekil 54. Luigi Moretti tarafından tasarlanan stadyum N'in bir modeli, 1960 (Url 41).....78
Şekil 55. Fiziksel parametrik model (Url 42).....79
Şekil 56. Asılı zincir modeli (Url 43).....80
Şekil 57. 1963 yılına ait sketchpad (Url 44).....81
Şekil 58. Guggenheim'ın CATIA yazılımındaki çizimi (Url 45).....82
Şekil 59. (a) Grasshopper (b) Dynamo (Url 46) (c) Generative Components (Url 47)..84
Şekil 60. Parametrik modelleme yazılımlarının popülariteleri (Zhao & Angelis, 2019).....84
Şekil 61. IDE'lerin veri akışı (Zhao & Angelis , 2019).....86
Şekil 62. Parametrik tasarımın uygulandığı alanlar.....86
Şekil 63. FR-EE Mimarlık, Soumaya Müzesi, 2011 (Url 48).....87
Şekil 64. (a) Pho'liage cephe sisteminin prototipi ve (b) simülasyon modeli (Url 49).....89
Şekil 65. the NBF Osaki binasının dış görünümü (Url 50).....90
Şekil 66. Büyük Mısır Müzesi cephesindeki fraktallar (Url 51).....92
Şekil 67. Federasyon Meydanı ve bitişik binalar (Url 52).....93
Şekil 68. Zaha Hadid Archiects, Kartal – Pendik Masterplan önerisi, İstanbul, 2006 (Url 53).....94
Şekil 69. İstanbul konumuna göre güneşin hareket yönü ve rüzgâr hızı örneği.....94
Şekil 70. CITA tarafından yürütülen projenin fiziksel modeli, Dijital Uygulama sergisi (Digital Practice exhibition) Kopenhag 2008 (Url 54).....95
Şekil 71. Grasshopper yazılımındaki parametreler, rhino modeli ve final görüntüleri (Kyratsis, Manavis, Gianniotis, & Ghiculescu, 2019).....96

Şekil 72. Parametrik modelleme yöntemiyle desen oluşturma ve bu çalışmada üretilen giysi (Jeong, Park, Lee, Kang, & Chun, 2021).....97
Şekil 73. Waterloo Dış Hatlar Terminali, 1993 (Url 55).....98
Şekil 74. Dragonfly, 2007 (Url 56).....99
Şekil 75. The Golden Terraces / Złote Tarasy, 2007 (Url 57).....100
Şekil 76. Genetic Merdiven, 2009 (Url 58).....101
Şekil 77. Flux installation'ın Grasshopper yazılımdaki gösterimi (Grasshopper version 0.5.0.99).....102
Şekil 78. Flux Installation, 2009 (Url 59).....103
Şekil 79. Aviva Stadyumu, 2010 (Url 60).....104
Şekil 80. nonLin/Lin Pavilion, 2010 (Url 61 ve Url 62).....105
Şekil 81. Metropol Parasol, 2011 (Url 63).....106
Şekil 82. Cayan (Infinity) Kulesinin parametrik model diyagramı (Gane & Haymaker, 2007) 107
Şekil 83. Cayan (Infinity) Kulesi, 2013 (Url 64).....107
Şekil 84. Whiteout, 2014 (Url 65).....108
Şekil 85. Hangzhou Olimpik Spor Merkezi (Url 66 ve Url 67).....109
Şekil 86. Shanghai Tower, 2014 (Url 68).....110
Şekil 87. Ölçeklendirme ve rotasyon modelleri.....110
Şekil 88. İncelenen örneklerde kullanılan parametrik yazılımlar.....112
Şekil 89. Analiz çalışmasının yöntemi.....114
Şekil 90. İstanbul Gelişim Üniversitesi Kule, K blok.....116
Şekil 91. Eski Gelişim Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Binası, D blok....116
Şekil 92. Ladybug eklentisi kullanılarak oluşturulan güneş yörüngesi diyagramı 117
Şekil 93. Kulenin Rhinoceros programında oluşturulan modeli.....120
Şekil 94. Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin Rhinoceros programında oluşturulan modeli.....120
Şekil 95. Kulenin 5. kat planı 121
Şekil 96. Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin zemin kat planı 121
Şekil 97. Gelişim kule mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktalar.....131
Şekil 98. Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi binasının mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktalar.....132
Şekil 99. Seçilen noktalar, üçgen yüzeyler ve üçgen yüzeylerin çoğaltılması.....135
Şekil 100. Rotasyon aksı, rotasyon, desenin çoğaltılması 135
Şekil 101. Desenin Grasshopper'daki kodlaması 136
Şekil 102. Üçgenler, üçgen yüzeyler, rotasyon aksları, rotasyon.....137
Şekil 103. Rotasyon aksları ve rotasyon 137
Şekil 104. Yüzey kenarının eşit parçalara bölünmesi, rotasyon ve iki nokta arası çizgi 138
Şekil 105. Çizgilerin kopyalanması, çizgiler kullanılarak yüzey oluşturulması 138
Şekil 106. Dikdörtgen yüzeyler, rotasyon noktaları ve rotasyon 139
Şekil 107. Dikdörtgen yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon 140
Şekil 108. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon 140

Şekil 109. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon 141
Şekil 110. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon, tekrar rotasyon aksı, tekrar rotasyon.....142
Şekil 111. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon, tekrar rotasyon aksı, tekrar rotasyon.....142
Şekil 112. Diamond panelin kullanılması ve noktalar arası çizgiler.....147
Şekil 113. Çizgi aksına göre rotasyon ve yeni çizgilerin oluşturulması 147
Şekil 114. Rotasyon ve curve komutunun kullanılmasıyla çizginin oluşturulması.....148
Şekil 115. Panellerin orta noktalarının seçilmesi ve cephenin çizgiye göre yeniden düzenlenmesi 148
Şekil 116. Quad panelin kullanılması ve cephenin son hali.....148
Şekil 117. Yüzeyin parçalara bölünmesi 149
Şekil 118. Noktalara göre rotasyon.....149
Şekil 119. Yüzeyin parçalara bölünmesi ve rastgele açılara göre rotasyonun sağlanması...149
Şekil 120. Yüzeyin tringle panel c ile bölünmesi ve çizgiye göre rotasyon.....150
Şekil 121. Yüzeyin tringle panel c ile bölünmesi ve çizgiye göre rotasyon.....150
Şekil 122. Grasshopper'da oluşturulan yüzey, yüzeyin diamond panel kullanılarak bölünmesi ve offset ile çerçevelerin oluşturulması 151
Şekil 123. Eğrilerin yer değiştirmesi, orta noktaların belirlenmesi ve yeni bir çizginin çizilmesi 151
Şekil 124. Çizgideki en yakın noktaların belirlenmesi, çizgilerin ölçeklendirilmesi ve yüzey oluşturulması.....151
Şekil 125. Gelişim kule için seçilen noktalar ve noktalara göre aydınlık düzeyi.....155
Şekil 126. Eski Gelişim ve Mimarlık Fakültesi binası için seçilen noktalar ve noktalara göre aydınlık düzeyi.....157

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmasının başından sonuna kadar her aşamasında deneyimlerini benimle paylaşan, daha iyisini yapabilmem için benden desteğini ve hoşgörüsünü esirgemeyen, bu doğrultuda beni yönlendiren değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Türkan İrgin UZUN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamı inceleyen ve görüşlerini benimle paylaşan, analiz sürecinde bana yardımcı olan eş danışman hocam Doç. Dr. Ümit T. ARPACIOĞLU'na, çalışmamı inceleyerek bilgi ve kaynakça konusunda beni yönlendiren Doç. Dr. Hülya Soydaş ÇAKIR'a çok teşekkür ederim. Ayrıca Gelişim Tower'ın planlarını benimle paylaşan Baran'a ve analizle ilgili teknik bilgiler konusunda bana yardımcı olan Yüksek Mimar Sadullah ENGİN'e teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan annem Ayşe SAVRUNLU, babam Mustafa SAVRUNLU, ablam Münevver ÇAKIR'a ve tüm yakın aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim 2023

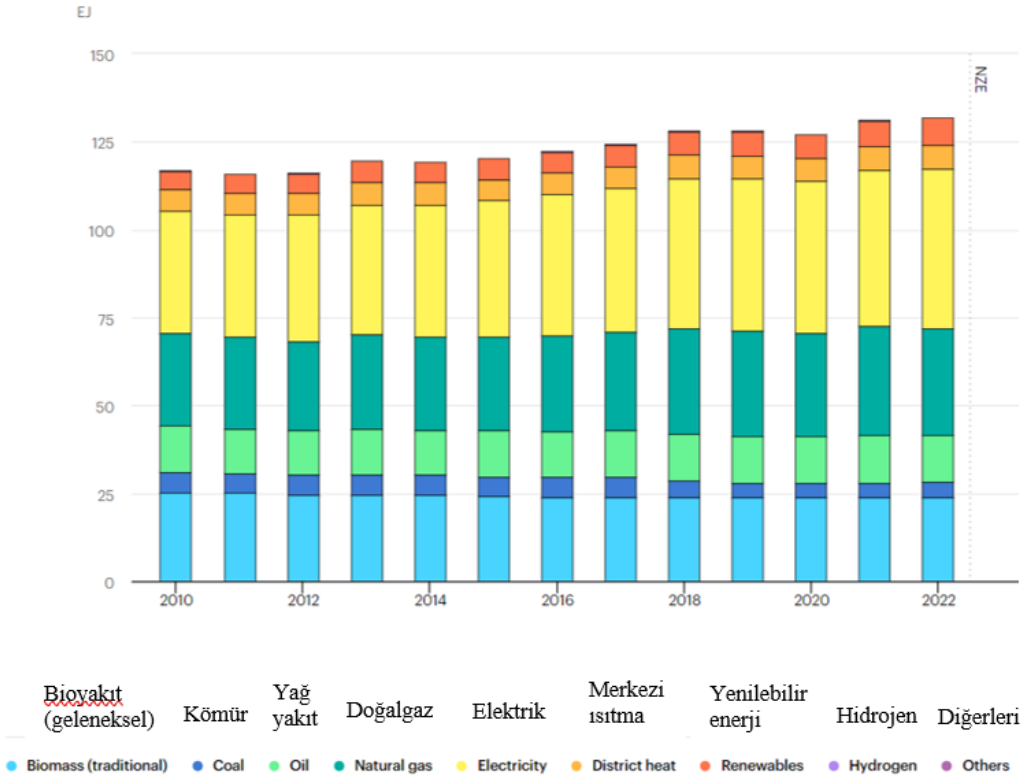
Merve SAVRUNLU
Mimar

GİRİŞ

İnşaat sektöründe kullanım, yapım ve yıkım faaliyetlerinin bilinçsizce yapılması yüzünden oluşan katı ve sıvı atıklar, gaz emisyonları doğayı olumsuz olarak etkilemektedir. Biyolojik çeşitliliğin azalması, yeşil alanların yok olması, küresel ısınma gibi birçok soruna yol açmaktadır. Bu sorunlara çözüm üretebilmek için de sürdürülebilir mimarlık kavramı kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz & Keskin, 2019).

Sürdürülebilirlik tanımı ilk kez Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Başkanı Gro Harlem Brundlandt'ın olduğu 1983 yılında yapılmış olan Birleşmiş Milletler Genel Kurul Toplantısının sonucunda açıklandı ve 1987 yılında yayınladığı "Ortak Geleceğimiz" raporunda yer aldı. Brundlandt Raporuna göre sürdürülebilirlik "İnsanlık, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılamayı sağlayacak şekilde kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahiptir" olarak tanımlanmıştır (World Commission On Environment and Development, 1987; Altın & Orhon, 2014). Sürdürülebilir mimarlık tanımı kapsamında yerel malzeme, yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji tasarrufu, çevreye ve iklime göre tasarım, su kullanımı, geri dönüşüm gibi konular ele alınır (Altın & Orhon, 2014).

1974'te Fransa'da kurulan Uluslararası Enerji Ajansı'ndaki (International Energy Agency) enerji güvenirliği ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çeşitli politikalar geliştirilmesi gerektiğini savunan bir örgütlenmedir. 2010-2022 yılları arasında binalarda yakıta göre enerji tüketimi ile ilgili Uluslararası Enerji Ajansı'nın yayınladığı veri Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu veriye göre binalarda en çok elektrik alanında enerji tüketimi olmaktadır. Türkiye'de elektrik enerjisinin yüzde 45'i binalar tarafından tüketilmektedir. Tüketilen toplam elektrik enerjisinin yüzde 20'si aydınlatma amacıyla kullanılır (Sümengen & Yener, 2015).



Şekil 1. Binalarda yakıta göre enerji tüketimi 2010-2022 (Url 1)

Günümüzde enerjinin üretimi, tüketimi ve nasıl kullanıldığı oldukça önemli bir yere sahiptir. Üretilen enerjinin çok büyük kısmı soğutma, ısıtma, havalandırma ve aydınlatmada kullanılmıştır. Türkiye'deki toplam enerjinin yaklaşık olarak yüzde 43'ü endüstri alanında, yüzde 37si binalarda ve yüzde 20 ise ulaşımda kullanılıyor. Enerji tüketiminin önemli kısmı inşaat sektörüne aittir. Bundan dolayı daha az enerji tüketen binaların tasarlanabilmesi için mimari tasarım kriterleri gözden geçirilmiştir ve enerji etkin, çevre dostu, sürdürülebilir, performatif mimarlık, performansa dayalı tasarım olarak adlandırılan bina tasarımlarına yönelmişlerdir (Kutluay, İnan, Ersoy, & Başaran, 2015).

Manual yaklaşım (geleneksel tasarım), yüksek performanslı mimari tasarım için verimli olmayabilir. Erken tasarım aşamasında birçok kritik kararın ölçülmeden verilmesine neden olabilir. Bundan dolayı daha yetkin bir tasarım için optimizasyon teknikleri sürece entegre edilmiştir (Nguyen et al., 2014'ten aktaran Zhao & Angelis, 2019). Böylece tasarımcıların tekrarlayan çalışmaları azaltılabilir. Ancak mimarların

sonucu değerlendirebilmesi için üç boyutlu geometriye ihtiyaç duyar. Bu nedenle parametrik modelleme yöntemi sayesinde, tasarımcılar girdilere göre geometrik bir model oluşturur. Performans simülasyonunun yapılabilmesi için bu geometrik bilgi yazılımlara gönderilir. Elde edilen performans sonuçları da bir optimize ediciye gönderilir. Optimize edici yeni bir tasarım çözümü oluşturarak bilgileri parametrik modelleme programına iletir. Önceden belirlenen kriterlere ulaşıldığında ise döngü durur (Zhao & Angelis , 2019).

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Çalışmanın birinci bölümünde tezin problemi, amacı, önemi, yöntemi ve kurumsal / kavramsal çerçevesine değinilecektir.

1.1. Tezin Problemi

İklim değişikliği sebebiyle yükselen enerji maliyetleri dünyada bina yapım maliyet analizlerinde en belirleyici maddelerden biri olması nedeniyle bu çalışmada enerji performansı üzerinde durulacaktır. Parametrik tasarım metodu kullanılarak yapılan bir cephenin enerji performansına etkileri incelenecek ve bu doğrultuda mevcut İstanbul Gelişim Tower olarak adlandırılan K blok kule binası ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi D blok binası için cephe tasarım modellemeleri yapılacaktır. Bu modellemeler üzerinden günışığı analizleri yapılması bina içindeki ve dışındaki aydınlık parametreleri elde edilmiştir. Belirlenen farklı gün ve iklimde seçilen iki farklı binanın aydınlık düzeyini ölçmek ve mekânsal analizlerini yapmak bu tezin problemidir.

1.2. Tezin Amacı

Mimarlıkta parametrik modeller, performansa dayalı tasarım karar ve kısıtlama faktörlerine oldukça etkin bir şekilde yanıt verebilmektedir. Parametrelere göre doğru bir şekilde tasarlanmış cephe, enerji verimli bina tasarımı için büyük bir önem taşımaktadır. Parametrik tasarım metoduyla esnek adaptif bir cephe tasarlanabilir. Bu esnekliği nedeniyle parametrik tasarım yapının enerji performansını yükseltebilme ve enerjiden tasarruf edebilme konusunda oldukça etkilidir.

Modellemeleri ve analizleri yaparken Rhinoceros, Grasshopper, lunchbox, Ladybug ve Honeybee kullanılacaktır. İlk olarak iklim ve çevre koşulları incelenecektir. Grasshopper ve Honeybee eklentisi kullanılarak binaların günışığı analizleri yapılacaktır.

1.3. Tezin Önemi

Enerjinin sürdürülebilir olmayan yöntemlerle elde edilmesi günümüzdeki önemli sorunlardan biridir. Özellikle binalar yaşam süreleri boyunca sürekli bir enerji

kullanıcısı ve sera gazı üreticisidirler. Daha iyi bir çevreye sahip olabilmek için sürdürülebilir enerjiye yönelmek gerekir. Bu enerji verimliliğini sağlayabilmek içinde çeşitli özellikte cepheler tasarlanmaya başlanmıştır. Konum, yön, form ve kabuğa ilişkin tasarımsal ve teknik özellikler, sürdürülebilir cephe tasarımında mimarın kontrolünde olan tasarım parametreleridir. Cephenin bu parametrelere göre doğru tasarlanması enerji verimliliğini olumlu yönde etkiler. Bu çalışmada parametrik tasarım yönteminin enerji performansını yükseltme ve enerji tasarrufu sağlama konusunda oldukça etkili olduğu savunulmaktadır. Parametrik tasarım metodunun enerji performansına etkileri incelenecektir. İstanbul Gelişim Tower olarak adlandırılan K blok kule binası ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi D blok binasının cephesi için enerji performansına dayalı bir cephe tasarım denemesi yapılmıştır.

1.4. Yöntemi

Bu çalışmada literatür incelemesi, analiz çalışması ve modelleme yöntemi kullanılmıştır. Literatür incelemesinde tezlerden, makalelerden ve kitaplardan faydalanılmıştır. Türkiye'de yayınlanan tezlere tez merkezini kullanarak, diğer ülkelerde yayınlanan tezlere ise ProQuest platformunu kullanarak ulaşılmıştır. Tez merkezinde kinetik cephe ve parametrik tasarım konularıyla ilgili yazılan tezler Tablo 1'de gösterilmiştir. Google akademik arama motoru ve academia.edu, sciencedirect, researchgate gibi akademik makaleleri yayınlayan sitelerden yararlanılmıştır. Literatür incelemesinden sonra ise alan çalışması yapılmıştır. Bu alan çalışmasında planlar için autocad, bina modellemesi için Rhinoceros, parametrik cephe modellemesi için Grasshopper, analizler için de Ladybug ve Honeybee yazılımları kullanılmıştır.

Yararlanılan kaynaklardan özetle bahsetmek gerekirse çift cidarlı cephe bölümünü yazarken Mary Ben Bonham - Bioclimatic Double-Skin Façades (2020) ve Mona Azarbayjani - High-Performance Double Skin Façade Buildings (2023) kitaplarından faydalanılmıştır. Dünyadaki parametrik tasarım örnekleri bölümünde Nick Dunn - Digital Fabrication in Architecture (2012), Wassim Jabi - Parametric Design for Architecture (2013) ve Branko Kolarevic - Intelligent Building Skins: Parametric-Based Algorithm for Kinetic Facades Design and Daylighting Performance Integration (2003) kitaplarından faydalanılmıştır. Adaptif cephenin

sınıflandırılması ve kinetik cephe örneklerinde ise Branko Kolarevic & Vera Parlac - Building Dynamics: Exploring Architecture of Change (2015) kitabından yararlanıldı. Bu incelemelerin sonucunda parametrik yazılımlar kullanılarak kinetik cephe denemesi yapılmıştır.

Tablo 1. Tez merkezindeki kinetik cephe ve parametrik tasarımla ilgili tezler

Yazar	Yıl	Tez Adı	Tezin Amacı
Delara RAZZGHMANESH	2015	Parametrik Tasarımın Performatif Cephe Tasarımı Üzerine Etkisi	Parametrik tasarım yöntemini kullanarak adaptif bir cephe tasarlamak ve mekanik sistemlere olan ihtiyacı azaltmak amaçlanmıştır.
Mahina REKI	2018	Tepkimeli Cephelerde Parametrik Örüntülerle Yeni Form Arayışı	Çevresel koşullara yanıt verebilen bir kinetik cephe tasarımında İslami geometrik desenlerin kullanımın stratejilerini araştırmıştır.
Feyza Nur AKSİN	2019	Yapı Kabuklarının Günışığı ve Enerji Bağlamında Eniyilenmesinde Parametrik Modelleme ve Evrimsel Algoritma Kullanımı	Tasarımın erken aşamalarında enerji performansı geri bildirimlerinin elde edilebilmesi ve buna yönelik bir tasarım süreci gerçekleştirebilme
Dilan ÖNER	2019	Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenlerinin Parametrik Tasarım Araçlarıyla Performans Değerlendirmesi	Cepheye yatay ya da düşey olarak yerleştirilmiş hareket edebilen gölgeleme sistemleri tasarlamıştır. Bu gölgeleme sistemlerinden hangisinin optimum görsel ve ısıl performans sağladığını bulmayı amaçlamıştır.
Hakan Oğuz BOR	2021	Çok Katlı Konut Binaları İçin Gün Işığı Performansını Artıracak Bir Parametrik Tasarım Önerisi	Parametrik yansımalı yüzey sistemi modelleyerek günışığı verimliliğinin değerlendirilmesini amaçlamıştır. Ayrıca ışık kuyuları kullanarak aydınlatılan kapalı alanların günışığına erişimini artırmak istemiştir.
Sadullah ENGİN	2022	Kinetik Cephelerde Sınıflandırma Önerisi ve Geleneksel Gölgeleme Elemanları ile Arasındaki Farkların Değerlendirmeleri	Parametrik yöntemle tasarlanmış kinetik cepheyle statik cepheyi karşılaştırmıştır. Enerji yükü, aydınlık düzeyi ve kamaşmayı göz önüne alarak karşılaştırmıştır. Bu tezde aydınlık düzeyini artırırken kamaşmayı azaltmayı amaçlamıştır.
Büşra YAMAN	2022	Performans Tabanlı Parametrik ve Adaptif Bina Kabuğu Tasarım Önerisi	Ofis binasının kinetik cephe kabuğunun enerji verimliliği açısından potansiyelini araştırmayı amaçlamıştır.

1.4.1. Kurumsal / Kavramsal Çerçevesi

Bu tezde literatür araştırması yapılmıştır. Parametrik tasarım metodu ile enerji performansı sağlayan cepheler incelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda İstanbul Gelişim Üniversitesinin K blok kule binasının ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi D blok binasının cephesi için parametrik tasarım metodu kullanarak enerji performansına dayalı bir cephe tasarım denemesi gerçekleştirilecektir. Bu deneme parametrik tasarım araçlarından Rhinoceros, Grasshopper, benzeri programlar kullanılarak yapılacaktır. Bu tasarım araçları ile esnek bir parametrik cephe tasarlanabilir. Aynı zamanda eklentiler kurarak ve model üzerinden gerekli analizleri yaparak modele yeni formlar veya çevresine göre yeni yönelimler sağlanabilir.

1.4.2. Varsayımları

Parametrik tasarım metoduyla tasarlanan cephe, binanın enerji performansını yükseltme ve enerji tasarrufu yapabilme konusunda oldukça etkili oluşunu ortaya koyan bir varsayımla teze başlanmıştır.

1.4.3. Sınırlılıkları

Bu tezde yerel ve uluslararası kaynaklar incelenmiştir. Dünyadaki seçilmiş yapı gruplarından örnekler ele alınmıştır. Adaptif, kinetik, çift cidarlı ve akıllı cephe sistemleri incelenmiştir. Seçilen örnekler 1987-2019 yılları arasında yapılmış yapılardır.

Gelişim Kule ve eski MMF binasının aydınlık düzeyi analizleri yapılmıştır. Analizlerde cephelerdeki mekanik değişimler ve rüzgâr etkisine bağlı çalışmalar ve elde edilebilecek değerler kapsam dışı bırakılmıştır.

1.4.4. Veri Toplama Tekniği

Bu çalışmada veriler YÖK tez merkezi, ProQuest platformu, google akademik arama motoru, academia.edu, sciencedirect, researchgate, dergipark kullanarak elde edilmiştir. Alan çalışması bölümündeki analiz sonuçları için parametrik yazılımlar kullanılmıştır.

Parametrik modellemeye olanak sağlayan Grasshopper yazılımı kullanılarak modüller oluşturulmuştur. Bu modüller cepheyi oluşturmada veri olarak

kullanılmıştır. Simülasyon programlarının yardımıyla binaların giriş katlarının günışığı analizleri yapılmıştır. Sonuç bölümünde değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.5. Tez Akış Şeması

GİRİŞ

- Çalışmanın problemi
- Amacı
- Önemi
- Yöntemi

LİTERATÜR

- Performansa dayalı tasarımım tanımı
- Performansa dayalı cephe sistemleri
- Adaptif cephe, kinetik cephe, çift cidarlı cephe, akıllı cephe tanımları
- Dünyadan cephe örnekleri
- Parametrik tasarım yöntemi
- Parametrik tasarımın uygulandığı alanlar
- Parametrik tasarım örnekleri

ALAN ÇALIŞMASI

- Seçilen binaların bulunduğu iklim, çevre koşulları ve günışığı analizleri
- Binaların mevcut cephe analizleri
- Parametrik yazılımları kullanarak desen ve cephe denemeleri
- Cephe denemelerini binalara uyarlama

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İKİNCİ BÖLÜM

PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE CEPHE SİSTEMLERİ

Bu bölümde ilk olarak performansa dayalı tasarımın tanımı yapılmıştır. Daha sonra adaptif cephe, kinetik cephe, çift cidarlı cephe ve akıllı cephe sistemlerinden bahsedilmiştir. Bu cephelerle ilgili örnekler verilerek cephe performansına göre karşılaştırılması yapılmıştır.

2.1. Performansa Dayalı Tasarımın Tanımı

Performansa dayalı tasarım, bina performansının tasarımda yol gösterici faktör haline geldiği bir tasarım yöntemi olarak ele alınabilir. Mimarlıkta performansa dayalı modellerde, aday tasarımın optimize edilebilmesi için bina performans simülasyonunun kullanılması gerekebilir. Çok uzun süredir tasarım performansı mimari tasarım alanında önemli bir konu olarak kabul edilmektedir.

Günümüzde performansa dayalı tasarıma yönelik yaklaşımlar, geleneksel CAD simülasyon süreçlerinden farklıdır. Geleneksel simülasyon araçları, uygun olan kararlar verildikten sonra nesnenin simülasyonu ve değerlendirmesini yapmak için kullanılır. Genellikle tasarımın erken aşamalarında kullanılmaz.

Performansa dayalı tasarım, performans analizleri doğrultusunda dijital bir modelin geometrik özelliklerini doğrudan manipüle etme yeteneği olarak yeniden tanımlanabilir. Bir tasarım performansını analiz edip buna göre değişiklikler yapmak yerine performansa dayalı simülasyonlar kullanarak tasarım modelini doğrudan değiştirmek mümkün olabilir.

Dijital tasarımda topolojinin ve Öklid dışı geometrinin tekrar ele alınması, yeni geometrik olanakların araştırılmasına olanak tanımıştır. Hesaplamalı geometri bağlamında, ilişkisel ve parametrik modeller tasarım için oldukça güçlü araçlardır. Dijital ortamların topolojik etkisi, geometrik bir yapının parametrelerinin yeniden yapılandırılmasına olanak tanımıştır. Bu özellik, parametrik tasarım ile performansa dayalı tasarım arasındaki ilişkiye katkı sağlamıştır (Oxman, 2008).

2.2. Performansa Dayalı Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması

Performansa dayalı cepheler, kullanıcılar için konforlu bir iç mekân yaratan olabildiğince en az miktarda enerji tüketen cephe kaplamaları olarak tanımlanabilir. Bunun için birbirinden farklı tasarım stratejileri vardır (Aksamija, 2013). Termal konforu sağlayabilmek için güneş kontrol sistemlerinin kullanılması, soğutma yüklerini azaltmak için doğal havalandırmaya olanak sağlayacak şekilde tasarlanması gibi çeşitli stratejiler benimsenebilir (Nashaat & Waseef, 2017).

Performansa dayalı cephe sistemleri adaptif, kinetik, çift cidar veya akıllı cephe olarak adlandırılabilir.

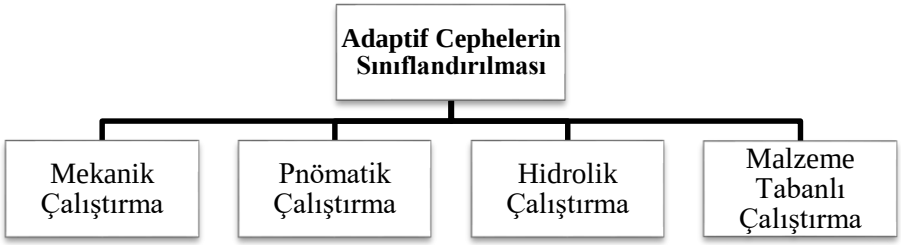
2.2.1. Adaptif Cephe

Adaptif cephe tasarımında çevresel faktörlere göre mimari şekillenir. Böylece kullanıcı için ideal yaşam koşulları oluşturulabilir. Ayrıca sürdürülebilirlik açısından da önemli bir konuma sahiptir. Bina kullanıcıları açısından adaptif binaların birçok olumlu yanı vardır. Kullanıcılar için daha konforlu bir ortam sağlar, çevrenin korunmasında rol oynar ve büyük ölçekli konut alanlarında site yönetim giderlerinden tasarruf sağlanabilir (Karakoç ve Cagdas, 2015)

İnşaat endüstrisinin gelişmesiyle yeni malzemeler mimarlık alanında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle de ilk olarak bina cephelerinde bu gelişmeler denenmiştir. Ayrıca bilgisayardaki gelişmeler sayesinde mekanik sistemlerin kontrol edilmesini sağlayan donanımların kullanılması kolaylaşmıştır. Elektronik ve mekanik donanımlarla kontrol edilen gölgelendirme ve havalandırma sistemleri kinetik ya da dinamik sistemlerde kullanılma başlanmıştır. Kolarevic ve Parlac'a göre bu sistemlerdeki ana düşünce, binalar değişen çevre koşullarına enerji verimi göz önüne alınarak dinamik bir şekilde yanıt vermelidir. Böylece binalar değişen dış ortama karşı adaptif hale gelir (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Adaptif cepheler hem dış ortamdan binaya hem de binadan dışarıya enerji akışının daha iyi yönetilmesini sağlamıştır. Bina performansının ve kullanıcı konforunun iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Kolarevic ve Parlac'a (2015) göre, binanın adaptif dış cephesinin değişen çevreye uyum sağlayabilmesi için cephede kullanılan elemanların istenilen şekilde hareket ettirilebilmesi gerekir. Bunun için çeşitli çalıştırma yöntemleri kullanılır. Bunlar motor tabanlı, hidrolik, pnömatik ve materyal bazlı çalıştırma yöntemleridir (Şekil 2) (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).



Şekil 2. Adaptif cephenin sınıflandırılması (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Mekanik Çalıştırma: Mekanize jaluzi sistemleri oldukça yaygın kullanılan motor tabanlı bir sisteme sahiptir. Güneş ışınımından ısı kazanımını ve kamaşmayı azaltmada yardımcı olur. Güneşin konumuna göre panjurun açıklığı otomatik olarak kontrol edilebilir (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Adaptif gölgeleme sistemleri bina cephesine gömülü ya da bina cephesinin dışında olabilir. Bunun kararını verirken ölçek, malzeme gibi şeylere bakılarak karar verilir. Ancak cephenin dışında bulunan mekanik sistemler, çevre koşullarından kolayca etkilenip hasar alabileceği için arıza olasılığı artar ve sistemin ömrünü kısaltabilir (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

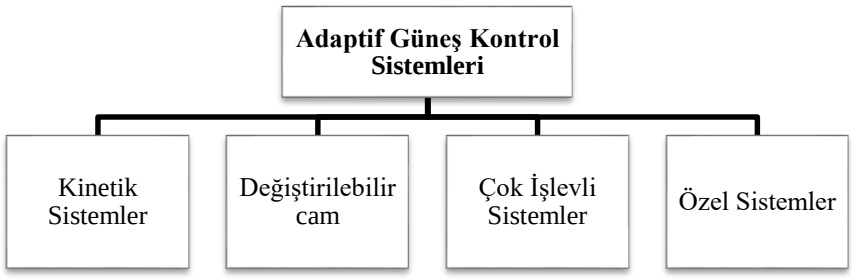
Pnömatik Çalıştırma: ETFE, oldukça hafif, pahalı olmayan bir malzemedir. Binalarda kullanabilmek için ilk başta ETFE CNC kesiciler kullanarak ETFE levhaları kesilir. Sonradan hava pompaları kullanılarak şişirilir ve yastıklar oluşturulur. Hava pompaları hem enerji tüketir hem de periyodik olarak bakım yapılması gerekir (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Malzeme Tabanlı Çalıştırma: Akıllı veya değiştirilebilir olarak adlandırılan camlar değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilir. Örneğin elektrik akımı uygulandığında veya ısıya göre camın ışık geçirgenliği değişebilir (Kolarevic, Parlac, 2015). Bazı araştırmacılar mekanik çalıştırma yerine malzeme temelli çalıştırma üzerine araştırmalar yapıyorlar. Yaptıkları bu araştırmalar sonucunda eğer bu malzemeler geliştirilirse ve ticari bir ürün olarak kullanılırsa sıfır enerjili adaptif bina

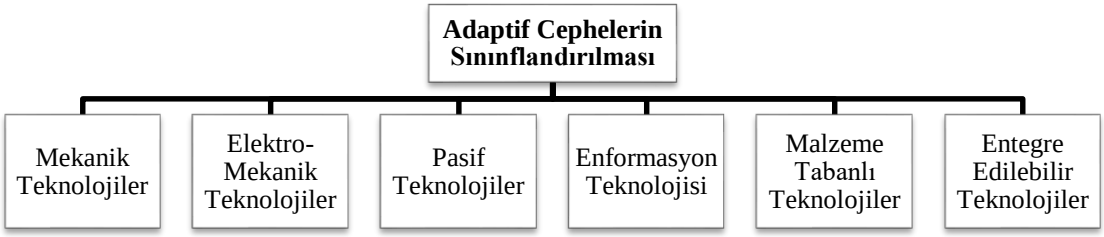
cepheleri üretilebilir (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Başarır ve Altun (2017), adaptif cephelere yönelik yeni bir sınıflandırma sistemi önermiştir. Bu sınıflandırmada adaptasyon unsurları, adaptasyon temsilcileri, adaptasyon temsilcilerine tepki, hareket tipi, mekânsal adaptasyonun boyutu, dinamik adaptasyon için strüktürel sistem, çalıştırıcının tipi, hareket sınırı, kontrol türü, sistem yanıt süresi, uyum sağlanabilirlik derecesi, adaptasyonun etkisi, mimari görünürlük düzeyi, sistem karmaşıklığı ve performans değişikliğinin derecesi yer almaktadır (Basarir & Altun, 2017).

Hraska (2018), adaptif güneş kontrol sistemleri dört grupta incelemiştir (Şekil 3). Bunlar kinetik sistemler, değiştirilebilir cam, çok işlevli sistemler ve özel sistemlerdir. Adaptif güneş kontrol sistemlerin kontrolü merkezi sistemli bir motorla çalışabilir, tamamen otomatik olabilir, kendi kendini düzenleyen çalışma sistemini sahip olabilir ya da elle kontrol edilebilir. Tamamen otomatik olan ve kendi kendisini düzenleyen sistemlerde çevresel koşullara göre ayarlanabilir ve enerji tasarrufu sağlanabilir ancak kullanıcılar kendi isteklerine göre elle değiştiremeyebilirler. Tamamen elle kontrol edilen sistemler ise enerji tasarrufu sağlayamayabilir (Hraska, 2018).



Şekil 3. Adaptif güneş kontrol sistemleri (Hraska, 2018)



Şekil 4. Kontrol teknolojilerine göre adaptif cephelerin sınıflandırılması (Matin ve Eydgahi, 2019)

2.2.2. Kinetik Cepheler

Bina kabuğu, binayı dış ortamın olumsuz koşullarından korur ve çevresiyle etkileşime girerek verimli bir binanın oluşturulmasında rol oynar. Binalar iklim, zaman, rüzgâr gibi unsurlardan etkilenir. Bu unsurlar statik değil dinamiktir. Bundan dolayı binaların bu çevre koşullarına uyum sağlayabilmesinde kinetik cepheler oldukça önemli bir görev üstlenir (Ahmad, Alibaba ve Ibrahim, 2019)

Binalarda sürdürülebilir çözümler oluşturulabilmesi için kinetik sistemler kullanılmaktadır. Kinetik sistemlerin değişen çevresel unsurlara uyum sağlaması konusundaki avantajları araştırılmaktadır. Fox kinetik mimarlığı değişken hareketlilik kabiliyeti, konum veya geometriye sahip binalar ve bina bileşenleri olarak tanımlar (Fox, 2001).

Haidari (2015), makalesinde Arap Dünya Enstitüsünü ve One Ocean pavyonun kinetik cephesini incelemiştir. Bu inceleme sonucunda kinetik cephe tasarlarken dikkate alınması gereken üç tane sonuç çıkarmıştır. Bunlardan ilki kinetik elemanlar için kullanılan mekanizmanın basitleştirilmesi gerektiğidir. Çok sayıda hareketli ve farklı boyutlarda parçalar olması sistemi daha kompleks hale getirir ve mekanizmanın çalışmasını zorlaştırabilir. İkinci sonuç tasarımcının niyetidir. Tasarımcı kinetik etkileri düşünerek cepheyi tasarlamalıdır. Üçüncü sonuç ise tasarım sürecidir. Yinelemeli bir tasarım süreci olmalıdır. Mimari ve teknoloji bütünleşmelidir (Haidari, 2015).

Fox'a göre "akıllı kinetik sistemler, değişen ihtiyaçları karşılamak için kendilerini fiziksel olarak yeniden yapılandırabilen bir çalışmadır." Fiziksel değişimi yapabilmek için bilgisayar sistemleri kullanılabilir. Böylece Kullanım ihtiyaçlarına göre sistem kendisini yenileyebilir (Fox, 2001).

Binanın iç mekanındaki konforun sağlanabilmesi için kinetik sistemler binanın cephesinde kullanılabilir. Binaların cephesinde kullanılabilen bu kinetik sistemler, binaların dış ortama tepki vermesini ya da bunlardan yararlanmasını sağlayabilir. Böylece yapay enerji ihtiyacının azaltılması sağlanabilir (Bacha & Bourbia, 2016). Kinetik cephelerde, binanın strüktürü bozulmadan cephenin fiziksel görünümü değiştirilir (Ibrahim & Alibaba, 2019).

Kinetik cepheler çevresel değişikliklere karşı uyum sağlayabilir ve buna uygun bir tepki verebilir. Bina içindeki ısıl konforun ve günışığı kalitesinin arttırılmasını sağlar. Kinetik cephedeki hareket cephenin fiziksel yapısını etkiler (Sharaidin, 2014). Alkhayyat'a göre cephede olabilecek temel hareketler rotasyon, taşıma ve ölçeklendirmedir. Eğer iki hareket türü birleştirilirse daha karmaşık hareketler oluşturulabilir (Alkhayyat, 2013).

Maia ve Meyboom'a göre yüksek teknoloji kullanılan kinetik cepheler dört ana bileşenden oluşur. Bunlar sensörler, mantıksal birim, aktüatörler ve iletişim sistemleridir. Sensörler çevresel değişkenleri okur. Mantıksal birim, verileri işler ve bir yanıt oluşturur. Aktüatörler, çevre koşullarına tepki verir. İletişim sistemi ise bilgileri tüm bileşenlere aktarır (Maia & Meyboom, 2015).

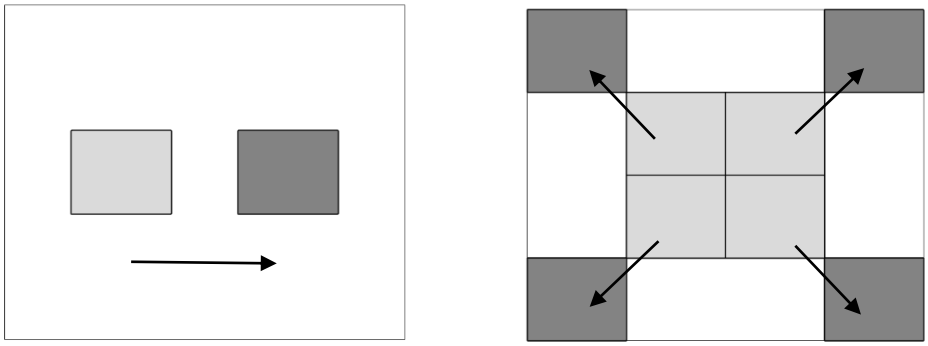
Zamanla bireysel ve çevresel taleplerde değişiklikler olabilir. Bu değişikliklere uyum sağlayabilecek mekanlar oluşturmak adaptif sistemler yapmaktaki ana motivasyon olduğu söylenebilir (Fox & Kemp, 2009). Günümüzde binalar farklı görevleri olan hareketli parçalara sahiptir. Mekanik cihazlar tarafından kontrol edilir ve değişikliklere uyum sağlanabilmesinde rol oynar (Haidari, 2015).

2.2.2.1. Kinetik Cephelerin Geometrik Dönüşümlerine Göre Sınıflandırılması

Kinetik cephe elemanları, geometrik formlarını değiştirerek hava koşullarına uyum sağlayabilir. Kinetik cepheler geometrik dönüşümlerine göre kayma, katlama rotasyon ve ölçeklendirme, formal değişiklik olarak sınıflandırılır.

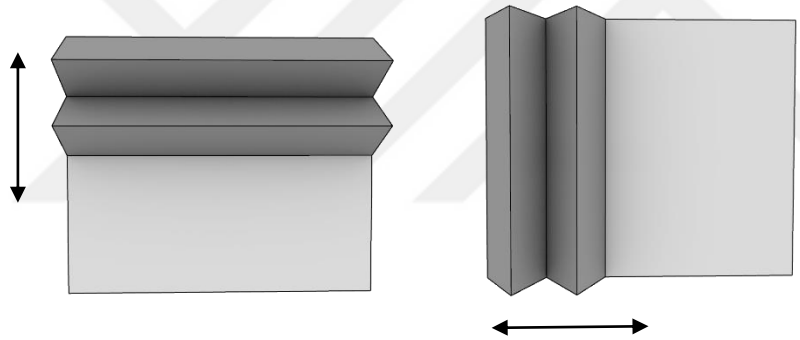
Kayma: Kinetik cephelerde iki tür kayma yöntemi vardır. Bunlardan birisi tek eksenli diğeri ise çok eksenli kayan sistemler olarak adlandırılır. Sadece bir yönde kayabilen sistemler tek eksenli kaymadır. Birden fazla yönde kayabilen sistemlere ise

çok eksenli kayma denir (Şekil 5). Çok eksenli kayma, tek eksenli kaymaya göre cephede çok daha fazla hareket olanaklarına sahiptir (Engin, 2022).



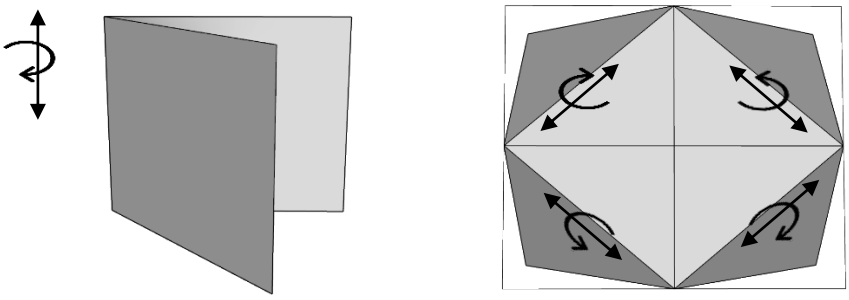
Şekil 5. Tek Eksenli Kayma Çok Eksenli Kayma

Katlama: Kinetik cephelerdeki katlama sistemlerinde birimler katlanarak birbiriyle temas etmesi sağlanır. Katlama sistemlerinde yatay ve dikey olmak üzere iki tür hareket yöntemi cardır (Şekil 6).



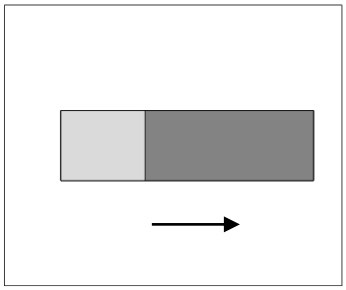
Şekil 6. Dikey Katlama Yatay Katlama

Rotasyon: Bir veya birden çok eksen etrafında dönebilen sistemlerdir. (Şekil 7). Tek eksenli rotasyonda dikey ya da yatay eksen olabilir.



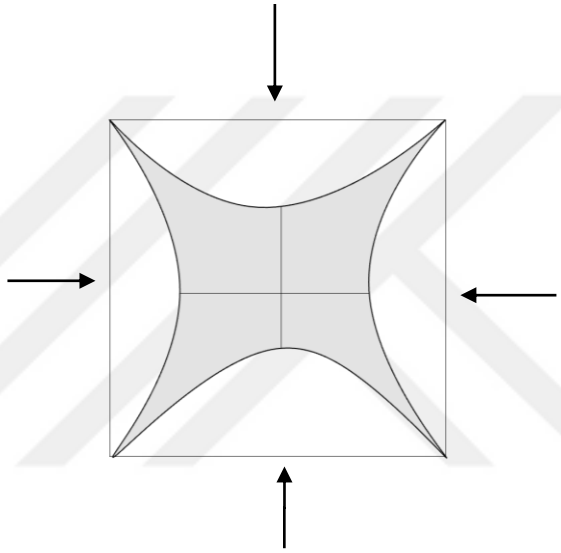
Şekil 7. Tek Eksenli Rotasyon Çok Eksenli Rotasyon

Ölçeklendirme: Nesnelerin daralması veya genişlemesidir (Ibrahim & Alibaba, 2019) (Şekil 8).



Şekil 8. Ölçeklendirme

Formel Değişiklik: Malzemelerin elastikiyet ve ağırlık gibi değişen özelliklerine bağlıdır (Ibrahim & Alibaba, 2019) (Şekil 9).



Şekil 9. Formel değişiklik

2.2.2.2. Cephe Fonksiyonuna/Çevresel Kontrole Göre Kinetik Cephelerin Sınıflandırılması

Cephe fonksiyonuna/çevresel kontrole göre kinetik cephelerin sınıflandırması 5 maddede incelenmiştir. Bunlar ısı kazanımı, günışığı, havalandırma, gürültü ve nem kontrolüdür (Nashaat & Waseef, 2017).

Isı Kazanımı Kontrolü: Kinetik cephe sistemleri, iç mekandaki ısı kazanımının kontrol edilebilmesinde rol oynar. Yaz mevsiminde ısı kazanımı engellenebilirken kış mevsiminde güneş enerjisinden ısı kazanımı sağlanabilir. (Nashaat & Waseef, 2017).

Günışığı kontrolü: Kinetik cepheler, iç mekânın aydınlık düzeyini ve kamaşmayı kontrol edebilir (Nashaat & Waseef, 2017).

Havalandırma Kontrolü: Hava akışını sağlayabilmek için çift cidarlı cephe sistemindeki gibi hava boşluğu tasarlanır (Nashaat & Waseef, 2017).

Gürültü Kontrolü: Gürültüyü engelleyebilmek için ses emici gölgeleme araçları kullanılabilir (Nashaat & Waseef, 2017).

Nem Kontrolü: Nem kontrolü pasif veya aktif olarak iki türlü yapılabilir. Aktif kontrolde cephedeki nem sensörleri kullanılır. Pasif kontrolde ise havadaki nem miktarına göre açılıp kapanabilen malzemeler kullanılır (Nashaat & Waseef, 2017).

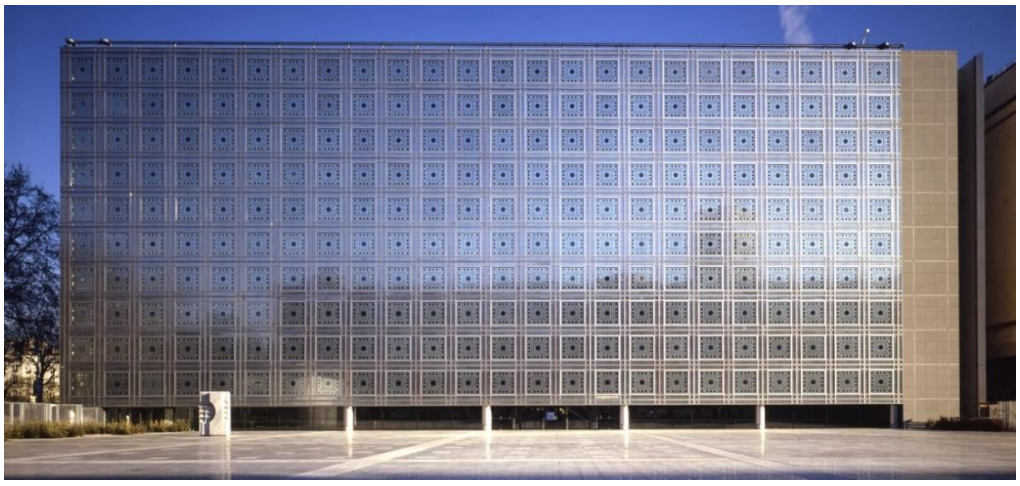
2.2.3. Dünyadaki Kinetik Cephe Örnekleri

Dünyanın farklı bölgelerinden kinetik cepheye sahip binalar ve uygulanmamış kinetik cephe çalışmaları seçilmiştir.

2.2.3.1. Arap Dünya Enstitüsü

Tasarımcı	**Jean Nouvel**
Mühendis	**SETEC Bâtiment (Teknik mühendislik), Casso-Gaudin (Güvenlik teknik mühendisliği), EPSI (Diyafram teknik mühendisliği), Atelier MAURENDU (Multimedya kütüphanesi), Louis FRUIET (Mühendis danışmanı), Light Design (Müze aydınlatma çalışması), Arcora (Müze strüktürü)**
Malzemeler	**Alüminyum (Cephe modüllerindeki bileşenler)**
Konum	**Paris, Fransa**
Yıl	**1989**
İşlev	**Kültür Merkezi, Müze**
Hareket Tipi	**Kayma Hareketi**
Çalıştırma Yöntemi	**Mekanik Çalıştırma**

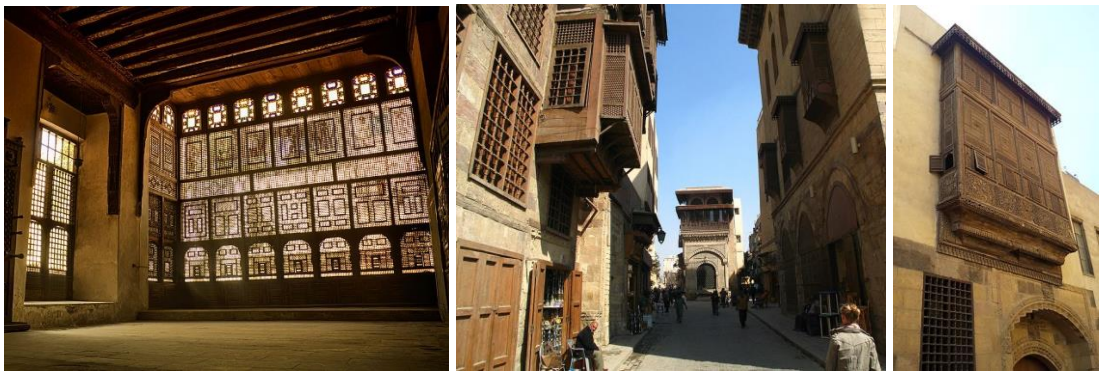
Arap Dünya Enstitüsü, mimar Jean Nouvel tarafından tasarlanan kinetik mimari örneklerinden biridir (Şekil 10). Bu tasarımın güney cephesi, Arap kültüründen esinlenerek tasarlanmıştır. Arap mimarisinde kullanılan maşrabiye adı verilen geleneksel Arap kafes sistemini cam ve çelik kullanarak yorumlamışlardır (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).



Şekil 10. Arap Dünya Enstitüsü Cephesi (Url 2)

Arap mimarisinde kullanılan maşrabiye, binanın ikinci ya da daha üst katlardaki pencere veya balkonların etrafında kafes şeklinde olan bir mimari elemandır (Şekil 11). İlk ne zaman kullanıldığı tam olarak bilinmemekle birlikte 12. yy Abbasi döneminde maşrabiyelerin kullanıldığı örneklere rastlanmaktadır. Memlük ve Osmanlı dönemlerinde maşrabiyeler yaygın olarak kullanılmıştır (Taşkan & Ismaeel, 2022).

Maşrabiyeler nem, sıcaklık, ışık, hava akışını düzenlemek ve aynı zamanda mahremiyeti sağlamak amacıyla kullanılır. Böylece yapıların içi yıl boyunca sabit bir sıcaklıkta olabilmektedir. Genellikle malzeme olarak ahşap kullanılmaktadır ancak tuğla, taş gibi malzemeler kullanılarak oluşturulmuş örnekleri de vardır. Filistin, Mısır, Lübnan gibi sıcak iklime sahip bölgelerde sıklıkla kullanılmıştır (Taşkan & Ismaeel, 2022).

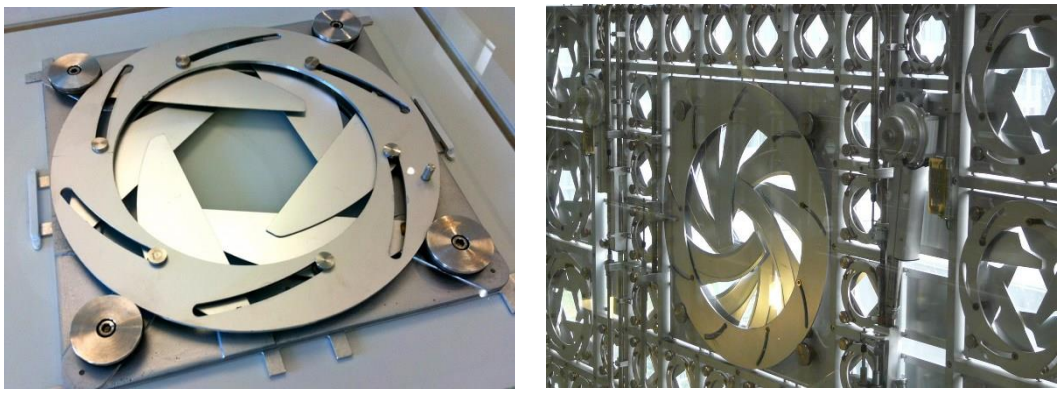


Şekil 11. Kahire'den maşrabiya örnekleri (Url 3, Url 4 ve Url 5)

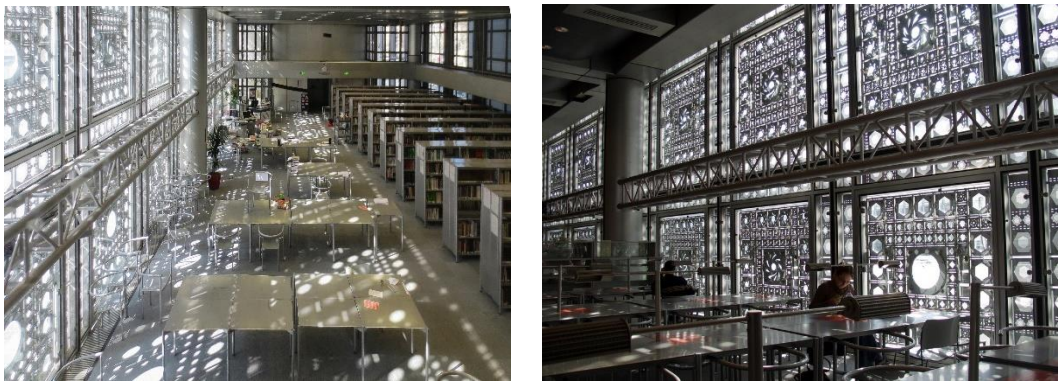
Arap Dünya Enstitüsünün maşrabiyeden esinlenerek tasarlanan cephesi, 240 modülden ve 30.000 ışığa duyarlı diyaframdan oluşur (Haidari, 2015). Diyaframlar, fotovoltaik sensörler aracılığıyla elektronik olarak kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır (Engin, 2022). Güneşin konumuna göre binanın içine girecek ışığın düzeyini kontrol etmesi gerekir ancak mekanik sorunlardan dolayı bu sistem çalışmamaktadır (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Kameradaki diyafram mekanizmasını kullanarak Arap mimarisindeki geometrilerin benzerlerini oluşturmuşlardır (Şekil 12). İslam sanatından esinlenerek tasarlanan güney cephesi (Şekil 13), 35 metre yüksekliğinde ve 80 metre genişliğindedir. 240 kare modül kullanılmıştır. Her modül 121 diyaframdan oluşur. Cephedeki diyaframlar taban plakası, halka şeklinde başka bir plaka ve bıçaklardan oluşur. Bıçak sayısı kadar halkada yuva vardır. Bıçak sayısı, dört ile dokuz arasında değişmektedir. Bu sistem bir motor tarafından çalıştırılmaktadır (Haidari, 2015).

Bu binanın cephesindeki diyaframlar için kameradaki diyaframların çalışma mantığı örnek alınmıştır. Kamera diyaframının boyutunda değişiklikler yaparak diyaframdaki açıklıktan gelen ışık miktarı kontrol edilir. Bu cephedeki diyaframların da aynı prensiple çalışması istenmiştir. Diyafram modülleri cephede kullanılan cam paneller arasına yerleştirilmiştir. Böylece modüllerin olumsuz hava koşullarından korunması sağlanır. Fotovoltaik sensörler kullanılarak diyaframların birbirinden ayrı bir şekilde ışığa tepki vermesi istenmiştir. Ancak diyaframların bir kısmı çalışmamıştır ve bakımı da oldukça pahalıdır. Bu nedenle çalışan diyaframların kontrolünü sağlayabilmek için merkezi bir bilgisayar kullanılır (Haidari, 2015).



Şekil 12. Arap Dünya Enstitüsü cephesindeki diyaframlar (Url 6 ve Url 7)



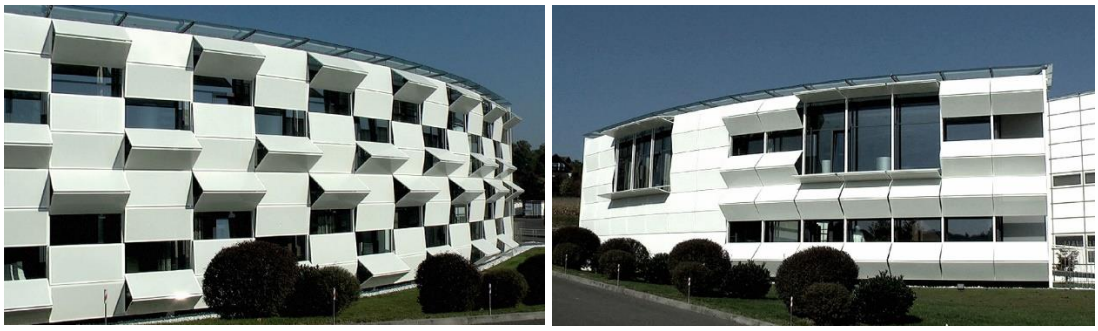
Şekil 13. Arap Dünya Enstitüsü iç kısmı (Url 8 ve Url 9)

2.2.3.2. Kiefer Teknik Galerisi

Tasarımcı	**Ernst Giselbrecht + Partner ZT GmbH**
Mühendis	
Malzemeler	**Alüminyum paneller**
Konum	**Gleichenberg, Avusturya**
Yıl	**2005-2007**
İşlev	**Ofis binası ve sergi alanı**
Hareket Tipi	**Katlama**
Çalıştırma Yöntemi	**Motor**

Ernst Giselbrecht + Partner ZT GmbH tarafından 2005 yılında tasarımına başlanıp 2007 yılında inşaatı tamamlanan Kiefer Teknik Galerisi[1], çevre şartlarına göre hareket eden bir cepheye sahip ofis binası ve sergi alanıdır (Şekil 14). Binanın kinetik cephesi katlanma hareketi yapabilen 112 birimden oluşur. Cephede katlanabilen dikdörtgen delikli alüminyum paneller kullanılmıştır. Katlama hareketi sayesinde binanın iç mekanındaki konforun sağlanabilmesi için gerekli olan günışığı miktarının ayarlanması kolaylaşır. (Vergauwen & Temmerman, 2012; Radwan, 2013; Ibrahim & Alibaba, 2019). İç alanın fazla ısınmasını engelleyerek enerji tüketimini azaltır. Kinetik cephe 56 tane motor tarafından kontrol ediliyor. Ayrıca insan komutlarıyla da çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Güneşin konumuna göre cephedeki paneller katlanıp açılarak binanın içerisindeki konforu sağlar (Ibrahim & Alibaba, 2019).

[1] https://www.youtube.com/watch?v=rAn4ldWjw2w&ab_channel=giselbrecht



Şekil 14. Kiefer Teknik Galerisi (Url 10)

2.2.3.3. Flare

Tasarımcı	**whitevoid**
Mühendis	
Malzemeler	**Metal**
Konum	**Rotterdam, Hollanda / Aarhus, Danimarka / Berlin, Almanya**
Yıl	**2008**
İşlev	
Hareket Tipi	**Rotasyon hareketi**
Çalıştırma Yöntemi	**Pnömatik çalıştırma**

Flare[2] cephe çalışmasında pnömatik sistem kullanılmıştır (Şekil 15). Cephedeki modüller merkezi bir sistem aracılığıyla birbirlerinden farklı yönlere hareket edebilmektedir. Bu hareket sonucunda modüller arasında boşluklar oluşmaktadır. Boşluklardan binanın iç alanı için gerekli olan hava ve ışık geçişi sağlanır. Ancak modüller birbirlerine çok yakın olduğu için gerekli olan hava ve ışık kontrolünü sağlayamayabilir (Moloney, 2011'den aktaran ; Maden,2022).

[2] **https://lifa-research.org/en/artworks/flare-facade/**
https://www.mediaarchitecture.org/mediafacades2008/exhibition/projects/



Şekil 15. Flare cephe tasarımı (Url 11)

2.2.3.4. Media-TIC

Tasarımcı	**Enric Ruiz Geli**
Mühendis	**Boma SL, Agusti Obiol (yapı mühendisi)**
Yazılım	**CAD-CAM**
Malzemeler	**Etilen tetrafloroetilen (ETFE)**
Konum	**Barselona, İspanya**
Yıl	**2009**
İşlev	**Ofis**
Hareket Tipi	**Formel değişiklik**
Çalıştırma Yöntemi	**Pnömatik çalıştırma**

Barselona'daki Media-TIC binası mimar Enric Ruiz Geli tarafından tasarlanmıştır. Cephesinde pnömatik bir sistem kullanarak enerjiden tasarruf edilmiştir (Şekil 16). Oldukça hafif bir malzeme olan ETFE hava yastıkları kullanılmıştır. Bu hava yastıkları üç katmandan oluşur. Cephe, ortamdaki sıcaklığın değişmesiyle cephedeki hava yastıklarının hava basıncı değişir. Sıcaklığın artmasıyla cephe şeffaftan opak hale geçiş yapar. Hava yastıkları öğleden sonra nitrojenle doldurulur ve yarı şeffaf hale gelerek UV radyasyonun yaklaşık yüzde 80'ini engeller ve alanı gölgelendirerek daha konforlu bir ortam yaratır. Bu sayede istenmeyen ısı kazanımı azalır. %20 oranında enerjiden tasarruf edilir ve karbon emisyonunu yaklaşık %55 oranında azaltır (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015; Maden, 2022).



Şekil 16. Media-TIC Binası (José Miguel Hernandez ve Luis Ros)

2.2.3.5. Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi

Tasarımcı	**Chaix & Morel et Associés, JSWD Architekten**
Mühendis	**IDN Ingenieurbüro**
Malzemeler	**Paslanmaz çelik (güneş kontrol aracı)**
Konum	**Essen, Almanya**
Yıl	**2010**
İşlev	**Genel Merkez**
Hareket Tipi	**Rotasyon**
Çalıştırma Yöntemi	**Motor temelli**

Almanya'da ThyssenKrupp şirketi için Chaix & Morel ve JSWD Architekten tarafından tasarlanmıştır (Şekil 17). Bu binanın cephesinde, güneşin konumuna göre dikey ya da yatay eksende dönebilen grup halinde ya da bağımsız olarak hareket edebilen 1280 güneş kontrol elemanı kullanılmıştır. Güneş kontrol sistemi, üçgen ve dikdörtgenden yamuğa kadar farklı geometrik birimlerden oluşmaktadır. Güneş ışınımından ısı kazanımını azaltır. Binanın enerji yükünü %50 azaltır ve %27 daha az karbon salınımı yapar (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015; Maden, 2022).

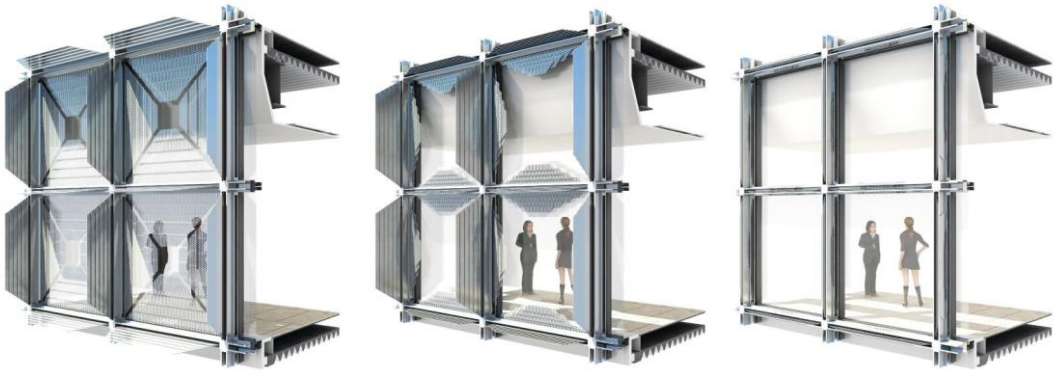


Şekil 17. Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi, Essen, Almanya (Url 12)

2.2.3.6. HelioTrace

Tasarımcı	**SOM, Permasteelisa Group**
Mühendis	
Malzemeler	**Delikli Alüminyum Paneller**
Konum	
Yıl	**2010**
İşlev	
Hareket Tipi	**Kayma Hareketi**
Çalıştırma Yöntemi	**Mekanik Çalıştırma**

HelioTrace sistemi, SOM ve Permasteelisa Group'un beraber çalışmasıyla geliştirildi (Şekil 18). Dört adet üçgen forma sahip paneller birleştirilerek kare modüller oluşturulur. Güneşin konumuna göre üçgen paneller kenarlara doğru kayma hareketi yaparak karenin açıklığı ayarlanır. Günışığının kontrol edilebilmesini sağlar. Toplam enerji tüketimini %42, ısı kazanımını ise %80'e kadar azaltmaktadır (Kolarevic, Parlac, 2015; Fortmeyer, Linn, 2014; Maden, 2022).



Şekil 18. HelioTrace (Url 13)

2.2.3.7. Al Bahar Kuleleri

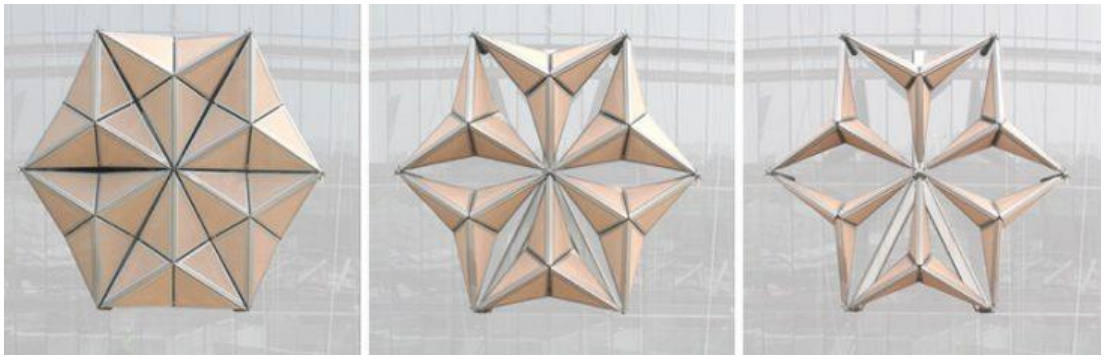
Tasarımcı	**Aedas Architects**
Mühendis	**Arup**
Malzemeler	**Fiberglass**
Konum	**Abu Dhabi, Birleşik Arap Emirlikleri**
Yıl	**2012**
Kat Sayısı	**29**
İşlev	**Ofis**
Hareket Tipi	**Katlama**
Çalıştırma Yöntemi	**Motor temelli**

Aedas Architects tarafından tasarlanan Al Bahar Kuleleri, 145 m yüksekliğinde 2 bina olarak inşa edildi (Şekil 19). Bu kulelerin kinetik cephesi maşrabiyeden ilham alınarak tasarlanmıştır (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015).

Kulelerin kinetik cepheleri altıgen birimler halinde düzenlenmiştir. Bu birimler yaklaşık olarak bin üçgenden oluşur. Kulenin cam cephesine tutturularak taşınması sağlanır. Güneşin konumuna göre üçgenlerin açıklık oranı değişir ve bu değişiklikler, binanın yönetim sistemi tarafından sağlanır (Şekil 20). Tasarımı yaparken kinetik elemanların binanın soğutma yüklerini yüzde 25'e kadar azaltması hedeflenmiştir. Bunu yapabilmek için parametrik tasarım yöntemi kullanmış ve simülasyon programlarıyla kulelerin enerji performansı ölçülmüştür. Isı kazancını en aza indirerek binanın soğutma yükü azaltılmıştır (Kolarevic, Parlac, 2015).



Şekil 19. Al Bahr Kulesi, Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri (Url 14, Url 15 ve Url 16)



Şekil 20. Altıgen birimin kapalı, yarı kapalı ve açık hali (Url 17)

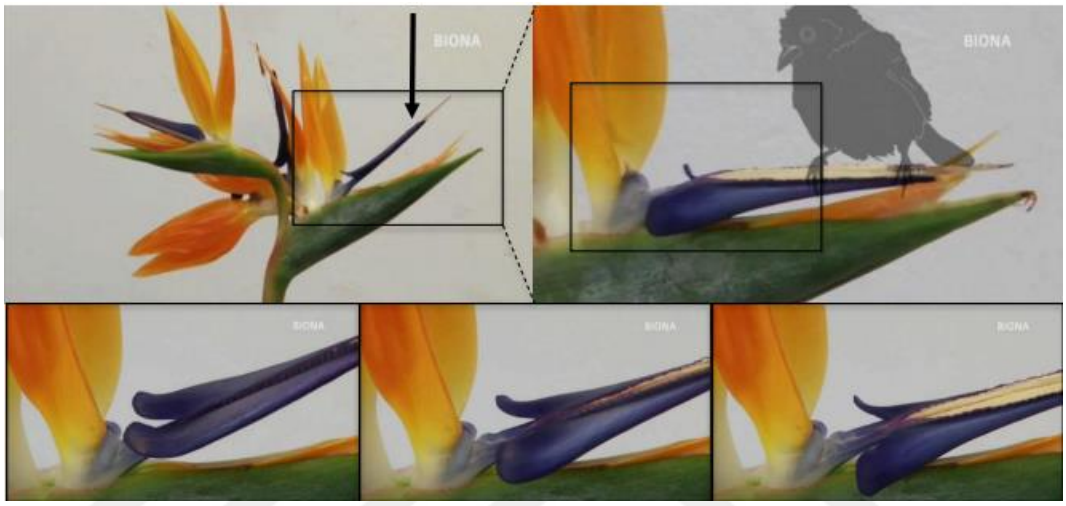
2.2.3.8. One Ocean Tematik Pavyonu

Tasarımcı	**Soma ZT GmbH**
Mühendis	**Brandstatter ZT GmbH (Yapı Mühendisliği), Transsolar Energietechnik GmbH (İklim Mühendisliği), Knippers Helbig GmbH (Kinetik Cephe Mühendisliği)**
Malzemeler	**Cam elyaf takviyeli polimer**
Konum	**Yeosu-si, Güney Kore**
Yıl	**2012**
Yükseklik	**3-13 metre**
İşlev	**Sergi**
Hareket Tipi	**Formel değişiklik**
Çalıştırma Yöntemi	**Motor temelli**

Soma tarafından tasarlanan One Ocean pavyonu, Güney Kore'deki Expo 2012 için inşa edilmiştir (Şekil 22). Çevredeki hava koşuluna göre hareket edebilen bir cephesi vardır. Soma, "Expo'nun yaşayan okyanus ve sahil (The Living Ocean and Coast) temasını sembolik olarak göstermek yerine performatif olarak örneklendirmek istedi" (Haidari, 2015).

Kinetik cephenin hareketi için cennet kuşu çiçeğinden (strelitzia reginae) esinlenilmiştir. Bu çiçek kuşların konabileceği iki tane bitişik taçyaprağından meydana gelen bir platform oluşturur. Kuş platforma konduğu zaman aşağıya doğru eğilir ve taçyaprağının iki kanadı yana doğru yönelerek açılır. Noktasal yükün etkili olduğu bir bükülme hareketidir (Şekil 21). Bu mekanizma, mekanikte burkulma olarak adlandırılır. Bu bitkideki açılma hareketi örnek alınarak kinetik cephedeki lamellerin açılmasında benzer mekanik hareket kullanılmıştır (Haidari, 2015).

Kinetik cephenin uzunluğu 140 metredir ve yüksekliği 3-13 metre arasında değişmektedir. 108 dikey lamel kullanılmıştır. Lameller, cam elyaf takviyeli polimerden yapılmıştır (Kolarevic, Parlac, 2015). Cam elyaf takviyeli polimer, yüksek çekme direnci ve düşük bükülme direncine sahip bir malzemedir. Böylece tersine çevrilebilir elastik deformasyon meydana gelebilir. Pavyonun cephesindeki lameller sayesinde güneş ışığına maruz kalma kontrol altına alınabilir. Lamellerin her biri birbirlerinden bağımsız olarak çalıştırılabilir (Haidari, 2015).



Şekil 21. Cennet kuşu çiçeğinin çalışma mekanizması (Haidari, 2015)

Lameller güçlü olmasının yanı sıra esnektir. Bu nedenle elastik deformasyona olanak sağlar. Motorlar tarafından çalıştırılarak lameller asimetrik olarak bükülür ve cephede açıklıklar oluşturur. Böylece ışık bina içine girebilir. Her lamel birbirlerinden ayrı olarak kontrol edilir. Lameller bükülerek cephe boyunca açılıp kapanabilir (Kolarevic, Parlac, 2015).

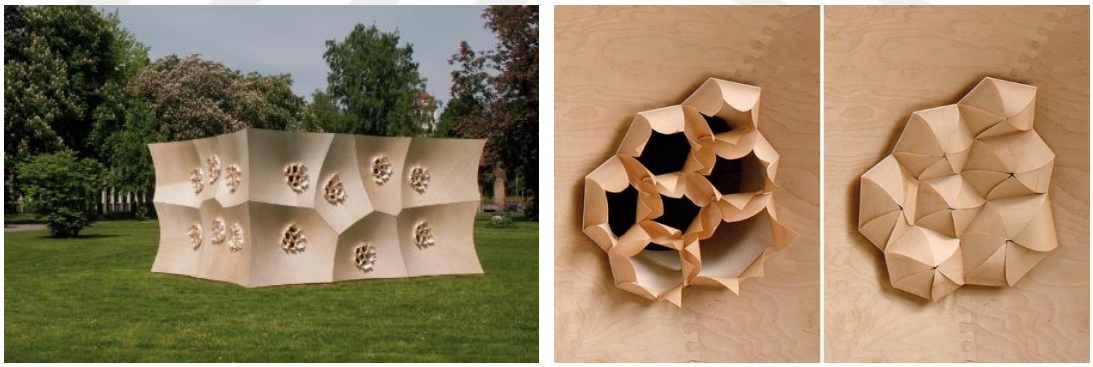


Şekil 22. One Ocean Pavyonu (Url 18)

2.2.3.9. HygroSkin

Tasarımcı	**Achim Menges Architect, Oliver David Krieg, Steffen Reichert**
Malzemeler	**Akçaağaç kompozit paneller**
Konum	**Orléans, Fransa**
Yıl	**2013**
İşlev	**Pavyonu**
Hareket Tipi	**Formel değişiklik**
Çalıştırma Yöntemi	**Malzeme temelli**

HygroSkin[3], Achim Menges tarafından pavyon olarak tasarlanmıştır (Şekil 23). HygroSkin projesinde, iklime duyarlı mimarinin yeni bir yaklaşımını araştırmışlardır. Kullandığı akçaağaç kompozit paneller sayesinde ortamın nem seviyesine göre modüllerin hareket edebilmesini sağlar. Malzemedeki lifler, nem değişikliğine tepki verebilmesini sağlar. Yapının kabuğundaki modüller, herhangi bir teknik ekipmana ya da harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan iklim değişikliklerine tepki olarak açılıp kapanabilmektedir. Modüller ortamdaki neme bağlı olarak açılıp kapanabilmektedir. Yüksek nem oranında modüller kapanırken düşük nemde modüller açılır (Krieg, Christian, Correa Zuluaga, & Menges, 2014) (Fox, 2016 ve Menges, Reichert, 2015'ten alıntılayan Maden, 2022).



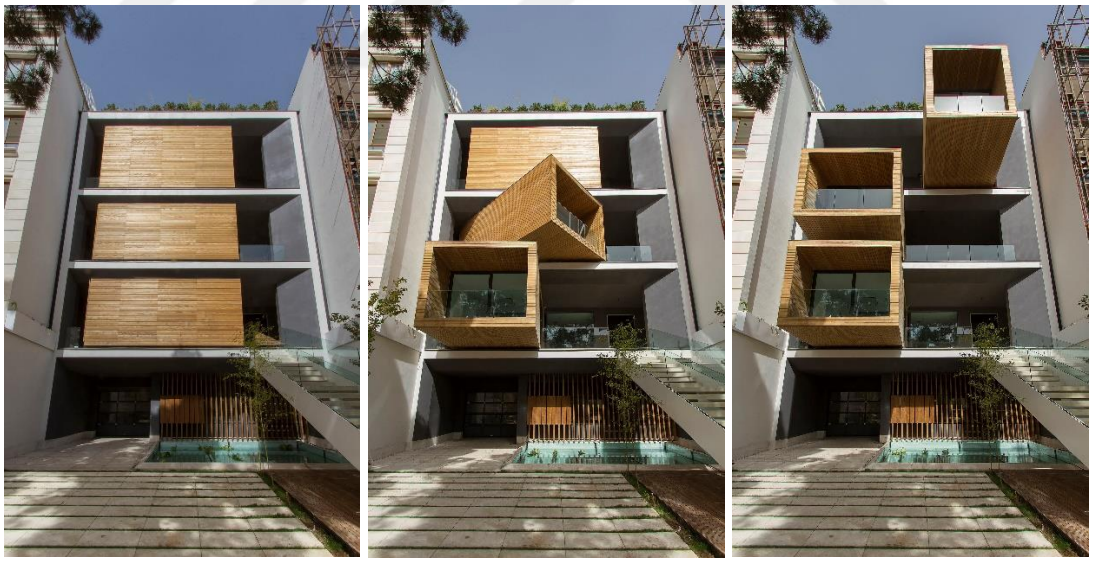
Şekil 23. HygroSkin, yüksek bağıl nemde açık ve düşük bağıl nemde kapalı modüller (Url 19)

[3] https://vimeo.com/73727749

2.2.3.10. Sharifi-ha Evi

Tasarımcı	**NextOffice – Alireza Taghaboni**
Mühendis	
Malzemeler	**Ahşap**
Konum	**Tahran, İran**
Yıl	**2010-2013**
İşlev	**Konut**
Hareket Tipi	**Rotasyon**

Tahran'da inşa edilen Sharifi-ha House, NextOffice tarafından tasarlanmıştır. Tahran'daki mevsimler arası sıcaklık farkının fazla olması nedeniyle bu ev için dönebilen bölmeler tasarlanmıştır (Şekil 24). 90 derecelik dönme hareketi yapabilir. Dönme hareketi sayesinde yazın odalar açığa çıkartılabilirken kışın odalar içe doğru çevrilebilir. Hem kışlık hem de yazlık oturma odası olan İran evlerine benzemektedir (Şekil 25). Bölmeler açıldığı zaman terasa kapandığı zaman odaya erişim sağlanabilmesi için bir yan kapı kullanılır. Teraslarda bölmelerin dönmesine göre hareket edebilen katlanır korkuluklar kullanılmıştır (Ibrahim & Alibaba, 2019).



Şekil 24. Sharifi-ha Evi Cephesi (Url 20)



Şekil 25. Sharifi-ha Evi cephesi açık ve kapalı (Url 21)

2.2.3.11. SDU Kolding Kampüs

Tasarımcı	**Henning Larsen Architects**
Mühendis	**Orbicon**
Malzemeler	**1600 delikli Alüminyum panel**
Konum	**Kolding, Danimarka**
Yıl	**2014**
İşlev	**Eğitim**
Hareket Tipi	**Rotasyon**
Çalıştırma Yöntemi	**Merkezi sistem**

Güney Danimarka Üniversitesi'nin Kolding Kampüsü, 2014 yılında Henning Larsen tarafından inşası tamamlanmıştır. Kolding nehrine yakın bir bölgededir. Bu kampüste iletişim, kültür, tasarım ve dil kursları verilir.

Kampüsün cephesi hareket edebilen 1600 delikli alüminyum panelden oluşur. Bu paneller üçgen formundadır. Bu paneller kullanılmadığı zaman cephe boyunca düz bir şekilde kapalı olarak durur. Paneller kullanılmak için açıldığında ise kontrollü olarak cepheden dışarıya taşar. Panellerin açısı, günışığı ve ısıya göre

belirlenmiştir (Sood & Patil, 2022). Değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilmek için paneller dikey ekseninde 90 dereceye kadar dönebilmektedir. Merkezi bir sistem kullanılarak döndürme işlemi yapılabilmektedir (Maden, 2022).

Sensörler kullanılarak ısı ve ışık düzeyleri algılanmakta ve buna göre paneller açılıp kapanabilmektedir (Fortmeyer ve Linn, 2014). Böylece kampüsü kullanan kişiler için konforlu bir ortam sağlanabilmektedir. Kinetik cepheler, kampüsün enerji yükünü %50 azaltmaktadır. Yaklaşık %27'ye kadar da karbon emisyonunu düşürür (Maden, 2022).



Şekil 26. SDU Kolding Kampüs kinetik cephesi (Url 22 ve Url 23)

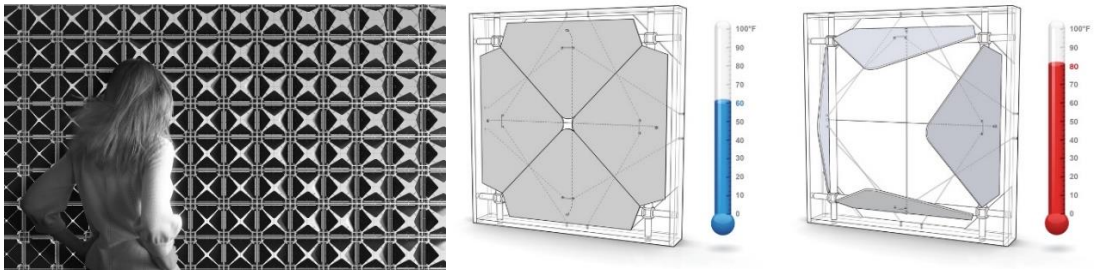
2.2.3.12. Air Flow(Er)

Tasarımcı	**Lift Architects**
Mühendis	
Malzemeler	**Nikel ve titanyum**
Konum	
Yıl	
Hareket Tipi	**Formel değişiklik**
Çalıştırma Yöntemi	**Malzeme temelli**

Air Flow(Er)[4], Lift Architects tarafından tasarlanmıştır (Şekil 27). Dört tane üçgen formlu panellerden oluşan kare modüller kullanılmıştır. Sıcaklığın değişmesiyle paneller hareket eder. Sıcaklığa göre açılıp kapanabilmesi için alaşımlı teller kullanılır. Elektrik enerjisi kullanmadan formel değişiklik sağlanır. Bunun için ortam sıcaklığının değişmesi gerekir. Sıcaklık 26.7 dereceden fazlaysa paneller açılır, 15.5 dereceden az ise paneller kapanır. Böylece içerisi ve dışarısı arasındaki hava

[4] https://vimeo.com/74264389

akışını sağlayıp istenmeyen ısı kazanımını azaltır ve soğutma yükünü düşürür (Maden, 2022).



Şekil 27. Air Flow (Er) (Url 24)

2.2.3.13. Bund Finans Merkezi

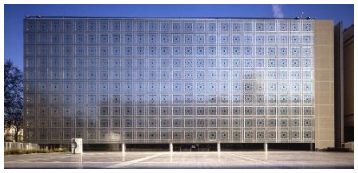
Tasarımcı	**Foster + Partners, Heatherwick Studio**
Mühendis	**ECADI (Structural and Environmental Engineer)** **BPI (Lighting Engineer)**
Malzemeler	**Bronz**
Konum	**Şangay, Çin**
Yıl	**2017**
İşlev	**Kültür Merkezi**
Hareket Tipi	**Rotasyon**

2017 yılında tamamlanan Çin'deki Bund Finans Merkezi, geleneksel Çin tiyatrolarından esinlenerek tasarlanmış kinetik cepheye sahip bir kültür merkezidir (Şekil 28). Cephedeki bronz tüpler üç katman halinde asılmıştır. Mimarlar cepheyi dikey doğrultuda bronz borulardan oluşan hareketli bir perde olarak tasarlamışlardır. Bronz borular, dev bambuları anımsatır (Ibrahim & Alibaba, 2019). Uzunluğu 2 m ile 16 m arasında değişir. Her biri birbirinden bağımsız olarak dönebilmektedir. Böylece farklı opaklık seviyeleri ve görsel efektler üretilebilmiştir (ArchDaily, 2017).

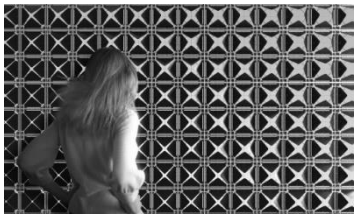


Şekil 28. Bund Finans Merkezi, N.Foster (Url 25)

Tablo 2. Tez kapsamında incelenen kinetik cepheler

Bina/Yıl	Mimar	Konum	İşlev	Hareket Tipi	Açıklamalar
 Arap Dünya Enstitüsü, 1987	Jean Nouvel	Paris, Fransa	Kültür Merkezi , Müze	Kayma	Cephe 240 modülden ve 30.000 ışığa duyarlı diyaframdan oluşur. Fotovoltaik sensörler kullanılarak diyaframların birbirinden ayrı bir şekilde ışığa tepki vermesi istenmiştir. Ancak diyaframların bir kısmı çalışmamıştır ve bakımı da oldukça pahalıdır.
 Kiefer Teknik Galerisi, 2007	Ernst Giselbrecht + Partner ZT GmbH	Gleichenberg, Avusturya	Ofis binası ve sergi alanı	Katlama	Kinetik cephe 112 birimden oluşur. Güneşin konumuna göre cephedeki paneller katlanıp açılarak binanın içerisindeki konforu sağlar. İç alanın fazla ısınmasını engelleyerek enerji tüketimini azaltır.
 Flare, 2008	whitevoid	Rotterdam, Hollanda / Aarhus, Danimarka / Berlin, Almanya		Rotasyon	Modüller arası boşluklardan binanın iç alanı için gerekli olan hava ve ışık geçişi sağlanır. Ancak modüller birbirlerine yakın olduğu için gerekli olan hava ve ışık kontrolünü sağlayamayabilir.
 Media-TIC, 2009	Enric Ruiz Geli	Barselona, İspanya	Ofis	Formel değişiklik	Hava yastıkları öğleden sonra yarı şeffaf hale gelerek UV radyasyonun yaklaşık yüzde 80'ini engeller. %20 oranında enerji tasarrufu sağlanır ve karbon emisyonunu yaklaşık %55 oranında azaltır.

 Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi, 2010	Chaix & Morel et Associés, JSWD Architekten	Essen, Almanya	Genel Merkez	Rotasyon	Binanın enerji yükünü %50 azaltır ve %27 daha az karbon salınımı yapar.
 HelioTrace, 2010	SOM, Permasteelisa Group			Kayma	Günışığının kontrol edilebilmesini sağlar. Toplam enerji tüketimini %42, ısı kazanımını ise %80'e kadar azaltmaktadır.
 Al Bahar Kuleleri, 2012	Aedas Architects	Abu Dhabi, Birleşik Arap Emirlikleri	Ofis	Katlama	Tasarımı yaparken kinetik elemanların binanın soğutma yüklerini yüzde 25'e kadar azaltması hedeflenmiştir.
 One Ocean Tematik Pavyonu, 2012	Soma ZT GmbH	Yeosu-si, Güney Kore	Sergi	Formel değişiklik	Kinetik cephede 108 dikey lamel kullanılmıştır. Lameller bükülerek günışığının iç mekâna girebilmesini sağlar.

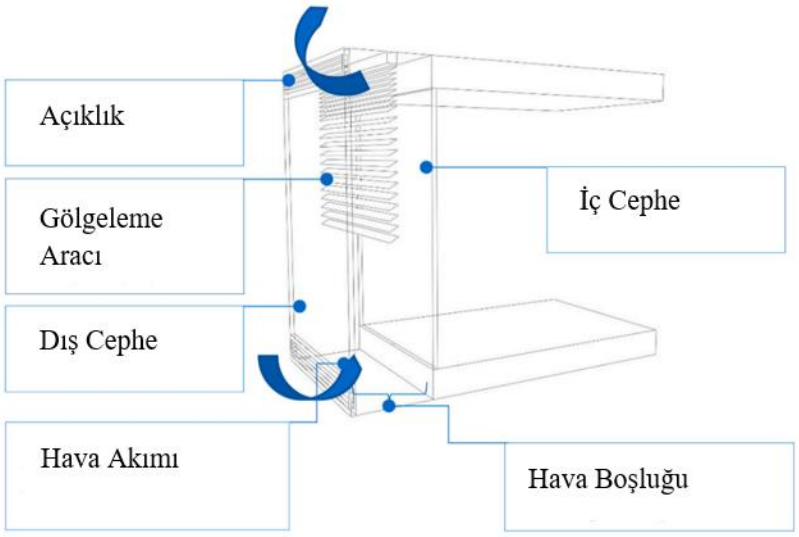
 HygroSkin, 2013	Achim Menges Architect, Oliver David Krieg, Steffen Reichert	Orléans, Fransa	Pavyon	Formel değişiklik	Cephe yüzeyindeki beşgen veya altıgen modüller neme bağlı olarak açılıp kapanabilmektedir. Açılıp kapanma hareketini herhangi bir enerji tüketimi olmadan yapabilmektedir.
 Sharifi-ha Evi, 2013	NextOffice – Alireza Taghaboni	Tahran, İran	Konut	Rotasyon	Dönme hareketi sayesinde yazın odalar açığa çıkartılabilirken kışın odalar içe doğru çevrilebilir. 90 derecelik dönme hareketi yapabilir.
 SDU Kolding Kampüs, 2014	Henning Larsen Architects	Kolding, Danimarka	Eğitim	Rotasyon	Kinetik cepheler, kampüsün enerji yükünü %50 azaltmaktadır. Yaklaşık %27'ye kadar da karbon emisyonunu düşürür.
 Air Flow(Er)	Lift Architects			Formel değişiklik	Elektrik enerjisi kullanmadan formel değişiklik sağlanır. Sıcaklık 26.7 dereceden fazlaysa paneller açılır, 15.5 dereceden az ise paneller kapanır.
 Bund Finans Merkezi, 2017	Foster + Partners, Heatherwick Studio	Şangay, Çin	Kültür Merkezi	Rotasyon	Cephede kullanılan bronz tüpler üç katman halinde asılmıştır.

Tablo 2'de incelenen kinetik cephe örnekleri 1987- 2017 yılları arasında tamamlanmıştır. Kinetik cephe Fransa, Güney Kore, Birleşik Arap Emirlikleri, İran gibi dünyanın farklı bölgelerinde kullanılmıştır. Ofis, müze, eğitim, konut gibi birbirinden farklı işlevlerde olan kinetik cepheler binaların enerji yükünü azaltır ve günışığının kontrol edilebilmesine olanak sağlar.

2.3. Çift Cidarlı Cephe

Geleneksel yüksek cam binalarda kamaşma, doğal havalandırmanın ve ısıl konforun sağlanamaması gibi zorluklarla karşılaşılabilir. Mühendisler bu sorunları çözebilmek için renkli cam, güneş kontrol sistemleri gibi teknikler ve araçlar kullanmaya başlamıştır. Özellikle küresel ısınmayla ilgili endişeler, 1990'lı yıllarda mühendisleri çevre dostu yeni teknikler ve alternatif kaynaklar aramaya yönlendirmiştir (Shameri, Alghoul, Sopian, Zain, & Elayeb, 2011).

Çift cidarlı cephe, bina cephelerinin ısıl enerji performansından daha fazla faydalanmak için kullanılır (Şekil 29). Çift cidarlı cepheler birkaç cam yüzeyle kaplanır. Yüzeyler hava geçirmez ya da doğal/mekanik olarak havalandırılabilir. Dış yüzey genellikle tek cam olarak kullanılırken içteki yüzey çift cam olabilir. İki yüzey arasındaki hava boşluğu 200 mm'den 2 m'ye kadar değişebilir (Shameri, Alghoul, Sopian, Zain, & Elayeb, 2011).



Şekil 29. Çift cidarlı cephe sistemi (Jankovic & Goia, 2021)

Çift cidarlı cephe, iki cam yüzey arasındaki boşlukta hava akışının sağlandığı sistemlerdir. İki yüzey arasındaki hava boşluğunun genişliği 20 cm'den 200 cm'ye kadar değişebilmektedir. Hava boşluklarının içine güneş kontrol sistemleri yerleştirilebilir. Ayrıca, otomatik ekipman gölgeleme araçları genellikle cepheye entegre edilerek kullanılır. Camlar birbirlerinden bir hava boşluğu tarafından ayrılır. Ses, aşırı sıcaklık ve rüzgâra karşı yalıtım sağlar. Gölgeleme araçları genellikle iki cam yüzey arasına yerleştirilir. Bileşenler farklı kombinasyonlarla organize edilebilir. Boşluğun havalandırılması doğal, mekanik veya fan destekli olabilir. Bunun dışında havanın çıkış ve varış yeri iklim koşullarına, konuma, kullanıma, binanın çalışma saatlerine göre değişebilir (Ilter, 2018; İnan & Başaran, 2014).

2.3.1. Çift Cidarlı Cephenin Olumlu Özellikleri

Çift cidarlı cephe sistemlerinin tercih edilmesinin çevreyi ve kullanıcıları olumlu yönde etkileyen çeşitli avantajları vardır. Literatür çalışmalarında doğal havalandırma, ısı yükünün azaltılması, ses yalıtımı, gece havalandırması, enerji tasarrufu gibi avantajlarından bahsedilmiştir.

Doğal havalandırma: Çift cidarlı cephelerdeki hava boşluğu sayesinde doğal havalandırma sağlanabilir. Dış yüzey, yağmura ve rüzgâra karşı iç yüzeydeki havalandırma açıklıklarını koruyabildiği için bina yüksek katlı olsa bile doğal havalandırma sağlanabilir (Pollard, 2009; Alemdağ & Beyhan, 2017).

Isı yükünün azaltılması: Hava boşluğu sayesinde ek bir yalıtım katmanı oluşur. Böylece binanın ısı kaybını azaltır (Pollard, 2009). Dış yüzey, ısı geçişine karşı direnci azaltarak binanın ısı yalıtımına katkıda bulunur. Hava boşluğu, iç ve dış sıcaklık farkının dengelenmesinde ve ısı kaybının azaltılmasında rol oynar (Alemdağ & Beyhan, 2017).

Güneş ışınımından ısı kazanımının azaltılması: Sıcak bölgelerde, güneş ışınımından kaynaklı ısı kazanımı artar. Bu nedenle soğutma talebi yüksek olabilir. Çift cidarlı cephelerdeki güneş kontrol sistemleri ısı kazanımını azaltır. İki cephe arasında bulunan hava boşluğu, günışığının bina içerisine ulaşmasını engeller (Pollard, 2009).

Ses yalıtımı: Gürültü oranı yüksek olan bölgelerde çift cidarlı cephe sistemleri iç mekâna ses geçişini azaltarak ses yalıtımına katkı sağlar (Alemdağ & Beyhan, 2017).

Gece havalandırması: Sıcak yaz aylarında binanın sıcaklığı yükselebilir. Yaz gecelerinde çift cidarlı cephe sistemlerinde faydalanarak doğal bir havalandırma yapılabilir. Böylece gece boyunca bina içerisinin serinletilmesi sağlanır (Alemdağ & Beyhan, 2017).

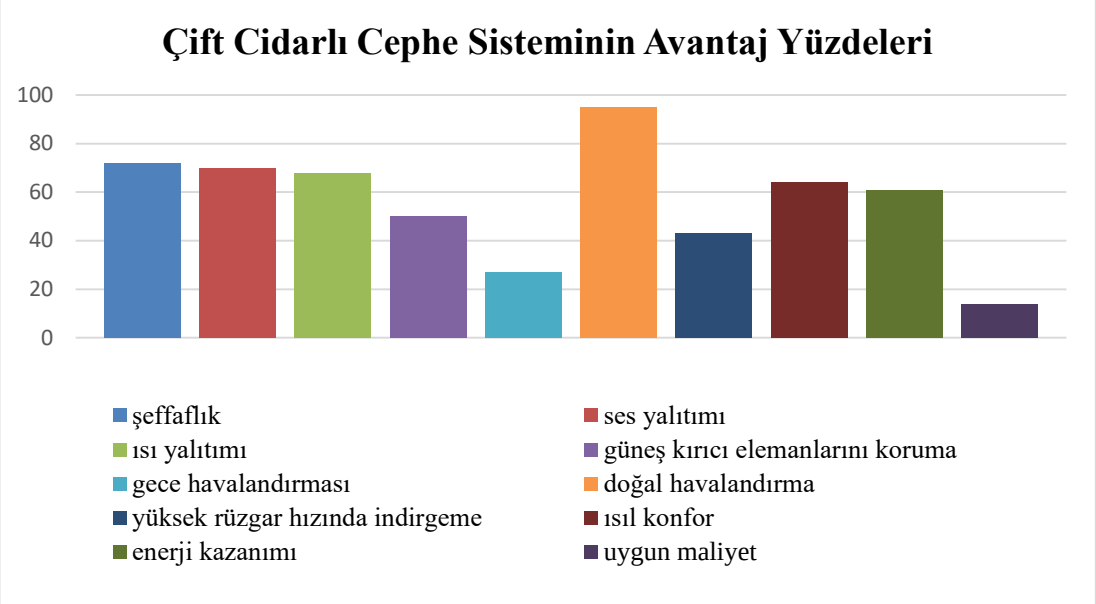
Enerji tasarrufu: Çift cidarlı cephe sistemleri sayesinde doğal havalandırma yapılabilmektedir. Bunun sonucunda mekanik sistem kullanımı azalır. Bu sayede enerjiden tasarruf edilmesini sağlar (Alemdağ & Beyhan, 2017).

Ekonomik faydalar: Enerjiden tasarruf edilebilmesi sayesinde binanın işletme maliyeti azaltılabilir (Ghaffarianhoseini, ve diğerleri, 2016; Kalyanova, 2008).

Kullanıcı konforu: Kamaşma olmadan günışığına erişim, kullanıcının konforu açısından önemli bir faktördür. Göz yorgunluğunu azaltır ve göz sağlığı korunur (Pollard, 2009).

Güvenlik: Cephenin iki katmandan oluşması binayı daha güvenli bir hale gelir (Pollard, 2009).

İnan ve Başaran (2015), 2001 ve 2012 yılları arasında yapılmış literatür çalışmalarına göre çift cidarlı cephe sistemleri hakkında en çok durulan başlıca avantajları sıralamışlardır. Bunlar arasında doğal havalandırmanın sağlanması, ses ve ısı yalıtımına katkı sağlaması, cephenin şeffaflığının yüksek olması sayesinde iç ve dış ortam arasındaki iletişimin arttırılması, ısıl konforunun sağlanması, enerji tasarrufu vardır (İnan & Başaran, 2015) (Şekil 30).



Şekil 30. Literatür çalışmalarında çift cidarlı cephe sistemlerinin üzerinde en çok durulan avantajların yüzdeleri (İnan & Başaran, 2015)

2.3.2. Çift Cidarlı Cephenin Olumsuz Özellikleri

Çift cidarlı cephelerin avantajlarının olmasının yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bunların bilinmesi enerji performansı açısından önemlidir. Ayrıca sorunların bilinmesi çözümlerin üretilebilmesini de kolaylaştırır (İnan & Başaran, 2015).

Aşırı ısınma sorunları: Hava boşluğunun aşırı ısınması binanın iç ortamını olumsuz yönde etkiler. Bundan dolayı hava boşluğunun doğru bir şekilde tasarlanması çok önemlidir (Alemdağ & Beyhan, 2017).

Günışığı sorunları: Çift cidarlı sistemler iki katmandan oluştuğu için güneş ışınımının iç mekâna geçişini zorlaştırabilir (Alemdağ & Beyhan, 2017).

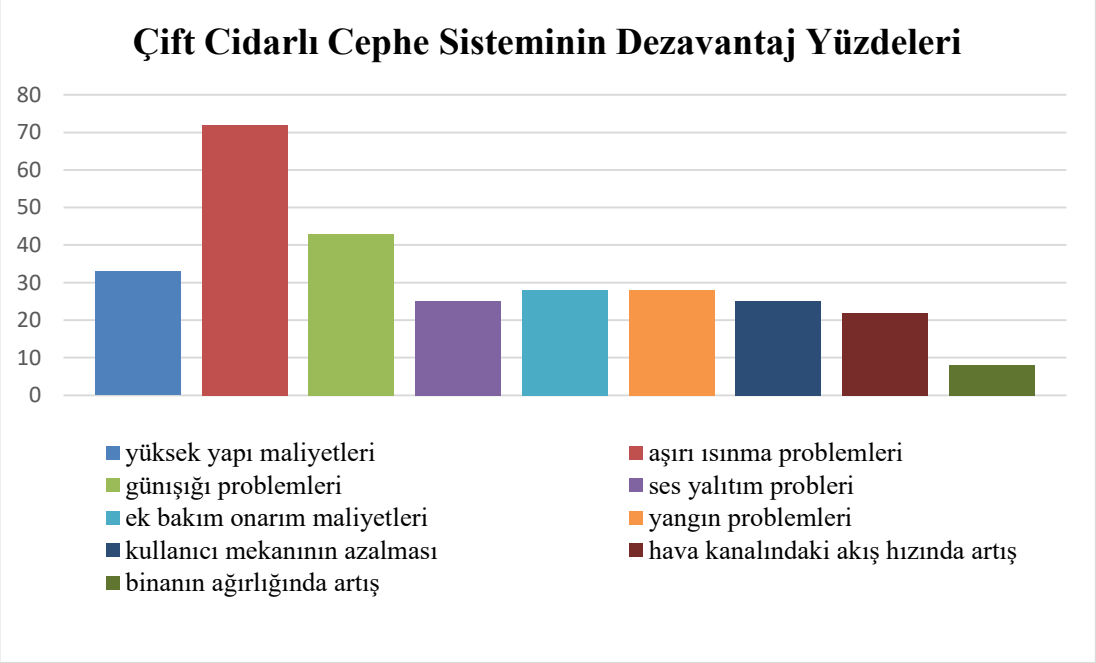
Yüksek inşaat maliyeti: Çift cidarlı cephe, iki katman ve iki katman arasında kalan hava boşluğundan meydana gelir. Bu nedenle inşaat maliyeti yüksektir (Alemdağ & Beyhan, 2017).

Bakım ve onarım maliyetleri: Çift cidarlı cepheler için gereken bakım ve onarım maliyeti tek cidarlı cephelere göre daha yüksek olabilir (Ahmed, Rahman, Ali, & Suzuki, 2016).

Yangın sorunları: Çift cidarlı cephe sistemlerinde alt katta meydana gelen bir yangın, iki katman arasında kalan hava boşluğundan dolayı en üst kata kadar yayılabilir (Ahmed, Rahman, Ali, & Suzuki, 2016).

Mekanik sistem sorunları: güneş kontrol elemanları ve havalandırma menfezleri mekanik sistemler tarafından denetlenebilir. Bu sistemlerde oluşan problemler kontrol elemanlarının ve havalandırma menfezlerinin çalışabilmesini engelleyebilir (Alemdağ & Beyhan, 2017).

İnan ve Başaran (2015), 2001 ve 2012 yılları arasında yapılmış literatür çalışmalarına göre çift cidarlı cephe sistemleri hakkında en çok durulan dezavantajları sıralamışlardır. Hava boşluğunda aşırı ısınma sorunlarının oluşabilmesi, binaya giren günışığı miktarının azalması, inşaat maliyetinin yüksek olması, yangına dayanıklılığı, akustik sorunlar, kullanılacak alanı küçültmesi gibi çeşitli dezavantajları vardır (İnan & Başaran, 2015) (Şekil 31).



Şekil 31. Literatür çalışmalarında çift cidarlı cephe sistemlerinin üzerinde en çok durulan dezavantajların yüzdeleri (İnan & Başaran, 2015)

2.3.3. Çift Cidarlı Cephenin Sınıflandırılması

Çift cidarlı sistemler literatürdeki çalışmalara göre farklı gruplara ayrılmaktadır. Hava sirkülasyonuna göre dış hava perdesi, iç hava perdesi, tampon

bölge, hava sağlama ve hava boşaltma sistemi olarak sınıflandırılır. Havalandırma tipine göre mekanik, doğal ve karma olarak sınıflandırılır. Hava boşluğunun bölünme şekline göre de kutu, koridor, şaft-kutu ve çok katlı olarak sınıflandırılır. Hava boşluğunun derinliğine göre de kalın ve ince olarak ikiye ayrılır (Ayçam, 2011; Bonham, 2020) (Tablo 3).

Tablo 3. Çift cidarlı cephe tipolojisi

Boşluğun bölünmesi	Havalandırma Tipi	Havalandırma Modu
Kutu Şaft kutusu Koridor Çok katlı	Doğal (Pasif) Mekanik (Aktif) Hibrit (İnteraktif)	Dış hava perdesi İç hava perdesi Hava sağlama sistemi Hava boşaltma sistemi Tampon bölge yaratma

2.3.3.1. Havalandırma Modu

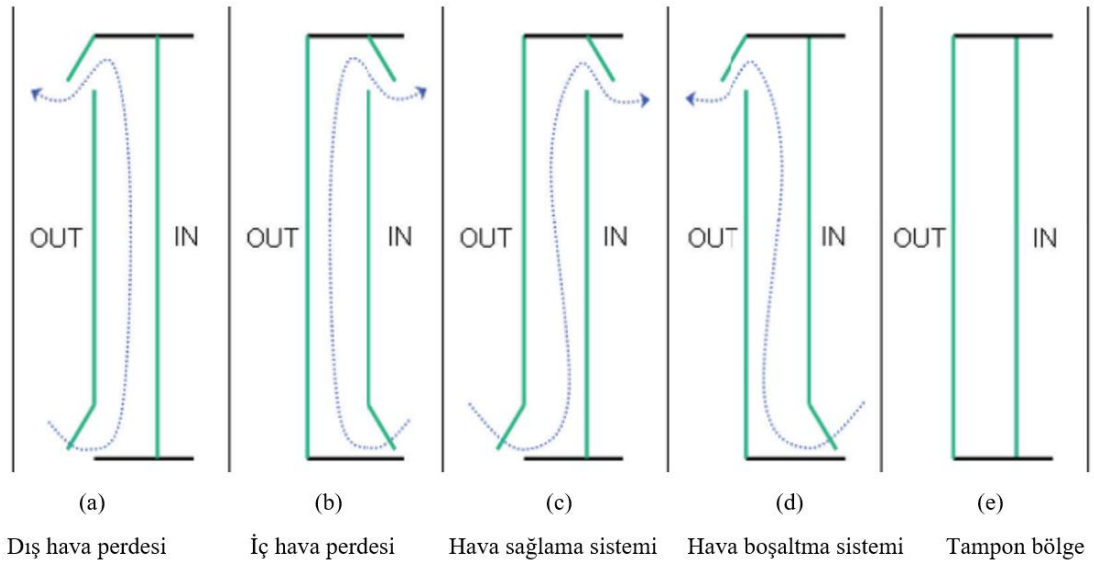
Dış hava perdesi: Hava boşluğuna giren dış ortamdaki hava tekrar dışarıya gönderilir. Dış cepheyi kaplayan bir hava perdesi oluşturur (Şekil 32-a).

İç hava perdesi: Odadan gelen hava aynı yere geri döner. İç cepheyi kaplayan bir hava perdesi oluşturur (Şekil 32-b).

Hava sağlama sistemi: Dışarıdaki hava, havalandırma sistemine ya da odanın içerisine girer (Şekil 32-c).

Hava boşaltma sistemi: Odadaki hava dışarıya doğru tahliye edilir (Şekil 32-d).

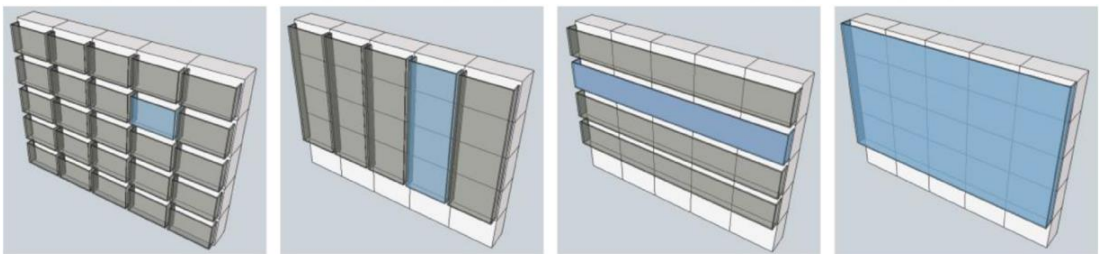
Tampon bölge: cephe kaplaması hava geçirmez. Hava boşluğu, boşluk havalandırması olmadan iç ve dış ortam arasında bir tampon bölge oluşturur (Şekil 32-e). (Ayçam, 2011; Bonham, 2020).



Şekil 32. Havalandırma modlarının diyagramı (Loncour, Deneyer, Blasco, Flamant, & Wouters, 2004)

2.3.3.2. Hava boşluğunun bölünmesi

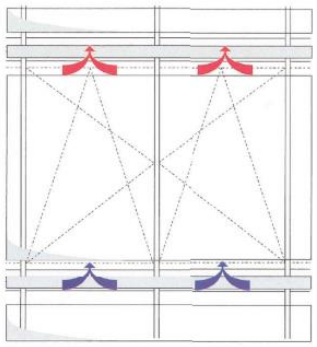
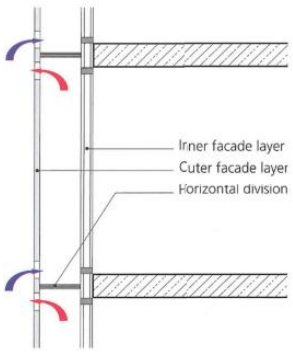
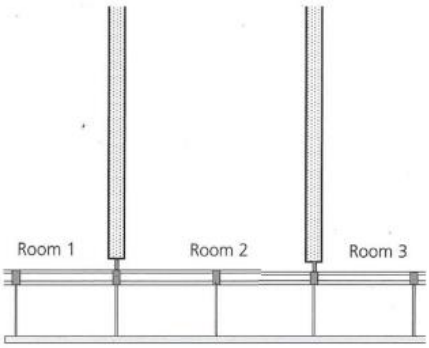
Çift cidarlı cepheler, boşluğun bölünme şekline göre 4 gruba ayrılır. Bunlar kutu, şaft kutusu, koridor ve çok katlı çift cidarlı cephelerdir (Şekil 33).



Şekil 33. Kutu, şaft kutusu, koridor ve çok katlı çift cidarlı cephe (Barbosa & Ip, 2014)

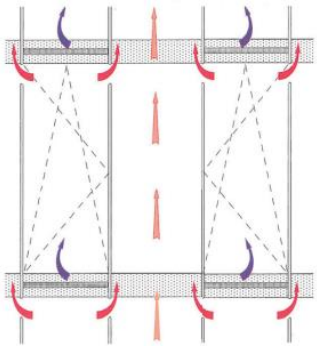
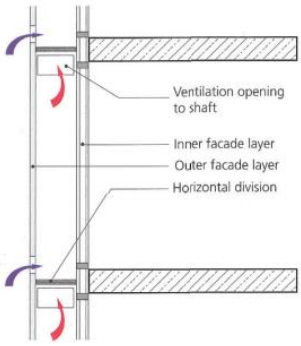
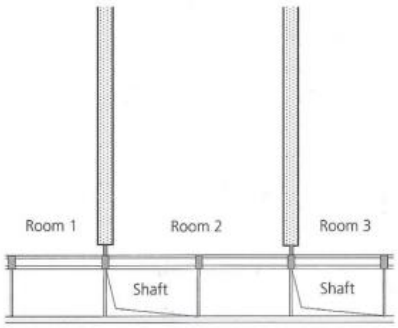
Kutu: Kutu tipi sistemlerde dışta tek cam, iç tarafta ise çift cam bulunur. Boşluk yatay ve dikey bölümlere ayrılır. Her bölmenin üst ve alt kısmında giriş ve çıkış menfezleri vardır. Güneş ışınımı ile ısınan hava baca etkisi yaparak doğal bir havalandırma sağlar (Bavilolyaei, 2016) (Tablo 4). Bu tip cephelerde boşluk alanı için stor ya da panjur kullanılabilir. Farklı havalandırma modlarıyla birlikte inşa edilebilir (Bonham, 2020).

Tablo 4. Kutu tipi çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001)

		
Kutu tipi çift cidarlı cephenin görünüşü.	Kutu tipi çift cidarlı cephenin kesiti. Kesitte yatay bölmeler gözükmektedir. Her bölmenin kendine ait hava giriş ve çıkış menfezi vardır.	Kutu tipi çift cidarlı cephenin planı. Hava boşluğundaki dikey bölmeler planda gözükmektedir.

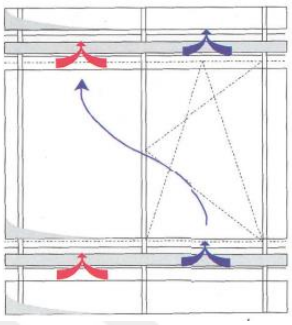
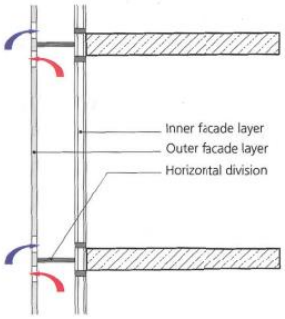
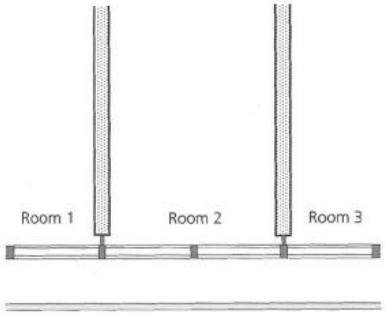
Şaft kutusu: Temiz hava yatay boşlukların alt kısmında bulunan menfezlerden içeri girer. İçeri giren hava ısıtılarak merkezi bacaya gönderilir. Bu sayede dış hava akımı olmasa bile doğal havalandırma sağlanmış olur (Bavilolyaei, 2016) (Tablo 5). Şaft kutusu, kutu sistemleri gibi bölünmüştür. Dikey şaftlar odanın havalandırılmasına katkı sağlar. Cam cepheden güneş enerjisi elde edilir. Bunun sonucunda şaft içerisindeki hava sıcaklığı yükselir. Şaftın yüksekliği arttıkça havalandırma oranı da artar (Bonham, 2020).

Tablo 5. Şaft kutu tipi çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001)

		
Şaft kutu tipi çift cidarlı cephenin görünüşü. Oklar hava akımının rotasını gösterir.	Şaft kutu tipi çift cidarlı cephenin kesiti.	Şaft kutu tipi çift cidarlı cephenin planı. Şaft bölmelerinde yan açıklıklar vardır.

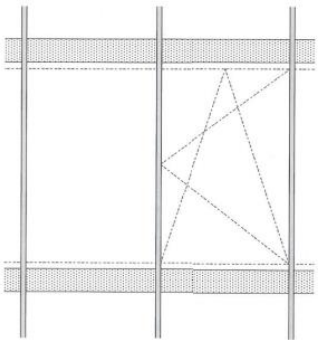
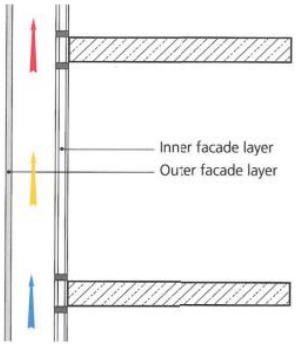
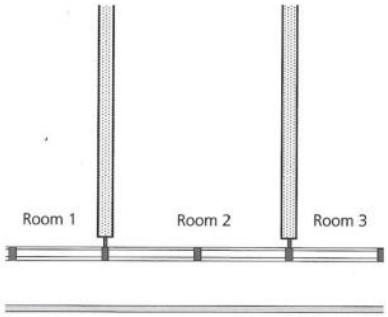
Koridor: Her katta bulunan koridorlar temiz havayı içeri alırken kirli havayı dışarı atar. Koridorlar üst üste dizilir (Bavilolyaei, 2016). Tablo 6'de koridor tipi çift cidarlı cephenin görünüş, kesit ve planı gösterilmiştir.

Tablo 6. Koridor tipi çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001)

		
Koridor tipi çift cidarlı cephenin görünüşü.	Koridor tipi çift cidarlı cephenin kesiti. Her katta yatay bölme kullanılmıştır. Böylece hava boşluğu katlara göre bölümlere ayrılır.	Koridor tipi çift cidarlı cephenin planı. Hava boşluğunda dikey bölme kullanılmamıştır.

Çok Katlı: Hava boşluğu, binadaki katlar boyunca devam eder ve yatay ya da dikey olarak bölümlere ayrılmamıştır (Tablo 7). Hava giriş menfezinden içeri giren soğuk hava, güneş ışınımı ile ısınarak yukarı çıkar ve hava çıkış menfezinden dışarı atılır. Bu sistemdeki cephe boşlukları çeşitli amaçlar için kullanılabilmektedir. Yeşillendirme, bahçecilik ya da kış bahçesi olarak değerlendirilebilir (Bavilolyaei, 2016). Dış yüzey, olumsuz hava koşullarına ve aynı zamanda gürültüye karşı koruma sağlar. Hava boşluğunda, güneş kontrol sistemleri, bakım ve onarım gibi ihtiyaçların karşılanabilmesi için gerekli alanı sağlar. Soğuk iklimlerde hava boşluğu kapatılarak tampon bölge oluşturulabilir (Bonham, 2020).

Tablo 7. Çok katlı çift cidarlı cephe sisteminin görünüş, kesit ve plan örneği (Oesterle, Lieb, Lutz, & Heusler, 2001)

		
Çok katlı çift cidarlı cephenin görünüşü.	Çok katlı çift cidarlı cephenin kesiti. Dış yüzey, iç yüzeyden bağımsız olarak yerleştirilmiştir.	Çok katlı çift cidarlı cephenin planı. Hava boşluğu yatay ya da dikey olarak bölümlere ayrılmamıştır.

2.3.4. Çift Cidarlı Cephe Örnekleri

Dünyanın farklı bölgelerinden çift cidarlı cephe sistemlerine sahip binalar seçilmiştir. Sahip oldukları sistemlerin binanın enerji kullanımına etkisi incelenmiştir.

2.3.4.1. Cambridge Halk Kütüphanesi

Proje Adı	**Cambridge Halk Kütüphanesi**
Tasarımcı	**William Rawn Associates**
Mühendis	**Ove Arup Façade Engineering (Giydirme cephe danışmanı)** **HW Moore (Civil Engineering)**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Boston, ABD**
Yıl	**2009**
İşlev	**Halk kütüphanesi**
Sınıflandırma	**Çok katlı çift cidarlı cephe** **Dışarıdan Havalandırmalı Mod (Externally Ventilated Mode) (Yaz)** **Tampon Modu (Buffer Mode) (Kış)**

Boston'daki Cambridge Halk Kütüphanesi William Rawn Associates tarafından 2009 yılında tamamlanmıştır. Binada çok katlı çift cidarlı cephe sistemi kullanılmıştır. Bu proje, Amerika'daki çift cidarlı cephe sistemlerinin öncüsüdür (Şekil 34).

Bu kütüphanede çok katlı çift cidarlı cephe kullanılmıştır. Bu cephe sistemi sayesinde ısının yakalanması ve dışarı atılması kolaylaşır. Hava boşluğuna hareket

edebilen alüminyum güneş kontrol araçları yerleştirilmiştir. Güneş enerjisinin toplanmasını sağlar. Binanın aşırı ısınmasını ve kamaşmayı engeller. Okuma alanındaki konforu arttırır. Geleneksel giydirme cepheye kıyasla binada kullanılan cephe sistemi %50 enerji tasarrufu sağlar. Hava boşluğu yazın açılırken kışın kapatılabilir. Güneşlikler kontrollü ve dengeli bir şekilde binanın doğal ışık alabilmesine olanak sağlar. Doğal havalandırmaya olanak sağlar. Soğuk havalarda boşluktan gelen ısı pencereler vasıtasıyla binaya girebilir (Azarbayjani, 2022).



Şekil 34. Cambridge Halk Kütüphanesi

2.3.4.2. Commerzbank Genel Merkezi

Proje Adı	**Commerzbank Genel Merkezi**
Tasarımcı	**Foster + Partners**
Mühendis	**Arup, Krebs & Kiefer**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Frankfurt, Almanya**
Yıl	**1997**
İşlev	**Ofis**
Sınıflandırma	**Kutu tipi çift cidarlı cephe** **Dış hava perdesi havalandırma modu** **Tampon bölge havalandırma modu**

Dünyanın ilk ekolojik ofis binası olan 53 katlı Commerzbank Genel Merkezi, Foster + Partners tarafından tasarlanmıştır. Ofis ortamının doğasını araştırarak yeni fikirler geliştirmiştir (Şekil 35). Doğal aydınlatma ve havalandırma sistemleri üzerinde durulmuştur. Ofislerde açılabilir pencereler kullanılmıştır ve kullanıcıların bunu kontrol edebilmesine olanak sağlar. Yılın %85'inde doğal havalandırma yapılır (www.fosterandpartners.com).

Binanın planı üçgen formundadır. Ofis katları merkezi bir atriuma bakmaktadır. Kış bahçeleri atriyumun etrafında spiral şekilde yükselir. Kış bahçeleri binaya şeffaflık ve hafiflik katar. Ofis çalışanlarının dinlenebilecekleri bir alan

yaratmasının yanı sıra çevresel olarak atrium için ışık ve temiz hava sağlar (www.fosterandpartners.com).

Çift cidarlı cephe sistemi 3 katmandan meydana gelen bir dış yüzey, boşluk ve açılabilir pencerelerin kullanıldığı bir iç cepheden meydana gelmektedir. Dış yüzeyde 8 mm kalınlığında temperli cam kullanılmıştır. İki cephe arasındaki boşluğa güneş kontrol araçları yerleştirilmiştir (Poirazis, Double Skin Façades: A literature review, 2006; Kutluay, İnan, Ersoy, & Başaran, 2015).



Şekil 35. Commerzbank Genel Merkezi (Url 26)

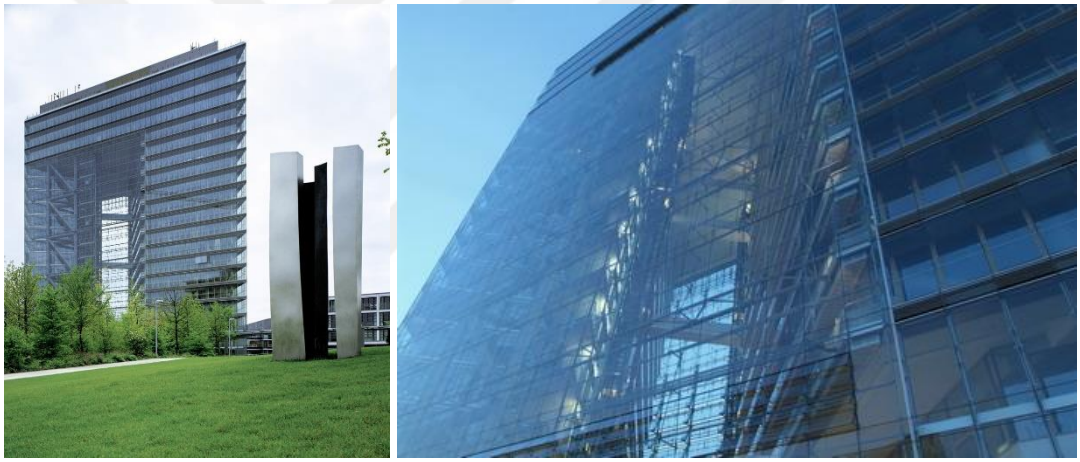
2.3.4.3. Düsseldorf City Gate

Proje Adı	**Düsseldorf City Gate**
Tasarımcı	**Petzinka Pink und Partner**
Mühendis	**Arup**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Düsseldorf, Almanya**
Yıl	**1998**
İşlev	**Ofis**
Sınıflandırma	**Koridor tipi çift cidarlı cephe**

Düsseldorf City Gate, 1997 yılında tamamlanmış bir ofis binasıdır. 80 metre yüksekliğinde iki kuleden oluşur (Şekil 36). Bu kuleler üstte üç köprü seviyesiyle birbirine bağlanır. Çift cidarlı cephe sistemi kullanılan bu yapıda 50 metre yüksekliğinde bir atriyum boşluğu vardır. Bu boşluk cam yüzeyle çevrelenmiştir. Çift cidar boşluğu, ofisler için kapalı bir balkon oluşturur (Wong, 2008).

Bina genellikle doğal olarak havalandırılır. Doğal veya mekanik havalandırma, bina yönetim sistemi tarafından otomatik olarak belirlenir. Havalandırma kapaklarının bilgisayarda kontrol edilmesiyle doğal havalandırma sağlanır. Bina yönetim sisteminde sensörler bulunur. Bu sensörler sayesinde optimum düzeyde ısıtma, soğutma ve temiz hava sağlanır (Wong, 2008).

Ofis katlarının üç tarafı çift cidarlı cephe ile çevrilidir. Dış yüzey ve iç yüzey arasındaki boşluğun derinliği 0,9 ila 1,4 m arasında değişir. Dış yüzeyde maksimum şeffaflığı sağlayabilmek için düşük demirli 'opti-white' camdan 15 mm sertleştirilmiş düzlemsel cam seçilmiştir. İç yüzeyde ise dikey olarak dönebilen yüksek performanslı ahşap pencereler kullanılmıştır. Camlarda low-E kaplama vardır. Cephe sistemindeki güneşlikler, dış camın 200 mm arkasındadır. Fotosel algılayıcılar kullanılır. Buna göre güneşlikler otomatik olarak ayarlanır (Wong, 2008).



Şekil 36. Düsseldorf City Gate (Url 27 ve Url 28)

2.3.4.4. Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları

Proje Adı	**Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları**
Tasarımcı	**Renzo Piano**
Mühendis	**Ove Arup & Partners (servis ve cephe); Lend Lease Design Group (strüktür)**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Sidney, Avustralya**
Yıl	**2000**
İşlev	**Çok kullanımlı**
Sınıflandırma	**Cam panjurlu çift cidarlı cephe**

Sidney'deki Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları 2000 yılında tamamlanmıştır (Şekil 37) (www.rpbw.com). 44 katlı kulede cam panjurlu çift cidarlı cephe sistemi

kullanılmıştır. Çift cidarlı cephe ısı düzenleyici görevi görerek enerjiden tasarruf edilmesini sağlar (Poirazis, Double Skin Façades for Office Buildings, 2004).

Kulenin kuzey-güney cepheleri cam ünitelerden oluşur (Poirazis, Double Skin Façades for Office Buildings, 2004). Kumaş perdeler sayesinde güneş ışığının kontrolü sağlanır ve binanın içerisini kamaşmaya karşı korur. Kolon ve parapet önlerindeki opak alanlar 2x6 mm boyutlarında, camın yüzde 60'ını kaplayan beyaz nokta desenli lamine ekstra beyaz cam ile kaplanmıştır. Kulenin kuzey cephesi güneş ışığına maruz kaldığından dolayı dış cephede yatay metal güneş kontrol sistemi ve kumaş perdeler kullanılmıştır (Poirazis, Double Skin Façades: A literature review, 2006; Kutluay, İnan, Ersoy, & Başaran, 2015).



Şekil 37. Aurora Place office tower and residences (Url 29)

2.3.4.5. 30 St Mary Axe Kulesi

Proje Adı	**30 St Mary Axe Kulesi**
Tasarımcı	**Foster + Partners**
Mühendis	**Arup (Yapı Mühendisi), Hilson Moran Partnership (Çevre Mühendisi), Speirs + Major (Aydınlatma Mühendisi)**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Londra, Birleşik Krallık**
Yıl	**2004**
İşlev	**Ofis**
Sınıflandırma	**Tampon bölge havalandırma modu**

30 St Mary Axe kulesi Foster + Partners tarafından 2004 yılında tamamlanmıştır (Şekil 38). Bu kulede çift cidarlı cephe sistemi kullanarak binanın enerji tüketiminin yaklaşık %40 azalması sağlanmıştır.

Kulenin yukarı doğru daralması sayesinde cephe boyunca havanın itilmesi kolaylaşır. Açılıp kapanabilen pencereler binanın havalandırılmasında rol oynar. İki

cephe arasındaki boşluk, bina yüzeyi boyunca temiz havanın yayılmasını sağlar (Bavilolyaei, 2016).



Şekil 38. 30 St Mary Axe (Url 30)

2.3.4.6. Biyomedikal Bilim Araştırma Binası

Proje Adı	**Biyomedikal Bilim Araştırma Binası**
Tasarımcı	**Ennead Architects**
Mühendis	
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Ann Arbor, Michigan, ABD**
Yıl	**2005**
İşlev	**Araştırma laboratuvarları, ofisler**
Sınıflandırma	**Çok katlı çift cidarlı cephe**

Michigan Ann Arbor Üniversitesi'nin biyomedikal bilim ve araştırma binası 2005 yılında tamamlamıştır. Binanın enerji tüketimini azaltmak için çift cidarlı cephe sistemini kullanmışlardır (Şekil 39).

Araştırma binasının bulunduğu Ann Arbor şehri, Köppen iklim sınıflandırmasına göre sıcak-yaz nemli karasal iklime (dfa) sahiptir. Yazlar sıcak, yağışlı ve nemli; kışlar ise soğuk rüzgârlı ve karlıdır. İlkbahar ve sonbahar genellikle ılıman iklime sahiptir.

Kış mevsiminde havalandırma kapağı kapatılır. Çift cidar cepheye çarpan güneş ışığından gelen ısı hava boşluğunda tutulur. Böylece binanın güney cephesindeki ısı yükü azaltılmış olur. Yaz mevsiminde ise havalandırma kapağı açılır. Çift cidar cepheye çarpan güneş ışığından gelen ısı, baca etkisi yoluyla dışarı

atılır. Böylece binanın güney cephesindeki soğutma yükü azaltılmış olur. Çift cidarlı cephe bir yandan enerji tasarrufuna katkı sağlarken diğer yandan kullanıcılar için konforlu bir alan yaratır.



Şekil 39. Biyomedikal Bilim Araştırma Binası Çift Cidarlı Cephe (Url 31 ve Azarbayjani, 2022)

2.3.4.7. The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi

Proje Adı	**The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi**
Tasarımcı	**Solomon Cordwell Buenz**
Mühendis	
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Illinois, ABD**
Yıl	**2007**
İşlev	**Eğitim**
Sınıflandırma	

2007 yılında tamamlanan Klarcheck Bilgi Merkezinde (Şekil 40), sürdürülebilir tasarım özellikleri yenilikçi mekanik sistemlerle birleştirilmiştir ve binanın enerji tüketimini yüzde 50'den fazla azaltmıştır. Binanın inşaat maliyeti geleneksele kıyasla daha yüksek olmasına rağmen enerji verimliliğiyle ilgili alınan önlemlerden dolayı düşük işletme maliyetine ve daha uzun vadede getiri oranına sahiptir (Azarbayjani, 2022).

Bina, Loyola Üniversitesi Chicago'nun kıyı kampüsünün tarihi merkezindedir. Bina, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra çalışma ve araştırma için teşvik edici bir alan meydana getirir. Binada 222 bilgisayar çalışma istasyonu, kablosuz erişim, grup çalışma odaları, sınıflar ve bir kafe vardır. Bu binada pasif ve aktif sistemler

birleştirilmiştir. Batı cephesinde çift cidarlı cephe sistemi kullanılmıştır. İki yüzey arasındaki boşluk, termal tampon görevi görür (Azarbayjani, 2022).



Şekil 40. The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi (Url 32)

2.3.4.8. John E. Jaqua Center for Student Athletes

Proje Adı	**John E. Jaqua Center for Student Athletes**
Tasarımcı	**ZGF Architects LLP**
Mühendis	
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Eugene, Oregon, ABD**
Yıl	**2010**
İşlev	**Eğitim**
Sınıflandırma	**Çok katlı çift cidarlı cephe**

The John E. Jaqua Academic Center for Student Athletes 2010 yılında Oregon Üniversite'sindeki öğrenci sporcuları için inşa edilmiştir. Üniversitenin bulunduğu Eugene ılıman bir iklime sahiptir. Sıcaklık kışın yaklaşık 5 santigrat derece, yazın ise 25 santigrat derecenin üzerindedir. Bina içinde sabit bir sıcaklığa sahip olmayı zorlaştırır. Yıl içinde bulutlu gün sayısı fazla olduğundan dolayı doğrudan güneş ışınımından ısı kazanımı azdır. Bu sorunları çözebilmek için çift cidarlı cephe sistemi ve gölgeleme araçlarını kullanmışlardır (Şekil 41) (Azarbayjani, 2022).

Çift cidarlı cephe, bina içi sıcaklığın ve aydınlatmanın kontrol edilebilmesini sağlar. Isı kaybı, ısı kazanımı ve kamaşmaya karşı korur. Ayrıca binayı sararak dışarıdaki havanın doğrudan binaya girmesini engeller. Yaz mevsiminde ısının binaya girmesini engellemek için hava boşluğu açılabilirken kış mevsiminde hava boşluğu kapatılabilir. Cephe sistemindeki sabit ve hareketli güneşlikler sayesinde doğal ışık kontrollü bir şekilde binanın içerisini aydınlatır (Azarbayjani, 2022).

Çift cidarlı cephe, elektrikte %10 gazda ise %69 azalma sağlayarak enerji performansının artmasında katkı sağlar. Yalıtımlı iç cam elektrikte %11 azalma, gazda %26 azalma sağlar. Argon yalıtımlı iç camlama gazda %6, elektrikte %7 azalma sağlar (Azarbayjani, 2022).



Şekil 41. John E. Jaqua Center for Student Athletes dışarıdan görünüşü ve hava boşluğu (Azarbayjani, 2022)

2.3.4.9. Galleria Centercity

Proje Adı	**Galleria Centercity**
Tasarımcı	**UNStudio**
Mühendis	**KBM Co. LTD (Cephe Danışmanı)**
Malzemeler	**Kompozit alüminyum kaplama**[5]
Konum	**Cheonan, Güney Kore**
Yıl	**2008-2010**
İşlev	**Çok fonksiyonlu tesislere sahip alışveriş merkezi**
Sınıflandırma	

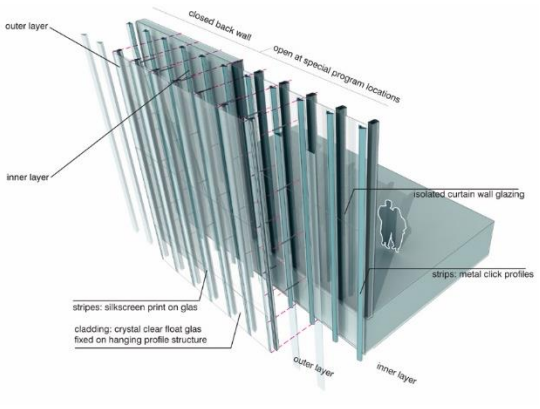
Galleria Centercity, Güney Kore'de 2010 yılında tamamlanan bir alışveriş merkezidir (Şekil 42). İnsanların bir araya geldiği, yemek yiyip alışveriş yaptığı bir yapı tasarlamışlardır. Sadece ticari bir mekân değil aynı zamanda sosyal ve kültürel aktivitelerin yapılabildi bir mekandır (www.unstudio.com).

Çift cidarlı cam cephe, dikey doğrultuda dikmelerin kullanıldığı dış ve iç kabuktan oluşur. Katmanlı profiller cepheye üç boyutlu derinlik katar ve bakış açısına göre değişen bir göz yanılsamasına neden olur. Cephe açıklıkları günışığını iç

[5] https://divisare.com/projects/180109-unstudio-galleria-centercity-2008-2010

mekâna taşırken, dış lameller güneş ışığının doğrudan binaya girmesini engeller (www.unstudio.com).





Şekil 42. Galleria Centercity (Url 33)

Tablo 8. Çift cidarlı cephe örneklerinin tablosu

Bina	Mimar	Yıl	Konum	İşlev	İklim	Sınıflandırma	Açıklamalar
	William Rawn Associates	2009	Boston, ABD	Kütüphane	Sıcak-yaz nemli karasal iklim (Dfa)	Çok katlı çift cidarlı cephe Dışarıdan Havalandırmalı Mod (Externally Ventilated Mode) (Yaz) Tampon Modu (Buffer Mode) (Kış)	Cephe enerji tasarrufu sağlar (geleneksel giydirme cepheye kıyasla %50 tasarruf) Cephe, kütüphanenin dengeli bir şekilde doğal ışık almasını sağlar.
 Commerzbank Genel Merkezi	Foster + Partners	1997	Frankfurt, Almanya	Ofis	Ilıman Okyanusal İklim (Cfb)	Kutu tipi çift cidarlı cephe Dış hava perdesi havalandırma modu Tampon bölge havalandırma modu	Yılın %85'inde ofislerde doğal havalandırma sağlanır
 Düsseldorf City Gate	Petzinka Pink und Partner	1998	Düsseldorf, Almanya	Ofis	Ilıman Okyanusal İklim (Cfb)	Koridor tipi çift cidarlı cephe	Bina için teslim edilen enerji tüketim rakamları mevcut değildir ancak tasarım aşamasında ısıtma, yılda 30kWh/m2 olarak simüle edilmiştir. Bu, bölgede enerji verimi yüksek bir ofis binası olarak kabul ediliyor.

 Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları	Renzo Piano	2000	Sidney, Avustralya	Çok kullanımlı	Subtropikal İklim (Cfa)	Cam panjurlu çift cidarlı cephe	Kullanılan kumaş perdeler sayesinde güneş ışığının kontrolü sağlanır ve binanın içerisini kamaşmaya karşı korur.
 30 St Mary Axe Kulesi	Foster + Partners	2004	Londra, Birleşik Krallık	Ofis	Ilıman Okyanusal İklim (Cfb)	Tampon bölge havalandırma modu	Çift cidarlı cephesi sayesinde binanın enerji tüketimi %40 oranında azalmıştır.
 Biyomedikal Bilim Araştırma Binası	Ennead Architects	2005	Ann Arbor, Michigan, ABD	Laboratuvarlar, Ofisler	Sıcak-yaz nemli karasal iklim (Dfa)	Çok katlı çift cidarlı cephe	Çift cidarlı cephe, tek cidarlı cepheye göre %5 daha az enerji tüketir.
 The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi	Solomon Cordwell Buenz	2007	Illinois, ABD	Eğitim	Sıcak-yaz nemli karasal iklim (Dfa)	Çift cidarlı cephe	Cephe sistemi tasarımı binanın enerji tüketimini yüzde 50'den fazla azaltıyor
 John E. Jaqua Center for Student Athletes	ZGF Architects LLP	2010	Eugene, Oregon, ABD	Eğitim	Ilık-yaz Akdeniz iklimi (Csb)	Çok katlı çift cidarlı cephe	Çift cidarlı cephe, enerji performansını önemli ölçüde artırır (elektrikte %10, Gazda %69 azalma)
	UN Studio	2010	Cheonan, Güney Kore	Alışveriş merkezi	Sıcak-yaz nemli karasal iklim (Dfa)	Çift cidarlı cephe	Çift cidarlı cam cephe, bir iç kabuk ve bir dış kabuktan oluşur. Stratejik cephe

 Galleria Centercity							açıklıkları günışığını iç mekâna taşırken, dış lameller doğrudan güneş ışığının binaya girmesini engeller.

Tablo 8'de gösterilen 1990-2010 yılları arasındaki yapılarda kutu, koridor ve çok katlı çift cidarlı cepheler kullanılmıştır. Çift cidarlı cephe bölümündeki 9 binanın 5'i ofis binasıdır. Çift cidarlı cephe ofis binalarında sıklıkla kullanılsa da kütüphane, alışveriş gibi yapılarda da kullanıldığı görülmektedir. Bu cepheler Almanya, Amerika, Güney Kore, Avustralya gibi dünyanın farklı kıtalarında yer alan ülkelerde kullanılmaktadır. Çift cidarlı cephelerin tercih edilmesinde havalandırma, ısıtma gibi nedenler bulunmaktadır. Dolayısıyla dünyanın farklı yerlerinde, farklı iklimlere sahip bölgelerde yer alan binalarda havalandırma, ısıtma, enerji verimi, doğal aydınlatma gibi nedenlerle çift cidarlı cephelerin tercih edildiği söylenebilir.

Küresel ısınma gibi sorunlardan dolayı performansa dayalı bina tasarımları önem kazanmıştır ve mimarların yeni teknikler kullanmasına yol açmıştır. Çift cidarlı cephe sistemleri de bu tekniklerden biridir. Çift cidarlı cepheler, yatırım maliyetinin yüksek olması, kullanıcı mekanını küçültmesi gibi dezavantajlara sahip olsa da doğal havalandırma, ısı yükünün azaltılması, enerji tasarrufunun sağlanması, iç mekânın konforunu artırması gibi nedenlerden dolayı çift cidarlı cepheler tercih edilir.

2.4. Akıllı Cephe

Akıllı bina terimi, ilk olarak 1980'lerde ABD'de veri ağı hizmetleri, bina yönetimi ve telekomünikasyonla kullanıcılarına paylaşılan kiracı hizmetleri sağlayan binaları belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Akıllı binaların gelişimi ve bilişim teknolojilerinin gelişimi birbiriyle bağlantılıdır. İş hayatında bilgisayarların kullanılması yaygınlaştıktan sonra bina kontrol sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lı yıllarda, talebin artmasıyla beraber bilişim teknolojileriyle ilgili meydana gelen sorunlara çözümler bulup yapılandırılmış kablolama ve kapasitesi daha fazla olan daha küçük boyutlarda bilgisayarlar üretmişlerdir (Harrison, Loe ve Read, 2012'den aktaran Çakır, 2022). Akıllı binalar toplumsal yapıya, iklime, kullanıcı alışkanlıklarına göre farklılaşabilir. Teknolojinin hızlı bir şekilde değişmesi

de akıllı bina tanımının yapılabilmesini zorlaştırır. Akıllı sistemler sayesinde binanın işlevselliği, enerji verimliliği ve yaşam alanının konforu artmaktadır (Wen, Hsiao ve Chen, 2009).

Daha güvenli ve konforlu yaşam arayışları geçmişten günümüze kadar devam etmiştir ve insanların yaşamlarını kolaylaştıran çözümler aramışlardır. Bundan dolayı ekonomik ve sosyal gelişmeler meydana gelmiştir. Le Corbusier, evrenin matematik hesabına dayandığını varsayarak "konut içinde yaşanacak bir makinedir" diye tanımlar. Günümüzde de içinde yaşadığımız mekanlar ve teknoloji birbiriyle iç içe geçmiştir. Teknoloji sayesinde binalardaki fonksiyonlar otomatikleştirilebilir ve verilerin toplanarak analiz edilebilir (Çakır, 2022).

Eskiden inşa edilmesi zor olan karmaşık yapılar, teknolojinin gelişmesiyle beraber inşa edilebilir hale gelmiştir. Kimya, genetik, elektronik gibi birbirinden farklı uzmanlık alanlarından faydalanılmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, akıllı binalar için önemli bir çıkış noktasıdır. (Froufe, Chinelli, Guedes, Haddad, Hammad ve Soares, 2020). Ayrıca zamanla artan çevre bilinci ve sürdürülebilirlik kavramı da akıllı binaların oluşumundaki önemli etkenlerdir (Çakır, 2022).

Konut ve ticari işlevlere sahip binaların, dünyadaki toplam enerji tüketiminin yüzde 40'tan fazladır. Bilgi ve iletişim teknolojileri, akıllı binaların enerjiden tasarruf edilmesi kolaylaştırmıştır (Minoli, Sohraby ve Occhiogrosso, 2017). Akıllı binalarda kullanılan teknolojik sistemler, soğutma ve ısıtma maliyetlerinden tasarruf edilmesini sağlar (Çakır, 2022).

Akıllı cephe, binanın dış katmanında bulunan bir yapı elemanıdır. Binanın konumu fark etmeksizin minimum enerji tüketimini sağlar ve binayı kötü hava şartlarına karşı korur (Wigginton ve Harris, 2013). Akıllı cephe için göz önüne alınması gereken 3 tane temel parametre vardır (Şekil 43). Bunlar bina sakinleri, bağlam ve hava durumudur (Nashaat & Waseef, 2017)



Şekil 43. Akıllı cephe parametreleri (Nashaat & Waseef, 2017)

Endüstri devriminden önce cephe, kısıtlı malzeme ve teknolojik olanaklarla tasarlanıyordu. Endüstri devrimiyle beraber malzeme ve teknolojideki gelişmeler, cephe tasarımlarında çeşitli değişikliklere yol açmıştır. Çevresel sorunlar ve konfor koşulları göz önüne alınmadan özgür bir şekilde tasarlamaya başlamışlardır. 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizinden dolayı, fosil kaynaklı enerji tüketimini azaltmaya çalışmışlardır. Cephe tasarımlarında daha az enerji tüketen ve çevreye daha az zarar veren enerji kaynaklarının kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu dönemden sonra cephe tasarımları sürekli olarak değişmeye ve gelişmeye devam etmiştir. Bugün sürdürülebilir mimarlık için farklı özelliklere sahip cepheler tasarlanır. Bu tasarımların birçoğu akıllı cephe olarak adlandırılır. Akıllı cephe, çevresel uyaranlara yanıt veren ve bulunduğu ortama uyum gösteren cepheler olarak tanımlanabilir (Altın & Orhon, 2014).

Ancak Avrupa Komisyonu'na göre binaların %90'ı uygulanamayan kontrollere sahiptir ve birçoğunun kontrol sistemleri yenilenmesi gerekmektedir. Dahası geleneksel kontrol sistemleri, akıllı binaların tam kapasiteyle çalışmasını engeller. Kontrol sistemleri doğru bir şekilde kurulsa bile sistemin optimum düzeyde çalışabilmesi için insan unsuru oldukça önemli bir faktördür. Sistemin kurulması göz

önüne alındığında bina sakinlerinin veya yöneticilerinin bunları doğru bir şekilde çalıştırmasında zorluklar yaşanabilir. Teorinin pratiğe dönüştürülmesini sağlamak ve tasarrufun gerçekleştirilebilmesi için kullanıcıların eğitilmesi, kritik bir öneme sahiptir (Birangal, Admane, & Shinde, 2015).

2.5. Akıllı Cephe Örnekleri

2.5.1. GreenPix Sıfır Enerjili Medya Duvarı

Proje Adı	**GreenPix Sıfır Enerjili Medya Duvarı**
Tasarımcı	**Simone Giostra & Partners**
Mühendis	**Arup**
Malzemeler	**Polikristal FV hücreler**
Konum	**Pekin, Çin**
Yıl	**2008**
İşlev	**Eğlence kompleksi duvarı**

GreenPix medya duvarı (Şekil 44), Xicui Eğlence Kompleksi'nin cephesini oluşturur. Duvar, yaklaşık 2000 m^2'lik bir alanı kaplayan bir LED ekrana sahiptir.

Polikristal fotovoltaik (FV) hücreler, cephedeki camların içine yerleştirilmiştir. LED ekran, cephede kullanılan FV bileşenlerinin güneş ışınımından ürettiği elektrikle çalışır. Ekranın ihtiyaç duyduğu enerjinin yaklaşık iki katı kadar enerji üretebilir. Cephe, gündüz güneşten enerji depolarken gecede bu depolanan enerjiyi kullanır. Ayrıca FV hücreler bina içerisine giren güneş ışınımlarını dengeler ve fazla ısı kazanımından korur.

Bina cephesi, enerji üretebilen, enerji kazançlarını dengeleyebilen, medya ekranı fonksiyonunu üstlenebilen bir akıllı cephedir. Bu cephe için fosil tüketimini azalttığı, FV paneller kullanılarak enerji ürettiği, karbon salınımının ve çevreye verilen zararın azaltıldığı söylenebilir (Altın & Orhon, 2014).



Şekil 44. GreenPix Medya ekranı (Url 34)

2.5.2. The Crystal

Proje Adı	**The Crystal**
Tasarımcı	**WilkinsonEyre**
Mühendis	**M&E and Structural Engineer: Arup**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Londra, İngiltere**
Yıl	**2012**
İşlev	**Kültür merkezi, meclis**

The Crystal, başlangıçta WilkinsonEyre Mimarlık tarafından 2012'de sergi ve bilgi merkezi olarak tasarlanmıştır. 2022'de ise Londra'nın yeni Belediye Binası olarak yeniden açılmıştır ve Londra Meclisi olarak kullanılır (Şekil 45) (https://wilkinsoneyre.com).

Tamamen cam malzemeden oluşan binada, enerji kullanımını azaltabilmek için geleneksel fikirler yerine ileri teknolojinin kullanılmasını gerektiğini savunmuşlardır. Altı farklı türde yüksek yalıtımlı cam kullanmışlardır. Güneş ışınımından ısı kazanımını azaltabilmek için her bir camın saydamlığı farklı seviyededir. Yere doğru açılı iç yüzeylerde şeffaf cam kullanılırken güneşe bakan geriye dönük yüzeylerde reflektif cam kullanmışlardır (https://wilkinsoneyre.com). Yüksek performanslı camlar sayesinde doğal ışığın bina içine girmesi sağlanırken güneş enerjisinin girişi azaltılır (Design Build Network, 2021'den alıntılayan Çakır, 2022).

Motorlu menfezler kullanarak binanın havalandırılması sağlanır. Enerji Yönetim Sistemi çevresel koşullara göre bina için en uygun olan havalandırma

modunu kontrol eder. Ilık havalarda doğal havalandırma kullanılırken düşük ya da yüksek sıcaklarda pencereler kapatılarak mekanik havalandırma sistemi devreye girer (Design Build Network, 2021'den alıntılayan Çakır, 2022).



Şekil 45. The Crystal dış görünümü ve iç mekânı (Url 35)

2.5.3. BIQ – Biyoreaktör Cepheli Bina

Proje Adı	**BIQ – Biyoreaktör Cepheli Bina**
Tasarımcı ve Mühendis	**Colt International, Kleve Strategic Science Consult (SSC),Splitterwerk Architects, Graz, Arup**
Malzemeler	**Biyoreaktör panel, mikroalg**
Konum	**Hamburg, Almanya**
Yıl	**2013**
İşlev	**Konut**

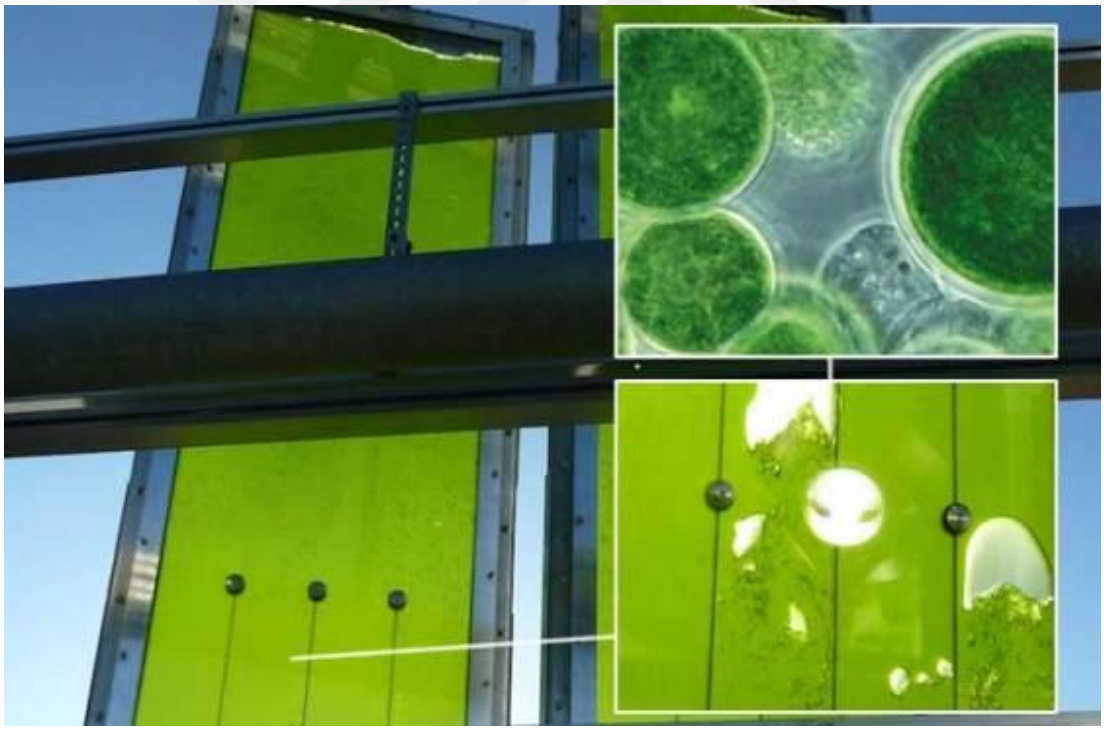
Dört katlı BIQ[6] – Biyoreaktör Cepheli Bina, Hamburg'daki 2013 Uluslararası Yapı Fuarı için inşa edilmiştir (Şekil 46). "SolarLeaf" olarak adlandırılan canlı bir foto-biyo-reaktif cephe prototipi geliştirmişlerdir. Bu yapının güneş gören güneydoğu ve güneybatı cephelerine her biri 2,5 m x 0,7 m ölçülerinde 129 adet biyoreaktör panel yerleştirilmiştir. Panellerin içerisine tek hücreli bir canlı türü olan mikroalgler konulmuştur (Şekil 47). Güneş termal ısısı ve algler, kapalı döngü sisteminde yaklaşık 200 m2 yüzey alanından depolanır (Kolarevic & Parlac, Adaptive, Responsive Building Skins, 2015) Paneller hem iç mekânı ısıtan elemanlar olarak kullanılır. Bunun yanı sıra panel içinde çoğalan algler başka bir yere alınarak

[6] https://www.youtube.com/watch?v=t3OddaOgo5Q&ab_channel=Arup

biyokütle olarak kullanılır ve enerji elde edilir. Binanın bütün enerji ihtiyacı paneller sayesinde karşılanır (Altın & Orhon, 2014).



Şekil 46. BIQ binasının dış görünüşü ve panelin yakından görünüşü (Url 36)



Şekil 47. Panelin ve alglerin yakından görünüşü (Url 37)

2.5.4. Bullitt Center

Proje Adı	**Bullitt Center**
Tasarımcı	**The Miller Hull Partnership**
Mühendis	**PAE Engineers, DCI Engineers**
Malzemeler	**Güneş paneli**
Konum	**Seattle, Amerika**
Yıl	**2013**
İşlev	**Ofis**

Bullitt Center, Seattle'da The Miller Hull Partnership tarafından 2013'te tamamlanmış 6 katlı bir ofis binasıdır (Şekil 48). Bina sürdürülebilir tasarım kriterleri göz önüne alınarak inşa edilmiştir. %100 yerinde yenilenebilir enerji ile 250 yıllık kullanım ömrüne sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Yeni teknolojik gelişmelerden yararlanarak yapının temel performans işlevleri gerçekleştirilmiştir (https://millerhull.com/project/bullitt-center/).

Binada 575 adet güneş paneli kullanılmıştır. Bu paneller sayesinde binanın bir yıllık enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Mekanik ve pasif havalandırma, soğutma ve ısıtma, panjur sisteminin çalışması bina yönetim sistemi tarafından sağlanır. Bina yönetim sistemi, pencerelerin otomatik olarak açılmasını kontrol ederek havalandırmanın, otomatik panjur sisteminin kullanımını kontrol ederek gölgelemenin yapılabilmesi sağlar (Çakır, 2022).



Şekil 48. Bullitt Center dış görünüm ve iç mekânı (Url 38)

2.5.5. The Edge

Proje Adı	**The Edge**
Tasarımcı	**PLP Architecture** **Cam Cephe: Rollecate**
Mühendis	**Van Rossum (Yapı Mühendisi)**
Malzemeler	**Fotovoltaik Paneller**
Konum	**Amsterdam, Hollanda**
Yıl	**2015**
İşlev	**Ofis**

The Edge, Amsterdam'da PLP Architecture ekibi tarafından Deloitte firması için 2015 yılında tamamlanan bir ofis binasıdır. Deloitte firmasının çalışanlarını tek bir ortamda birleştirerek akıllı bina özelliklerine sahip bir yapı inşa etmeyi amaçlamışlardır. Fiziksel veya sanal, esnek ya da sosyal birbirinden farklı çalışma atmosferine sahip bir bina tasarlamışlardır (www.plparchitecture.com)

Binanın 15 katlı atriyumu dışarısı ve ofis ortamı arasında pencere görevi görür (Şekil 49). Bunun yanı sıra atriyum sayesinde kuzeyden binaya günışığı gelirken, güney cephesinde kullanılan güneş panelleri çalışma alanlarını güneşten korur. Güney cephesindeki hava klapeleri güneş açılarına göre tasarlanmıştır. Ofisler için ek gölgeleme sağlar ve güneş ısısı birikimini azaltır. Güney cephesindeki güneş panelleri bütün bilgisayarları, elektrikli araçları ve akıllı telefonları şarj etmeye yetecek kadar enerji sağlayabilmektedir (Ekoyapı, 2017). Açılabilir paneller kullandıkları için doğal havalandırmaya olanak sağlar.



Şekil 49. The Edge binasının dış görünüşü ve iç mekânı (Url 39)

2.5.6. Frasers Kulesi

Proje Adı	**Frasers Kulesi**
Tasarımcı	**DP Architects**
Mühendis	
Malzemeler	**Çift cam**
Konum	**Singapur**
Yıl	**2018**
İşlev	**Ofis**

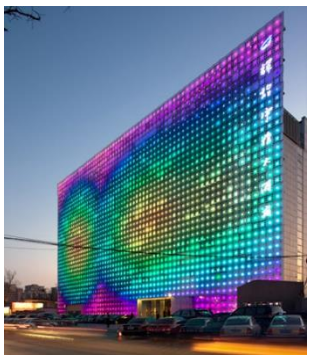
Frasers kulesi, DP Architects tarafından 2018 yılında tamamlanan bir ofis binasıdır (Şekil 50). DP Architects, ofis çalışanları için daha keyifli bir ortam sunmayı amaçlamışlardır. Singapur'un merkezi iş bölgesinde bulunan kuleyi bu doğrultuda tasarlamışlardır (www.dpa.com.sg).

BCA Green Mark platin derecelendirmesine sahip sürdürülebilir bir işyeri ortamına sahip olmayı hedeflemişlerdir (Çakır, 2022). Kuleyi, biyofilik unsurların yer düzleminden ofis lobisine aktığı, parkın içinde bir ofis olarak tasarlamışlardır. Yeşilliklerin kullanımı dış mekân ve iç mekân arasındaki çizgiyi belirginsizleştirir (www.dpa.com.sg). Kulenin çift camlı cephesi panoramik bir manzara sağlamakla beraber güneş ısısını azaltmada da etkilidir (Çakır, 2022).



Şekil 50. Frasers Kulesinin dış görünümü ve iç mekânı (Url 40)

Tablo 9. Tez kapsamında incelenen akıllı cephe örnekleri

Bina/Yıl	Mimar	Konum	İşlev	Malzemeler	Açıklamalar
 GreenPix Sıfır Enerjili Medya Duvarı, 2008	Simone Giostra & Partners	Pekin, Çin	Eğlence Merkezi	Polikristal FV hücreler LED ekran	FV hücreler bina içerisine giren güneş ışınımlarını dengeler, fazla ısı kazanımından korur ve güneş ışınımından enerji üretir.
 The Crystal, 2012	WilkinsonEyre	Londra, İngiltere	Kültür Merkezi /Meclis	Altı farklı türde yüksek yalıtımlı cam	Camlar güneş ışığının bina içine girmesini sağlarken güneş enerjisinin girişini azaltır. Çevresel koşullara göre bina yönetim sistemi havalandırma modunu kontrol eder. Ilık havalarda doğal havalandırmadan yararlanılır.
 BIQ – Biyoreaktör Cepheli Bina, 2013	Colt International, Kleve Strategic Science Consult (SSC),Splitter werk Architects, Graz, Arup	Hamburg, Almanya	Konut	Biyoreaktör paneller ve canlı algler	129 adet biyoreaktör panel kullanılmıştır. Binanın bütün enerji ihtiyacını karşılar.
 Bullitt Center, 2013	The Miller Hull Partnership	Seattle, Amerika	Ofis	Güneş paneli	Paneller binanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilir. Bina yönetim sistemi, pencerelerin açılmasını kontrol ederek havalandırmanın, panjur sisteminin kullanımını kontrol ederek gölgelemesinin yapılabilmesi sağlar.

 The Edge, 2015	PLP Architecture	Amsterdam, Hollanda	Ofis	Fotovoltaik paneller	Panaller doğal havalandırmaya olanak sağlar, enerji üretir ve çalışma alanlarını güneşten korur.
 Frasers Kulesi, 2018	DP Architects	Singapur	Ofis	Çift cam	Teknolojik cam cephe, güneş ısısını azaltır.

Tablo 9'te 2008-2018 yılları arasında tamamlanan binaları göstermektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde bulunan binalar seçilmiştir. Akıllı cephelerin dünyanın farklı bölgelerinde yer alan ülkelerde kullanıldığı görülmektedir. Ofis, kültür merkezi, konut gibi işlevlere sahip binalarda kullanılabilmektedir. Akıllı binalarda fotovoltaik panellerin tercih edildiği söylenebilir. Performansa dayalı akıllı cephelerle ilgili makalelerde bahsedilen yapı örneklerinde kullanılan yazılımlara dair bilgiler verilmemiştir.

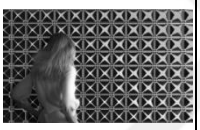
2.6. Performansa Dayalı Cephe Sistemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada incelenen kinetik, çift cidarlı, akıllı cephelere sahip binalar, Tablo 10'da işlev ve yıla göre, Tablo 11'de ise cephe performansına göre karşılaştırılmıştır.

Tablo 10. İncelenen örneklerin karşılaştırılması

BİNA GÖRSELİ	BİNA ADI	İŞLEV	YIL	YÜKSEKLİK	CEPHE SINIFLANDIRILMASI		
					KİNETİK CEPHE	ÇİFT CİDARLI CEPHE	AKILLI CEPHE
	Arap Dünya Enstitüsü	Kültür Merkezi, Müze	1987	35 m (Güney cephe)			
	Kiefer Teknik Galerisi	Ofis binası ve sergi alanı	2007				
	Flare		2008				
	Media-TIC	Ofis	2009	8 kat 38 m[7]			
	Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi	Genel Merkez	2010				
	HelioTrace,		2010				
	Al Bahar Kuleleri	Ofis	2012	150m			

7 https://www.arkitektuel.com/media-tic/

	One Ocean Tematik Pavyonu	Sergi	2012				
	HygroSkin,	Pavyon	2013				
	Sharifi-ha Evi	Konut	2013				
	SDU Kolding Kampüs	Eğitim	2014				
	Air Flow(Er)						
	Bund Finans Merkezi	Kültür Merkezi	2017				
	Cambridge Halk Kütüphanesi	Kütüphane	2009	13,7 m[8]			
	Commerzbank Genel Merkezi	Ofis	1997	53 kat			

[8] https://rawnarch.com/projects/cambridge-library.html

	Düsseldorf City Gate	Ofis	1998	16 kat 80 m			
	Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları	Çok kullanımlı	2000	219 m[9] 44 kat			
	30 St Mary Axe Kulesi	Ofis	2004	180 m 41 kat[10]			
	Biyomedikal Bilim Araştırma Binası	Laboratuvarlar, Ofisler	2005	5 kat			
	The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi	Eğitim	2007	4 kat			
	John E. Jaqua Center for Student Athletes	Eğitim	2010				
	Galleria Centercity	Alışveriş Merkezi	2010				

[9] https://www.skyscrapercenter.com/building/aurora-place/1275
[10] https://www.urbansystems.design/30-st-mary-axe-london-uk#:~:text=Overview,iconic%20tall%20buildings%20in%20London.

	GreenPix Sıfır Enerjili Medya Duvarı	Eğlence Merkezi	2008	10 kat			
	The Crystal	Kültür Merkezi/Meclis	2012				
	BIQ – Biyoreaktör Cepheli Bina	Konut	2013	4 kat			
	Bullitt Center	Ofis	2013	6 kat[11]			
	The Edge	Ofis	2015	58 m[12]			
	Frasers Kulesi	Ofis	2018	38 kat 235m[13]			

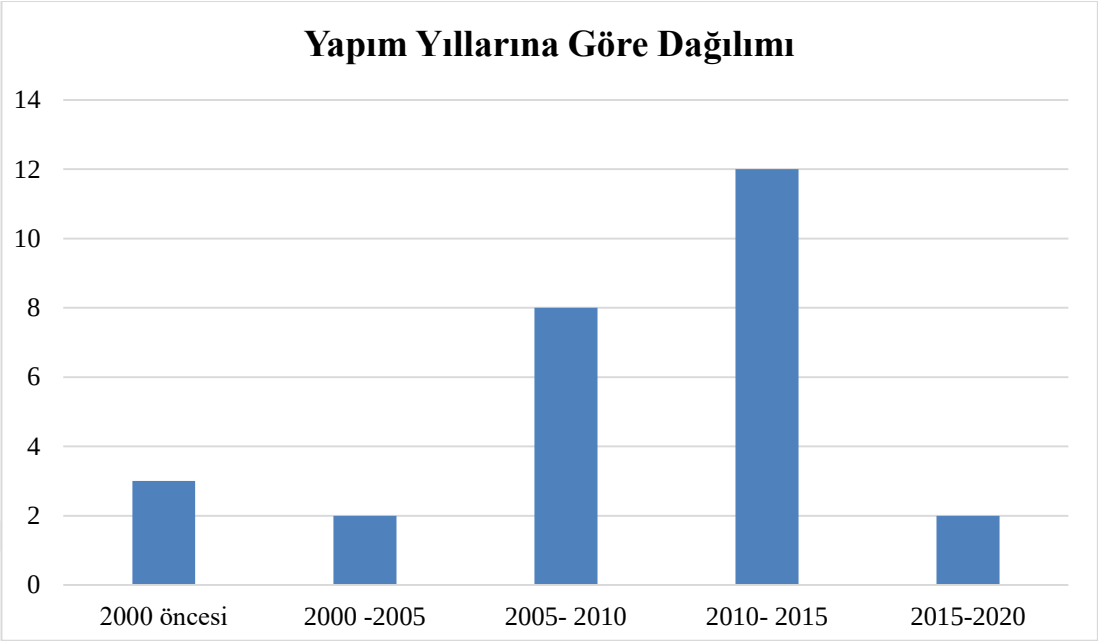
[11] https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today
[12] https://www.skyscrapercenter.com/building/the-edge/21996
[13] https://www.fraserstower.com.sg/home/about/

Tablo 11. İncelenen cephelerin karşılaştırılması

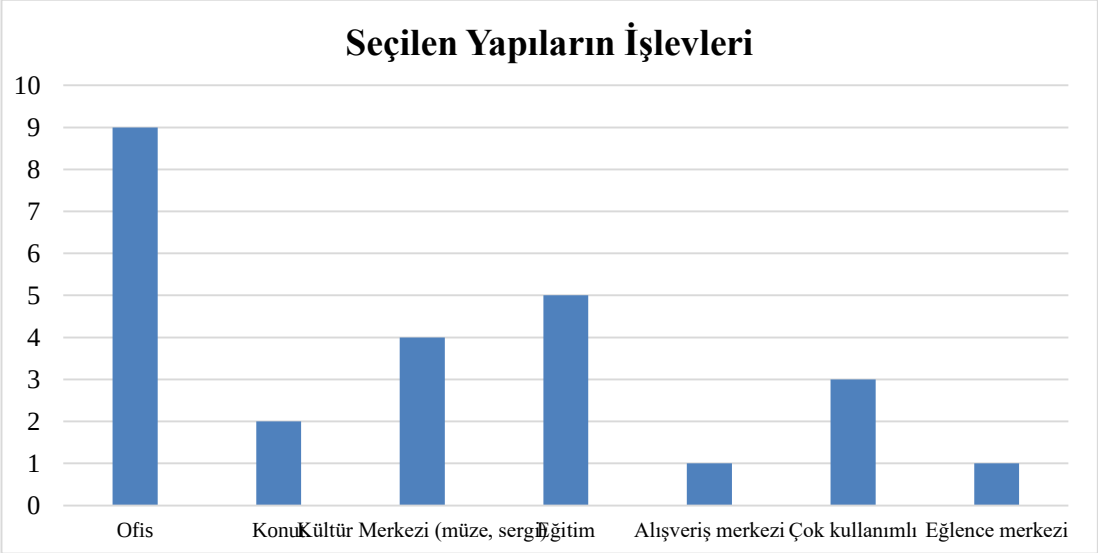
BİNA ADI VE YILI	CEPHE PERFORMANSI						NOTLAR
	Enerji Üretimi	Isıtma Yükünü Azaltma - Aşırı Isı Kaybına Karşı Koruma	Soğutma Yükünü Azaltma - Aşırı Isı Kazanımına Karşı Koruma	Doğal Aydınlatma – Günışığının Kontrolü		Doğal Havalandırma (Menfezlerle veya pencereler yardımıyla)	
				Kamaşma kontrolü	Yeterli aydınlık düzeyi		
Arap Dünya Enstitüsü, 1987				2	2		Cephedeki diyaframlar, fotovoltaik sensörler aracılığıyla elektronik olarak kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Güneşin konumuna göre binanın içine girecek ışığın düzeyini kontrol etmesi gerekir ancak mekanik sorunlardan dolayı bu sistem çalışmamaktadır
Kiefer Teknik Galerisi 2007			5	5	5		Kinetik panel Güneşin konumuna göre açılıp kapanır
Flare, 2008					3	3	Modüller arasındaki boşluklardan ısı ve hava geçişi Modüller birbirlerine çok yakın olduğu için gerekli olan hava ve ışık kontrolünü sağlayamayabilir
Media-TIC, 2009			5	5	5		Cephe, ortamdaki sıcaklığın değişmesiyle cephedeki hava yastıklarının hava basıncı değişir. Sıcaklığın artmasıyla cephe şeffaftan opak hale geçiş yapar.
Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi, 2010			5	5	5		Binanın cephesinde, güneşin konumuna göre hareket edebilen güneş kontrol elemanı kullanılmıştır. Güneş ışınımından ısı kazanımını azaltır.
HelioTrace, 2010			5	5	5		Kinetik paneller, güneşin konumuna göre hareket eder.
Al Bahar Kuleleri, 2012			5	5	5		Güneşin konumuna göre birimlerin açıklık oranı değişir
One Ocean Tematik Pavyonu, 2012			5	5	5		Cephedeki lameller sayesinde güneş ışığına maruz kalma kontrol

							altına alınabilir.
HygroSkin, 2013*						3	Cephedeki modüller ortamdaki neme bağlı olarak açılıp kapanabilmektedir.
Sharifi-ha Evi, 2013		4	4	3	3		90 derecelik dönebilen bölmeler (mevsime göre hareket) Yazın odalar açığa çıkartılabilirken kışın odalar içe doğru çevrilebilir
SDU Kolding Kampüs, 2014			5	5	5		Panellerin açısı, günışığı ve ısıya göre belirlenir
Air Flow(Er)		5	5				Sıcaklığın değişmesiyle paneller hareket eder. Sıcaklık 26.7 dereceden fazlaysa paneller açılır, 15.5 dereceden az ise paneller kapanır.
Bund Finans Merkezi, 2017							Kinetik cephe Cephedeki katmanlar birbirinden bağımsız olarak dönebilir. Farklı opaklık seviyeleri ve görsel efektler üretilir.
Cambridge Halk Kütüphanesi, 2009		5	5	5	5	5	Güneş kontrol aracı Güneşin açısına göre güneş kontrol aracının pozisyonu değiştirilebilir Hava boşluğu yazın açılırken kışın kapatılabilir. Güneşlikler kontrollü ve dengeli bir şekilde binanın doğal ışık alabilmesine olanak sağlar.
Commerzbank Genel Merkezi, 1997		5	5	5	5	5	Açılabilir pencereler Yılın %85'inde doğal havalandırma Güneş kontrol araçları
Düsseldorf City Gate, 1998		5	5	5	5	5	Doğal havalandırma (havalandırma kapakları) Sensörler sayesinde optimum düzeyde ısıtma, soğutma ve temiz hava tedariği sağlanır Güneşlikler otomatik olarak ayarlanır (fotosel algılayıcılar)

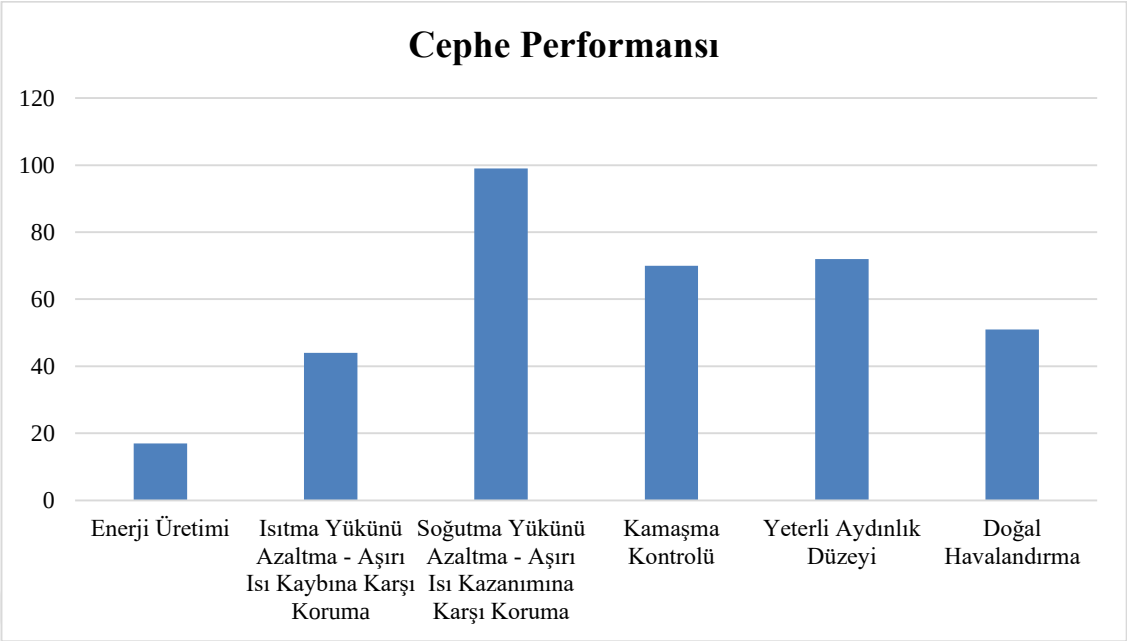
Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları, 2000		5	5	5	4	5	Çift cidarlı cephe Güneş kontrol sistemi ve kumaş perdeler
30 St Mary Axe Kulesi,2004						5	Çift cidarlı cephe sistemi Cephe arasındaki boşluk, bina yüzeyi boyunca temiz havanın yayılmasını sağlar
Biyomedikal Bilim Araştırma Binası, 2005		5	5			5	Çift cidarlı cephe Kış mevsiminde havalandırma kapağı kapatılır. Yaz mevsiminde ise havalandırma kapağı açılır.
The Richard J. Klarchek Bilgi Merkezi, 2007						5	Çift cidarlı cephe sistemi
John E. Jaqua Center for Student Athletes, 2010		5	5	5	5	5	Çift cidarlı cephe Yazın hava boşluğu açılabilirken kışın hava boşluğu kapatılabilir. Sabit ve hareketli güneşlikler
Galleria Centercity, 2010			5	5	5		Cephe açıklıkları gün ışığını iç mekâna taşırken, dış lameller güneş ışığının doğrudan binaya girmesini engeller
GreenPix Sıfır Enerjili Medya Duvarı, 2008	4		5				Fotovoltaik panel Cephe, gündüz güneşten enerji depolarken gecede bu depolanan enerjiyi kullanır.
The Crystal, 2012			5				Güneş ışınımından ısı kazanımını azaltabilmek için her bir camın saydamlığı farklı seviye
BIQ – Biyoreaktör Cepheli Bina, 2013		5					Biyoreaktör panel Panellerin içerisine mikroalgler konulmuştur
Bullitt Center, 2013	4						Güneş panelleri
The Edge, 2015	4		5			5	Güneş panelleri Açılabilir paneller
Frasers Kulesi, 2018			5				Çift camlı cephe



Şekil 51. Tez kapsamında seçilen yapıların yıllara göre grafiği



Şekil 52. Tez kapsamında seçilen yapıların işlevlere göre grafiği



Şekil 53. Örneklerde cephe performansına göre verilen puanların toplamı

Toplamda 28 yapı incelenmiştir. Bunların 3 tanesi 2000 öncesi, 2 tanesi 2000-2005 arası, 8 tanesi 2005- 2010 arası, 12 tanesi 2010- 2015 arası ve 2 tanesi de 2015-2020 yılları arasında yapılmış yapılardır (Şekil 51). İşlevlerine göre 9 ofis, 2 konut, 5 eğitim, 1 alışveriş merkezi,1 eğlence merkezi, 3 çok kullanımlı yapı incelenmiştir (**Şekil 52**).

Yöntem şu şekilde olmuştur; Tablo 11'de sorun çıkmayan yeni teknoloji ile ısıtma ve soğutma yapan görsel veya teknik değerler açısından bir sorun teşkil etmeyen yapılar 5 puan olarak kabul edilmiştir. Bir sistem incelendiğinde açıklanmış bir teknik bir problem arıza halinde 2 olarak puanlandırılmıştır. Eğer tasarlanan sistemde bir belirsizlik varsa 3 puan verilmiştir.

Yeterli aydınlık düzeyi ve kamaşma kontrolü için Güneşin konumuna göre gün içinde hareket edebilen kinetik panellere 5 puan verilirken Sharifi-ha evi, mevsime göre bir kinetik harekete sahip olduğu için 3 puan verildi. Enerji üretimi için bir yapının cephesinde ürettiği enerji, enerji ihtiyacının tamamını karşılıyorsa 5, sadece bir kısmını karşılıyorsa 4 puan verildi.

Tablo 11'de verilen puanların toplamı Şekil 53'te gösterilmiştir. Buna göre seçilen cephelerde cephe performansı olarak soğutma yükünü azaltma ön plandadır.

Sırasıyla yeterli aydınlık düzeyini sağlama, kamaşma kontrolü, ısıtma yükünü azaltma ve enerji üretimi. Yapıların cephelerinde en az önem verilen performansı enerji üretimi olduğu söylenebilir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

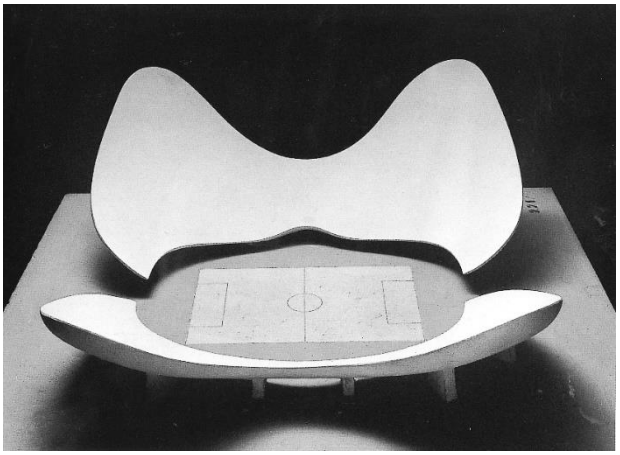
PARAMETRİK TASARIM KAVRAMI

Çalışmanın bu bölümünde parametrik tasarımın tanımı ve tarihçesine, parametrik tasarımda kullanılan yazılımlara ve parametrik tasarımın uygulandığı alanlara değinilmiştir.

3.1. Parametrik Tasarımın Tanımı ve Tarihçesi

Parametre, ilk olarak matematikte kullanılan bir terimdir. Türk Dil Kurumu Sözlüğüne göre parametre değişken anlamına gelmektedir ve cebirde bir denklemin katsayılarına giren değişken niceliktir. Bu kelime aynı zamanda tasarımcılar tarafından da kullanılır. David Gerber'in Parametrik Uygulama (Parametric Practice) adlı doktora tezine göre, Maurice Ruiter'in 1988 yılında yayınladığı Parametrik Tasarım (Parametric Design) adlı makalesinde bu terim ilk kez bir tasarımcı tarafından kullanılmıştır (Gerber, 2007). Robert Stiles'ın 2006'da yayınladığı Toplama Stratejileri (Aggregation Strategies) yüksek lisans tezine göre ise mimar Luigi Moretti 1940'lardaki yazılarında bahsettiğini iddia eder (Davis, 2013).

Parametrik mimarlık üzerine yazılar yazan Luigi Moretti boyutlar arasındaki ilişkileri çeşitli parametrelerle tanımlar. 1960 yılında 12. Milan Triennial'da parametrik mimari sergisinde, kendi yaptığı parametrik bir stadyum'un versiyonlarını sergilemiştir (Şekil 54). Bu stadyum tasarımını kullanarak stadyumun formunun 19 farklı parametreye göre nasıl elde edilebileceğini açıklamıştır (Davis, 2013).



Şekil 54. Luigi Moretti tarafından tasarlanan stadyum N'in bir modeli, 1960 (Url 41)

Dijital tasarım araçlarının kullanılmasından çok daha önceki dönemlerdeki tasarımlarda parametrik yöntemler kullanılmıştır. Bunun ilk deneysel örnekleri Antoni Gaudi'nin tasarımlarında görülebilir. 1882 yılında inşaatına başlanan Sagrada Familia Katedralinde Gaudi, fiziksel parametrik modeller kullandı. İplerle birbirine bağlanmış iki çemberden birisini döndürürken modelde bu değişeme uyum sağlar (Şekil 55). Çemberin dönüş derecesi, değişken parametre olarak kullanılmıştır (Lauridsen & Petersen, 2014).



Şekil 55. Fiziksel parametrik model (Url 42)

Antoni Gaudi parametrik katener eğrileri ve parametrik hiperbolik paraboloitler kullanarak mimari tasarımlar yapmıştır. Gaudí'nin mimarisi incelendiğinde, parametrik denklemleri kullandığı söylenebilir. Bu kullanıma örnek olarak da asılı zincir modeli (the hanging chain model) gösterilebilir (Şekil 56). Bu model, bir parametrik denklemin sahip olması gereken tüm bileşenlere sahiptir. Bağlantı noktası konumu gibi bir dizi bağımsız parametreler kullanmıştır. Bu parametrelerin kullanımından üretilen bir dizi sonuçlar oluşur. Böylece, parametrik modelin bağımsız parametrelerini değiştirerek Colònia Güell Şapeli'nin farklı versiyonlarını üretebilir (Davis, 2013).

Gaudí'nin asılı zincir modeli ondan önceki matematikçilerin parametrik denklemini kullanımından farklı olarak, parametrik sonuçları otomatik olarak hesaplayabilir.



Şekil 56. Asılı zincir modeli (Url 43)

Dijitalleşmeyle beraber hesaplamalar da kolaylaşmaya başlamıştır. Hesaplamayı kolaylaştırmak amacıyla Gaudi'nin fiziksel yasaları kullandığı gibi bir bilgisayar programcısı olan Ivan Sutherland da parametrik bir denklemin daha hızlı hesaplanabilmesi için bilgisayarları kullanmaya çalışmıştır. Sutherland'in oluşturduğu sketchpad[14], ilk etkileşimli bilgisayar destekli tasarım programıdır (Şekil 57). Gaudi'nin yaptığı modellerden farklı olarak, bu parametrik denklemler fiziksel yasalara bağlı olmadan kurulabilir ve hesaplanması sağlanabilirdi (Davis, 2013).

Tasarımcı, kalem kullanarak, birbiriyle ilişkilendirilebilecek çizgiler ve yaylar çizebilir. Tasarımcının çizdiği çizgiler ve yaylar bir diğeriyle bağlantılıydı. Sutherland bunu atomik kısıtlamalar olarak adlandırmıştı. Sutherland'ın yazıları incelendiğinde hiçbir zaman parametrik kelimesine rastlanmamıştır. Ama atomik kısıtlamalar bir parametrik denklemin sahip olması gereken özelliklere sahiptir. Her kısıtlamanın oluşturduğu bir sonuç vardır (Davis, 2013).

Sketchpad sayesinde parametrik denklemlerin oluşturulmasında yeni bir yöntem kullanılabilmiştir. Geometri sketchpad'de otomatik olarak hesaplanıp tekrardan geometrinin çizimi sağlanabilir. Böylece tasarımcılar parametreleri değiştirerek yeni varyasyonlar üretebildiler. Aynı zamanda tasarımcılar modelin

[14] https://www.youtube.com/watch?v=6orsmFndx_o&ab_channel=InteractiveChronicles
https://www.youtube.com/watch?v=YB3saviItTI&ab_channel=VarunBhartiya

ilişkilerini de değiştirebilmekteydi. Bu durum, geometrinin yeniden hesaplanmasına ve yeniden çizilmesine yol açacaktı (Şekil 57).

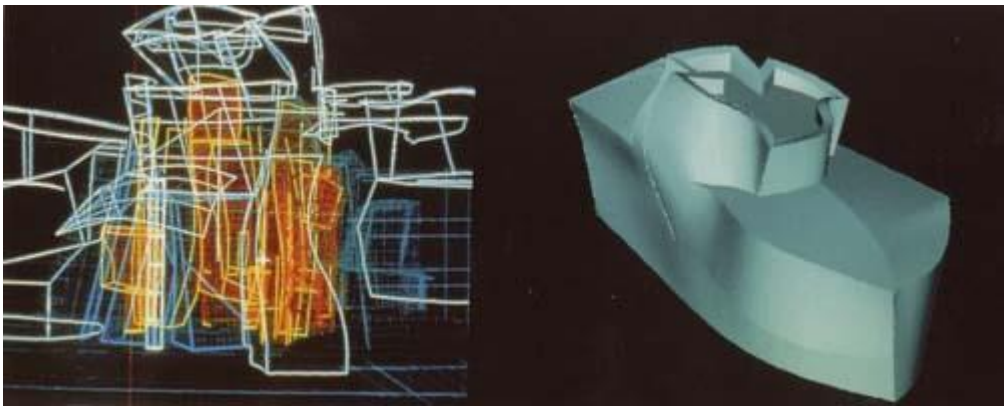


Şekil 57. 1963 yılına ait sketchpad (Url 44)

1982 yılında kişisel bilgisayarlar kullanılmaya başlanmıştı. Bilgisayar destekli bir tasarım programı olan AutoCAD piyasaya sürülmüştü. AutoCAD ile beraber tasarımcılar artık kalem yerine klavye kullanmaya başlamışlardı. Sketchpad'den 43 yıl sonra, autocad'e parametrik denklemler eklenmişti (Davis, 2013).

1985 yılında matematik profesörü Samuel Geisberg tarafından Parametric Technology Corporation kurulmuştu. 1988 yılında ise bir parametrik yazılım olan Pro/ENGINEER'ı piyasaya sürmüşlerdi. Burada da sketchpad gibi parametrik denklemler kullanılmıştı. Parametrik denklemler kullanılması açısından sketchpad e benzer ancak sketchpad'in aksine Pro/ENGINEER'da iki boyutlu geometri yerine 3 boyutlu geometriler kullanılır (Davis, 2013).

1993 yılında Dassault Systèmes tarafından, Pro/ENGINEER'ın birçok parametrik özelliğini CATIA v4'e eklenmişti. Gehry Partners, Barcelona Fish (1991) ve Bilbao'daki Guggenheim Müzesi (1993-97) gibi geometrik açıdan zorlu mimari projelerin gerçekleştirilmesi gerekiyordu. Bu nedenle bir CATIA uzmanı olan Rick Smith, Gehry Partners tarafından işe alınmıştı. Böylece mimarların parametreleri ve denklemleri yenilemelerini sağlayan CATIAv5 kullanılmaya başlanmıştı (Şekil 58).



Şekil 58. Guggenheim'ın CATIA yazılımındaki çizimi (Url 45)

Önceden Parametric Technology Corporation'da çalışan geliştiriciler, mimarlar için parametrik bir yapı modelleyicisi oluşturmak istemişlerdi. Revit Technology Corporation, bu geliştiriciler tarafından kurulmuştur.

Temelinde Revit'in yazarları tarafında parametriği, parametrik denklemlere dayalı bir nesne olarak tanımlar. Parametrik denklemleri ise tasarımcının belirli durumlar için ayarlayabileceği şeyler olarak düşünürler. Pro/ENGINEER, CATIA, ve Sketchpad'in aksine Revit'in parametrik ile olan ilişkileri arayüzde gizlidir.

2003 yılında Robert Aish, Generative Components'ın beta testini başlatmıştır. Ancak Robert McNeel & Associates, Generative Components'ı lisanlamakta başarısız olmuşlardır. Bu nedenle kendi versiyonlarını oluşturabilmek için başka bir geliştiriciyle anlaşmışlardır. 2007'de Explicit History piyasa sürülmüş ve daha sonra görsel arayüzüne Grasshopper adı verilmiştir. Parametrelerin değiştirilmesiyle yeni geometrilerin oluşturulmasına olanak sağlamıştır (Davis, 2013).

3.2. Parametrik Tasarım Yazılımları

Geleneksel mimaride, tasarımcı tasarımdaki herhangi bir şeyi değiştirmek istiyorsa tüm aşamaları tekrarlamalıdır. Parametrik tasarımda ise tasarımdaki herhangi bir parametre değiştirildiğinde tasarımda otomatik olarak kendisini günceller. Mimaride parametrik tasarımın kolaylıkla yapılabilmesi Rhino+Grasshopper, Generative Components, Sketchup+Plugins, Revit+Dynamo ve Autocad+AutoLISP gibi yazılımlar kullanılır.

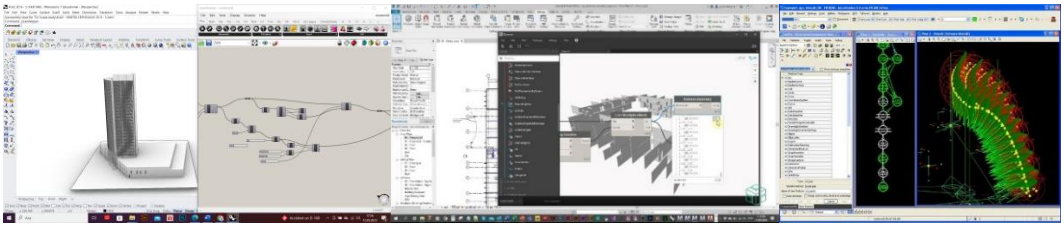
Grasshopper: Rhinoceros 3D için kullanılan ve parametrik modelleme yapılabilmesine olanak sağlayan bir eklentidir (Şekil 59a). Parametrelerin değiştirilmesiyle model otomatik olarak güncellenir. Sadece mimarlık alanında değil şehir planlama, çevre analizi, moda tasarımı gibi birçok farklı alanlarda da kullanılabilir.

Teze konu olan enerji hesaplaması çalışmasını yapmak için kullanılan Grasshopper ve benzer diğer programlar günışığı analizlerinin yapılabilmesine olanak sağlayan eklentilere sahiptir. Grasshopper'ın Ladybug eklentisi sayesinde çevreye duyarlı mimari tasarımlar yapılabilmesine olanak sağlar. EnergyPlus Weather dosyalarını (.EPW) Grasshopper'a aktarılmasını sağlar. Böylece binanın bulunduğu konuma göre hava durumunun analizleri yapılabilir ve projeye parametrik olarak bağlanabilir. Ayrıca Grasshopper'ın diğer bir eklentisi olan Honeybee kullanılarak günışığı analizi yapılabilir. OpenStudio, Daysim, Radiance ve EnergyPlus ile birlikte çalışabilir. Grasshopper'da tasarımcının ihtiyaçlarına göre birden fazla parametre arasında optimum sonuçları elde edebilmek için Galapagos olarak adlandırılan bir bileşen de kullanılabilir (Rogler, 2015; Eltaweel & Su, 2017). Günışığı analizinin yanı sıra soğutma ve ısıtma enerjisi tüketimi, rüzgâr hızı gibi analizler de yapılabilir.

Dynamo: Revit'in bir eklentisi olan Dynamo, açık kaynaklı bir yazılımdır (Şekil 59b). İlk versiyonu 2011'de piyasaya sürülmüştür. Programlama yöntemi olarak Grasshopper'a benzer. Revit ve Dynamo birbiriyle bağlantılıdır. Parametrik tasarıma olanak sağlayan Dynamo script dilini kullanarak Revit'te geometrik formlar oluşturulabilir (Ofluoğlu, 2014). Revit'te bir obje değeri değiştirildiğinde Dynamo'da da değişir. Dynamo yazılımında düğümler kullanılır. Her düğümün bir işlevi vardır. Düğümdeki herhangi bir parametrik değer değiştirildiğinde düğümle bağlantısı olan diğer girdiler ya da çıktılarda da değişiklik olur. Parametrelerden birisi değiştirildiğinde diğer değişkenler de otomatik olarak güncellenir (Nezamaldin, 2019).

Generative Components: Generative Components, Bentley Microstation tarafından geliştirilen bilgisayar destekli bir yazılımdır (Şekil 59c). Gehry Partners, Foster & Partners, Arup Engineers gibi firmalarda ve MIT, Columbia Üniversitesi gibi eğitim kurumlarında kullanılmıştır. Bu yazılımın temel amacı mimarları parametrik modelleme yöntemiyle dijitalde tasarım yapabilmelerini sağlamaktır. Parametreler

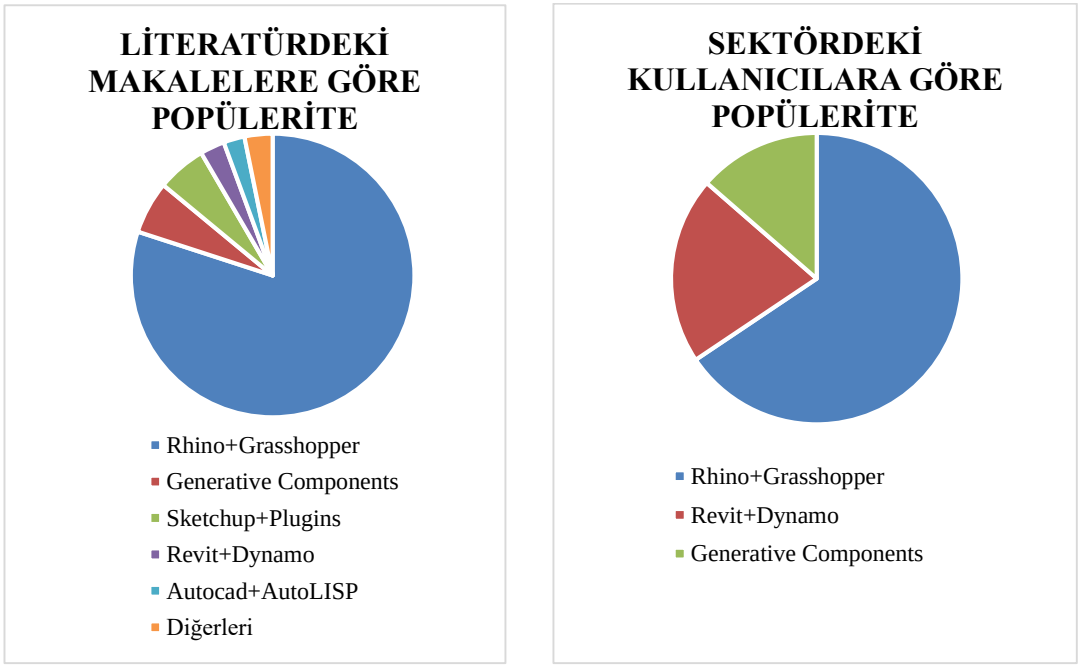
belirlendikten sonra alternatif tasarımlar hızlı bir şekilde üretilebilir (Martin & Yau, 2006).



(a) (b) (c)

Şekil 59. (a) Grasshopper (b) Dynamo (Url 46) (c) Generative Components (Url 47)

Shenghuan Zhao ve Enrico de Angelis'ın 2019 yılında yayınladıkları makalelerinde parametrik modelleme yazılımlarının kullanım yüzdelerine göre grafik oluşturmuşlardır (Şekil 60). Beş farklı parametrik modelleme yazılımlarına göre literatür araştırması yapmışlardır (Tablo 12). Yaptıkları literatür araştırma sonuçlarına göre en popüler olan Rhino+Grasshopper'dır. Sektördeki kullanıma göre yaptıkları araştırma sonucunda ise 3 farklı parametrik modelleme araçlarından tasarımcıların üçte ikisinin Rhino+Grasshopper kullanıldığını belirtmişlerdir. Ardından Revit+Dynamo ve an az kullanılan ise Generative Components olduğu sonucu çıktığını belirtmişlerdir (Zhao & Angelis , 2019).



Şekil 60. Parametrik modelleme yazılımlarının popülariteleri (Zhao & Angelis, 2019)

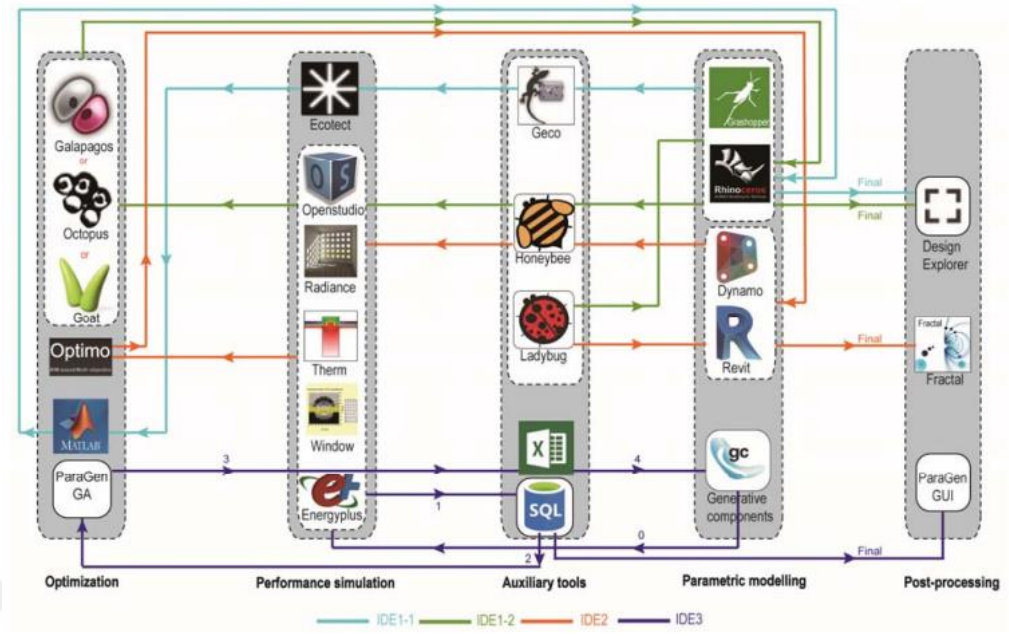
Tablo 12. Parametrik modelleme yazılımları (Zhao & Angelis, 2019)

3D Modelleyici	Görsel Programlama platformları	Özellikleri
Rhino	Grasshopper	Açık kaynak
Revit	Dynamo	Kapalı sistem
GC	.NET	Kapalı sistem
Sketchup	A customized extension written with Ruby programming interface, ParaCloud GEM	Açık kaynak
Autocad	AutoLISP	Geliştirilme aşamasında değil

Entegre geliştirme ortamı (IDE), veri alışverişinin yapılabilmesini sağlayan bir yazılım sentezidir. Shenghuan Zhao ve Enrico de Angelis parametrik modelleme yazılımlarına göre IDE'nin sınıflandırılmasını yapmıştır (Tablo 13). Rhino+Grasshopper için kurulan IDE'ler IDE 1-1 ve IDE 1-2 olarak iki ayrı kategoriye ayırır. IDE 1-1'de DIVA, Gerilla gibi yardımcılar kullanılırken IDE 1-2'de Ladybug ve Honeybee kullanılır. IDE 2, Revit+Dynamo'ya göre oluşturulmuştur ve IDE 3 ise Generative Components'a göre şekillenir. Zhao ve Angelis'e göre simülasyon veya optimizasyon araçlarının değiştirilmesi yeni kombinasyonların oluşabilmesine neden olacaktır ancak kategoriye çok farklı özellikler getiremeyebilir. Bu IDE'lerin içindeki ayrıntılı veri akışları Şekil 61'da gösterilmektedir (Zhao & Angelis , 2019).

Tablo 13. Dört temel entegre geliştirme ortamı (IDEs) (Zhao & Angelis , 2019)

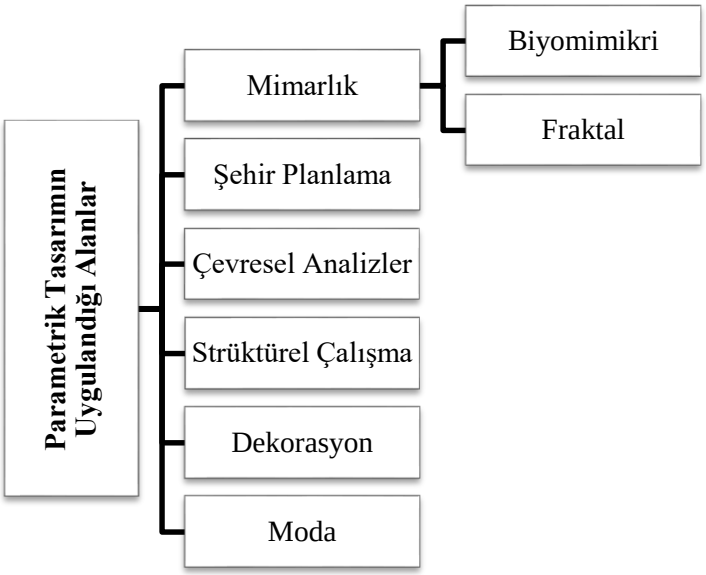
IDE	Parametrik Modelleme	Simülasyon	Optimizasyon	İşlem Sonrası	Yardımcı Araçlar
IDE 1-1	Rhino+Grasshopper	Ecotect/EnergyPlus/ Radiance	MATLAB/ Etc.	Design Explorer	DIVA/ Gerilla/ Etc.
IDE 1-2	Rhino+Grasshopper	EnergyPlus/ Radiance/ Dayism/ Open Foam	Galapago/ Octopus / Etc.	Design Explorer	Ladybug+ Honeybee
IDE 2	Revit+Dynamo	Green Building Studio/ Energy Analysis for Dynamo	Optimo	Project Fractal	Ladybug+ Honeybee/ Etc.
IDE 3	GC	Energyplus/ AECOsim Energy Simulator	ParaGen GA/ Matlab	SQL webpage	Web server/ DIVA/ Etc.



Şekil 61. IDE'lerin veri akışı (Zhao & Angelis , 2019)

3.3. Parametrik Tasarımın Uygulandığı Alanlar

İlk olarak matematik alanında kullanılan bir terim olan parametre, zamanla tasarım alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Birçok alanda parametrik tasarımın uygulamaları görülebilir. Bu alanlardan mimarlık, şehir planlama, çevresel analiz, strüktürel analiz, dekorasyon ve modadaki uygulamalarına değinilmiştir (Şekil 62).



Şekil 62. Parametrik tasarımın uygulandığı alanlar

3.3.1. Mimarlık

Mimari tasarım sürecinde birçok farklı sorunla karşılaşılabilir. Parametrik tasarım, tasarımcının farklı alternatifler üretebilmesini sağlar. Mimari alanda parametrik modelleme yazılımlarının kullanımı, yapının birden fazla versiyonunu oluşturur. Böylece karşılaşılan sorunlara çözüm üretilebilmek de kolaylaşır.

Örneğin FR-EE mimarlık tarafından 2011 yılında tamamlanan Somaya müzesi, parametrik modelleme, lazer tarayıcı ve algoritmik teknikler kullanılarak inşa edilmiştir (Şekil 63). Oldukça karmaşık bir forma sahip olan bu müzede altıgen parçaların ölçüleri değiştirilerek bir araya getirilmiştir. Parametrik tasarım araçları kullanılarak alternatifler üretilebilmiştir ve bu parçaların nasıl bir araya getirileceği ile ilgili kararlar verilebilmiştir (Romero & Ramos, 2013). Bu örnek dışında Mimar Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan Waterloo İstasyonundaki Dış Hatlar Terminali, SOM mimarlık tarafından tasarlanan Cayan Kulesi, Gensler architects'in tasarladığı Shanghai Kulesi gibi bilindik yapılarda da parametrik modelleme kullanılmıştır.



Şekil 63. FR-EE Mimarlık, Soumaya Müzesi, 2011 (Url 48)

3.3.1.1. Biyomimikri

Bilim literatüründe biyomimikri kavramı 1962 yılında kullanılmaya başlanmıştır. 1980'li yıllarda malzeme bilimcileri arasında kullanımı artmıştır. Biyomimikri daha çok sürdürülebilir tasarım alanında kullanılan bir kavramdır. Biyolojik formları sistemsel, süreçsel ve işlevsel olarak taklit ederek sürdürülebilir çözümler üretir (Pawlyn, 2011).

Doğa bilimleri hakkında yazılar yazan Janine Benyus, Yunanca bios ve mimesis kelimelerini birleştirmiştir. Bios hayat mimesis ise taklit anlamına gelir. Bu

kavram için temel olarak iki yaklaşım vardır. Bunlar, biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım ve tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşımlardır. Biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşımlarda biyolojik bir olgu, tasarımdaki problemi çözebilmek için bir seçenek sunarken tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşımda ilk olarak tasarım sorunuyla başlanır ve sonra ekosistemin bunu nasıl gerçekleştirdiği gözlemlenir (Biomimicry Guild, 2007).

Doğadaki oluşumların ölçekleri, oluşum süreçleri, işlevleri insan yapımı strüktürlerden farklıdır. Buna rağmen enerji korunumu, dayanıklı olması gibi nedenlerden dolayı mimar ve mühendisler için esin kaynağı olmuştur.

Birçok mimar tasarladıkları binalarda ve yayınladıkları manifestolarda doğadan esinlendiklerini belirtmişlerdir. Bu esinlenme, bazen dekoratif öğelerin doğadan kopyalanması şeklinde yapılırken bazen cephe tasarımında doğadaki renk, desen ya da dokunun yorumlanması şeklinde yapılır. Örneğin, 20. yüzyılda Peter Behrens ile başlayan ekspresyonizm akımı Erich Mendelsohn, Max Berg, Hans Poelzig gibi mimarların tasarımlarına heykelsi organik form olarak yansımıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Günümüzde de tasarımlarda doğadan esinlenme form arayışı düzeyinde kalmıştır. Tasarımlarda doğadaki strüktürel sağlamlık, hafiflik, enerji kullanımı verimliliği gibi günümüzde sıklıkla konuşulan sürdürülebilir mimarlık için pek çok kriter sağlanamamıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Biyomimikri, farklı bilim dallarındaki bilgileri bir araya getirerek tek bir düşünce bütünü oluşturmayı hedefler. Bu kavram, tasarımın ana faktörlerine dayalı bütünleşmiş ağlardan oluşan bir geribildirim sistemi olarak ele alınabilir. Faktörler tasarıma günışığı, iklimlendirme gibi kuvvetler doğrultusunda yön vererek çözüme ulaşma hedeflenebilir (Aldemir, 2014; Panchuk, 2006).

Chayaamor-Heil (2023), doğal olgular mimari tasarıma farklı düzeylerde ilham verebilir. Mimari tasarımda üç temel düzeyi ve beş alt düzeyi vardır. Üç temel düzey; organizma, davranış ve ekosistemdir. Beş alt düzey ise form, malzeme, inşa süreci, performans ve işlevdir (Maibritt Pedersen Zari'den alıntılayan Chayaamor-Heil, 2023).

Organizma düzeyinde tasarım, bir organizmanın parçalarının, organizmanın hayatta kalmasına hizmet edecek şekilde nasıl işlediğine bakmak anlamına gelir. Mimari tasarıma ilham veren biyolojik sistemler genellikle kendi kendine duyarlı, çok işlevli ve uyarlanabilir niteliklere sahiptir. Çoğunlukla bina kaplamalarında ya da cephe bileşenlerinin tasarımında görülmektedir. Buna örnek olarak Pho'liage cephe sistemi ve Londra'daki Swiss Re binası verilebilir (Chayaamor-Heil, 2023).

Pho'liage cephe sistemi, çiçeklerin dış uyaranlara karşı açılıp kapanma mekanizması incelenerek geliştirilmiştir (Şekil 64). Kendi kendine tepki veren gölgelemenin biyomimetik tasarım uygulaması için sistemde kullanılan akıllı malzeme şekil hafızalı alaşım (SMA) ve termobimetal, dış uyaranlara karşı tepki verir. Bu cephe sistemi, dış ortamdaki ısının değişimine göre sistem açılıp kapanabilmektedir. Sıcaklık 25 C'nin üstündeyse kanatlar bir çiçek gibi açılarak binanın aşırı ısınmasını engeller. Sıcaklık düştüğünde ise kanatlar kapanarak binaya doğal ışığın girmesini sağlar (Chayaamor-Heil, 2023).


(a)


(b)

Şekil 64. (a) Pho'liage cephe sisteminin prototipi ve (b) simülasyon modeli (Url 49)

Davranış düzeyinde organizmanın kendisi değil, organizma ile kendi çevresi arasındaki davranış biçimi taklit edilir. Buna örnek olarak Japonya'daki the NBF Osaki Building (BIOSKIN) verilebilir (Chayaamor-Heil, 2023).

Japonya'da yaz mevsiminde serinlemeye yönelik eski bir gelenek olan uchimizu, BIOSKIN'in oluşturulmasında rol oynamıştır. Tokyo'da uchimizu, yağmur suyu veya ikincil kullanım suyuyla yapılır. Uchimizu ile yere serpilen suyun buharlaşmasıyla çevrenin sıcaklığı düşer. Buharlaşma ısısına odaklanan Nikken Sekkei firması, yapı yüzeylerini soğutmak için bu ısıyı kullanan cihazlarla kaplama fikrine ulaşmıştır. Oluşturulan BIOSKIN sistemi NBF Osaki binasında kullanılmıştır (Şekil 65) (www.nikken.co.jp).

Mimarlar geleneksel kültürle biomimikri yaklaşımını bir araya getirmiştir. Buradaki ana sorun yaz döneminde yağmur sularını kullanarak binanın sıcaklığını azaltmaktır. Bunun için homeostazis örnek alınarak insan vücudundaki terleme gözlemlenmiştir ve sıcaklığın artışına karşı insan vücudundaki soğuma mekanizması örnek alınmıştır. Dış yüzeyde seramik borular kullanmışlardır. Sıcaklık yükseldiğinde binadaki sıcaklığın düşmesi için seramik borular su buharlaşmasını serbest bırakır (Chayaamor-Heil, 2023).



Şekil 65. the NBF Osaki binasının dış görünümü (Url 50)

3.3.1.2. Fraktal

Fraktal, bilim insanı ve matematikçi Benoît B. Mandelbrot'un 1975'te yazdığı Fractals: Form, Chance and Dimension isimli kitabında oluşturduğu geometrileri adlandırmak için kullandığı bir kavramdır. Fraktal kelimesi, Latince'deki "frangere" fiilinden gelmiştir. Frangere, kırmak anlamına gelir. Romalıların kullandığı frangere sıfatından türetilen fractus kelimesi, kırılmış taşların düzensizliğini anlamına gelir. İngilizce'deki fraktal kelimesi fractus sıfatından türetilmiştir.

Türkçe 'de fraktal kelimesi kırma, kırılma, parça, kesir ve düzensizlik anlamında kullanılır. Düzensizlik ve belirsizlik, fraktalleri oluşturan temel kavramlardır. Kesinlik ve katılık yoktur (Ediz & Çağdaş, 2006).

Matematikte fraktallar, devamlılığa sahip olmayan kaotik yapıdaki dinamik sistemlerin görselleştirilmesinde kullanılır. Fraktalların doğada bulunabilmesi durumu matematiksel olarak doğru değildir. Örneğin fraktallarda kendine benzeyen gelişim sonsuza kadar sürebilirken ağaçlar, belirli bir aralıkta kendine benzeyen bir gelişme gösterir,

Doğadaki fraktal yapılar oldukça karmaşık bir düzen oluşturur. Bu düzen öklidyen geometriyle açıklanamaz. Bilgisayar yazılımları kullanarak oluşturulan fraktallarda sadece matematiğe dayanan fraktal geometriler üretilebilir.

Binalar da doğadaki örnekler gibi matematiksel açıdan bakıldığında fraktal olmadıkları görülür. Çünkü sonsuz ölçekte kendine benzeme özelliğini gösteremezler (Bovill, 1996).

Dijital ortamın tasarım olanakları kullanılarak mimari tasarım sürecinde farklı yaklaşımlar geliştirilebilmektedir. Var olan bir mimari dokunun özellikleri, yeni bir tasarımın oluşturulmasında kullanılabilir. Fraktal değerlerin belirlenmesi yöntemi kullanılarak mimari dokuların özellikleri saptanabilir (Ediz & Çağdaş, 2006). Birbirinden farklı kültürlere ait yerel mimarilerde fraktallere rastlanabilir. Buna örnek olarak Güney Zambia'daki Ba-ila yerleşimi verilebilir. Bu yerleşim yerini köylüler nesilden nesile geliştirerek oluşturmuşlardır (Eglash, 1999).

Yessios, mimari tasarımda fraktalları ilk kullanan kişilerdendir (Lu, Croome, & Viljanen, 2012). Durmisevic ve Çiftçioğlu, fraktalları kent planlamasında ve mimari tasarımda kullanmışlardır (Durmisevic & Çiftçioğlu, 1988).

Günümüz mimarisindeki yapıların birçoğunda fraktal özellikler görülmektedir. Bu fraktallar bilgisayar ortamında algoritmalarla üretilebilir ve mimari formların oluşturulmasında kullanılabilir (Aldemir, 2014). Mimaride kullanılan fraktallere örnek olarak Mısır'daki Grand Egyptian Museum ve Avustralya'daki Storey Hall örnek olarak verilebilir (Alik & Ayyıldız, 2016).

Henegram Peng mimarlık tarafından tasarlanan 2003'te tamamlanan Kahire'deki Büyük Mısır Müzesinde fraktallar cephede gözükmektedir (Şekil 66) (Alik & Ayyıldız, 2016). Müze piramitler ile Kahire arasındaki ilk çöl platosunun kenarında yer almaktadır (https://www.hparc.com/work/the-grand-egyptian-museum).



Şekil 66. Büyük Mısır Müzesi cephesindeki fraktallar (Url 51)

Lab Mimarlık Stüdyosu tarafından 2002'de Avustralya, Melbourne'daki Federasyon Meydanı ve bitişik binalar tasarlanmıştır (Şekil 67). Panellerdeki fraktalların kendine benzemesi, cephelerde tutarlılığı ve farklılığı sağlamıştır (Alik & Ayyıldız, 2016).

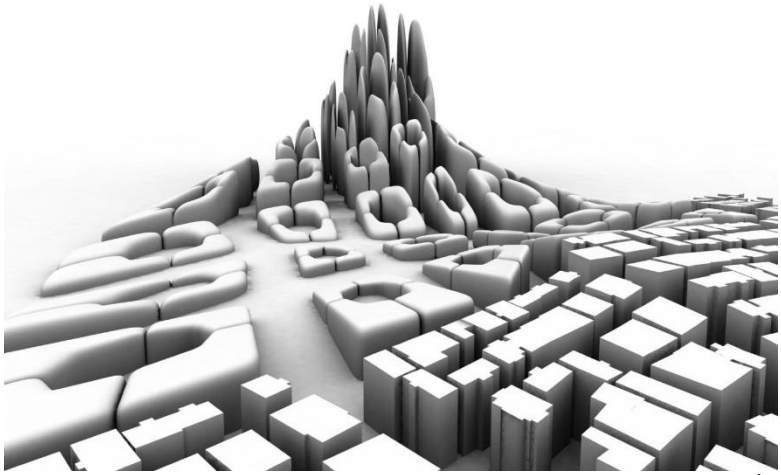


Şekil 67. Federasyon Meydanı ve bitişik binalar (Url 52)

3.3.2. Şehir Planlama

Parametrik yazılım sisteminde kurallar belirlendikten sonra parametrelerin değiştirilmesiyle farklı tasarım seçenekleri oluşturulabilir. Tasarımcı, birçok alternatifler elde eder ve bu süreçte özgün tasarımlar ortaya çıkarabilmektedir. Şehir planlamada katmanlar arasındaki koordinasyonu kolaylaştırarak, birden çok katmanın ele alınabilmesini sağlar. Zamanın daha verimli kullanılabilmesini de sağlar (Eltaweel & SU, 2017 ve Saleh, Al-Hagla, 2012). Olgu Çalışkan'ın 2017'deki makalesine göre parametrik tasarım zaman boyutunu dikkate almayan statik modellerin aksine dinamik bir model türü önerir. Böylece tasarım formunun zaman içinde değişen biçiminin ve davranışının gözlemlenebilmesine olanak sağlar.

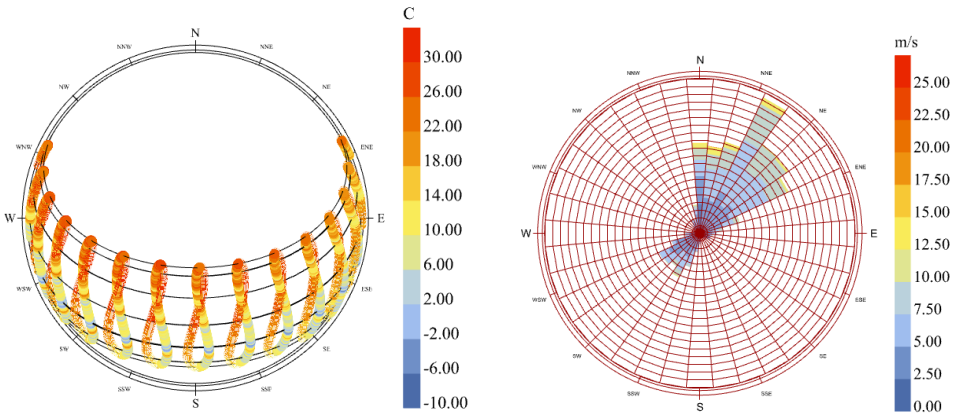
2006'da Zaha Hadid Mimarlık tarafından parametrik tasarım araçları kullanılarak tasarlanan Kartal – Pendik Masterplan, yarışma için tasarlanan bir projedir (Şekil 68). 55 hektarlık ve 6 milyon metrekarelik inşa edilebilen bir alana sahiptir. Projenin parametrik modelini oluştururken maya programında bulunan hair dynamic aracı kullanılmıştır. Bu kullanılan araç servis yolunu simüle eder. Bu sayede yol ağının dijital bir modeli oluşturulur. Program, yolları kaydederek uygun olanları diğer yollarla birleştirebilir ve daha büyük parseller oluşturabilir (Schumacher, 2009).



Şekil 68. Zaha Hadid Archiects, Kartal – Pendik Masterplan önerisi, İstanbul, 2006 (Url 53)

3.3.3. Çevresel Analizler

Parametrik yazılımların yardımıyla konuma göre radyasyon, yıllık güneş hareketi, rüzgâr hızı gibi analizler yapılabilir. Bu analizleri dikkate alarak tasarımda değişiklikler yapılabilir. Şekil 69'deki analizlerin yapılabilmesi için Rhino'nun Grasshopper eklentisi kurulmuştur. Grasshopper'ında Ladybug eklentisi kullanılarak ilk başta konum belirlendi. Daha sonradan da konuma göre güneşin hareket yönü ve rüzgâr hızı analizleri yapıldı.



Şekil 69. İstanbul konumuna göre güneşin hareket yönü ve rüzgâr hızı örneği

3.3.4. Strüktürel Çalışma

Parametrik tasarım yöntemiyle karmaşık bağlantıları manipüle edebilir ve farklı malzemeler kullanarak oluşturulması zor ilişkiler kurulabilir (Eltaweel & SU, 2017).

Parametrik Ahşap (Parametric Wood), 2007'de CITA tarafından yürütülen bir araştırma projesidir (Şekil 70). Tamamen dijital ortamda tasarlanan karmaşık bir geometriye sahip ahşap üretiminin potansiyelini araştıran bir çalışmadır. Parametrik bir model oluşturarak istenilen parametreler gerçekleşene kadar çeşitli varyasyonlar ürettiler. Parametreler tektonik, imalat, malzeme ve estetik kaygılara göre belirlendi (Tamke & Thomsen, 2008). Bunun dışında parametrik yöntem kullanarak tasarlanan strüktürel çalışmaya örnek olarak Mimar Jürgen Mayer'in tasarladığı oldukça büyük bir ahşap yapı olan Metropol Parasol verilebilir.



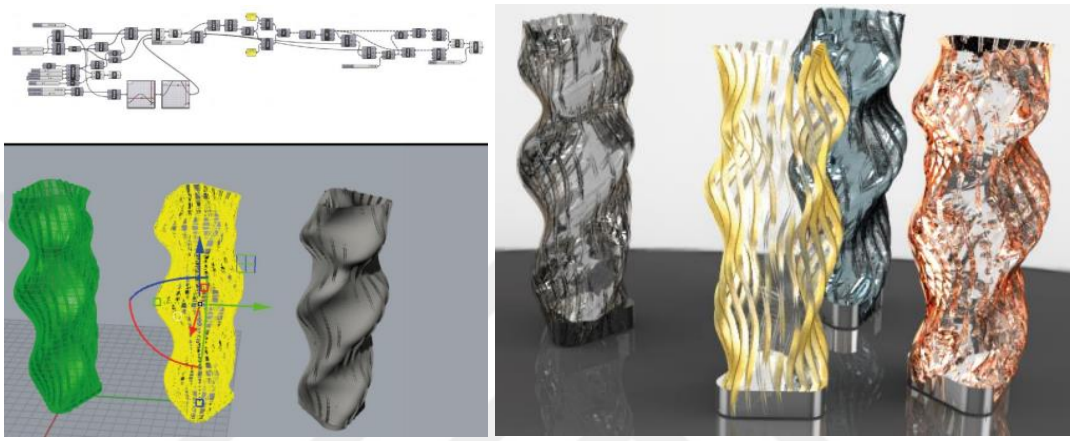
Şekil 70. CITA tarafından yürütülen projenin fiziksel modeli, Dijital Uygulama sergisi (Digital Practice exhibition) Kopenhag 2008 (Url 54)

3.3.5. Dekorasyon

Parametrik tasarım dekorasyon alanında da kullanılır. Dinamik desenler oluşturarak yaratıcı formlar meydana getirir. Parametrelerde değişiklikler yaparak basit bir elemandan sayısız modüler form seçenekleri oluşturulabilir (Eltaweel & SU, 2017).

Panagiotis Kyratsis, Athanasios Manavis, Panagiotis Gianniotis ve Daniel Ghiculescu 2019'da yayınladıkları makalede geleneksel bir metodoloji kullanmadan form üretebilmeyi amaçlamışlardır. Dekorasyon ürünü olarak vazo üzerinde

çalışmışlardır (Şekil 71). Vazonun formunu oluştururken parametrik yazılımlardan faydalanmışlardır. Malzeme olarak bambuyu tercih etmişlerdir. Bambunun yapısı dış duvar, iç duvar, duvar kalınlığı, düğüm ve iç boğumdan oluşur. Bunları tasarım parametreleri olarak düşünmüşlerdir. Bu sayede malzemenin yapısından faydalanarak parametrik yöntemle yeni formlar oluşturabilmişlerdir. Dekoratif kullanımlarda ürünün farklı varyasyonlarının üretilebilmesinde kolaylık sağlamıştır (Kyratsis, Manavis, Gianniotis, & Ghiculescu, 2019).



Şekil 71. Grasshopper yazılımındaki parametreler, rhino modeli ve final görüntüleri (Kyratsis, Manavis, Gianniotis, & Ghiculescu, 2019)

3.3.6. Moda

Parametrik modellemeyi sağlayan yazılımlar, moda tasarımında kullanılabilir. Birden fazla desen üreterek zamandan tasarruf sağlanabilir. Elbise, ceket, şapka gibi çeşitli ürünler modelleyerek moda koleksiyonunun geliştirilmesini sağlar (Jeong, Park, Lee, Kang, & Chun, 2021).

Jiwoon Jeong, Hyein Park, Yoojeong Lee, Jihye Kang and Jaehoon Chun'un 2021'de yayınladıkları çalışmada, Grasshopper gibi parametrik modelleme araçlarını kullanarak giyilebilir moda ürünleri geliştirmişlerdir (Şekil 72). Tasarım aşamasında parametrik özellikleri geliştirirken biryandan da giyilebilir giysiler üretmeye çalışmışlardır. İki elbise, bir ceket, bir kolye ve bir bileklik tasarladılar.



Şekil 72. Parametrik modelleme yöntemiyle desen oluşturma ve bu çalışmada üretilen giysi (Jeong, Park, Lee, Kang, & Chun, 2021)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MİMARLIKTA DÜNYADAN PARAMETRİK TASARIM ÖRNEKLERİ

Bu bölümde incelenen örnekler, dünyanın çeşitli bölgelerinde parametrik tasarımın kullanıldığı, uygulanmış mimari yapı örnekleridir. Dünyanın farklı kentlerinden farklı ölçeklere ve farklı işlevlere sahip çalışmalar seçilmiştir.

4.1. Waterloo İstasyonundaki Dış Hatlar Terminali

Proje Adı	**Waterloo İstasyonundaki Dış Hatlar Terminali**
Tasarımcı	**Nicholas Grimshaw**
Mühendis	**Sir Alexander Gibb & Partners**
Yazılım	**I_EMS ve Generative Components**
Malzemeler	**Cam**
Konum	**Londra, İngiltere**
Yıl	**1993**
İşlev	**Terminal**

Mimar Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan Waterloo İstasyonundaki Dış Hatlar Terminali, parametrik teknolojilerinin kullanıldığı ilk örneklerden biridir (Şekil 73). Bina, 400m uzunluğunda camla kaplı tren barakasından ve 50m'den 35m'ye kadar daralan bir açıklıktan oluşmaktadır.

Çatı strüktürü boyutu birbirinden farklı olan 36 tane kemerden oluşmaktadır. Çatının genişliği değiştiği için kemerlerin boyutu birbirinden farklılaşır. Her bir yayı ayrı ayrı hesaplamak yerine parametrik bir model oluşturdular. Karmaşık bina formlarının başarılı bir şekilde tasarlanabilmesi için parametrik modelleme oldukça kullanışlı bir yöntemdir (Kolarevic, 2003).



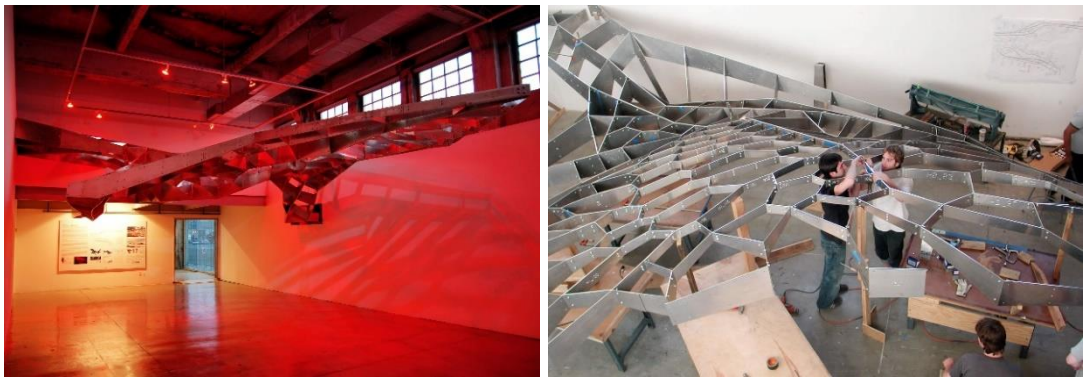
Şekil 73. Waterloo Dış Hatlar Terminali, 1993 (Url 55)

4.2. Dragonfly

Proje Adı	**Dragonfly**
Tasarımcı	**Tom Wiscombe**
Mühendis	**Buro Happold LA, Greg Otto/Matt Melnyk (Strüktürel)** **Luminesce Design (aydınlatma)**
Yazılım	**CATIA**
Malzemeler	**Alüminyum levhalar**
Konum	**Los Angeles, Amerika**
Yıl	**2007**
İşlev	**Sergileme / Hücresel Yapı Prototipi**

Bu yapılan çalışmada yusufçuk kanadı örnek alınarak sergileme mekânı tasarlanmıştır. Doğada sadece estetik değil biçimsel ve davranışsal özellikleriyle de biyomimetik tasarım yapılabilmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. İlk başta yusufçuk kanadının analizleri yapılmıştır. Estetik kanadındaki ince hücresel yüzeyler ve derin merdiven benzeri kirişler incelenmiştir. Daha sonradan da estetik anlar ve geçişler için çeşitli benzerlikler bulmuşlardır. Büyük bir yusufçuk kanadı yaratmaya çalışmak yerine modelin tasarımında benzerliklerden yararlanmışladır (Şekil 74) (Dunn, 2012).

Bu tasarım, yerçekimi, destek noktaları gibi parametrelere göre tasarlanmıştır. CATIA'nın kullanılması iki boyutlu katlanmamış bantların üç boyutlu geometriye parametrik olarak bağlanabilmesini sağlamıştır. Böylece model otomatik olarak güncellenebilmiştir (Dunn, 2012).



Şekil 74. Dragonfly, 2007 (Url 56)

4.3. The Golden Terraces / Złote Tarasy

Proje Adı	**The Golden Terraces / Złote Tarasy**
Tasarımcı	**The Jerde Partnership**
Mühendis	**Arup**
Yazılım	**AutoCAD, parametrical software, Arup software**
Malzemeler	**Cam ve çelik çatı**
Konum	**Warsaw, Polonya**
Yıl	**2007**
İşlev	**Ofis, kamusal alan**

Polonya'da bir kanopi olan Golden Terraces, 2007 yılında The Jerde Partnership ve Arup tarafından yapılmıştır (Şekil 75). Dalgalı bir yüzeye sahip olan bu cam çatı, şehrin birçok parkında görülen ağaçlardan esinlenerek tasarlanmıştır.

İlk başta Jerde Partnership autocad kullanarak geometriyi oluşturmuştur. Daha sonra Arup mühendisleri bu oluşturulan geometride değişiklikler yapmışlardır. Bu manipülasyonu yapabilmek için de parametrik yazılımları kullanmışlardır (Januszkiewicz & Kowalski, 2017). Oldukça geniş bir alanı kaplayan cam kanopi, açık havadaymış hissi uyandırır ve dış mekân ile iç mekân arasındaki sınırlar ortadan kalkar. Ayrıca 10.500m²'lik cam çatı sayesinde Golden Terraces'in merkezi Varşova'nın kötü hava koşullarından korunmaktadır. Hem kış için hem de yaz için iç hava sıcaklık çalışmaları yapılmıştır. Dış çevre ve kanopinin kapladığı alan arasındaki etkileşimi düşünerek inşa edilmiştir (Zlote Tarasy).



Şekil 75. The Golden Terraces / Złote Tarasy, 2007 (Url 57)

4.4. Genetic Merdiven

Proje Adı	**Genetic Merdiven**
Tasarımcı	**Caliper Studio**
Mühendis	
Yazılım	**Rhinoceros 3D (Custom software was created)**
Malzemeler	**Çelik içi boş borular**
Konum	**New York, Amerika**
Yıl	**2009**
İşlev	**Merdiven**

Genetic Merdiven NewYork'un Yukarı Batı Yakası'ndaki bir sanat galerisi için tasarlanmıştır (Şekil 76). Sadece alttan ve üstte desteklenen ve aynı zamanda 4,6 m yüksekliğinde üç kez dönecek şekilde ince bir merdiven tasarlamışlardır. İlk başta tasarım detaylarına karar vermişlerdir. Parametrik modelin geometrik kısıtlamaları da bu doğrultuda oluşturulmuştur. Çelik içi boş borular için özel bir yazılım oluşturarak uygulanabilecek düzenlemelere karar verilmiştir. Oluşturulan bu yazılım, Rhinoceros programına entegre edilmiştir. Sayısal analiz yöntemi olan Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) sisteminde test edilmiştir. Özelleştirilmiş yazılım, FEA sonuçlarını genetik bir algoritma içinde kullanmıştır. Böylece güçlü olan elemanların oluşturulması zayıf olanların ise çıkarılabilmesi sağlanmıştır (Jabi, 2013).



Şekil 76. Genetic Merdiven, 2009 (Url 58)

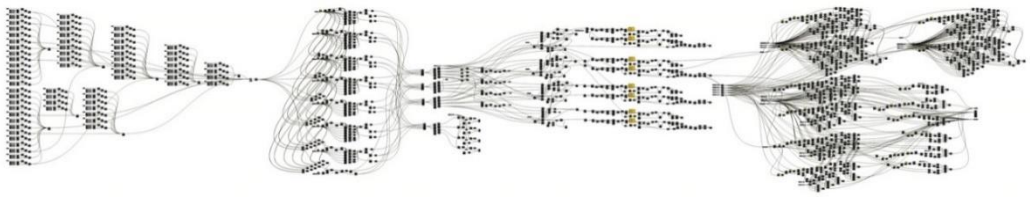
4.5. Flux Exhibition Flux Installation

Proje Adı	**Flux Exhibition Flux Installation**
Tasarımcı	**CCA Architecture/MEDIAlab**
Kurulum Tasarım Konsepti	**Kory Bieg (OTA+), Andre Caradec (S/U/M), Andrew Kudless (Matsys), Andrew Payne ve Ila Berman**
Parametrik Tasarım Danışmanı	**Andrew Payne**
Yazılım	**Grasshopper**
Malzemeler	**Dikey MDF (orta yoğunluklu fiber-pano) nervürlü ve yatay HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) paneller**
Konum	**San Francisco, Amerika**
Yıl	**2009**
İşlev	**Sergi armatürü**

FLUX: Architecture in a Parametric Landscape, 2009 yılında California College of the Arts Media Lab tarafından düzenlenen bir sergidir. Sergide sekiz kategoriden oluşan elliden fazla projeye yer verilmiştir. Projeleri sergilemek için kullanılan sergi armatürü, CCA öğretim üyeleri, danışmanlar ve öğrencilerden meydana gelen bir ekip tarafından tasarlanmıştır (Şekil 78). Dalgalı bir yapıya sahip olan sergi armatür, parametrik modelleme yöntemiyle geliştirilmiştir. Ekip, sergi armatürünün üretimi yoluyla parametrik modelleme ve dijital fabrikasyon olanaklarını araştırır (www.liftarchitects.com/flux).

Dikey MDF nervürleri ve yatay HDPE panelleri oluşturmak için Grasshopper yazılımı kullanılmıştır (Şekil 77). Her eleman birbirinden farklıdır ve ayırt edilebilmesi için numaralandırılmıştır. Böylece 3 saatten daha kısa bir sürede monte edebilmişlerdir (www.liftarchitects.com/flux).

Parametrik modelleme yöntemi sayesinde kurulum tasarımı, yeni tasarım kriterlerine uyum sağlayarak kısa sürede güncellenebilmiştir. Armatürün üretimi, bir dizi kısıtlamalar tarafından kontrol edilmiştir. Parametrik yöntem, ekibin anında güncellemeleri yapabilmesini sağlamıştır ve üretim sürecini de hızlandırmıştır (www.liftarchitects.com/flux).



Şekil 77. Flux installation'ın Grasshopper yazılımdaki gösterimi (Grasshopper version 0.5.0.99)



Şekil 78. Flux Installation, 2009 (Url 59)

4.6. Aviva Stadyumu

Proje Adı	**Aviva Stadyumu**
Tasarımcı	**Populous Mimarlık**
Mühendis	**Buro Happold, ME Engineers**
Yazılım	**Generative Components, Rhinoceros, Microsoft Excel**
Malzemeler	**Polikarbonat levha**
Konum	**Dublin, İrlanda**
Yıl	**2010**
İşlev	**Stadyum**

Aviva Stadyumu (Şekil 79), 50.000 kişilik seyirciyi ve İrlanda Uluslararası Rugby ve İrlanda Futbol takımlarının iç saha maçlarını yapabilmesine olanak sağlayacak bir tesis olarak yapılması amaçlanmıştır. Organik, yarı saydam bir form olarak tasarlanmıştır (Dunn, 2012).

İlk olarak Rhinoceros programı kullanarak 3 boyutlu modellemeler yapmışlardır. Bu sayede kısa sürede formun geometrisiyle ilgili kararları verebilmişlerdir. Daha sonradan Rhinoceros'da oluşturdukları modeli, Generative Components programında tekrardan modellemişlerdir. Bu program kullanılarak değişkenler ve kurallar belirlenmiştir. Böylece model üzerinde kontrol sağlanabilmiştir (Shepherd, Hudson, & Hines, 2011).

Parametrik tasarım süreci bu projenin inşa edilebilmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Mimar ve mühendis arasındaki iş birliğinin sorunsuzca sağlanmasında, hataların önlenmesinde ve zamandan tasarruf edilmesinde rol oynamıştır (Dunn, 2012).



Şekil 79. Aviva Stadyumu, 2010 (Url 60)

4.7. nonLin/Lin Pavilion

Proje Adı	**nonLin/Lin Pavilion**
Tasarımcı	**Marc Fornes/THEVERYMANY**
Mühendis	
Yazılım	**Rhino3D, RhinoPython, Rhinocommon, RhinoNest, VRay (for Rhino)**
Malzemeler	**Alüminyum**
Konum	**Orleans, Fransa**
Yıl	**2010**
İşlev	**Pavilion**

Oldukça üretken bir tasarımcı olan Marc Fornes, kamusal sanatın büyük ölçekli heykelsi parçalarıyla ilgili çalışmaları vardır. Bununla birlikte, mercan benzeri ve çiçek kreasyonları onun resmi kelime dağarcığını belirlemeye başlamıştır. Ayrıca yüzey konusuyla ilgili de incelemeler yapar. Yüzeyi sadece bir düzlem olarak değil, işlevsel potansiyelleri ve yapısal nitelikleri olan bir kurucu unsur, estetik ve mekânsal olanaklara sahip bir malzeme olarak düşünür (Jabi, 2013).

Fornes, Fransa'daki FRAC Centre'da dijital teknoloji kullanarak nonLin/Lin Pavilion'u tasarlamıştır (Şekil 80). Fransa'da FRAC Centre'ın kalıcı koleksiyonu olan pavilyon, 2018 yılında Belçika'da sergilenmiştir. Parametrik algoritma uygulanarak pavyonun organik bir forma ulaşması sağlanmıştır (Jabi, 2013). Bu pavilion, üzerine oturulabilecek ya da tırmanılabilecek dayanıklıkta tasarlanmıştır. Bu projede dönüşüm üzerine yoğunlaşılmıştır. Yapıdaki bileşenler ayrılır ve daha

büyük bir açıklıkta yeniden birleşir. 570 bileşenden oluşur. Yapıyı söküp farklı yerlerde yeniden monte edebiliyorlar.



Şekil 80. nonLin/Lin Pavilion, 2010 (Url 61 ve Url 62)

4.8. Metropol Parasol

Proje Adı	**Metropol Parasol**
Tasarımcı	**Jürgen Mayer**
Mühendis	**Arup**
Yazılım	**Karma**
Malzemeler	**Ahşap**
Konum	**Seville, İspanya**
Yıl	**2011**
İşlev	**Kanopi**

Jürgen Mayer tarafından tasarlanan Metropol Parasol, parametrik yöntemle tasarlanan en büyük ahşap yapıdır (Şekil 81). Bu yapı 150 x 70 m boyutlarında ve yaklaşık 26 m yüksekliğindedir. Plaza de Cristo de Burgos'taki ficus ağaçlarından ve Sevilla Katedrali'nin tonozlarından ilham alınarak tasarlanmıştır (Januszkiewicz & Kowalski, 2017). Yapının geometrisinde serbest bir form kullanılmıştır. Dev mantar şeklinde 6 elemandan meydana gelir. Yapımında kullanılan lamine ahşap plakalar (LVL), 1,5x1,5 metrelik ortogonal bir desende dikey olarak kesilerek üretilmiştir (Januszkiewicz & Kowalski, 2017; Koppitz, Quinn, Schmid, & Thurik, 2012).

Metropol Parasol toplamda dört seviyeden oluşmaktadır. Yeraltı seviyesinde bir yeraltı müzesi amaçlanmıştır. 1. katta pazar stantları vardır. Bu katın çatısı ahşap şemsiyelerle gölgelenir ve halka açık alan olarak kullanılır. 2. ve 3. katlar ise restoranların bulunduğu panoramik teras olarak kullanılır (Januszkiewicz & Kowalski, 2017; Koppitz, Quinn, Schmid, & Thurik, 2012).



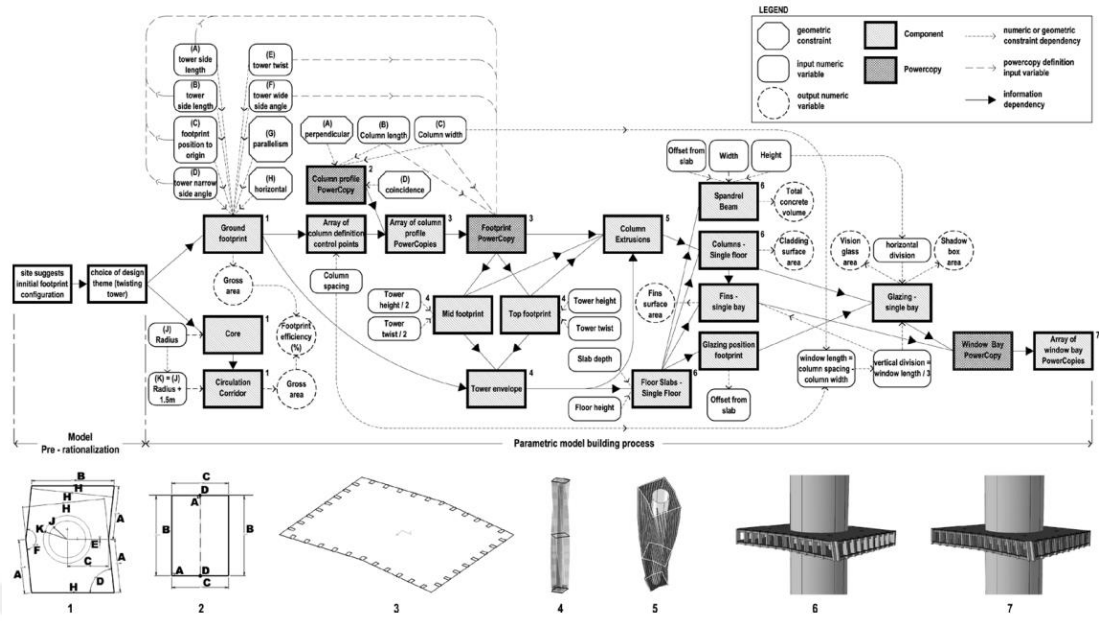
Şekil 81. Metropol Parasol, 2011 (Url 63)

4.9. Cayan (Infinity) Kulesi

Proje Adı	**Cayan (Infinity) Kulesi**
Tasarımcı	**SOM**
Mühendis	**SOM**
Yazılım	**CATIA**
Malzemeler	**Betonarme**
Konum	**Dubai / Birleşik Arap Emirlikleri**
Yıl	**2005-2013**
İşlev	**Konut**

2005-2013 yılları arasında Dubai Marina'da inşa edilen Cayan kulesi SOM mimarlık tarafından tasarlanmıştır (Şekil 83). Bu yapı, 306 metre yüksekliğindedir. Bina yer üstünde 73, yer altında ise 5 kattan oluşan bir konut yapısıdır. Spiral bir forma sahiptir ve her kat saat yönünde 1,2 derecelik bir açıyla bükülür (Szolomicka & Szolomicki, 2019).

Tasarım süreci şehir kodları, alan analizi ve program gereksinimleri dikkate alınarak başlamıştır. Tasarım sürecinde oluşturdukları kısıtlamalar, kıvrımlı bir kule tasarımına yönelmelerine neden olmuştur. Böylece okyanus ve şehir manzarasından en iyi şekilde faydalanılabilmiştir. Tasarımdaki kısıtlamalar belirlendikten sonra CATIA kullanılarak parametrik bir model oluşturulmuştur. CATIA programını kullanmaları, geometriyi keşfedebilmelerini ve alternatif tasarımlar oluşturabilmelerini sağlamıştır. Modeli tasarlarken ilk başta çekirdek belirlenmiş, bükülme parametrelerine göre kolonlar yerleştirilmiştir. Daha sonra pencere duvarı ve mimari kanatlar düzenlenmiştir (Şekil 82) (Gane & Haymaker, 2007).



Şekil 82. Cayan (Infinity) Kulesinin parametrik model diyagramı (Gane & Haymaker, 2007)



Şekil 83. Cayan (Infinity) Kulesi, 2013 (Url 64)

4.10. Whiteout

Proje Adı	**Whiteout**
Tasarımcı	**Open Source Architecture / Chandler Ahrens, Aaron Sprecher, Eran Neuman**
Kurulum Ekibi	**Dennis Freiberg, Joelle Ahrens, Tyler Bracht, Shelby Harris, Jared Monce**
Yazılım	**Rhinoceros, Grasshopper, Kangaroo**
Malzemeler	**Beyaz spandeks kumaş, çelik boru, ahşap elemanlar ve alüminyum konektörler**
Konum	**Indianapolis, Amerika**
Yıl	**2013-2014**
İşlev	**Strüktürel çalışma**

Whiteout, Open Source Architecture tarafından tam ölçekli bir prototip olarak tasarlanmış ve üretilmiştir (Şekil 84). Üretiminde beyaz spandeks kumaş, çelik borular, ahşap elemanlar ve alüminyum konnektörler kullanılmıştır

Whiteout gerilebilir kumaş kaplama sistemlerinin topolojik gelişimini inceleyen bir araştırma projesidir. Bunun için de parametrik tasarım yöntemi kullanılmıştır. Parametrik tasarımda kullanılan dijital araçlar hem fiziksel üretimde hem de tahmini analizlerde doğruluk oranını arttırmıştır.



Şekil 84. Whiteout, 2014 (Url 65)

4.11. Hangzhou Olimpik Spor Merkezi

Proje Adı	**Hangzhou Olimpik Spor Merkezi**
Tasarımcı	**NBBJ**
Mühendis	**Buro Happold**
Yazılım	**Rhinoceros, Grasshopper, Kangaroo**
Malzemeler	**Steel trusses**
Konum	**Hangzhou, China**
Yıl	**2019**
İşlev	**Spor merkezi**

Hangzhou Olimpik Spor Merkezi, 2019 yılında NBBJ tarafından tasarlanmıştır (Şekil 85). 10.000 kişilik tenis stadyumu ve 80.000 kişilik olimpik stadyumundan oluşmaktadır. İki yapıda benzer geometrilere sahip ortak bir mimari dile sahiptir.

İki stadyumun tasarımı için Rhinoceros 3D ve Grasshopper eklentisi kullanılmıştır. Grasshopper kullanılarak parametrik algoritma geliştirilmiştir. Geometrik form algoritmaya göre oluşturulmuştur. Stadyumlardaki geometrik form parametrik olarak tanımlanmıştır. Karmaşık bir geometriye sahip dış cephe, parametrik tasarım yöntemiyle tasarlanmıştır. Tasarımdaki herhangi bir değişiklikte sistem otomatik olarak yenilenmiş ve farklı varyasyonlar oluşturulabilmiştir. Karmaşık yapıların anlaşılabilmesi ve strüktürel analizlerin yapılabilmesi için simülasyon programlarıyla beraber çalışılmıştır. Detaylı analizler için de özel komut dosyaları oluşturulmuştur (Miller, 2011).

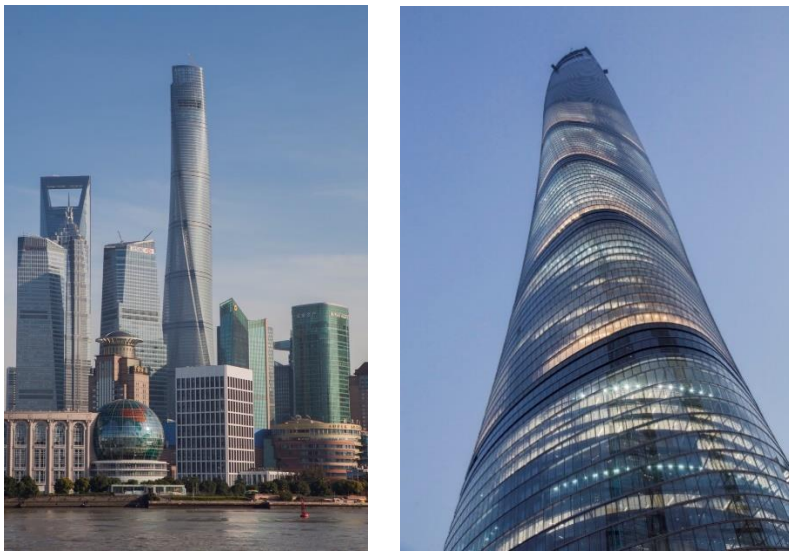


Şekil 85. Hangzhou Olimpik Spor Merkezi (Url 66 ve Url 67)

4.12. Shanghai Kulesi

Proje Adı	**Shanghai Kulesi**
Tasarımcı	**Gensler architects**
Mühendis	**Thornton Tomasetti, Cosentini, Rowan Williams Davies & Irwin (RWDI)**
Yazılım	**Revit, Generative Components, Rhino, Grasshopper**
Malzemeler	**Cam, çelik**
Konum	**Shanghai, Çin**
Yıl	**2014**
İşlev	**Ofis**

Şanghai kulesi 124 katlı 632 metre uzunluğunda bir binadır (Şekil 86). Kule yaklaşık 120 derece dönecek şekilde tasarlanmıştır. Binaya etki eden basınç yüklerini doğruya yakın bir şekilde tahmin edebilmek için rüzgâr tüneli verilerini yerel rüzgâr ikliminin istatistiksel bir modeliyle birleştirmişlerdir. Gensler tasarım ekibi, önerilen geometrinin geliştirilmesiyle binaya etki eden rüzgâr yükünde önemli bir azalma olabileceğini düşünmüşlerdir. Parametrelerde değişiklikler yaparak farklı varyasyonlar oluşturabilmişlerdir. Bu yüklerin azaltılabilmesi için hem 90°, 120°, 150°, 180° ve 210°'de döndürerek hem de 25%, 40%, 55%, 70% ve 85% ölçeklendirerek denemeler yapmışlardır (Şekil 87). Yaptıkları analizlerdeki sonuçlara göre 120 derece rotasyon ve yaklaşık 55% ölçeklendirme yapıldığında rüzgâr yükü 24% azalmıştır (Zeljic, 2010).



Şekil 86. Shanghai Tower, 2014 (Url 68)

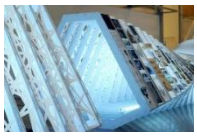


Şekil 87. Ölçeklendirme ve rotasyon modelleri

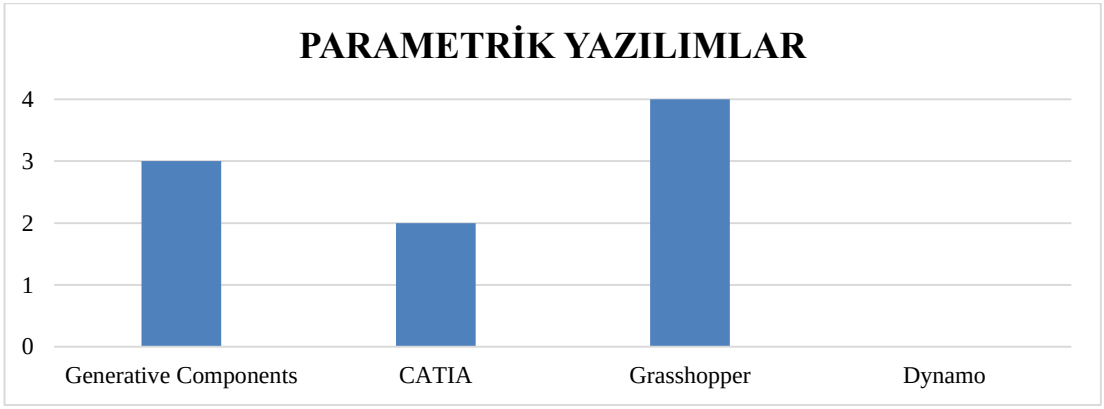
Bu çalışmada mimarlıkta dünyadan parametrik tasarım örneklerinden incelenenlerin karşılaştırılması Tablo 14'te gösterilmiştir. Mimarlığın temel işlevlerinden her birini temsil eden bir adet yapı bu tablo için seçilmiştir. Ofis, stadyum, pavyon, kanopi gibi çeşitlilik göstermektedir. Böylece her bir işlevde çalışma prensibini analiz etmek mümkün olmuştur. Farklı varyasyonlar oluşturmak, modelin otomatik olarak güncellenebilmesi, yapı strüktürünü ve cephe formunu oluşturmak için parametrik tasarım kullanmıştır. Şekil 88'te incelenen örneklerde

kullanılan yazılımların grafiği gösterilmiştir. Buna göre incelenen örneklerde en çok kullanılan yazılımın Grasshopper olduğu söylenebilir.

Tablo 14. Tezde incelenen örneklerin karşılaştırılması

GÖRSEL	PROJE ADI VE YILI	İŞLEV	YAZILIM	PARAMETRİK MODELLEMENİN KULLANIMI
	Waterloo İstasyonundaki Dış Hatlar Terminali, 1993	Terminal	I_EMS ve Generative Components	• Her bir kemerin boyutunu ayrı ayrı hesaplamak yerine genel bir parametrik model oluşturuldu • Bina formunun modellenebilmesinde
	Dragonfly, 2007	Sergileme / Hücresel Yapı Prototipi	CATIA	• Kavramsal modelin otomatik olarak güncellenebilmesi • Yapının strüktürünü oluşturmak için
	The Golden Terraces / Złote Tarasy, 2007	Ofis, çarşı, kamusal alan	AutoCAD, parametrical software, Arup software	• Yapı strüktürünü oluşturabilmesi • Modelin otomatik olarak güncellenebilmesi
	Genetic Merdiven, 2009	Merdiven	Rhinoceros 3D (Custom software was created)	• Üzerinde çalışılan tasarım detayları ve bunların sınırlayıcı faktörleri, merdivenin genel parametrik modeli için itici geometrik kısıtlamalar haline geldi.
	Flux Exhibition Flux Installation, 2009	Sergileme elemanı	Grasshopper	• Modelin otomatik olarak güncellenebilmesi
	Aviva Stadyumu, 2010	Stadyum	Generative Components, Rhinoceros, Microsoft Excel	• Mimar ve mühendis arasındaki iş birliğinin sağlanmasında • Hataların önlenmesinde • Zamandan tasarruf edilmesini • Formun geometrisini oluşturmada
	nonLin/Lin Pavilion, 2010	Pavyon	Rhino3D, RhinoPython, Rhinocommon, RhinoNest, VRay (Rhino için)	• Organik bir form oluşturma

	Metropol Parasol, 2011	Kanopi		
	Cayan (Infinity) Kulesi, 2013	Konut	CATIA	• Formuna karar vermede • Okyanus ve şehir manzarasından en iyi şekilde faydalanabilmesini
	Whiteout, 2014	Strüktürel çalışma	Rhinoceros, Grasshopper, Kangaroo	• Fiziksel üretimde doğruluk oranını artırması • Tahmini analizlerde doğruluk oranını arttırması
	Hangzhou Olimpik Spor Merkezi, 2019	Spor Merkezi	Rhinoceros, Grasshopper, Kangaroo	• Cephenin formunu oluşturmada
	Shanghai Kulesi, 2014	Ofis	Revit, Generative Components, Rhino, Grasshopper	• Farklı varyasyonlar oluşturma • Rüzgâr yükünde önemli bir azalma



Şekil 88. İncelenen örneklerde kullanılan parametrik yazılımlar

BEŞİNCİ BÖLÜM

ANALİZ ÇALIŞMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde İstanbul Gelişim K blok kule ve Gelişim üniversitesinin eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi D blok binası seçildi. İkisi de konum olarak İstanbul'dadır ve Gelişim kule 28 katlı bir binayken eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi D blok binası 3 katlıdır. Kulenin çevresinde herhangi bir bina bulunmazken eski MMF binasının çevresinde binalar vardır. İkisi de her ne kadar konum olarak İstanbul'da bulunsa da hem kat sayılarının farklı olması hem de çevresindeki binalardan dolayı karşılaştırmaların yapılabilmesi için bu binalar seçilmiştir. Modellemeleri ve analizleri yaparken Rhinoceros, Grasshopper, lunchbox, Ladybug ve Honeybee kullanılacaktır. İlk olarak iklim ve çevre koşulları incelenecektir. Grasshopper ve Honeybee eklentisi kullanılarak binaların günışığı analizleri yapılacaktır.

Parametrik cepheleri yapabilmek için parametrik temelli bir yazılım olan Grasshopper kullanılacaktır. İlk olarak modül çalışmaları yapılacaktır. Daha sonra cephe denemeleri yapılacaktır. Seçilen parametrik cephe, binalara göre modellenecektir. Optimum günışığı kriterleri göz önüne alınarak tekrardan binaların günışığı analizleri yapılacaktır.

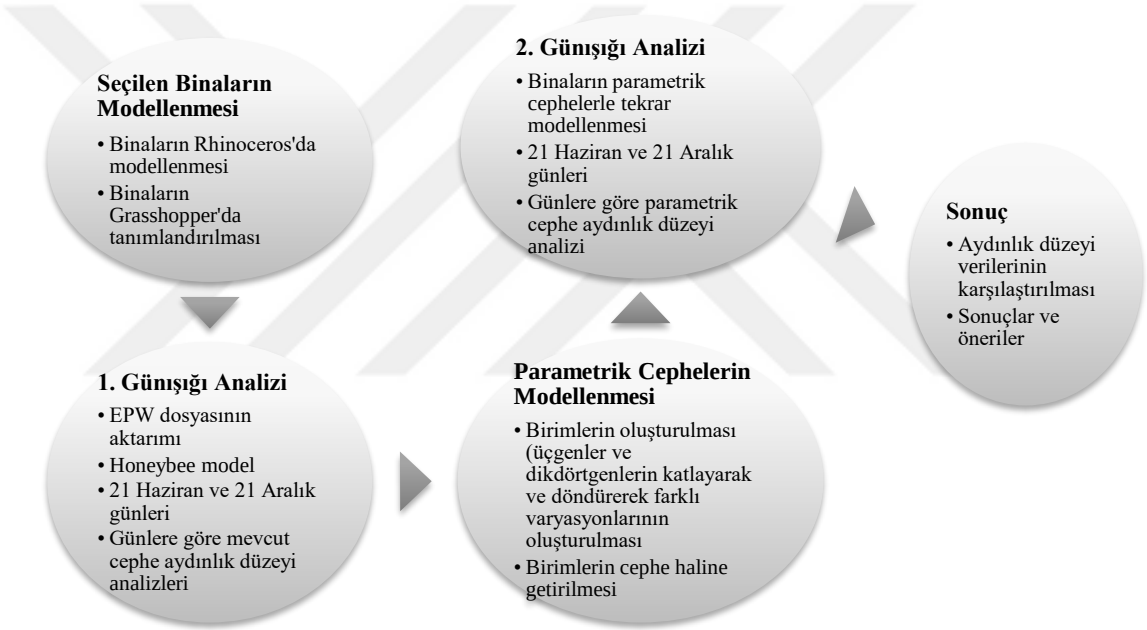
5.1. Çalışmanın Yöntemi

Günışığının doğru bir şekilde ele alınması, yapay aydınlatmanın kullanımını azaltarak enerjiden tasarruf edilebilmesini sağlar. Bunun yanı sıra kullanıcılar için görsel konforun sağlanmasında önemli bir rol oynayarak psikolojik ve fizyolojik sağlığı, kullanıcıların çalışma performansını etkiler.

Analizler için Gelişim kule ve Gelişim Üniversitesi eski MMF binası seçilmiştir. 28 katlı kulenin etrafında herhangi bir bina bulunmazken 3 katlı eski MMF binasının çevresinde binalar vardır. Kulenin çevresinde, iç mekanların günışığını almasını engelleyen herhangi bir bina bulunmazken eski MMF binasının çevresinde, iç mekanların günışığını almasını engelleyebilecek binalarla çevrilidir. Bu farklı çevrelere sahip binaların aydınlık düzeyi analizleri yapılacaktır.

Aydınlık düzeyi analizlerinde optimum değer olarak 500 lux kabul edilmiştir. İlk olarak Gelişim kule ve eski MMF binasının mevcut cephe aydınlık düzeyi analizleri yapılacaktır. Daha sonra mevcut cephe yerine parametrik cephe denemeleri yerleştirerek tekrar aydınlık düzeyi analizleri yapılacaktır. Bu analizler optimum değere göre birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

Bu çalışmada parametrik yazılım olarak Rhinoceros'un eklentisi olan Grasshopper kullanılacaktır. Grasshopper diğer parametrik yazılımlara kıyasla daha hızlı ve doğru sonuçlar sağlayabilir. Ayrıca Energyplus, Radiance ve Dayism ile simülasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Bu nedenlerden dolayı Grasshopper yazılımı kullanılarak parametrik cephe modellenmesi ve günışığı analizleri yapılacaktır.



Şekil 89. Analiz çalışmasının yöntemi

Analiz çalışmasında yapıların bulunduğu iklim ve çevre koşullarından bahsedilmiştir. Gelişim kule ve eski MMF binasının Rhinoceros programında modellemesi yapılmıştır. Modellemeler, Grasshopper yazılımında tanımlandırılmıştır. EPW dosyasından hava verileri aktarılarak aydınlık düzeyi analizleri yapılmıştır. Bu analizlerden sonra parametrik cephe modellemeleri yapılmıştır. Binalar, parametrik cephe modellemeleri kullanarak tekrar modellenmiştir. Bu sefer binaların parametrik cephe modelleriyle aydınlık düzeyi analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin optimum aydınlık düzeyine göre

karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 89). Aydınlık düzeyi analiz çalışmasında 21 Haziran ve 21 Aralık günleri seçilmiştir. Güneşli ve bulutlu gök koşullarına göre analiz yapılmıştır.

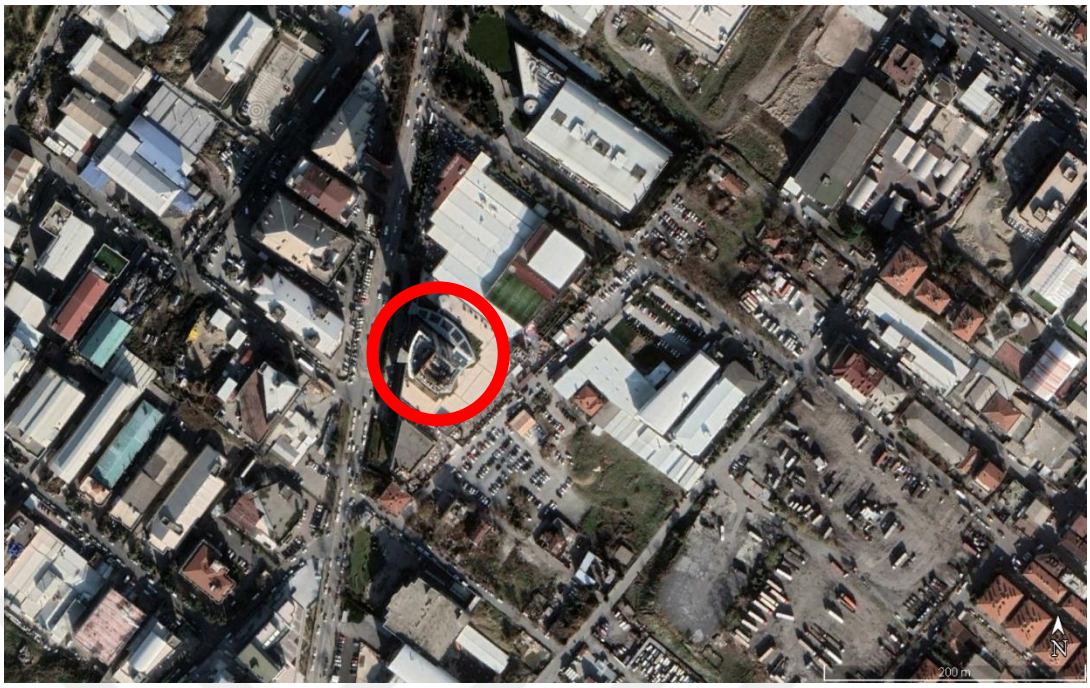
5.2. Yapıların Bulunduğu İklim ve Çevre Koşulları

Türkiye'nin kuzeybatısında konumlanan ve Marmara Bölgesi'nde yer alan İstanbul, ülkenin en kalabalık şehridir. Kıtalararası bir şehirdir. 41°K 29°D koordinatlarında yer alır.

Ilımlı nemli bir iklime sahiptir. Yaz aylarında ortalama sıcaklık 18°C ile 28°C civarındayken kış aylarında 2°C ile 9°C civarındadır. Temmuz ve ağustos ayları en sıcak aylardır ve ortalama sıcaklığı 23°C'dir. Ocak ve şubat ayları ise en soğuk aylardır ve ortalama sıcaklığı 5°C'dir. Yıllık ortalama sıcaklığı 13,7°C'dir. Toplam yıllık yağış yaklaşık 843,9 mm'dir. Yağışların %38'i kış, %31'i sonbahar, %18'i ilkbahar ve %13'ü yaz mevsimindedir (https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0stanbul#%C4%B0klim).

5.3. Yapıların Bulunduğu Konum ve Günışığı Analizleri

Gelişim Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin bulunduğu kule, 40.993 enleminde ve 28.699 boylamında bulunmaktadır (Şekil 90). Eskiden Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi olarak kullanılan bina ise 40.995 enleminde ve 28.696 boylamında bulunmaktadır (Şekil 91).

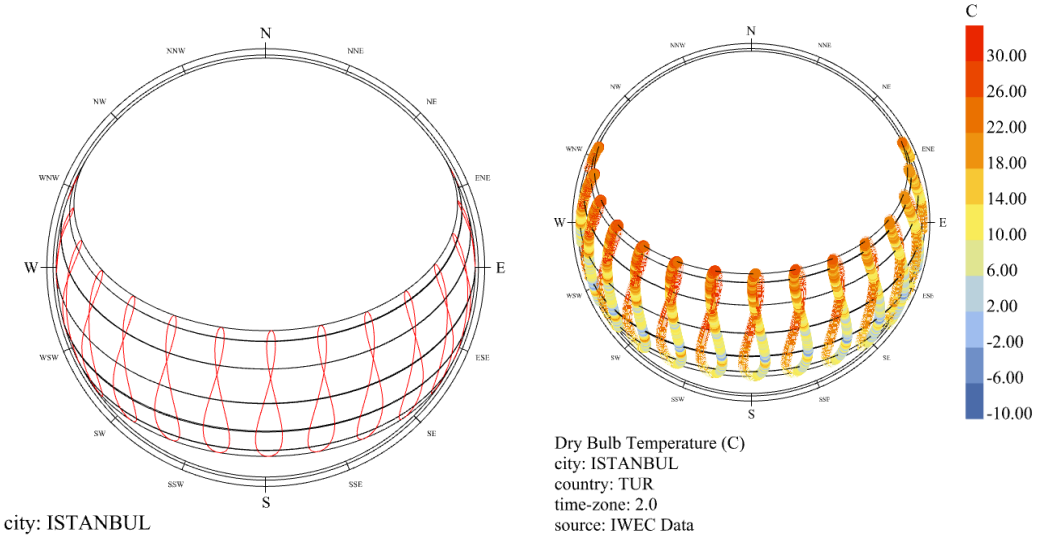


Şekil 90. İstanbul Gelişim Üniversitesi Kule, K blok



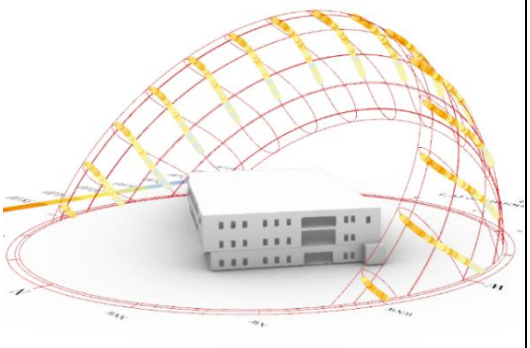
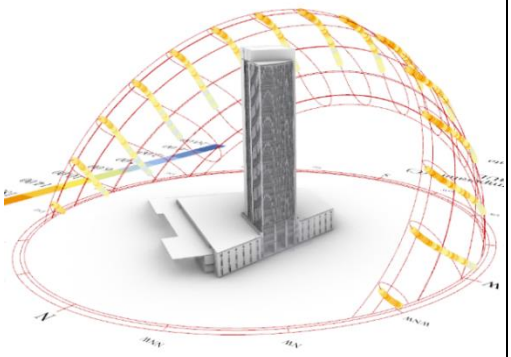
Şekil 91. Eski Gelişim Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Binası, D blok

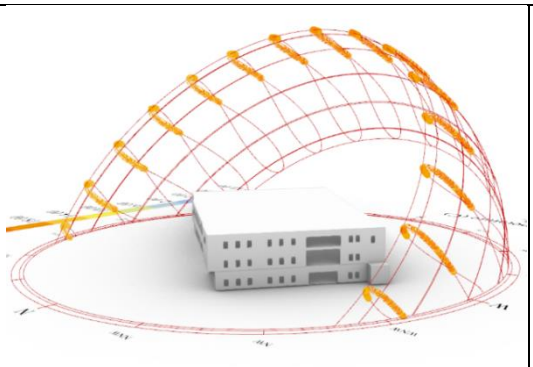
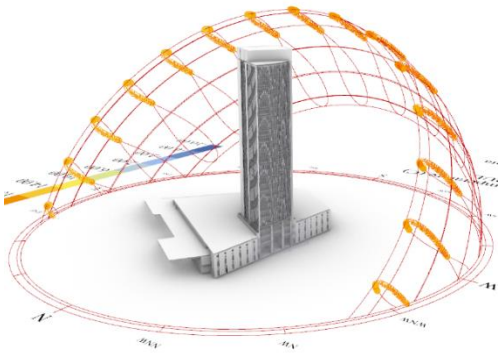
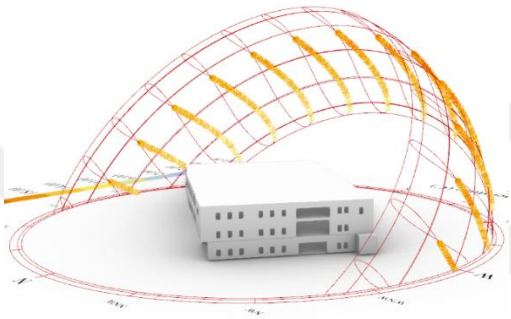
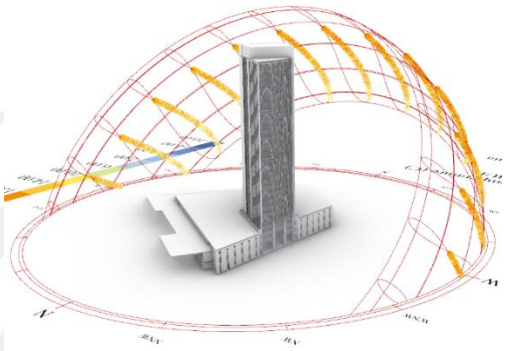
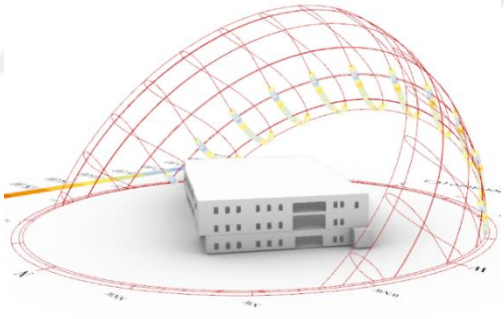
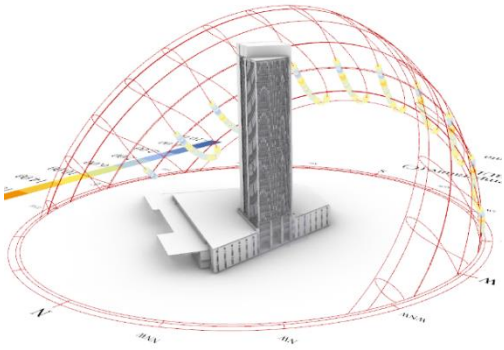
Güneş yörüngesi diyagramındaki yaylar ayı gösterir. Haziran en üst yayken aralık en alttaki yaydır. Mart ve eylül ortadadır. Mevsimlere göre güneşin konumu ve sıcaklığı gösterilmiştir (Şekil 92 ve Tablo 15). Bu diyagramları oluşturmak için Ladybug eklentisi kullanıldı ve EnergyPlus Weather Data (EPW) dosyasını kullanarak Ladybug eklentisine iklimsel veriler aktarılabilmiştir.



Şekil 92. Ladybug eklentisi kullanılarak oluşturulan güneş yörüngesi diyagramı

Tablo 15. Mevsimlere göre güneş yörüngesi diyagramı analizleri

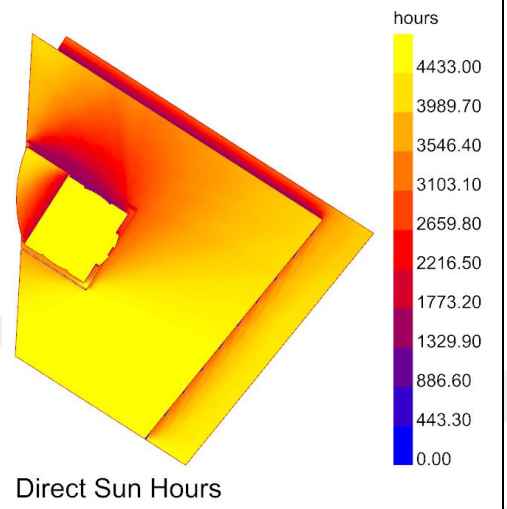
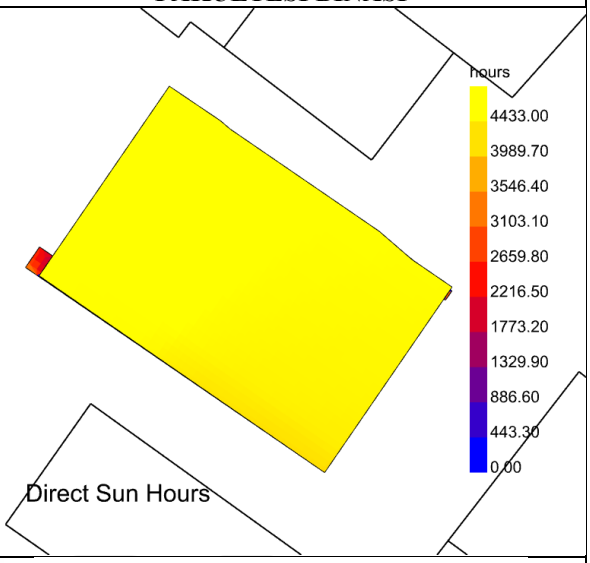
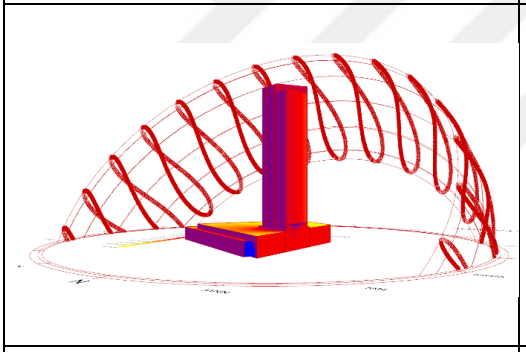
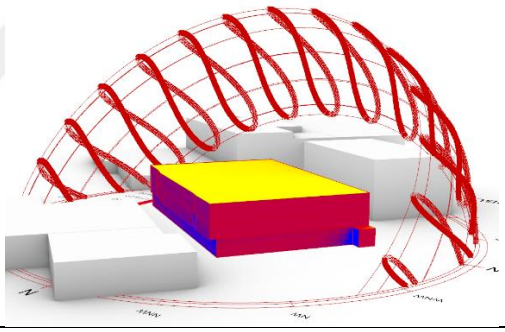
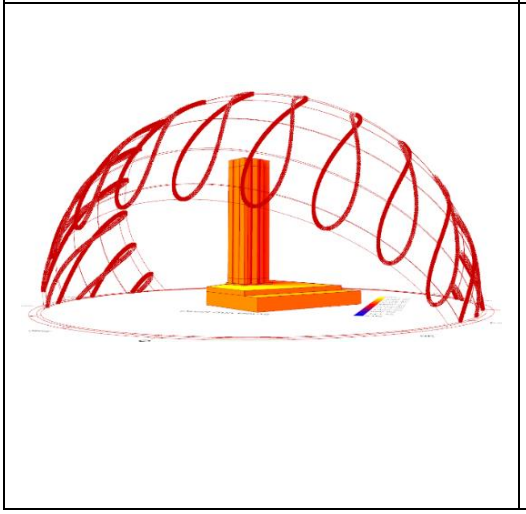
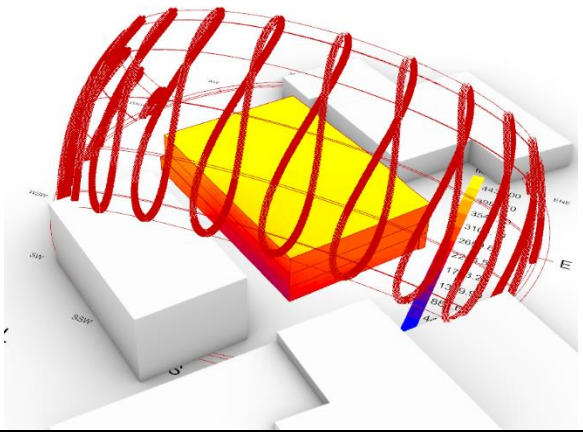
GÜNEŞ YÖRÜNGESİ DİYAGRAMI ANALİZLERİ		
	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASI	**GELİŞİM KULE**
İLKBAHAR		

YAZ		
SONBAHAR		
KIŞ		

Tablo 16, bina yüzeylerinin yıl boyunca kaç saat günışığına maruz kaldıklarını gösterir. Saat olarak günışığına en fazla sahip olan yüzey sarı tonlarında gösterilirken bu süre azaldıkça kırmızı, mor ve mavi tonlarında gösterilir. Buna göre en fazla binaların çatıları doğrudan günışığı alır. Kuzey batıdaki cepheleri ise yıl boyunca günışığını en az alan cephelerdir. Bunun yanı sıra kulenin çevresinde herhangi bir bina yokken eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin etrafı binalarla çevrelenmiştir. Özellikle eski MMF D blok binasının güneybatı cephesi çevresindeki

binanın oluşturduğu gölgeden dolayı kulenin güneybatı cephesine oranla daha az saat doğrudan günışığına maruz kalır.

Tablo 16. Doğrudan güneş ışınımının etkilediği saatlerin analizleri

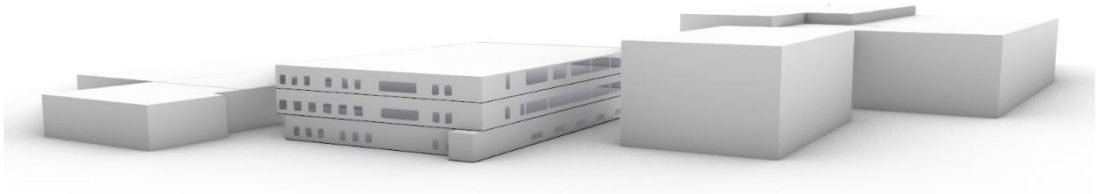
DOĞRUDAN GÜNEŞ IŞINIMININ ETKİLEDİĞİ SAATLER	
GELİŞİM KULE	**ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASI**
	
	
	

5.4. Binaların Mevcut Cephe Analizleri

Binaların mevcut cephe analizlerini yapabilmek için ilk olarak Rhinoceros programı kullanılarak binaların modellemesi yapıldı (Şekil 93 ve Şekil 94). Daha sonradan yapılan bu modellemeler Grasshopper'ın Ladybug eklentisinde tanımlandırıldı.



Şekil 93. Kulenin Rhinoceros programında oluşturulan modeli

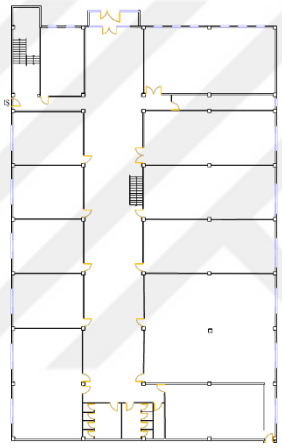


Şekil 94. Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin Rhinoceros programında oluşturulan modeli

Eski MMF analizleri için zemin kat seçilmiştir. Kulenin ise topografyadaki duruşu çukurda kalması sebebiyle zemin kat gölgede kalıyordu ve eksi (–) kotunda bulunmaktaydı. Düzlemsel olarak çukurda kaldığından dolayı 5. katın kotu zemin katın kotuyla aynı mertebeye gelmiştir. Bu sebeple iki binayı karşılaştırırken kulenin 5. katı seçilmiştir. Analizlerin yapılacağı kat planları Şekil 95'te ve Şekil 96'te gösterilmiştir.



Şekil 95. Kulenin 5. kat planı



Şekil 96. Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin zemin kat planı

Eski MMF D blok binasının zemin katı çevresindeki binalardan dolayı kuleye kıyasla 21 Haziran saat 09.00, 12.00, 15:00 ve 18:00'deki güneybatı ve kuzeydoğu cephesinin aydınlık düzeyi daha düşüktür. Eski MMF D blok binasının zemin katının kuzeybatı cephesinde ise herhangi bir çevre binanın gölgesi olmamasına rağmen kulenin giydirme cam cepheye sahip olmasından dolayı aydınlık düzeyi, kuleye göre daha düşüktür.

İlk olarak binaların zemin katı ve 5. katı birbirleriyle karşılaştırıldı. Buna göre eski binanın güneybatı ve kuzeydoğu cephesi, çevresindeki binaların gölgesinden dolayı kuleye oranla daha az günışığı almaktadır. Eski binanın kuzeybatı cephesinde herhangi bir çevre binanın gölgesi yoktur ancak kulenin kuzeybatı cephesi giydirme cam cephe olduğu için yine bina içine eski binanın kuzeybatı cephesine oranla daha fazla günışığı almaktadır.

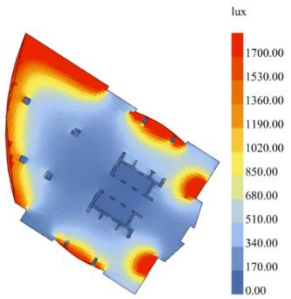
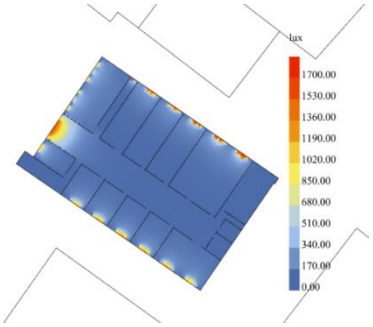
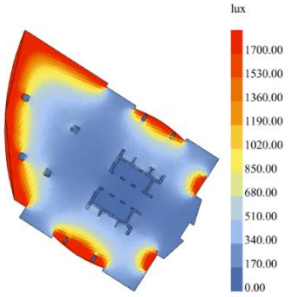
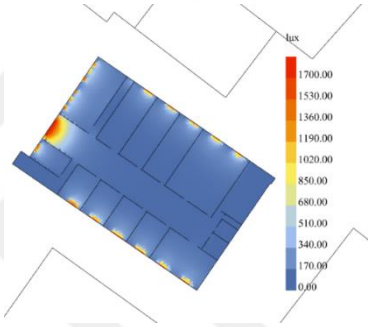
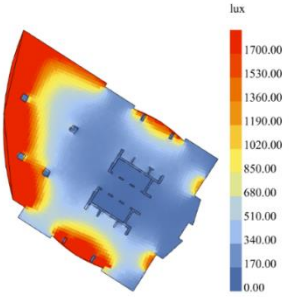
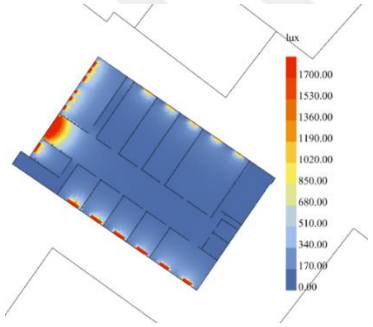
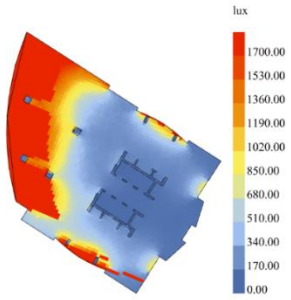
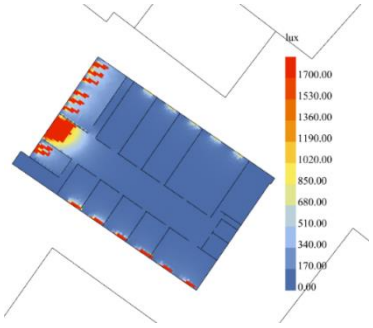
23 Eylül saat 09.00, 12.00, 15:00 ve 18:00 için analizler yapılmıştır. Bu analizlerde kulenin 5. katı saat 15:00'de günışığına daha çok maruz kalmıştır. Eski MMF binası zemin katı ise çevresindeki binalardan dolayı gün boyunca yeterli miktarda ışık alamamıştır (Tablo 18).

21 Aralık tarihinde eski MMF binasının zemin katı gün içinde yeterli miktarda günışığı alamamaktadır. Kule 5. Katın doğu cephesine saat 9:00'da en fazla günışığını almaktadır. Güney cephesi günışığına en fazla saat 15:00'te maruz kalmaktadır. Binanın kuzey cephesi yeterli miktarda ışık alamamaktadır. Saat 18:00 hava kararğı için analizde iki binanın da aydınlık düzeyi sıfırdır (Tablo 19).

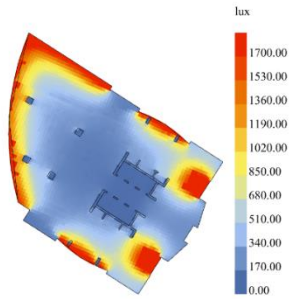
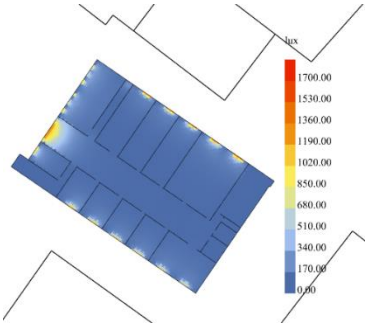
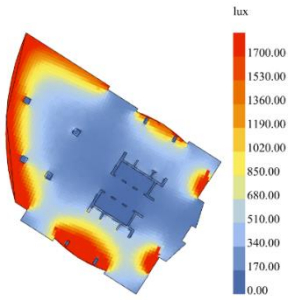
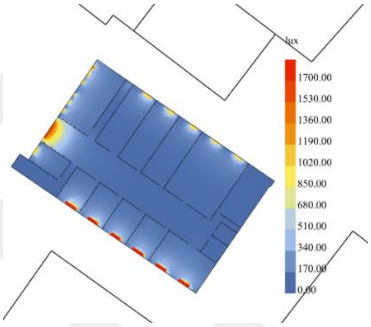
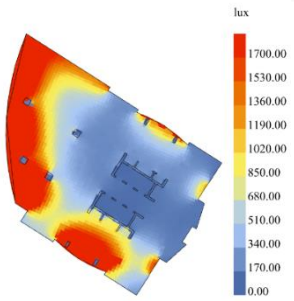
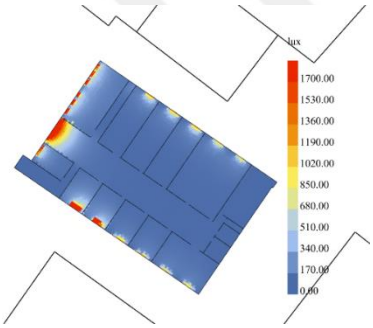
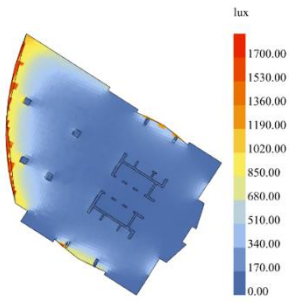
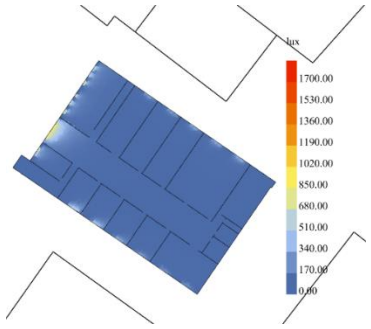
21 Mart tarihindeki analizde kulenin 5. Katında, kırmızı yoğunluğu en fazla saat 15:00'tedir. Sarı yoğunluğu ise en fazla saat 18:00'dedir. Eski MMF binasının zemin katı ise yeterli miktarda günışığı alamamaktadır (Tablo 20).

Tablo 21, Tablo 22, Tablo 23 ve Tablo 24'de kule ve eski MMF binasının katlarının günışığı analizleri gösterilmiştir. Eski MMF binasının zemin, 1. ve 2. katlarının günışığı analizleri yapılmıştır. Kulenin ise 5 kat aralıklarla 5., 10., 15., 20. ve 25. katlarının analizleri yapılmıştır. Kulede katlar arasında günışığı analizlerinde dikkat çekici bir fark yokken eski MMF binasının katların günışığı alma miktarlarının birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir.

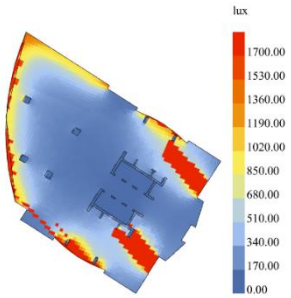
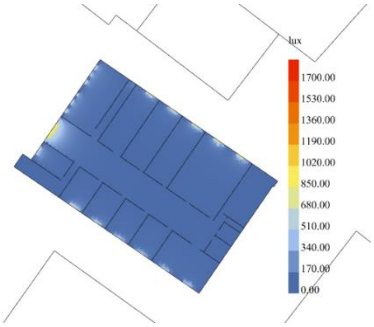
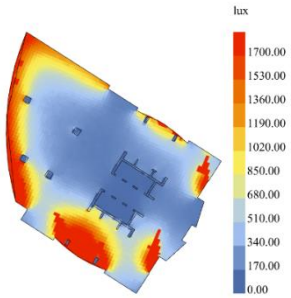
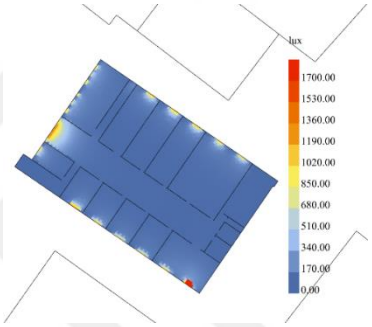
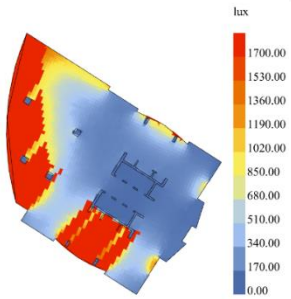
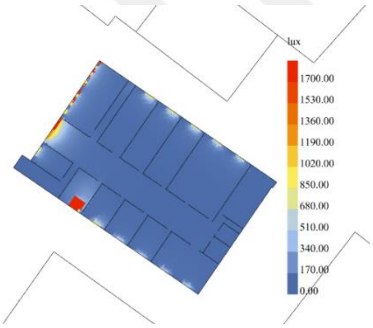
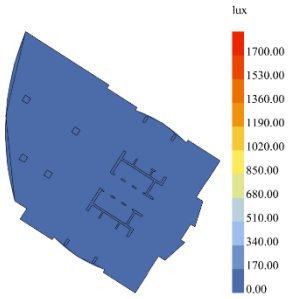
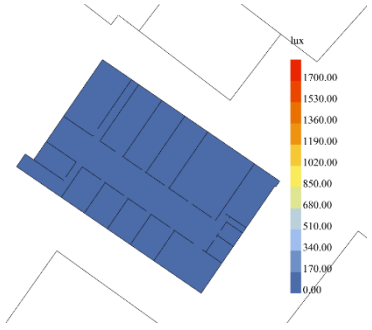
Tablo 17. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 21 Haziran günışığı analizi

	GELİŞİM KULE 5. KAT	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ZEMİN KAT
21 Haziran 9:00		
21 Haziran 12:00		
21 Haziran 15:00		
21 Haziran 18:00		

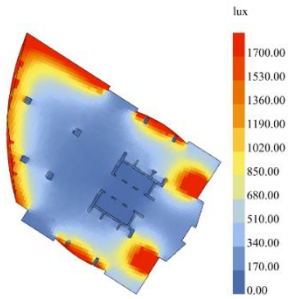
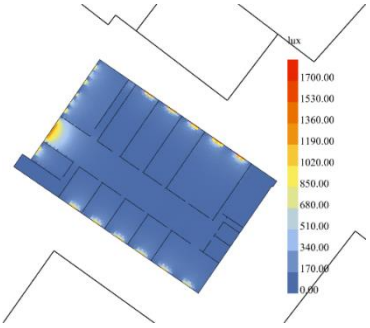
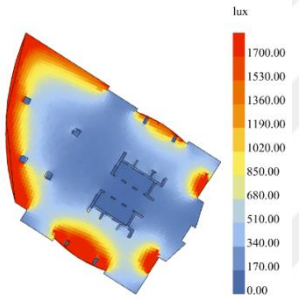
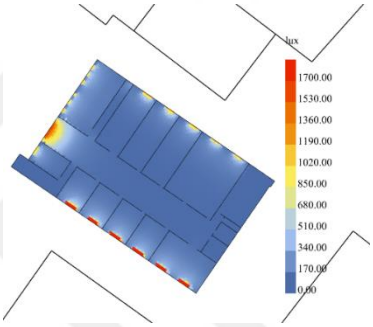
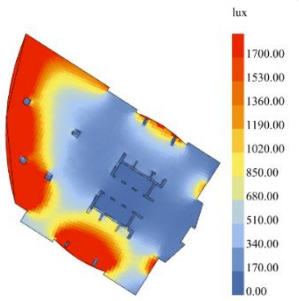
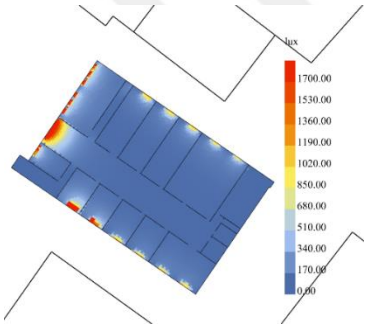
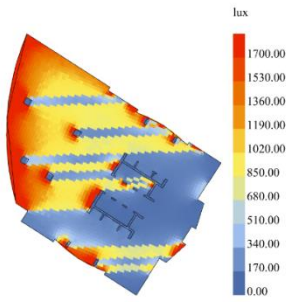
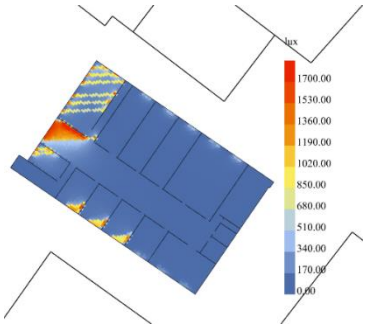
Tablo 18. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 23 Eylül günışığı analizi

	GELİŞİM KULE 5. KAT	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ZEMİN KAT
23 Eylül 09.00		
23 Eylül 12:00		
23 Eylül 15:00		
23 Eylül 18:00		

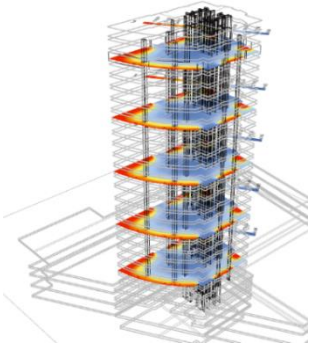
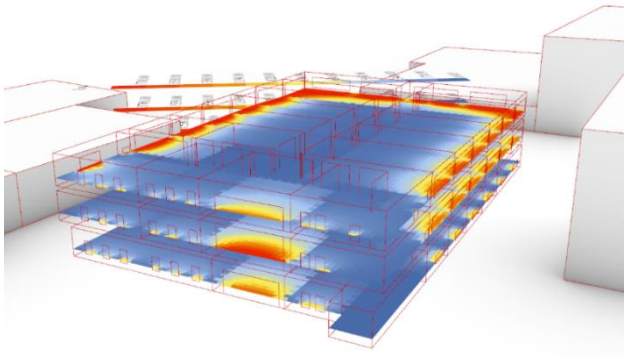
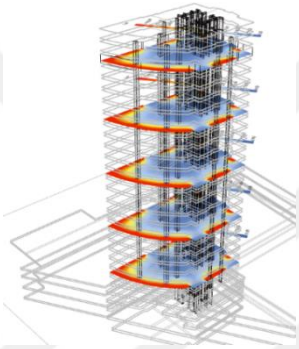
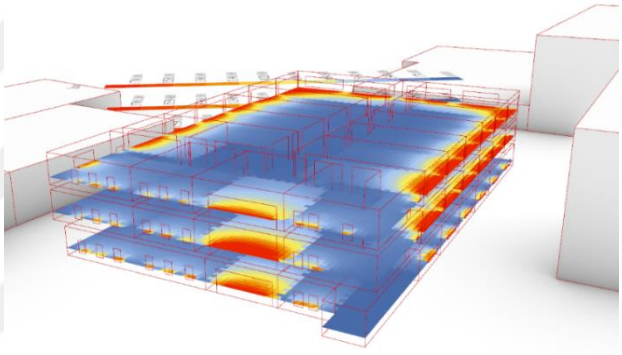
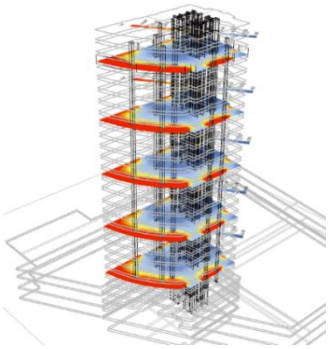
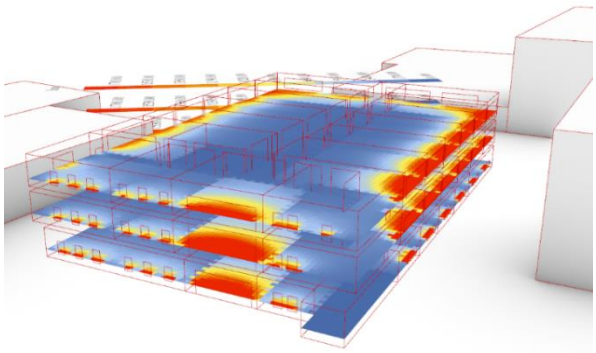
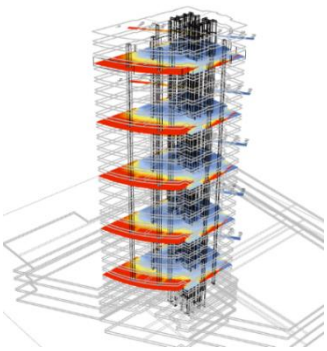
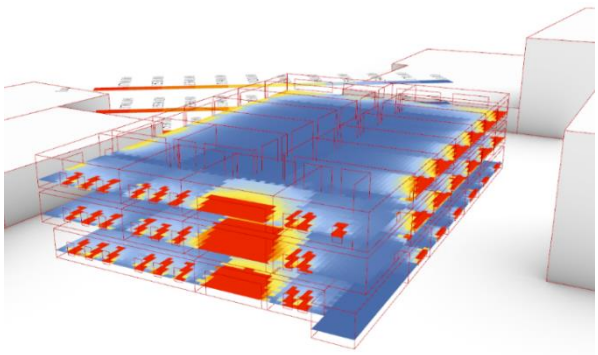
Tablo 19. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 21 Aralık günışığı analizi

	GELİŞİM KULE 5. KAT	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ZEMİN KAT
21 Aralık 09:00		
21 Aralık 12:00		
21 Aralık 15:00		
21 Aralık 18:00		

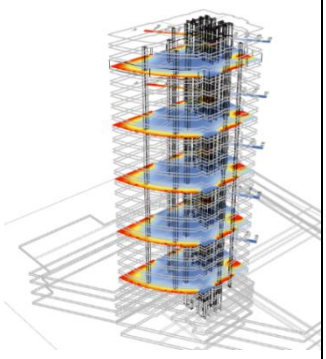
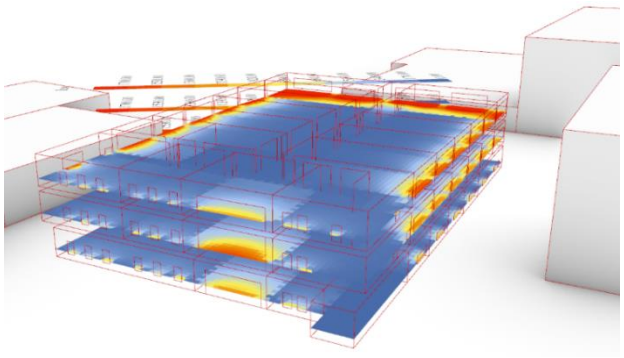
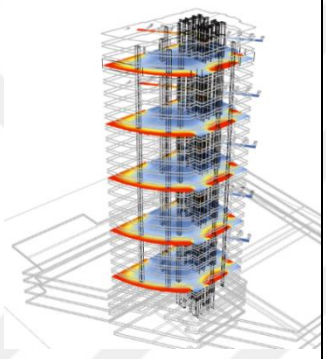
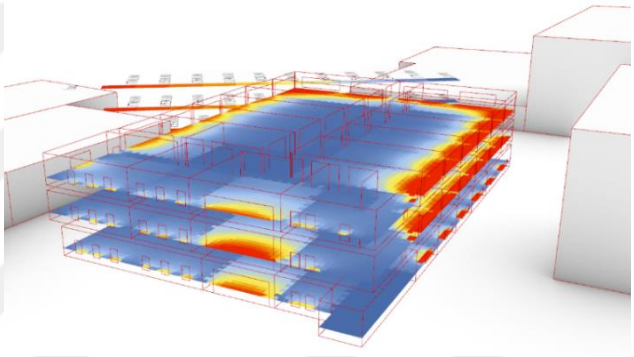
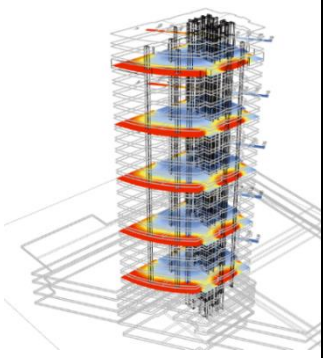
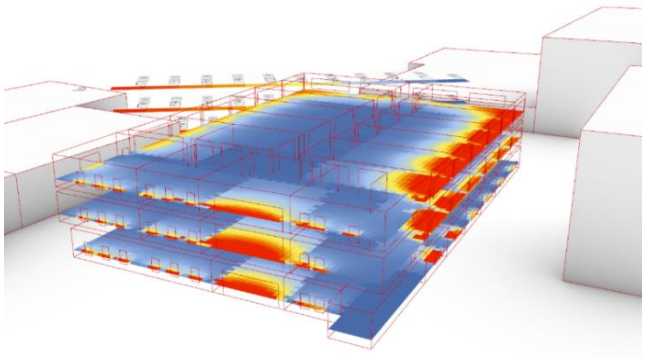
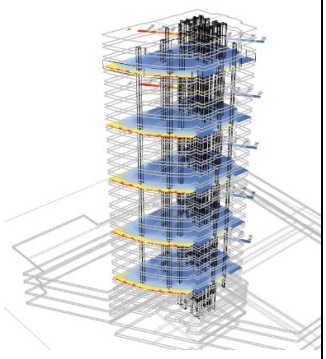
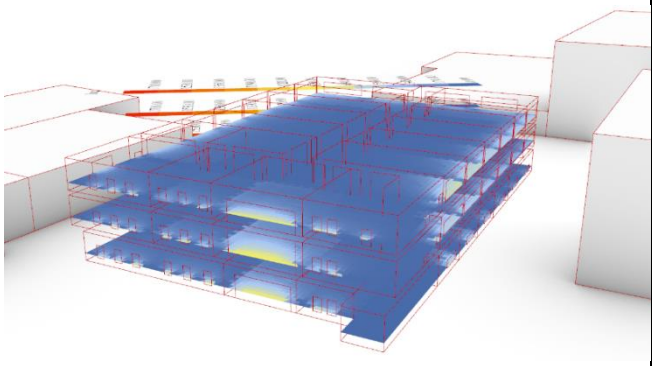
Tablo 20. Gelişim kule 5. kat ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi zemin kat mevcut cephenin 21 Mart günışığı analizi

	GELİŞİM KULE 5. KAT	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ZEMİN KAT
21 Mart 09:00		
21 Mart 12:00		
21 Mart 15:00		
21 Mart 18:00		

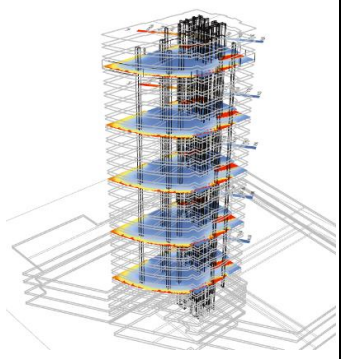
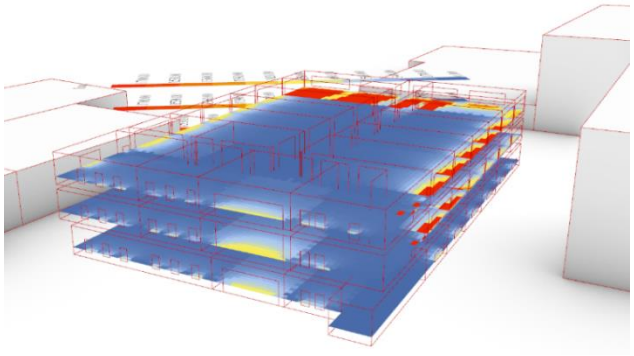
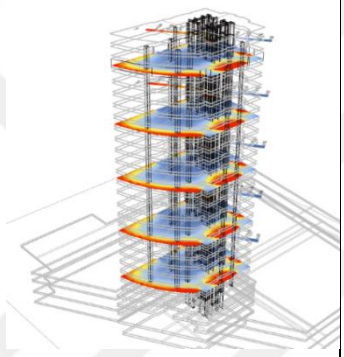
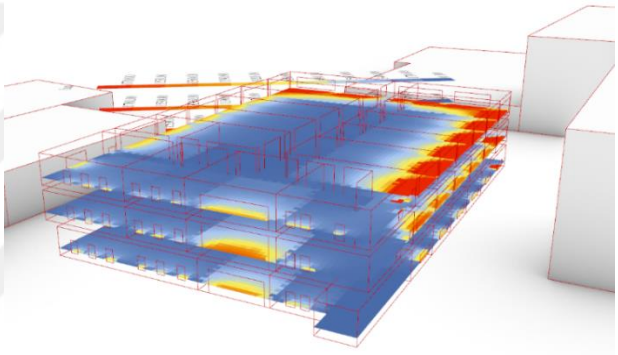
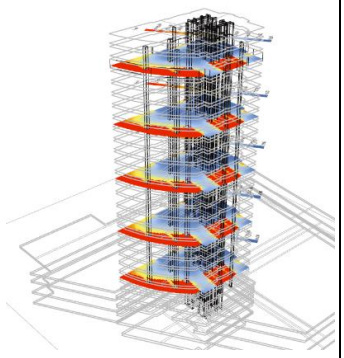
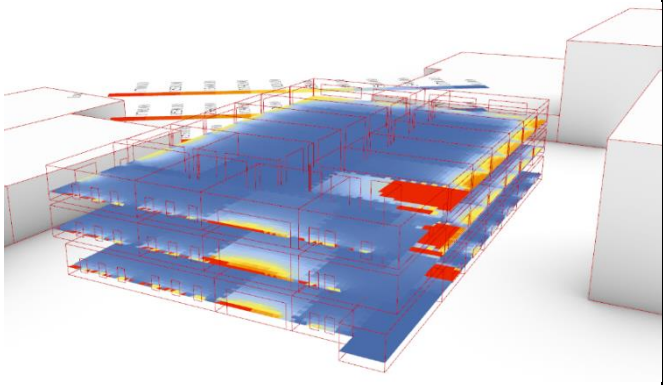
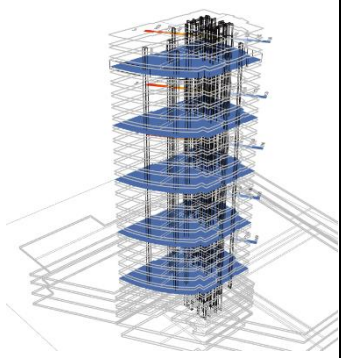
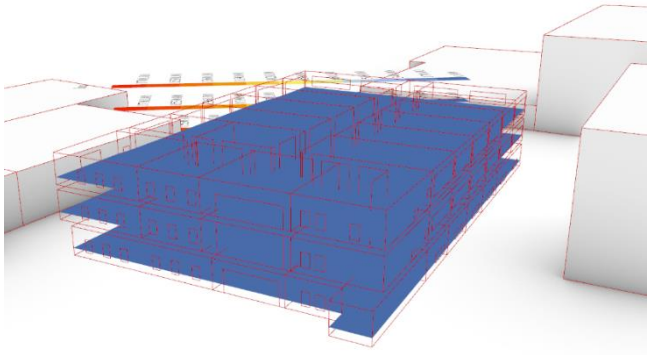
Tablo 21. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 21 Haziran günışığı analizi

	GELİŞİM KULE	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
21 Haziran 09.00		
21 Haziran 12.00		
21 Haziran 15.00		
21 Haziran 18.00		

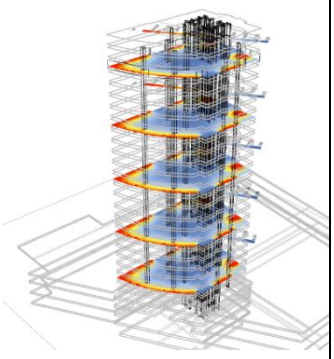
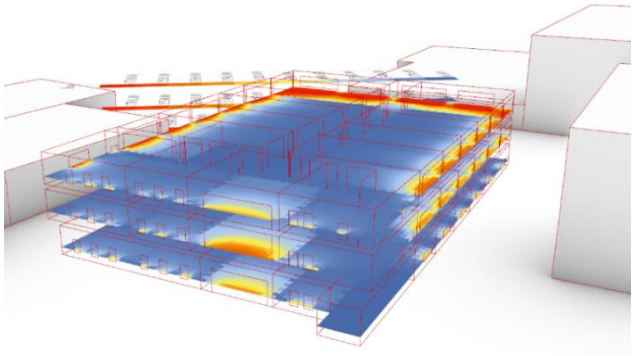
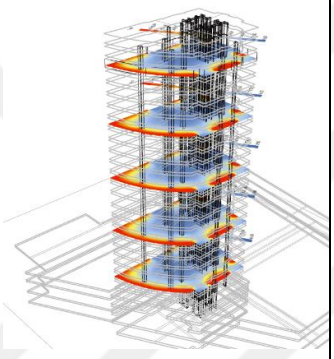
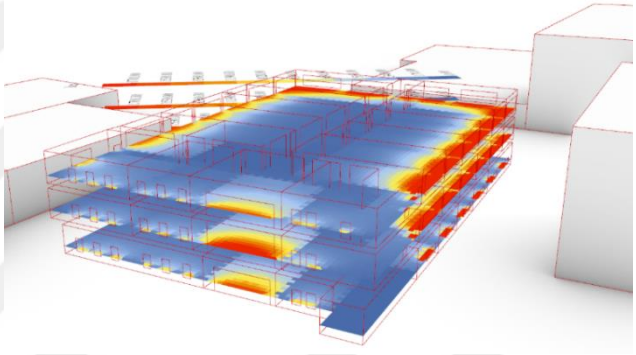
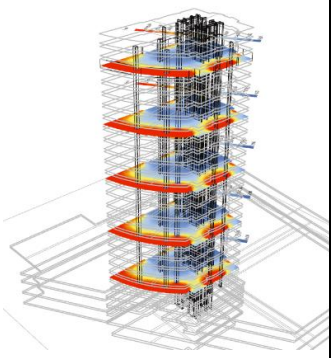
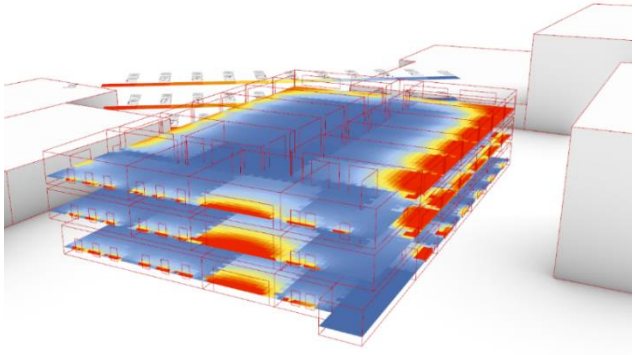
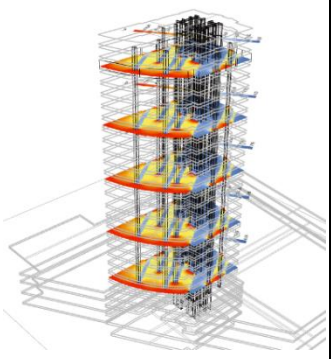
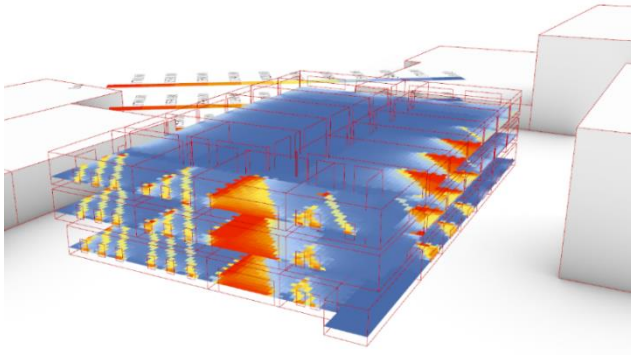
Tablo 22. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 23 Eylül günışığı analizi

	GELİŞİM KULE	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
23 Eylül 09:00		
23 Eylül 12:00		
23 Eylül 15:00		
23 Eylül 18:00		

Tablo 23. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 21 Aralık günışığı analizi

	GELİŞİM KULE	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
21 Aralık 09:00		
21 Aralık 12:00		
21 Aralık 15:00		
21 Aralık 18:00		

Tablo 24. Gelişim kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi mevcut cephenin 21 Mart günışığı analizi

	GELİŞİM KULE	ESKİ MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
21 Mart 09:00		
21 Mart 12:00		
21 Mart 15:00		
21 Mart 18:00		

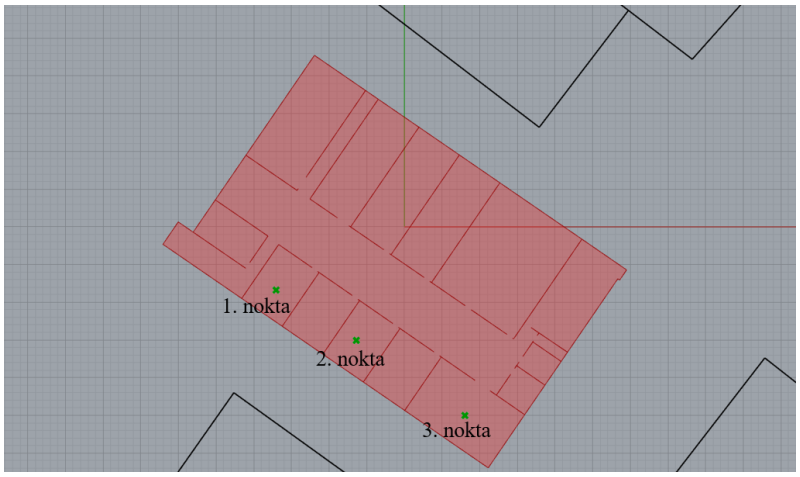
21 Haziran saat 12:00 tarihinde güneşli ve bulutlu, 21 aralık saat 12:00 güneşli ve bulutlu olması durumlarının günışığı analizleri yapılmıştır. Günışığı analizlerini karşılaştırmak için üç nokta seçilmiştir. Gelişim kule binasının günışığı analizlerinde değerlendirilecek noktalar Şekil 97'de eski MMF binası için seçilen noktalar Şekil 98'te gösterilmiştir. Gelişim kule binasının mevcut cephe günışığı analizlerinde seçilen tarihlere göre noktaların aydınlık düzeyi Tablo 25'te, MMF binası için ise seçilen noktaların aydınlık düzeyi Tablo 26'te gösterilmiştir. Optimum değer olarak 500 lux kabul edilmiştir. Buna göre gelişim kulede sadece 2. nokta saat 12:00'de 21 Haziran güneşli ve 21 Haziran bulutlu olduğu zamanlarda aydınlık düzeyi 500 lux'ten fazladır.



Şekil 97. Gelişim kule mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktalar

Tablo 25. Gelişim kule mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktaların aydınlık düzeyi

Gelişim Kule Mevcut Cephe Günışığı Analizi Saat 12:00			
	21 Haziran Güneşli	**21 Haziran Bulutlu**	**21 Aralık Bulutlu**
1. nokta	333	263	121
2. nokta	844	648	295
3. nokta	384	281	130



Şekil 98. Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi binasının mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktalar

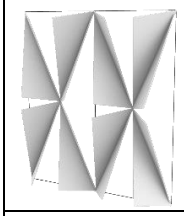
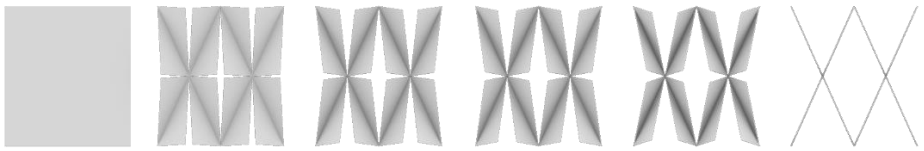
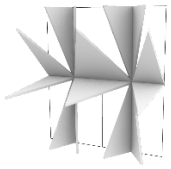
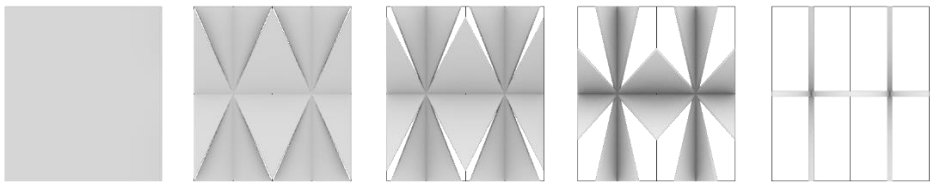
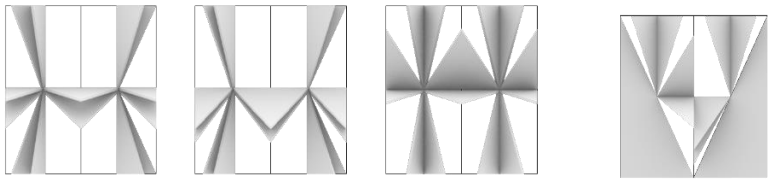
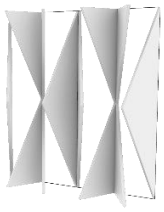
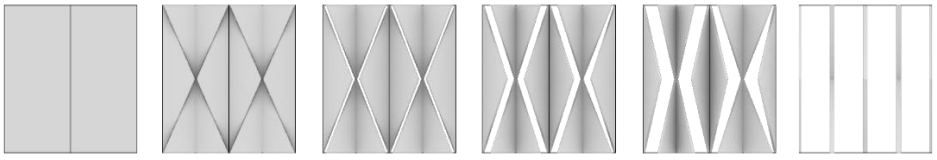
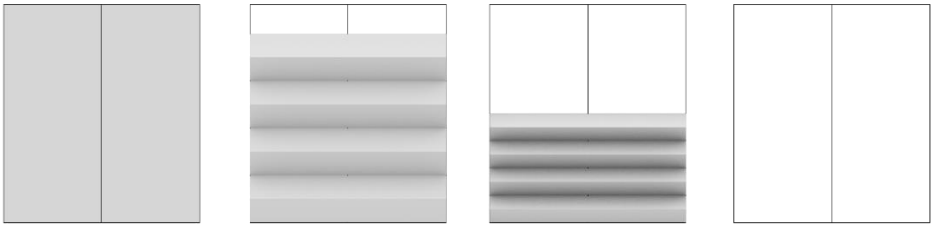
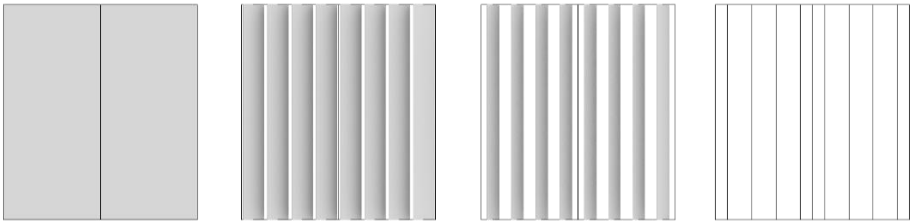
Tablo 26. Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi binasının mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktaların aydınlık düzeyi

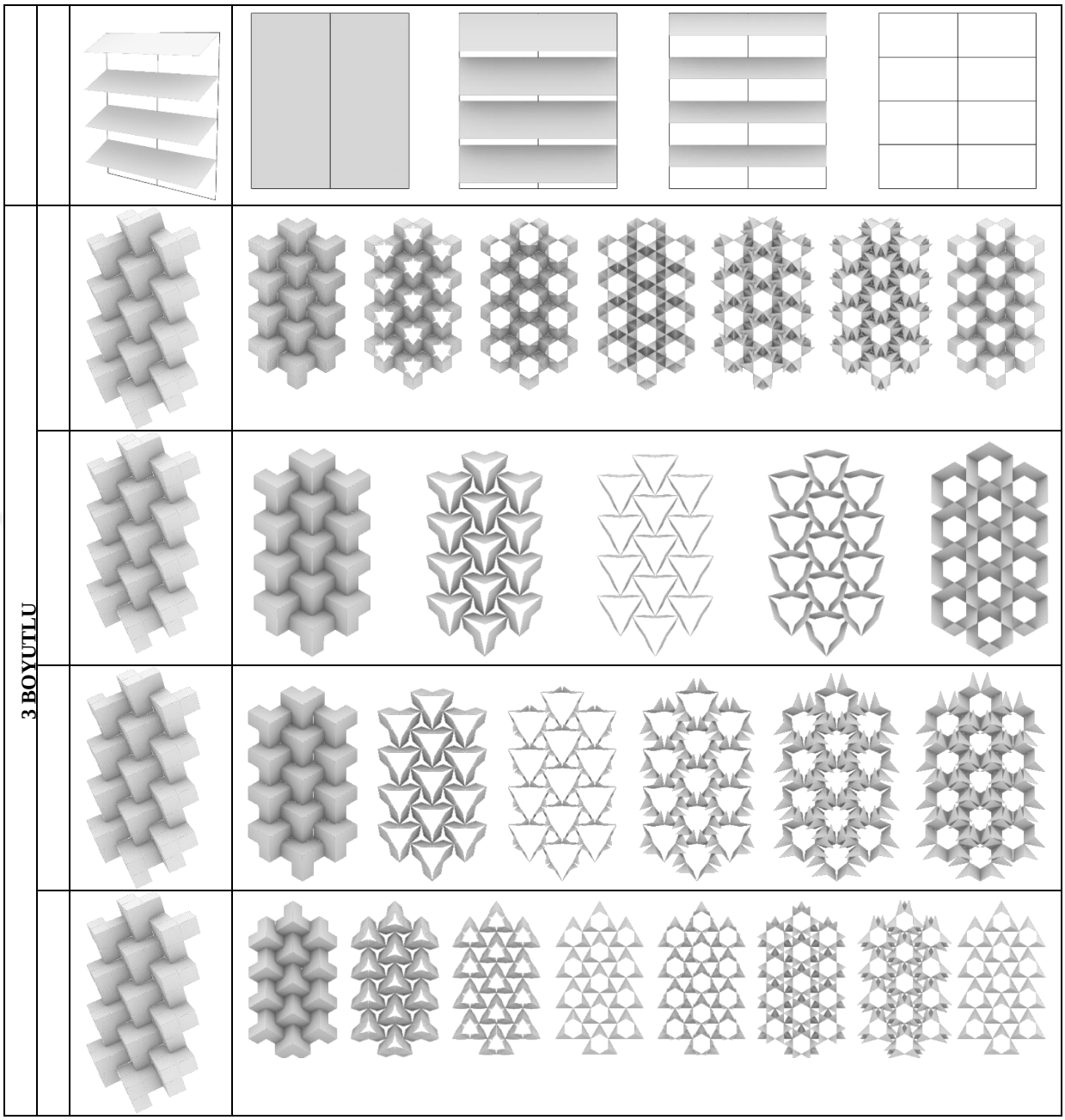
Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Binasının Mevcut Cephe Günışığı Analizi Saat 12:00				
	21 Haziran Güneşli	**21 Haziran Bulutlu**	**21 Aralık Güneşli**	**21 Aralık Bulutlu**
1. nokta	135	41	63	18
2. nokta	105	25	39	11
3. nokta	120	27	96	12

5.5. Parametrik Tasarım Metodunu Kullanarak Desenlerin Tasarlanması

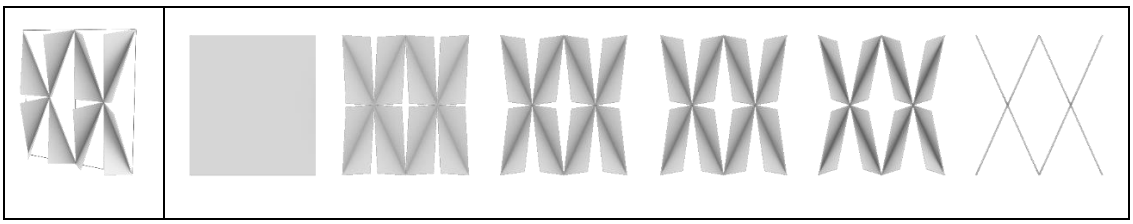
Binaların mevcut cepheleri yerine parametrik bir cephe olsaydı günışığı analizinin nasıl olacağını görebilmek için ilk başta parametrik tasarım metodu kullanarak desenler oluşturuldu. Tablo 27'daki desenler, Grasshopper kullanılarak tasarlandı. Üçgen, dikdörtgen ve üç boyutlu birimlerden çeşitli varyasyonlar oluşturuldu. Parametrelerini değiştirerek desenlerin kapalıdan açığa doğru görüntüleri gösterildi.

Tablo 27. Desen denemeleri

		PERSPEKTİF	KAPALI → AÇIK
ÜÇGENLER	KATLAMA		
			
			
			
			
DİKDÖRTGENLER	KATLAMA		
	DÖNDÜRME		

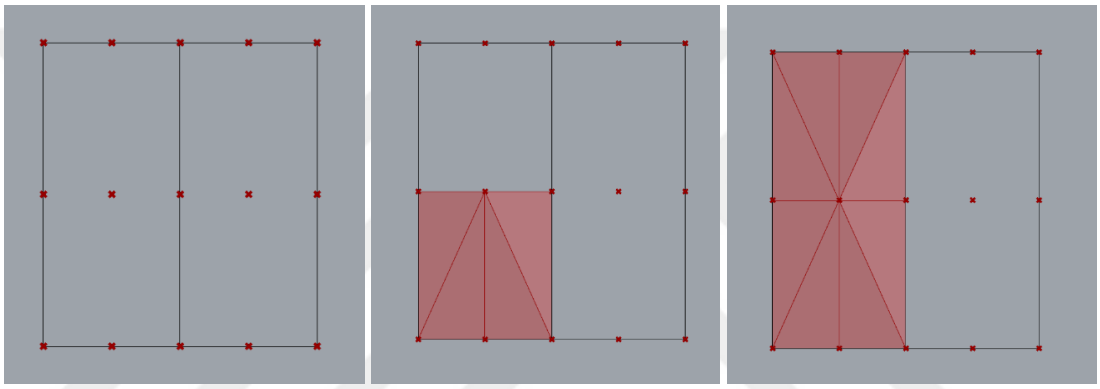


5.5.1. Modül Denemesi 1

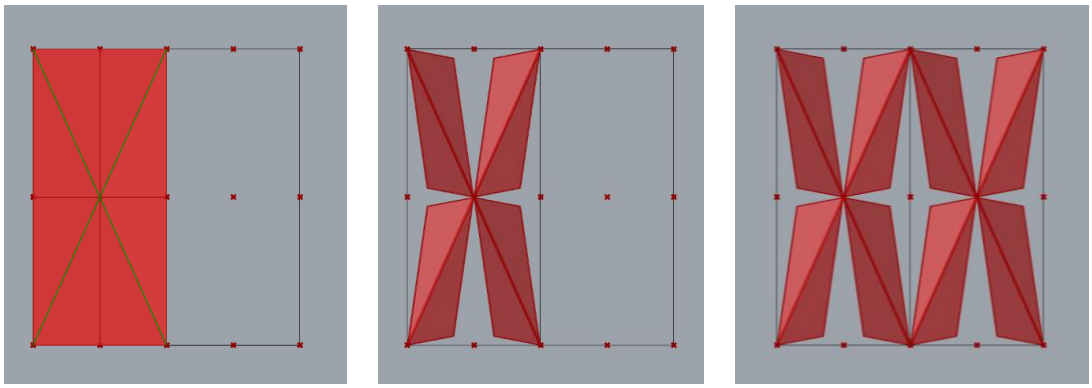


İlk denemede dikdörtgen 8 üçgene bölündü. Üçgenleri rotasyon komutu kullanarak hareket ettirilmesi sağlandı. İlk olarak Rhinoceros'daki noktalar

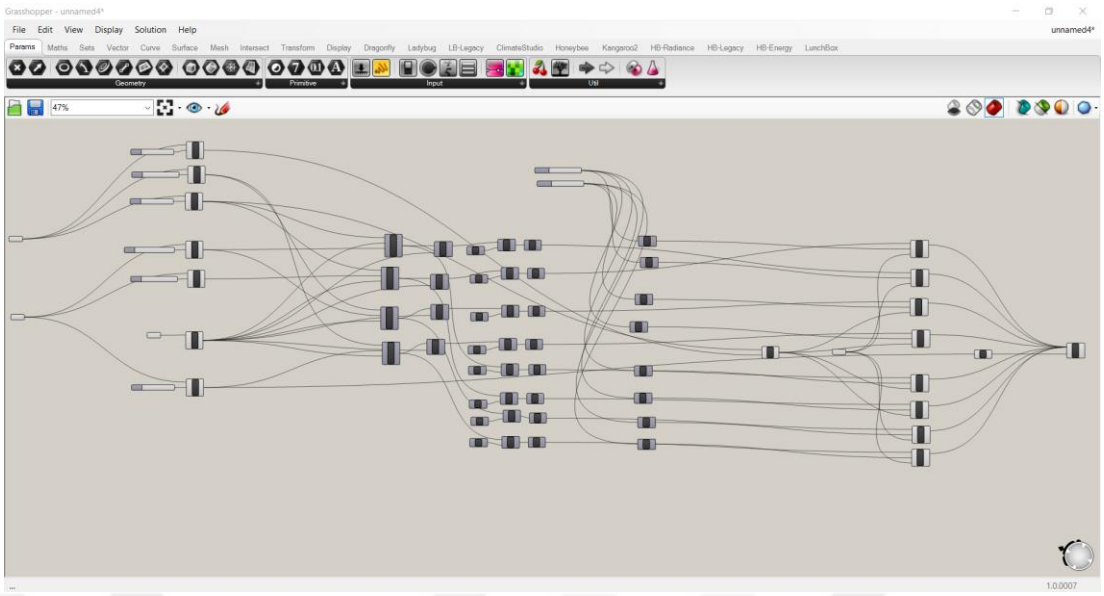
Grasshopper'daki point komutu kullanılarak seçildi. Bu seçilen noktalar sayesinde 4point surface komutu ile üçgen yüzeyler oluşturuldu. Daha sonradan bu üçgen yüzeyler mirror komutu kullanılarak çoğaltıldı (Şekil 99). Extrude komutu ile de bu yüzeylere belli bir kalınlık verildi. Üçgenleri döndürebilmek için line komutuyla rotation axis belirlendi. Rotate axis komutunun rotation axisları olarak line componentlar seçildi. Döndürülecek geometri olarak da üçgenler seçildi. Rotasyonun açısını belirleyebilmek için de number slider radians komutuna, radians komutu da rotate axis'ın angle inputuna bağlandırıldı. Mirror komutu kullanarak çoğaltma işlemi yapıldı (Şekil 100). Şekil 101'de Desenin Grasshopper'daki kodlaması gösterilmiştir.



Şekil 99. Seçilen noktalar, üçgen yüzeyler ve üçgen yüzeylerin çoğaltılması

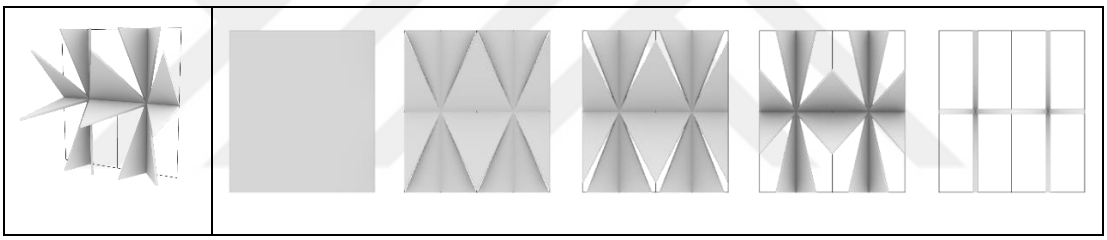


Şekil 100. Rotasyon aksı, rotasyon, desenin çoğaltılması

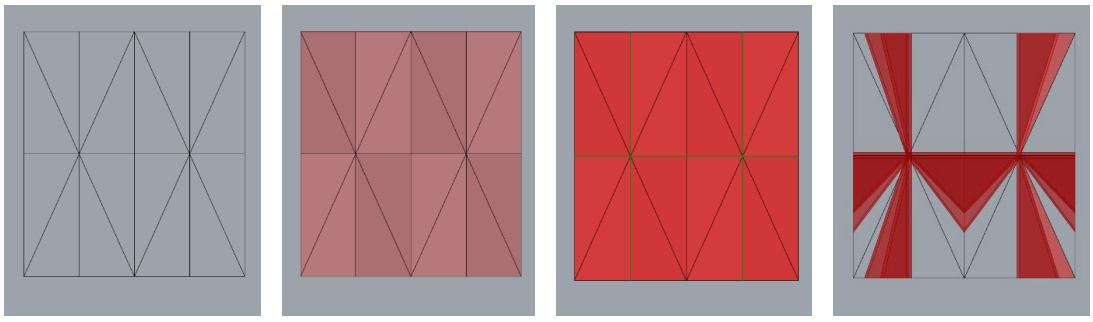


Şekil 101. Desenin Grasshopper'daki kodlaması

5.5.2. Modül Denemesi 2

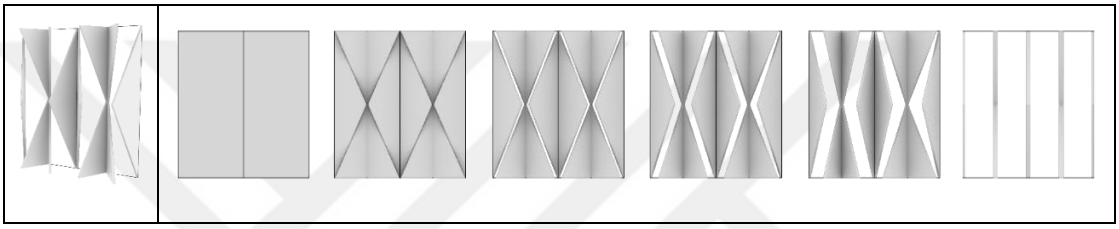


Rhinoceros'da iki dikdörtgen sekizer eşit parçaya bölündü. Bu üçgen curve'ler Grasshopper'da boundary surfaces kullanarak yüzey haline getirildi. Extrude komutu ile de bu yüzeylere belli bir kalınlık verildi. Rhino'da single line komutuyla çizilen çizgiler Grasshopper'daki line komutuyla seçildi. Bu seçilen çizgiler, rotate axis komutunun rotation axis input'una bağlandı. Rotate axis komutunun geometri inputuna üçgenler bağlandı. Rotasyonun açısını belirleyebilmek için de number slider radians komutuna, radians komutu da rotate axis'ın angle inputuna bağlandırıldı. Böylece oluşturulan üçgenlerin aks doğrultusunda istenilen açıya göre değiştirebilmesi sağlandı (Şekil 102).

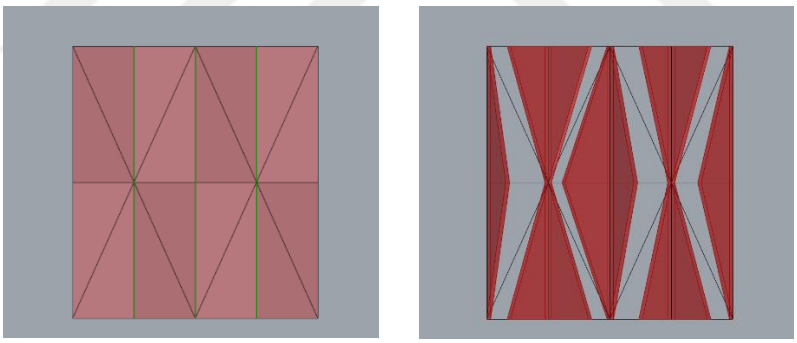


Şekil 102. Üçgenler, üçgen yüzeyler, rotasyon aksları, rotasyon

5.5.3. Modül Denemesi 3

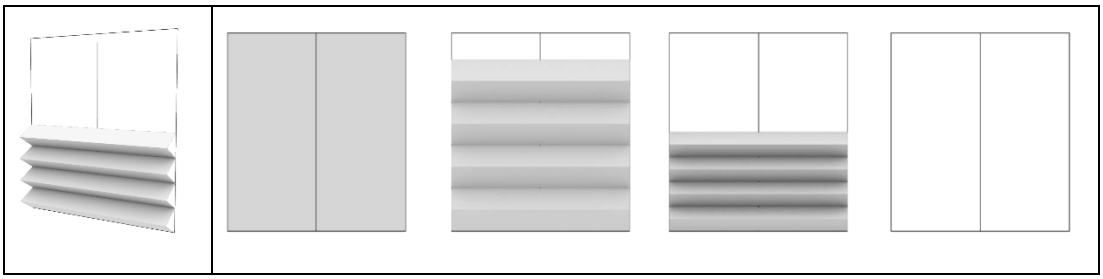


Bu modül için de benzer işlemler rotasyondaki aks çizgileri değiştirilerek yapıldı (Şekil 103).

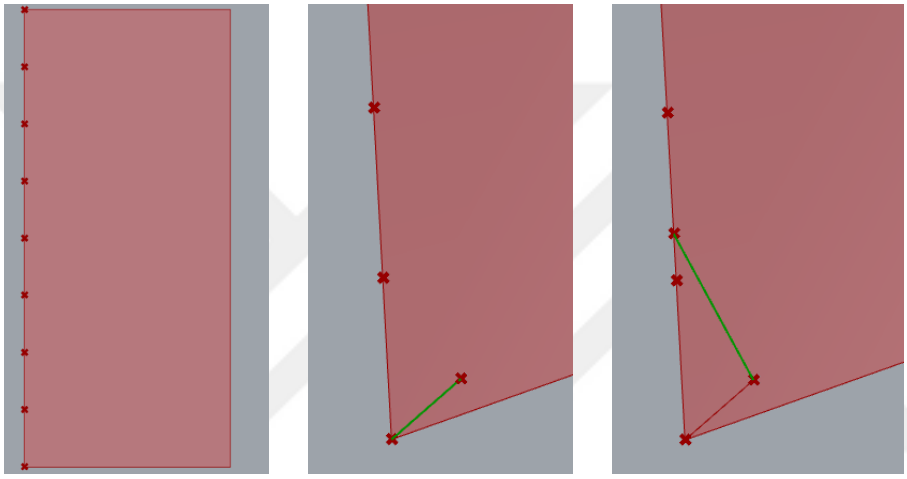


Şekil 103. Rotasyon aksları ve rotasyon

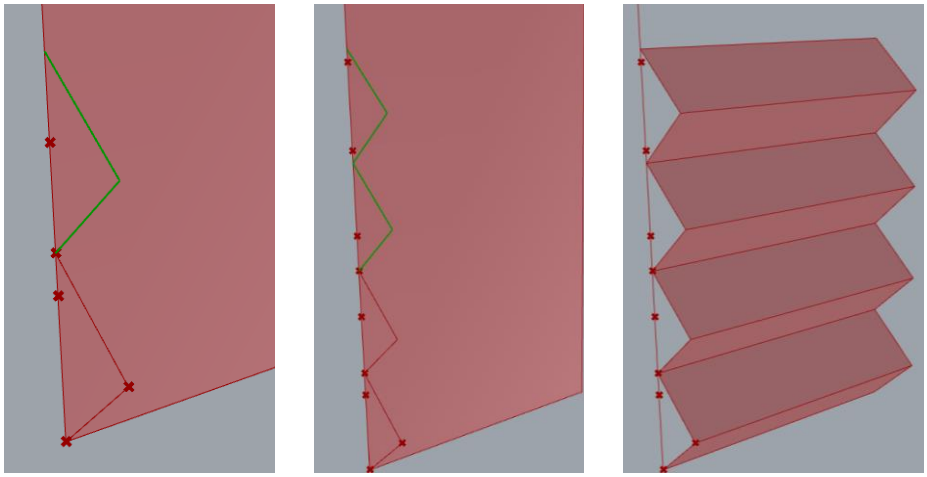
5.5.4. Modül Denemesi 4



Rhinoceros'da oluşturulan yüzey Grasshopper'daki surface komutu ile seçildi. Deconstruct brep komutuyla bu yüzey bileşenlerine ayrıldı. List item ile yüzeyin kenarlarından birisi seçildi. Divide komutuyla seçilen kenar eşit parçalara bölündü. List item ile seçilen nokta rotate edildi. İki nokta arası çizgi çizildi. Başka bir noktanın da rotate edilmesiyle iki rotate edilen nokta arasında bir çizgi oluşturuldu (Şekil 104). Mirror komutu kullanılarak bu iki çizginin kopyası oluşturuldu. Böylece toplamda 8 çizgi oluşturulmuş oldu. Mirror komutuyla bu sefer bu 8 çizginin kopyası oluşturuldu. En son olarak extrude komutuyla bu çizgilerden bir yüzey oluşturuldu (Şekil 105).

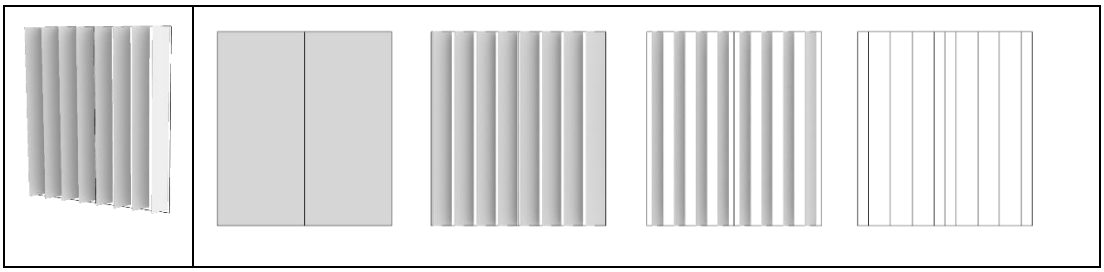


Şekil 104. Yüzey kenarının eşit parçalara bölünmesi, rotasyon ve iki nokta arası çizgi

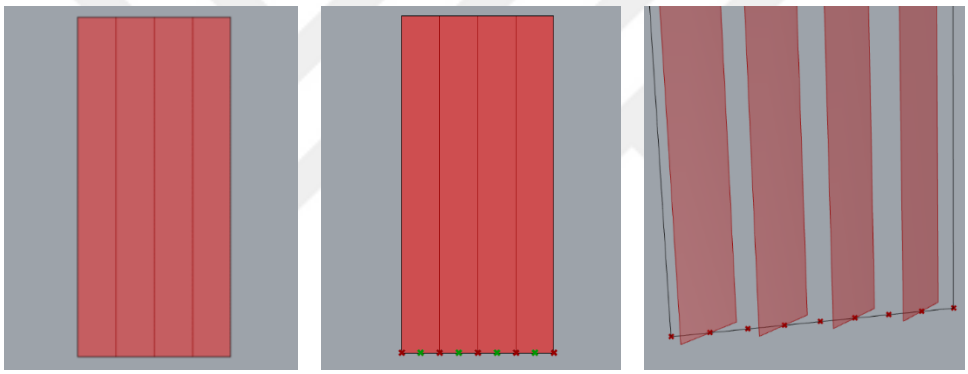


Şekil 105. Çizgilerin kopyalanması, çizgiler kullanılarak yüzey oluşturulması

5.5.5. Modül Denemesi 5

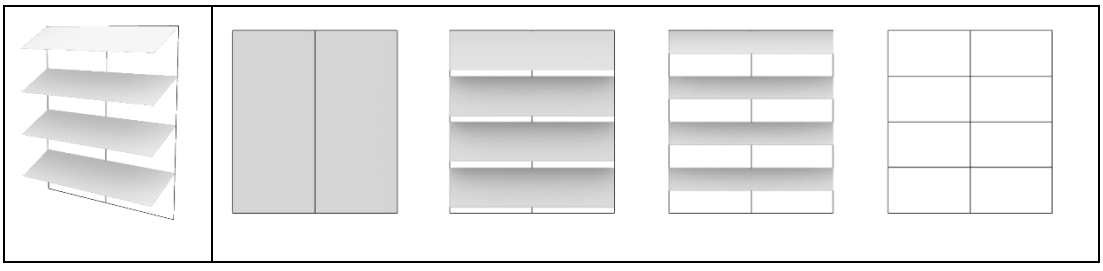


Rhinoceros'da oluşturulan yüzey Grasshopper'daki surface komutu ile seçildi. Isotrim ve divide domain komutları kullanılarak yüzey parçalara bölündü. Deconstruct brep ile yüzey bileşenlerine ayrılıp list item ile çizgiler seçildi. Bu çizgiler divide curve komutuyla eşit parçalara ayrıldı. Noktalar arası çizgiler oluşturuldu. Bu çizgiler extrude komutu kullanılarak yüzey haline getirildi. Rotate komutu ile de bu yüzeylerin rotasyonu sağlandı (Şekil 106).

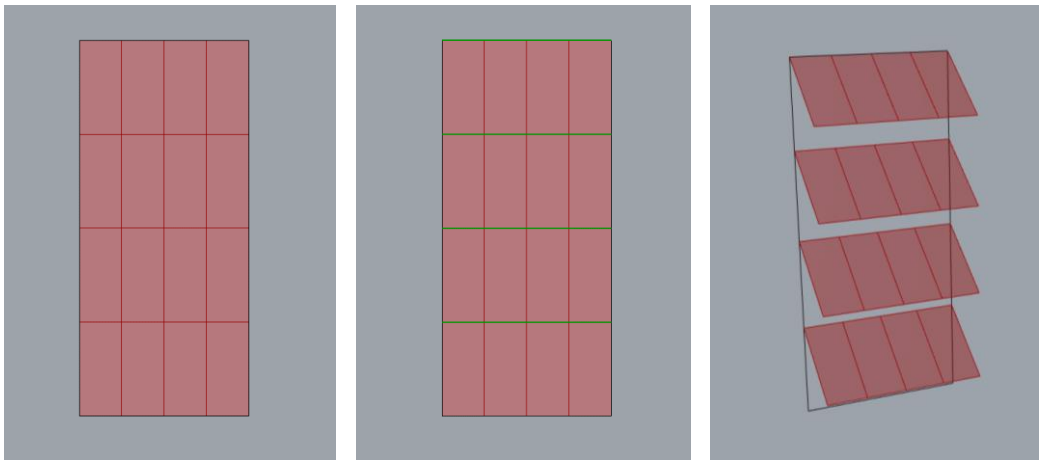


Şekil 106. Dikdörtgen yüzeyler, rotasyon noktaları ve rotasyon

5.5.6. Modül Denemesi 6



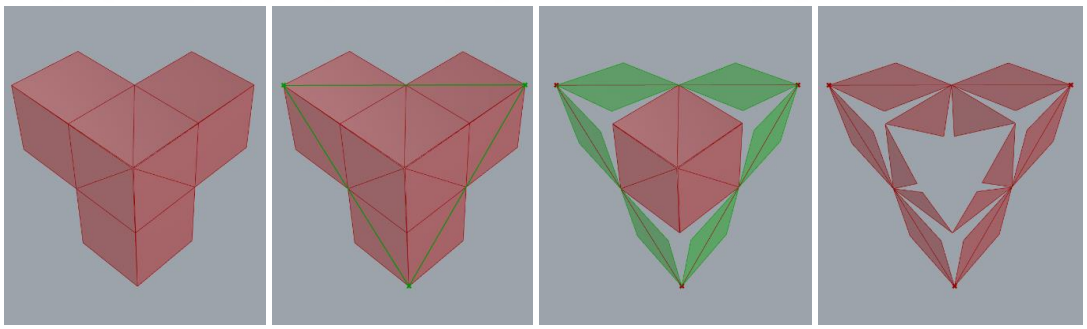
Rhinoceros'da oluşturulan 4 yüzey Grasshopper'daki surface komutu ile seçildi. Rotasyon aksını oluşturmak için Rhinoceros'da oluşturulan 4 ayrı çizgi, Grasshopper'daki line komutuyla seçildi. Rotate axis komutu kullanılarak yüzeylerin rotasyon aksına göre rotasyonu sağlandı (Şekil 107).



Şekil 107. Dikdörtgen yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon

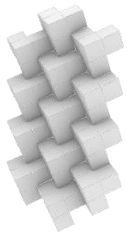
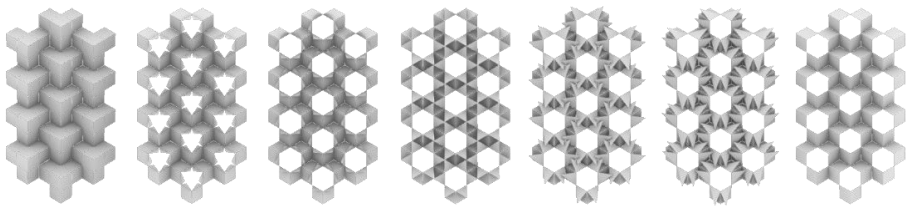
5.5.7. Modül Denemesi 7

Rhinoceros'da kare ve üçgen geometrilerden oluşan üç boyutlu model Grasshopper'daki surface komutuyla seçildi. Nokta koyulan yerlerde line komutuyla çizgi oluşturuldu. Kare yüzeylerin çizgi aksına göre rotasyonu sağlandı. Üçgen yüzeyler de deconstruct brep komutuyla yüzey bileşenlerine ayrıldı. List item komutu ile çizgiler seçildi. Böylece üçgenlerin de rotasyonu bu çizgi aksında gerçekleştirilmiş oldu (Şekil 108).



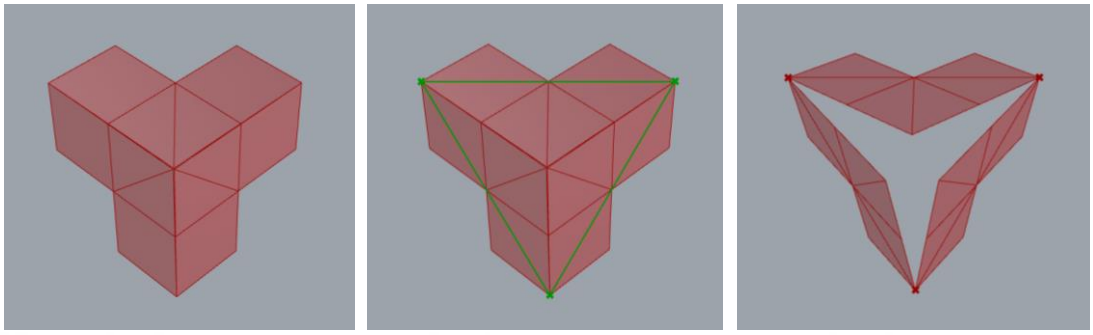
Şekil 108. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon

Tablo 28. Birimlerin bir araya getirilmiş hali

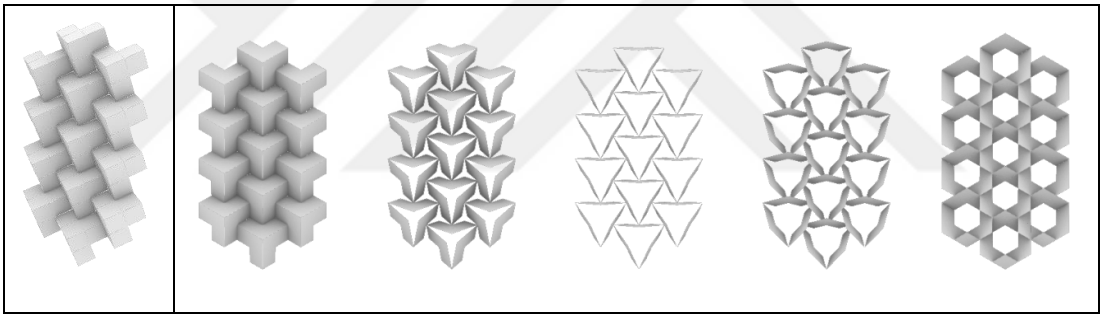
5.5.8. Modül Denemesi 8

Rhinoceros'da oluşturulan üç boyutlu model Grasshopper'daki surface komutuyla seçildi. Nokta koyulan yerlerde line komutuyla çizgi oluşturuldu. Çizgi aksına göre modelin rotasyonu sağlandı (Şekil 109).



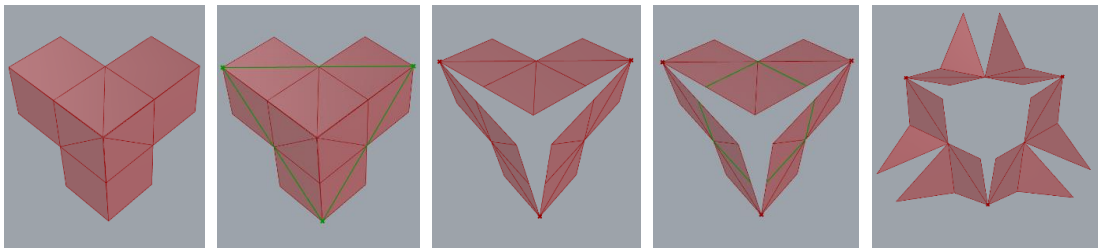
Şekil 109. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon

Tablo 29. Birimlerin bir araya getirilmiş hali



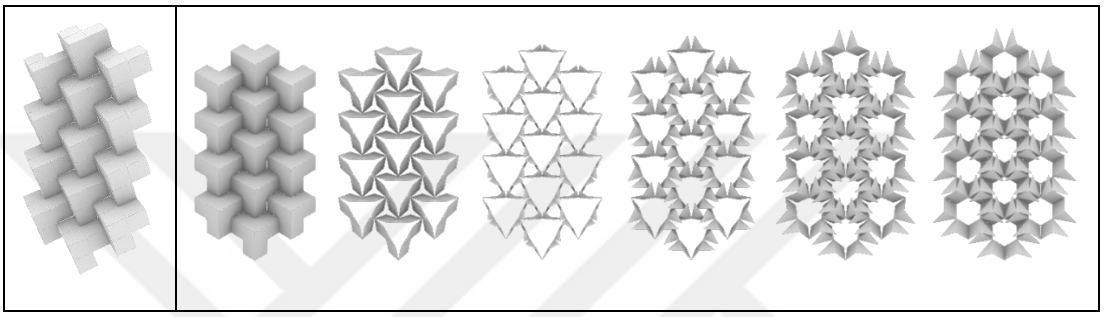
5.5.9. Modül Denemesi 9

Rhinoceros'da oluşturulan üç boyutlu model Grasshopper'daki surface komutuyla seçildi. Nokta koyulan yerlerde line komutuyla çizgi oluşturuldu. Yüzeylerin çizgi aksına göre rotasyonu sağlandı. Rotasyon edilmiş yüzeylerin deconstruct brep komutuyla yüzey bileşenlerine ayrıldı. List item komutu ile çizgiler seçildi. Ortadaki yüzeylerin son oluşturulan çizgi aksına göre tekrardan rotasyonu sağlandı. Böylece ortadaki kareler üçgen olarak parçalarına ayrılmış oldu (Şekil 110).



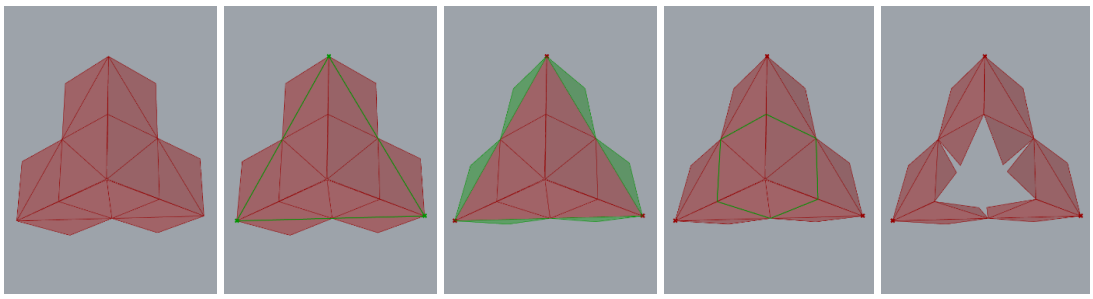
Şekil 110. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon, tekrar rotasyon aksı, tekrar rotasyon

Tablo 30. Birimlerin bir araya getirilmiş hali



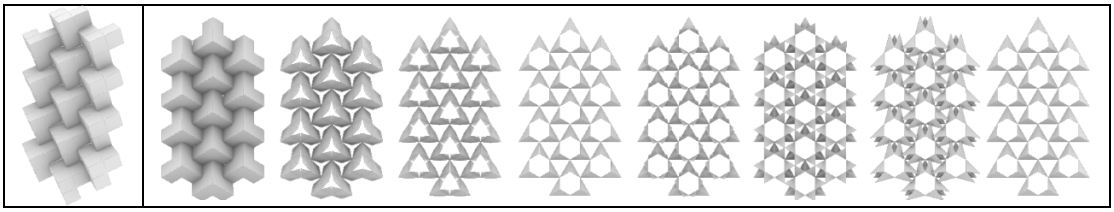
5.5.10. Modül Denemesi 10

Rhinoceros üçgen yüzeylerin birleştirilmesiyle oluşan model Grasshopper'daki surface komutuyla seçildi. Nokta koyulan yerlerde line komutuyla çizgi oluşturuldu. 8 üçgen yüzeyin çizgi aksına göre rotasyonu sağlandı. 6 üçgen yüzeyler de deconstruct brep komutuyla yüzey bileşenlerine ayrıldı. List item komutu ile çizgiler seçildi. Üçgen yüzeylerin çizgi aksına göre rotasyonu sağlandı. 8 üçgen yüzeyler için kullanılan rotasyon açısıyla 6 üçgen yüzeyler için kullanılan rotasyon açısı birbirinden farklıdır (Şekil 111).



Şekil 111. Yüzeyler, rotasyon aksı, rotasyon, tekrar rotasyon aksı, tekrar rotasyon

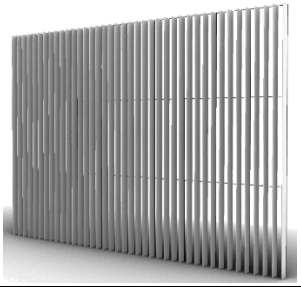
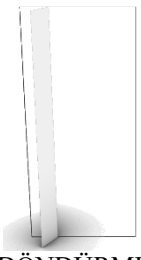
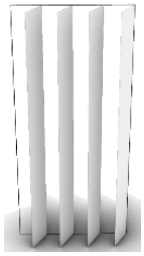
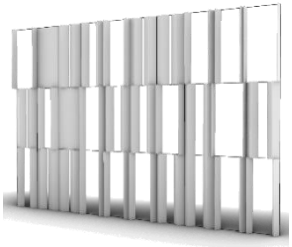
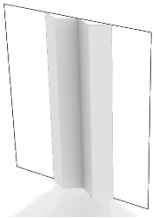
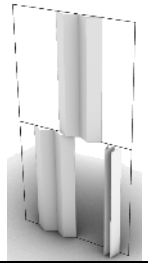
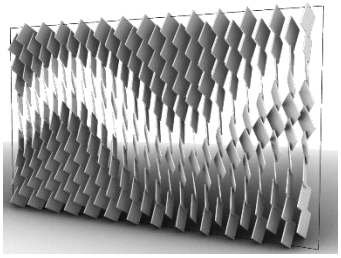
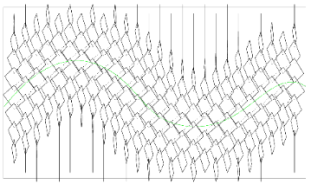
Tablo 31. Birimlerin bir araya getirilmiş hali

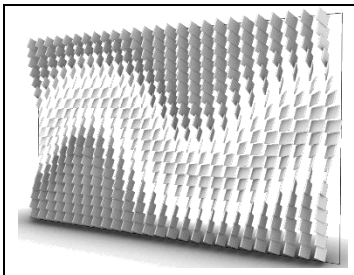
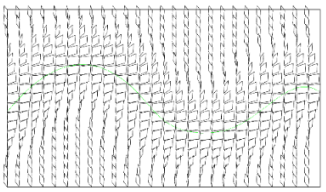
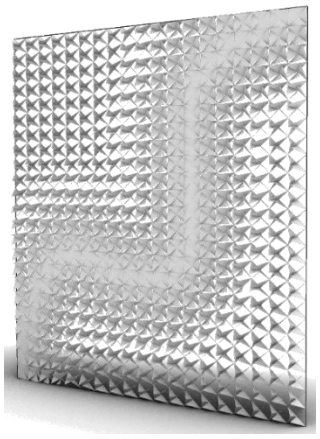
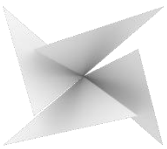
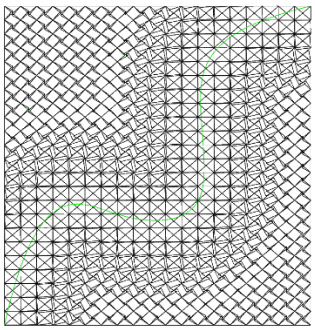
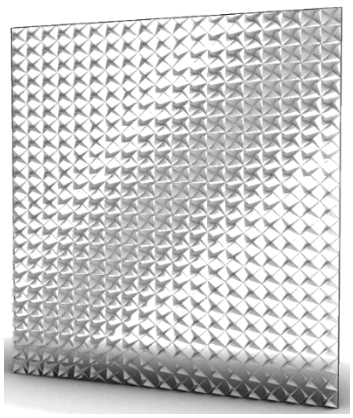
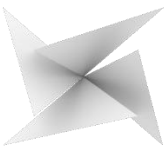
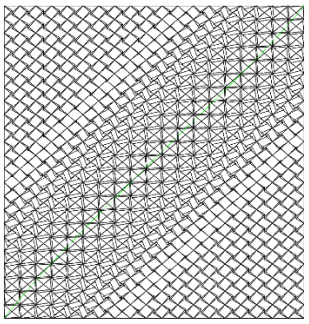
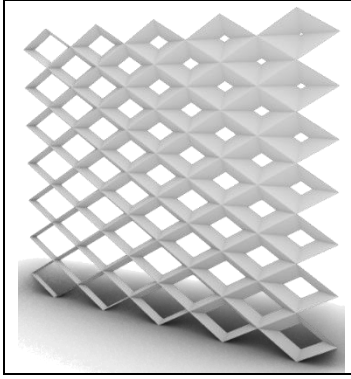
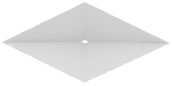
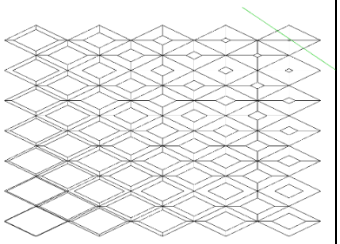


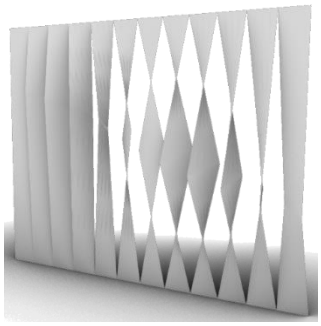
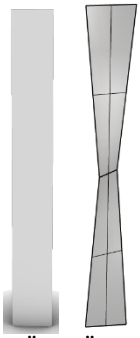
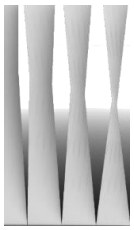
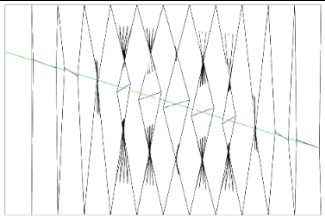
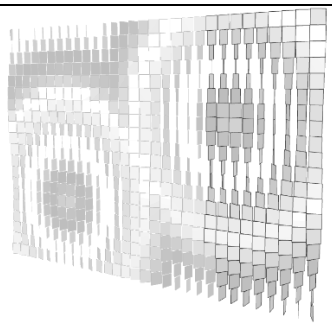
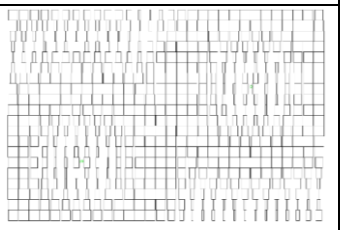
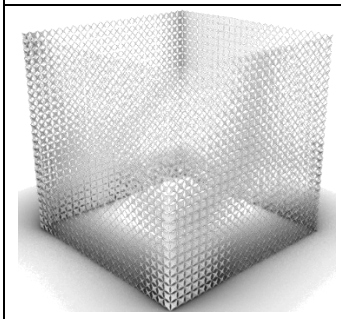
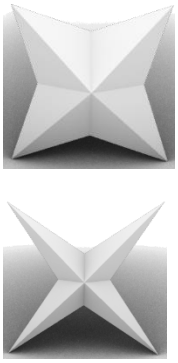
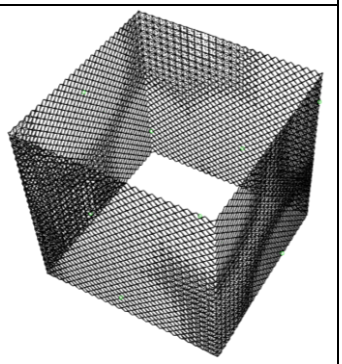
5.6. Parametrik Tasarım Metodunu Kullanarak Cephelerin Tasarlanması

Tablo 32'deki parametrik cephe denemeleri Grasshopper eklentisi kullanılarak tasarlanmıştır. Bu tabloda cephelerin perspektif görünüşü, birimi, birimin hareket tipi, birimlerin bir araya geldiğindeki hareketi ve cephede hareketi sağlayan çizgi gösterilmiştir. Tablo 33 ise cephelerin görünüşü, kapalıdan açığa doğru sıralanmıştır.

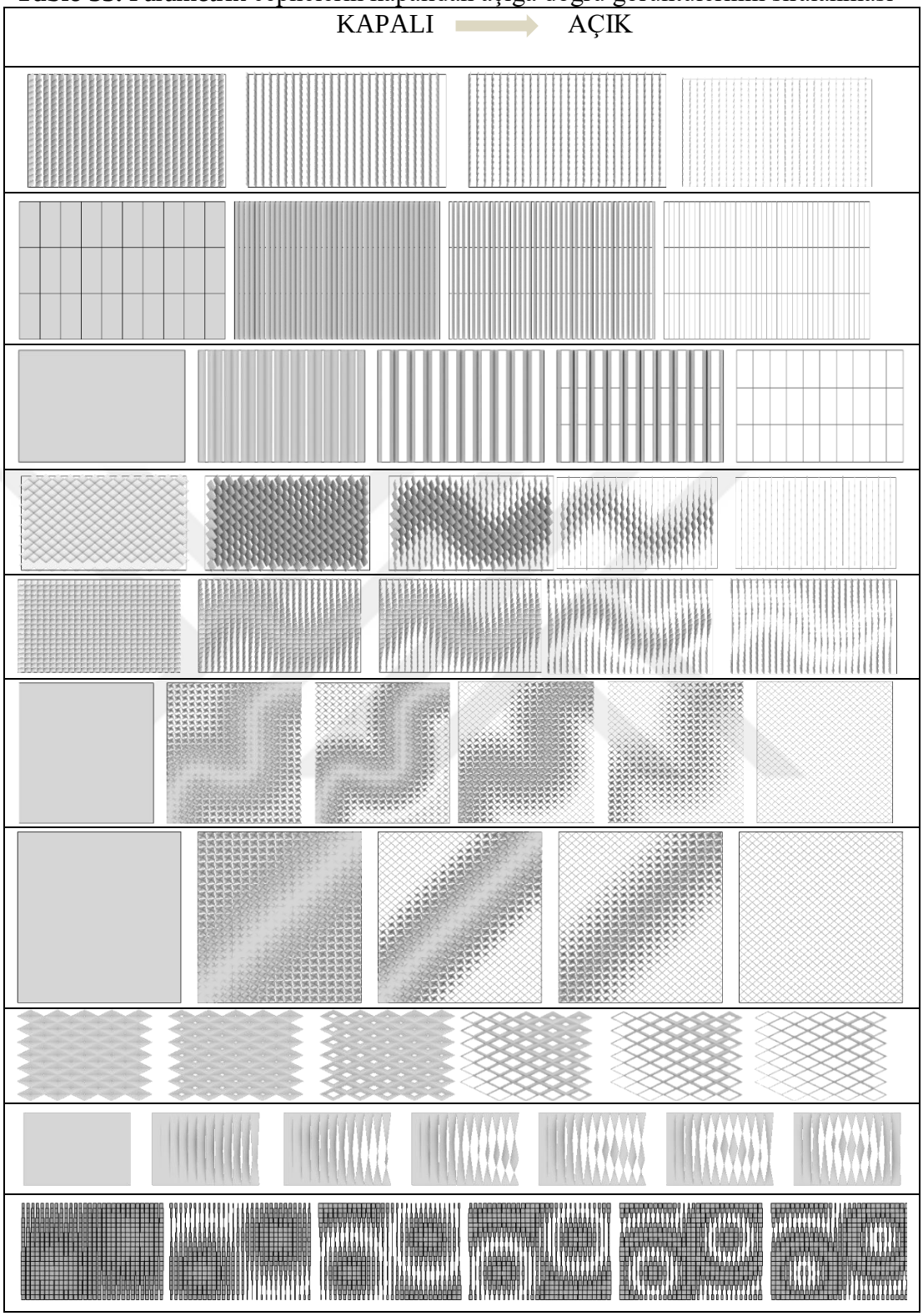
Tablo 32. Parametrik cephe denemeleri

PERSPEKTİF	MODÜL - HAREKET	CEPHE-HAREKET	CEPHE
	 DÖNDÜRME		
	 KATLAMA		
	DÖNDÜRME		

	DÖNDÜRME		
	 DÖNDÜRME		
	 DÖNDÜRME		
	  KATLAMA		

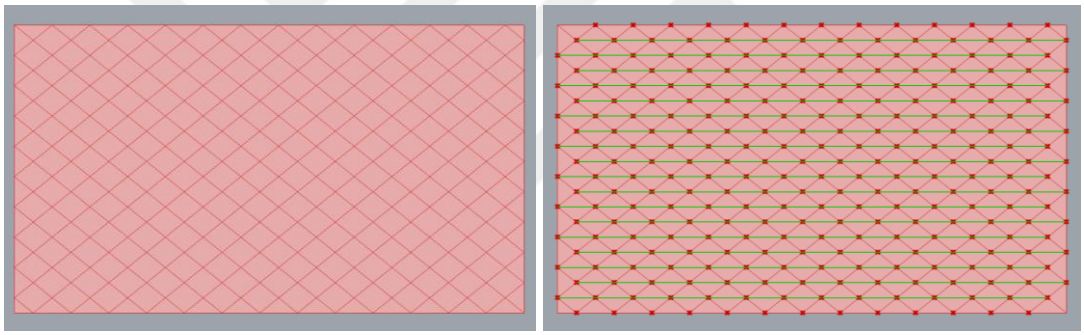
	 DÖNDÜRME		
	 DÖNDÜRME		
	 KATLAMA		

Tablo 33. Parametrik cephelerin kapalıdan açığa doğru görüntülerinin sıralanması

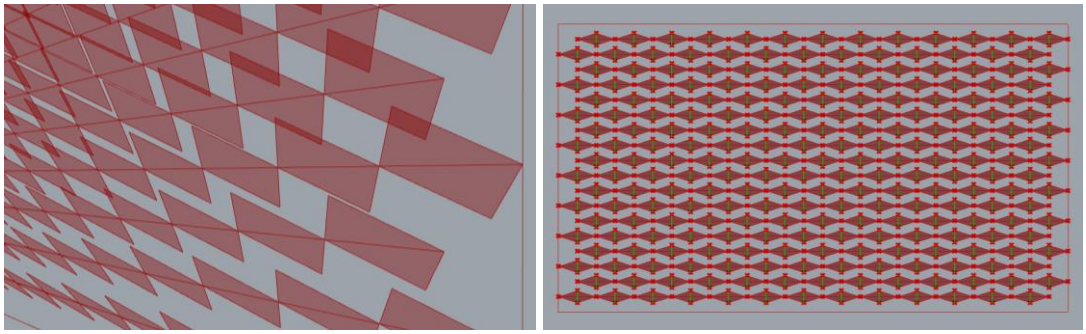


5.6.1. Cephe Denemesi 1

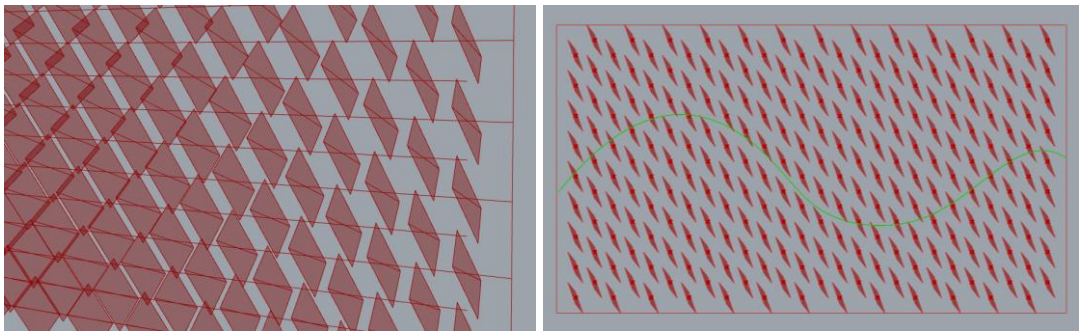
Grasshopper'da rectangle komutu kullanılarak yz düzleminde bir dikdörtgen oluşturuldu. Grasshopper'daki lunchbox eklentisi kullanılarak yüzeyde diamond panels oluşturuldu. Discontinuity ve list item komutları sayesinde iki nokta arasında çizgiler oluşturuldu (Şekil 112). Bu çizgi aksına göre panellerin rotasyonu sağlandı. Discontinuity, list item komutları tekrar kopyalanarak yeni çizgiler oluşturup tekrardan bir rotasyon sağlandı (Şekil 113). Rhino'da yeni bir çizgi oluşturuldu ve bu çizgi Grasshopper'da curve komutuyla seçildi (Şekil 114). Bu çizgiye göre yeni bir map oluşturuldu. Bu map'i oluşturabilmek için ilk olarak area komutu kullanılarak panellerin orta noktaları bulundu. Curve closest point komutuyla noktaların çizgiye uzaklıkları belirlendi. Remap numbers komutu kullanıldı ve rotate axis'ın angle input'una bağlandı. Böylece eğriye göre tekrardan düzenleme sağlanmış oldu (Şekil 115).



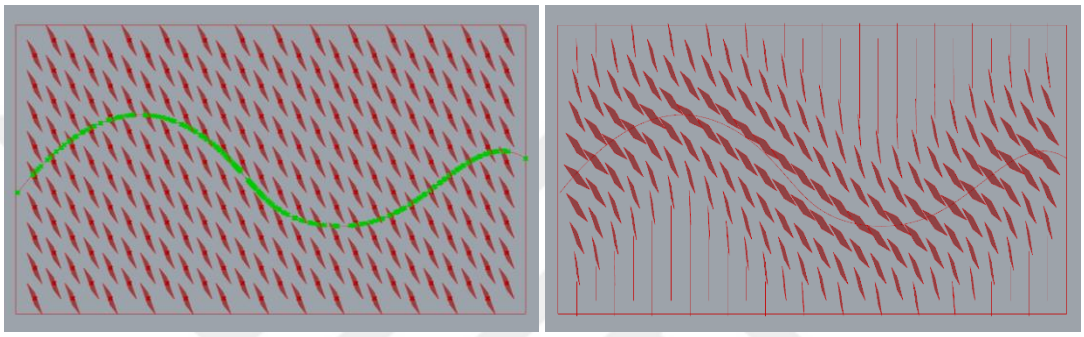
Şekil 112. Diamond panelin kullanılması ve noktalar arası çizgiler



Şekil 113. Çizgi aksına göre rotasyon ve yeni çizgilerin oluşturulması



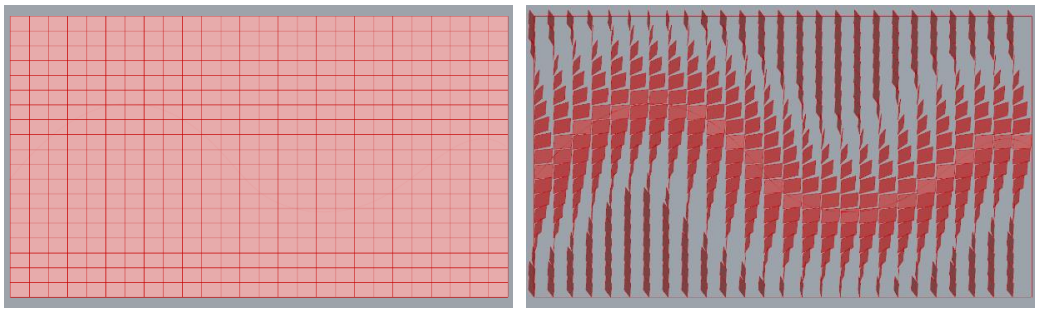
Şekil 114. Rotasyon ve curve komutunun kullanılmasıyla çizginin oluşturulması



Şekil 115. Panellerin orta noktalarının seçilmesi ve cephenin çizgiye göre yeniden düzenlenmesi

5.6.2. Cephe Denemesi 2

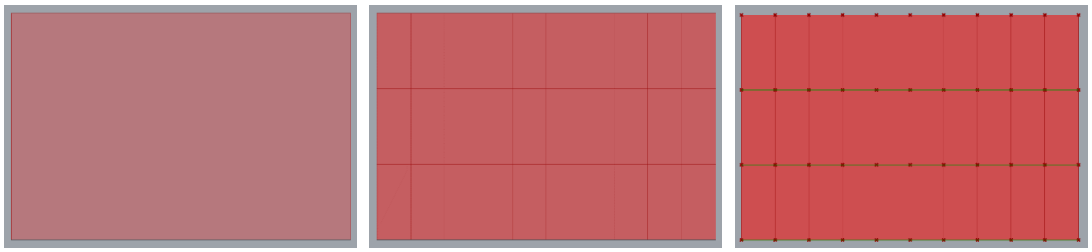
Burada da benzer işlemler uygulandı. Lunchbox'daki diamond panels yerine quad panels kullanıldı. Bunun dışında diğer örnektekiyle benzer işlemler yapıldı. Bu şekilde panelleri değiştirerek farklı cephe modelleri yapılabilir (Şekil 116).



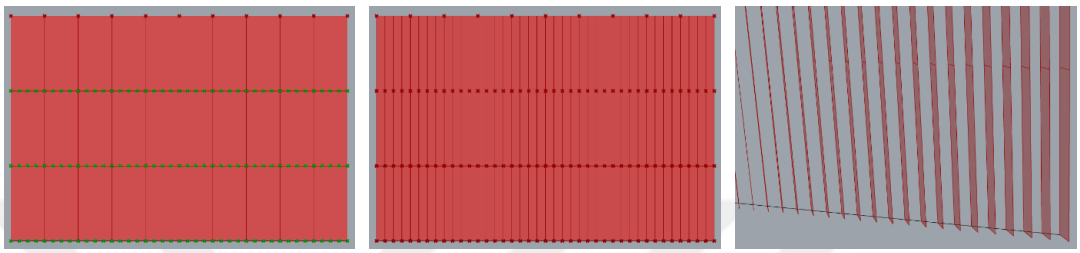
Şekil 116. Quad panelin kullanılması ve cephenin son hali

5.6.3. Cephe Denemesi 3

Burada da modüldeki işlemlerin benzerleri uygulandı. Modül cephe haline getirildi. Yüzeyin boyutunu değiştirip divide domain ile yüzey daha fazla parçalara bölündü (Şekil 117 ve Şekil 118).



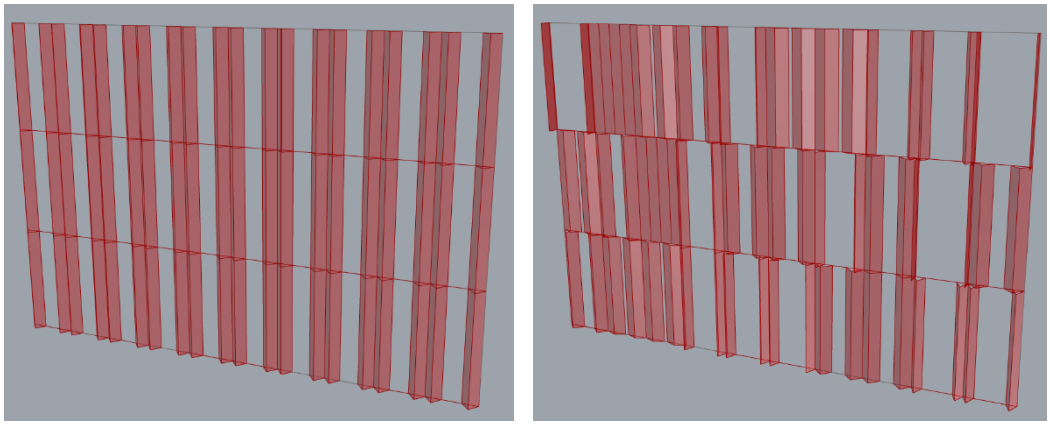
Şekil 117. Yüzeyin parçalara bölünmesi



Şekil 118. Noktalara göre rotasyon

5.6.4. Cephe Denemesi 4

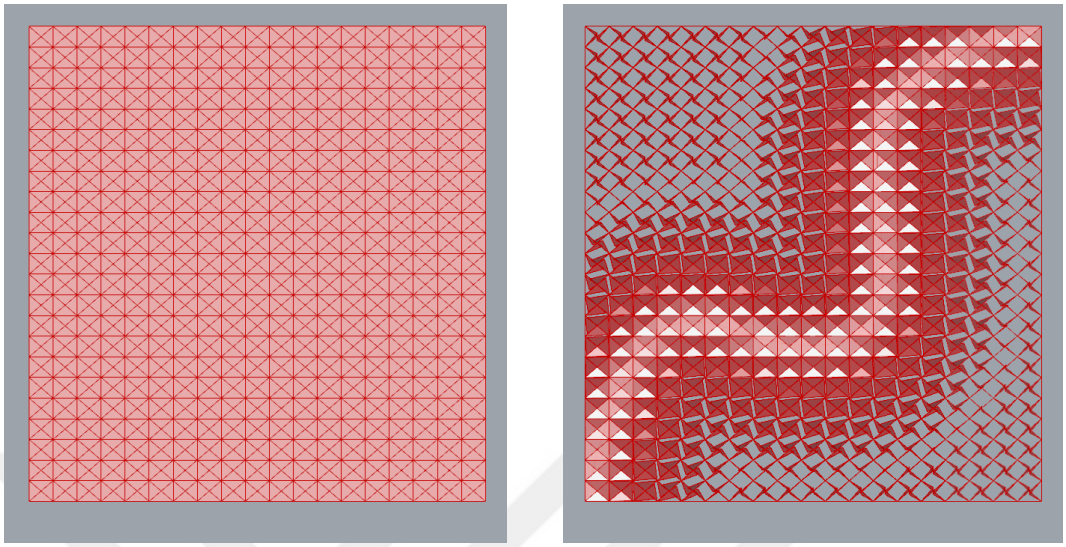
Modül cephe haline getirildi. Yüzeyin boyutunu değiştirip divide domain ile yüzey parçalara bölündü. Bu cephe tasarımında random komutu kullanılarak rastgele açılara göre rotasyon sağlandı (Şekil 119).



Şekil 119. Yüzeyin parçalara bölünmesi ve rastgele açılara göre rotasyonun sağlanması

5.6.5. Cephe Denemesi 5

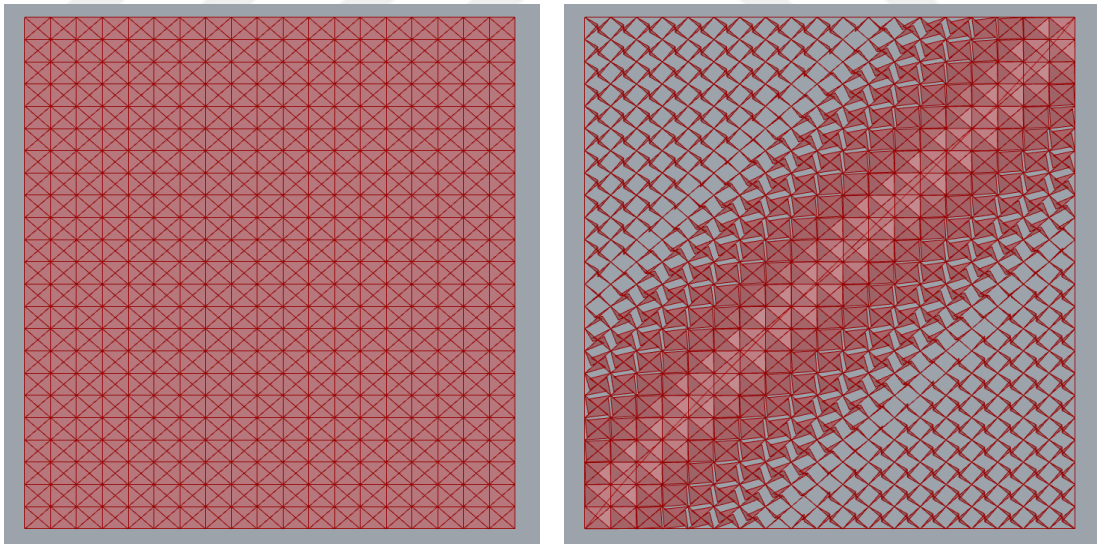
Bu varyasyonda luncbox'daki tringle panels c kullanıldı (Şekil 120).



Şekil 120. Yüzeyin tringle panel c ile bölünmesi ve çizgiye göre rotasyon

5.6.6. Cephe Denemesi 6

Burada da luncbox'daki tringle panels c kullanıldı. Bu denemede eğride kullanılan çizgi değiştirildi (Şekil 121).

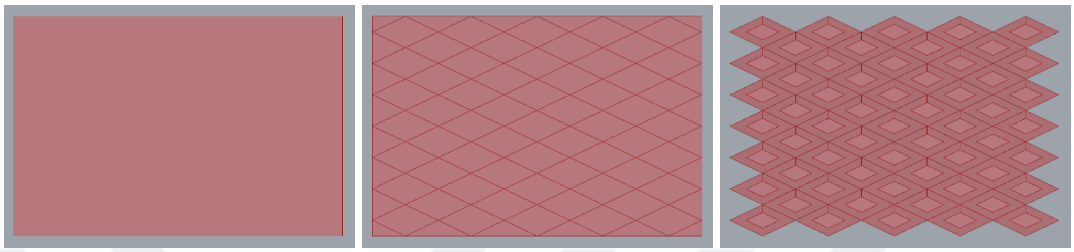


Şekil 121. Yüzeyin tringle panel c ile bölünmesi ve çizgiye göre rotasyon

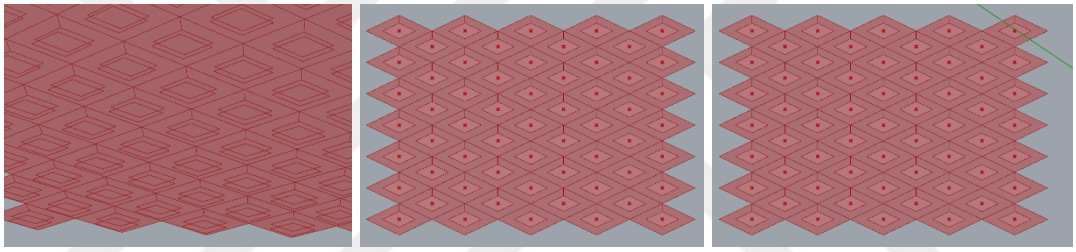
5.6.7. Cephe Denemesi 7

Rhino'da oluşturulan yüzey Grasshopper'daki surface komutu ile seçildi. lunchbox eklentisindeki diamond panels kullanıldı. Panel frame komutu sayesinde panellerden offset çerçeveler oluşturuldu (Şekil 122). Move komutuyla iç kısımdaki

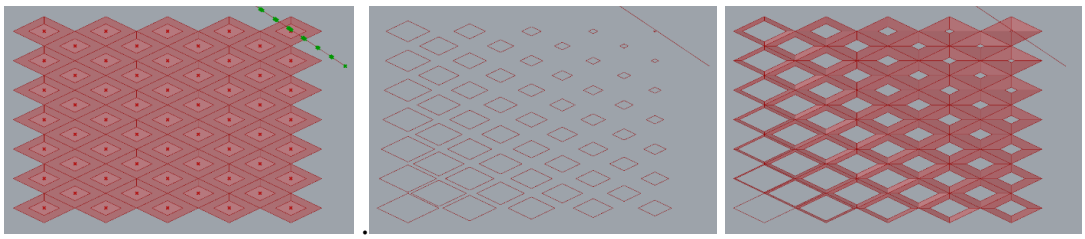
eğrilerin yeri değiştirildi. Area komutuyla eğrilerin orta noktaları belirlendi. Yeni bir eğri çizildi (Şekil 123). Curve closest point komutu ile de bu çizilen eğrideki en yakın noktalar bulundu. Buna göre remap numbers komutuyla yeni bir map hazırlandı. Bu yeni hazırlanan map'e göre scale komutuyla move ile hareket ettirilen eğrilerin ölçeklendirilmesi yapıldı. Diamond paneldeki dış eğriler ve ölçeklendirilen eğriler arasında yüzey oluşturuldu (Şekil 124).



Şekil 122. Grasshopper'da oluşturulan yüzey, yüzeyin diamond panel kullanılarak bölünmesi ve offset ile çerçevelerin oluşturulması



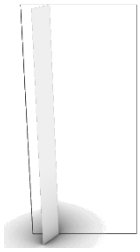
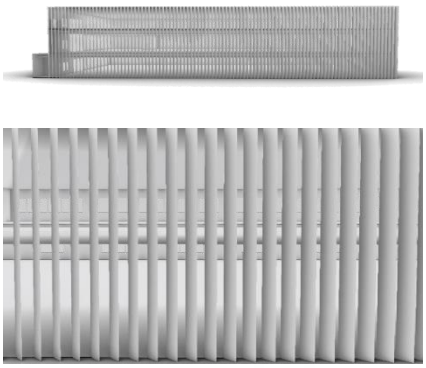
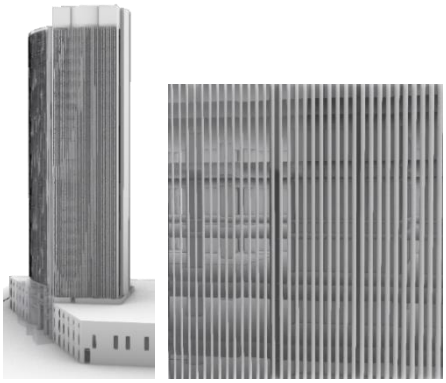
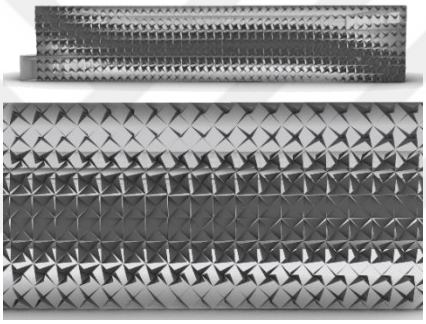
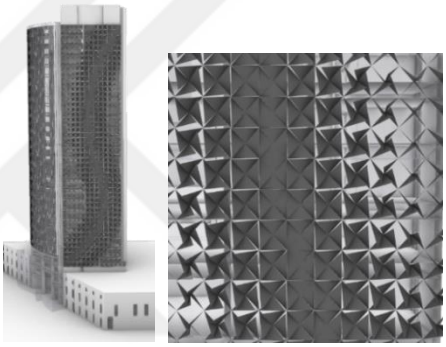
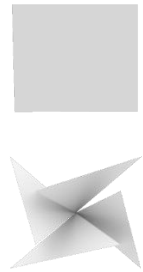
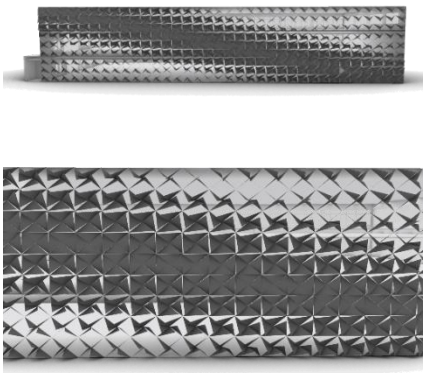
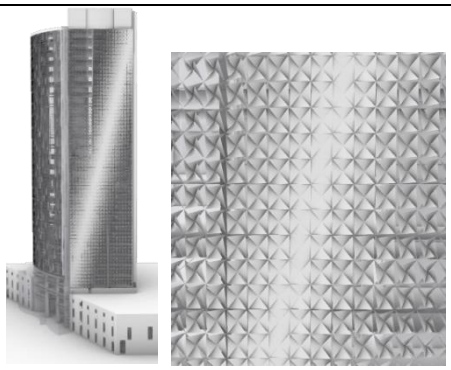
Şekil 123. Eğrilerin yer değiştirmesi, orta noktaların belirlenmesi ve yeni bir çizginin çizilmesi

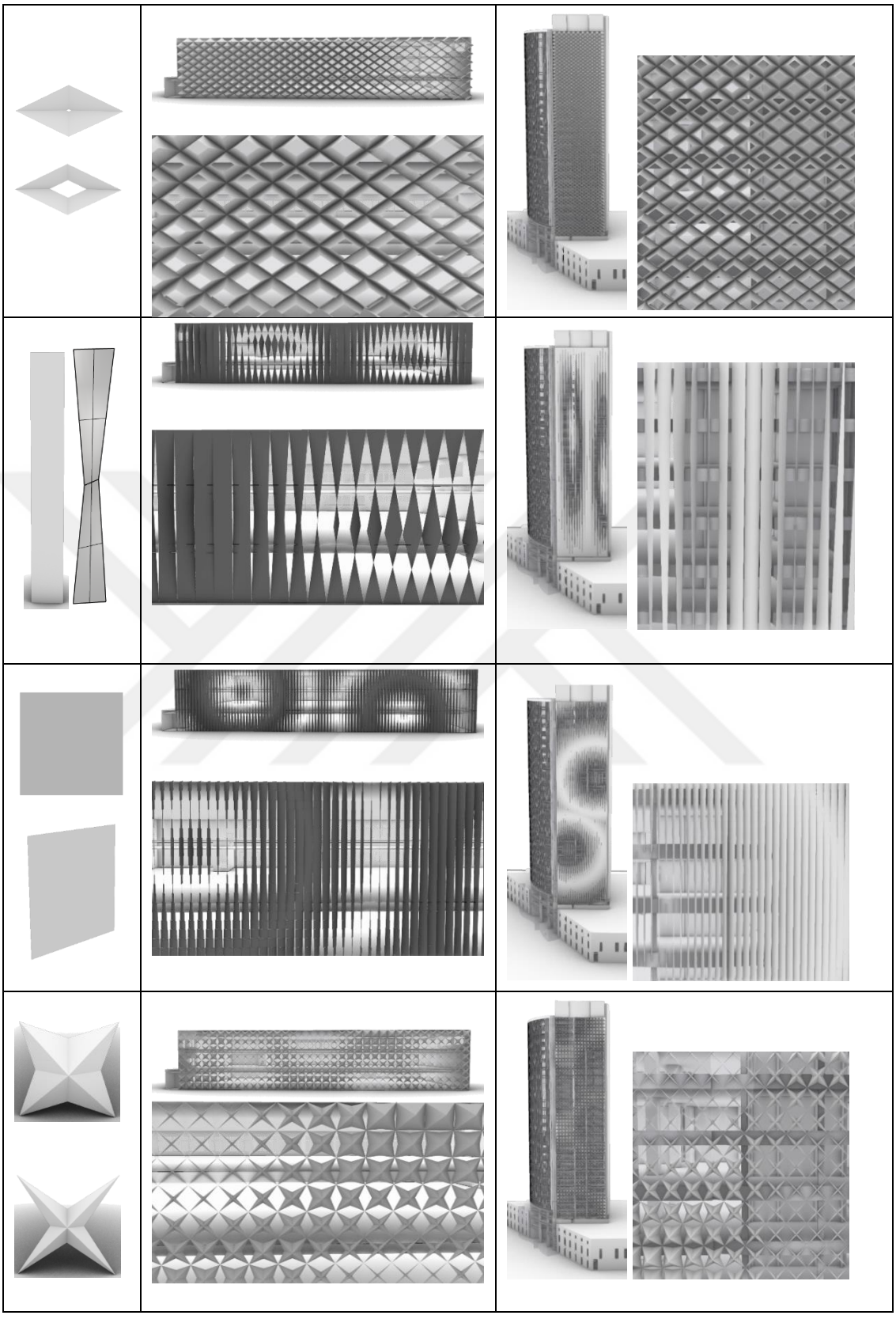


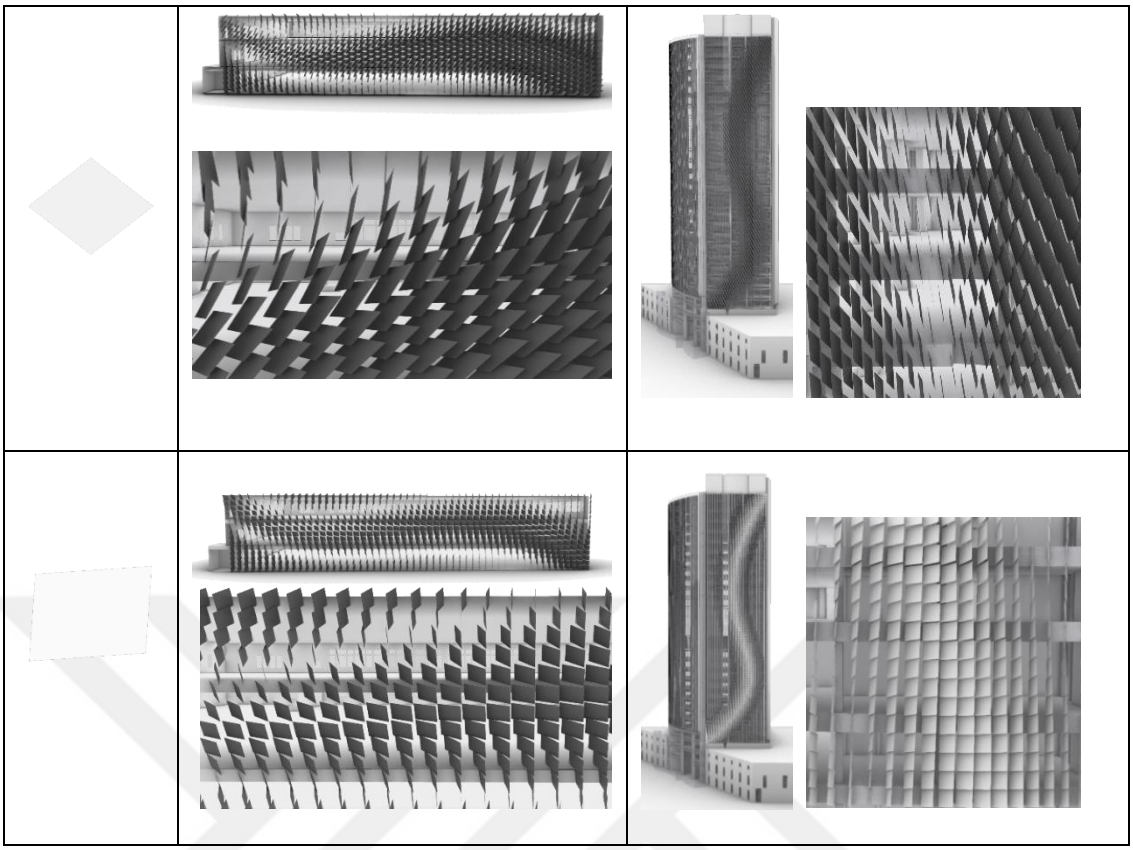
Şekil 124. Çizgideki en yakın noktaların belirlenmesi, çizgilerin ölçeklendirilmesi ve yüzey oluşturulması

Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi ve kulenin mevcut cephelerinin yerine parametrik cephe denemeleri, Grasshopper yazılımı kullanılarak yerleştirilmiştir (Tablo 34). Grasshopper programında oluşturulan cepheler, binaların ölçülerine göre model otomatik olarak kendisini güncellemiştir. Bu tabloda kullanılan parametrik cephe birimleri ve bu birimlerle oluşturulan cephelerin eski MMF binasında ve kule binasındaki denemeleri gösterilmiştir. Seçilmiş örneklerin düşeydeki ve yataydaki bütüncül görüntülerinin farkları açıkça görülmektedir.

Tablo 34. Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinde ve gelişim kulede parametrik cephe denemesi görüntüleri

Parametrik Cephe Birimleri	Eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Parametrik Cephe Denemeleri	Gelişim Kule Parametrik Cephe Denemeleri
		
		
		





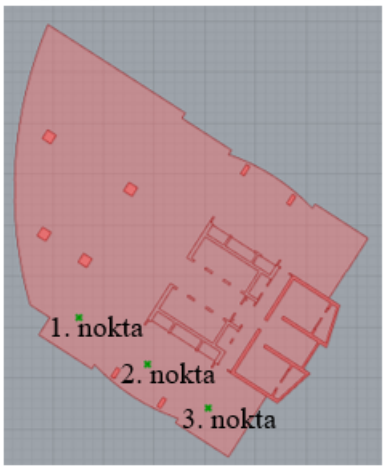
5.7. Binalarda Parametrik Cephe Analizleri ve Mevcut Cephe Analizlerinin Karşılaştırılması

Binaların mevcut cephelerinin analizleri, parametrik cephe denemeleri ve parametrik cephelerin binalara göre modellemesi yapıldıktan sonra binaların parametrik cephe modeliyle analizleri yapıldı (Tablo 35 ve Tablo 36). Bu analizlerde mevcut cepheyle parametrik cephe denemelerinin aydınlık düzeyleri karşılaştırıldı. Optimuma daha yakın olan değerler Tablo 35 ve Tablo 36'da renkli olarak belirtildi. Parametrik cephe ile yapılan günışığı analizlerinin optimum değere mevcut cepheye göre daha yakın olduğu söylenebilir.

Kule binası için 9 parametrik cephe denemesi yapılmıştır. Bu cephelerin günışığının analizlerinin seçilen noktalara göre aydınlık düzeyleri tablolarda gösterilmiştir. Toplamda 81 adet sonuç vardır. Gelişim kule parametrik cephe günışığı analizinin aydınlık düzeyleri kulenin mevcut cephesiyle karşılaştırıldığında 56 adet sonuç optimum değere daha yakındır. Gelişim kule için denenen parametrik

cephelerde 21 Haziran saat 12:00 güneşli gök koşullarında 19 sonuç, 21 Aralık saat 12:00 bulutlu gök koşullarında 18 sonuç optimum değere daha yakındır.

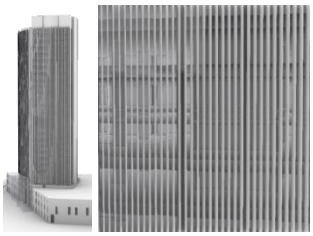
Eski MMF binası için de 9 parametrik cephe denemesi yapılmıştır. Bu cephelerin günışığının analizlerinin seçilen noktalara göre aydınlık düzeyleri tablolarda gösterilmiştir. Toplamda 108 adet sonuç vardır. Eski MMF binasının parametrik cephe günışığı analizinin aydınlık düzeyleri kulenin mevcut cephesiyle karşılaştırıldığında 104 adet sonuç optimum değere daha yakındır. Eski MMF için denenen parametrik cephelerde 21 Haziran saat 12:00 güneşli gök koşullarında 24 adet sonuç, 21 Aralık saat 12:00 bulutlu gök koşullarında 27 adet sonuç optimum değere daha yakındır.

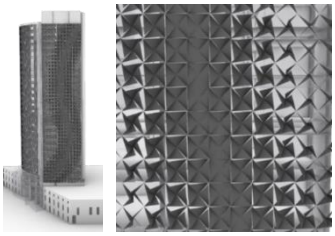
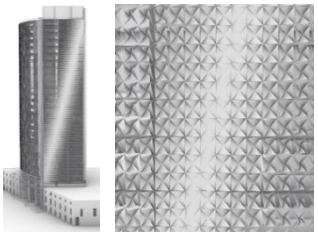
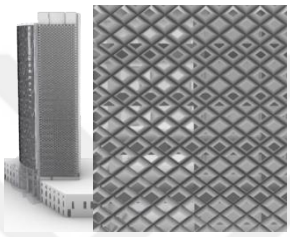
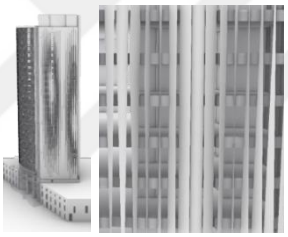
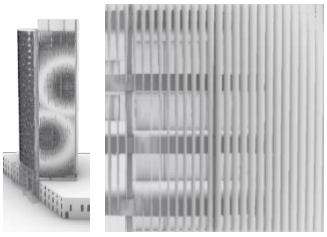
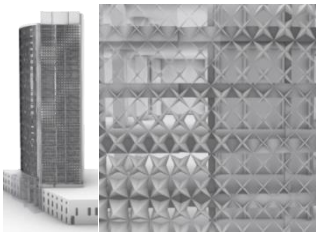


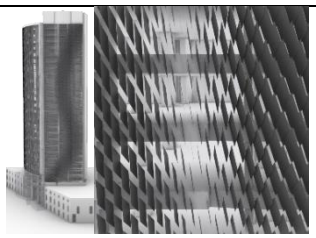
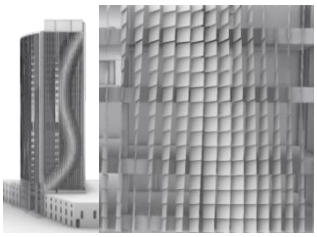
Gelişim Kule Mevcut Cephe Günışığı Analizi Saat 12:00			
	21 Haziran Güneşli	**21 Haziran Bulutlu**	**21 Aralık Bulutlu**
1. nokta	333	263	121
2. nokta	844	648	295
3. nokta	384	281	130

Şekil 125. Gelişim kule için seçilen noktalar ve noktalara göre aydınlık düzeyi

Tablo 35. Gelişim kulenin parametrik cephe günışığı analizinde seçilen noktalara göre aydınlık düzeyi

Gelişim Kule Parametrik Cephe Günışığı Analizi Saat 12:00					
			21 Haziran Güneşli	**21 Haziran Bulutlu**	**21 Aralık Bulutlu**
1. Deneme		**1. nokta**	823	642	301
		2. nokta	535	294	141
		3. nokta	759	488	229

2. Deneme		**1. nokta**	518	505	234
		2. nokta	292	193	86
		3. nokta	785	666	309
3. Deneme		**1. nokta**	481	461	223
		2. nokta	514	420	186
		3. nokta	750	654	297
4. Deneme		**1. nokta**	603	580	264
		2. nokta	314	250	109
		3. nokta	473	388	177
5. Deneme		**1. nokta**	452	442	205
		2. nokta	176	128	61
		3. nokta	426	335	157
6. Deneme		**1. nokta**	485	475	214
		2. nokta	212	159	71
		3. nokta	568	482	223
7. Deneme		**1. nokta**	798	697	328
		2. nokta	810	597	281
		3. nokta	1128	911	414
8. Deneme		**1. nokta**	649	627	287
		2. nokta	315	248	113

		**3. nokta**	535	438	204
9. Deneme		**1. nokta**	742	679	309
		2. nokta	437	278	130
		3. nokta	717	588	269

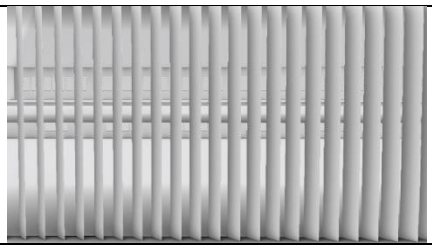
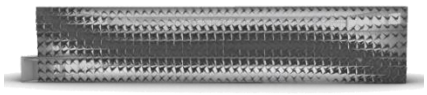
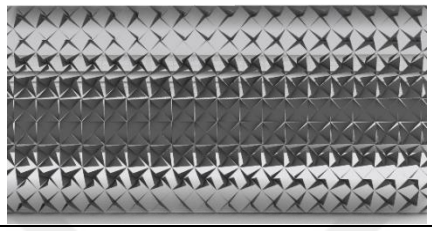
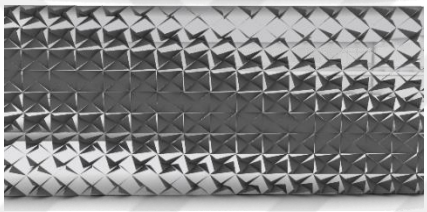
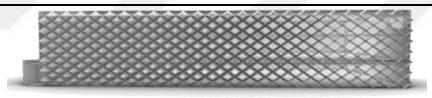
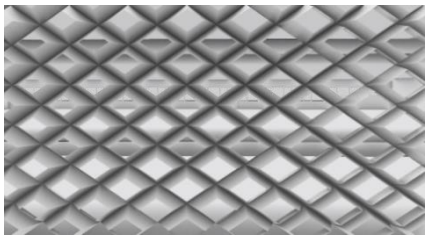
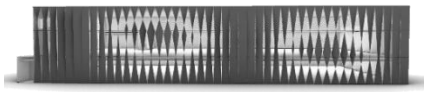
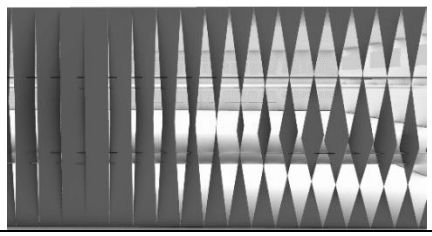
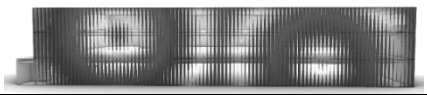


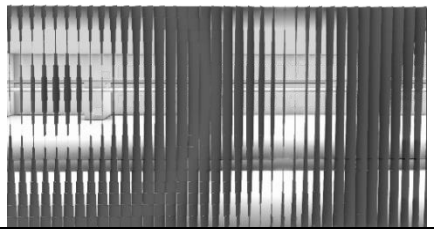
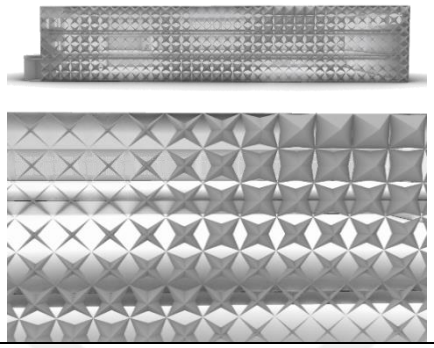
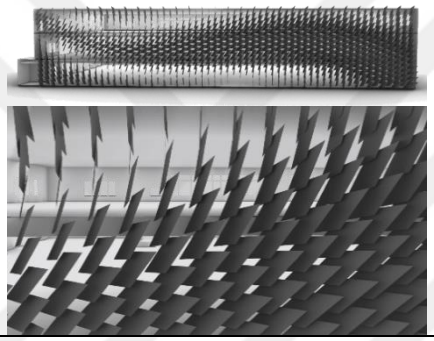
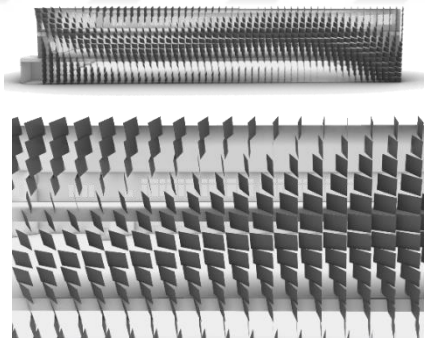
Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Binasının Mevcut Cephe Günışığı Analizi Saat 12:00				
	21 Haziran Güneşli	**21 Haziran Bulutlu**	**21 Aralık Güneşli**	**21 Aralık Bulutlu**
1. nokta	135	41	63	18
2. nokta	105	25	39	11
3. nokta	120	27	96	12

Şekil 126. Eski Gelişim ve Mimarlık Fakültesi binası için seçilen noktalar ve noktalara göre aydınlık düzeyi

Tablo 36. Eski Gelişim ve Mimarlık Fakültesi binasının parametrik cephe günışığı analizinde seçilen noktalara göre aydınlık düzeyi

Eski Gelişim Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Binasının Parametrik Cephe Günışığı Analizi **Saat 12:00**						
			21 Haziran Güneşli	**21 Haziran Bulutlu**	**21 Aralık Güneşli**	**21 Aralık Bulutlu**
1. Deneme		**1. nokta**	554	175	210	75
		2. nokta	453	102	136	43
		3.	549	137	589	63

		**nokta**				
2. Deneme		**1. nokta**	566	274	322	126
		**2. nokta**	400	109	149	49
		3. nokta	311	74	189	34
3. Deneme		**1. nokta**	653	331	379	151
		**2. nokta**	350	94	131	45
		3. nokta	145	41	166	19
4. Deneme		**1. nokta**	130	43	62	20
		**2. nokta**	154	43	58	19
		3. nokta	313	79	217	38
5. Deneme		**1. nokta**	363	157	179	74
		**2. nokta**	72	31	34	14
		3. nokta	291	89	113	41
6. Dene		**1. nokta**	180	65	71	29

		**2. nokta**	353	91	119	40
		3. nokta	221	53	112	24
7. Deneme		**1. nokta**	901	467	497	213
		2. nokta	280	79	111	40
		3. nokta	644	197	541	89
8. Deneme		**1. nokta**	448	151	207	71
		2. nokta	359	93	129	42
		3. nokta	465	139	477	58
9. Deneme		**1. nokta**	675	335	372	152
		2. nokta	433	125	161	58
		3. nokta	563	168	558	76

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde küresel ısınma, doğal ve temiz enerji kaynaklarının azalması gibi nedenlerden dolayı enerjinin nasıl daha verimli kullanılabileceğiyle ilgili yapılan çalışmalar artmıştır. Binalar enerji tüketiminde önemli bir yüzdeye sahip oluşu nedeniyle mimarlar yeni tasarım yöntemleri arayışına girmişlerdir. Sürdürülebilirlik, performans, yeşil çevre gibi kavramlar bu alandaki tasarımın önemli bir parçası haline gelmiştir. Performansa dayalı tasarım da bu yaklaşımlardan biridir. Binalardaki enerji kayıplarının büyük bir kısmı bina cephelerinde gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı bu tezde ilk olarak performansa dayalı cepheler üzerinde durulmuştur, bu cephelerin incelemesi ve karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo 10 ve Tablo 11). Daha sonra parametrik tasarım metodunun tanımına, tarihçesine, kullanılan yazılımlara, uygulandığı alanlara değinilmiştir. Mimarlıkta parametrik tasarım kullanılarak yapılan örnekler incelenmiştir (Tablo 14 ve Şekil 88). Seçilen örneklerden yararlanarak parametrik cephe denemeleri yapılmıştır (Tablo 32 ve Tablo 33). Seçilen Gelişim Üniversitesi kule binası ve eski MMF binasının mevcut cephe günışığı analizleri ve parametrik tasarım metodu kullanarak tasarlanmış cepheler kullanılarak tekrar günışığı analizleri yapılmıştır. Bunların sonuçları karşılaştırılmıştır (Tablo 35 ve Tablo 36).

Bu çalışmanın birinci bölümünde tezin problemi, amacı, önemi ve yöntemi üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde Tablo 10 ve Tablo 11'de dünyadan seçilmiş performansa dayalı cephelerin incelemesi yapılmıştır. İncelenen cephelerin cephe performansları enerji üretimi, ısıtma yükünü azaltma, soğutma yükünü azaltma, kamaşma kontrolü, yeterli aydınlık düzeyi ve doğal havalandırmaya göre puanlandırılmıştır. Bunun sonucunda performansa dayalı cephelerde, cephe performansı olarak %28'le soğutma yükünü azaltma ön planda olduğu söylenebilir. Sırasıyla bunu %20'yle yeterli aydınlık düzeyini sağlama ve kamaşma kontrolü, %14'le doğal havalandırma, %13'le ısıtma yükünü azaltma ve en düşük oranda %5'le enerji üretimi izler.

Üçüncü bölümde, parametrik tasarım üzerinde durulmuştur. Parametrik tasarımın tarihçesi, bu alanda kullanılan yazılımlar ve uygulandığı alanlar incelenmiştir. Dördüncü bölümde, mimarlık alanında uygulanmış parametrik

örneklere yoğunlaşılmıştır. Tablo 14'te mimarlıkta dünyadan parametrik tasarım örneklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı ölçeklere ve işlevlere sahip çalışmalar seçilmiştir. Şekil 88'te ise incelenen örneklerde kullanılan yazılımların grafiği gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasının analiz bölümünde, Gelişim Kule ve eski Mimarlık ve Mühendislik Fakültesinin günışığı analizleriyle mevcut cepheler yerine parametrik tasarım metodu kullanılarak oluşturulan cepheler yerleştirilerek yapılan analizler karşılaştırılmıştır. İlk olarak binaların bulunduğu çevrenin analizi yapılmıştır. Daha sonradan binalar Rhinoceros programı kullanılarak dijital ortamda modellemesi yapılmıştır (Şekil 93 ve Şekil 94). Bu modeller Rhinoceros'un eklentisi olan Grasshopper'da tanımlandırılmıştır. Honeybee eklentisi kullanılarak da binaların mevcut cepheleriyle günışığı analizleri yapılmıştır. Analizlerde tarih olarak 21 Haziran ve 21 Aralık saat 12:00 güneşli ve bulutlu gök koşullarına göre analizler yapılmıştır. Aydınlık düzeyi karşılaştırmalarını yapabilmek için 3 nokta belirlenmiştir. Bu seçilen noktalar Şekil 97 ve Şekil 98'te gösterilmiştir. Gelişim kule ve eski MMF binası mevcut cephe günışığı analizinde seçilen noktaların aydınlık düzeyi sonuçları Tablo 25 ve Tablo 26'da gösterildi. Binaların günışığı analizlerinden sonra parametrik cephe denemeleri tasarlandı.

İncelenen cephelerden yararlanarak beşinci bölümde parametrik birim denemeleri gerçekleştirildi (Tablo 27). Tablodaki cephe birimlerinde döndürme ve katlama hareket tipi kullanılmıştır. Oluşturulan birimler bir araya getirilerek farklı cephe varyasyonları oluşturuldu. Tablo 32'de oluşturulan parametrik cephe denemeleri, Tablo 33 ise parametrik cephe denemelerinin kapalıdan açığa doğru görüntülerinin sıralanması gösterilmiştir. Bazı cephelerde birimlerin kapalılık oranı çizgiye göre değişirken bazı cephelerde noktaya göre değişir. Bazı cephelerde kapalılık oranı her birimde aynıyken bazılarında soldan sağa ya da sağdan sola doğru değişir. Cephedeki açıklık ve kapalılık oranını belirlerken de bir kısmında hiçbir çizgi ya da nokta kullanılmazken bir kısmında eğrisel çizgiler ve noktalar kullanılmıştır. Noktalara göre açıklık ve kapalılık oranı değişen cephelerde noktasal bir çözüm sunar. Cephede noktanın bulunduğu alan açık ya da kapalı hale getirilebilir. Binada bir ya da birkaç odanın diğer odalardan daha az ya da daha fazla günışığı alması isteniyorsa noktasal bir parametrik cephe modeli uygulanabilir.

Çizgilere göre açıklık ve kapalılık oranı değişen cephelerde ise çizginin bulunduğu konuma göre farklı çözümler sunar. Grasshopper'da oluşturulan çizgi yatay, dikey ya da çapraz olarak kullanılabilir. Başka bir deyişle bu çalışmanın bir sonucunda da binanın üst katlarının alt katlardan daha fazla günışığı alması isteniyorsa yatay, cephenin sol tarafının sağ tarafından daha az ya da daha fazla günışığı alması isteniyorsa dikey, cephenin sol altından sağ üstüne doğru bir değişiklik isteniyorsa çapraz bir çizgi kullanılabilir. Burada önemli olan nasıl bir konumda bulunduğu, mekânın nasıl bir işleve sahip olduğudur. Buna yönelik parametrik yazılımlarla parametrik cepheler oluşturulabilir. Parametreleri değiştirerek farklı binalara uyarlanabilir.

Parametrik modüller tasarlandı. Modüller kullanılarak cephe denemeleri oluşturuldu. Grasshopper'da parametrik cephe denemelerinin parametreleri değiştirilerek binaların güney cephelerine uyarlandı (Tablo 34). 9 farklı parametrik cephe denemesi giydirildi. Bu denemelerde dikdörtgen, üçgen, eşkenar ve kare birimleri kullanıldı. Bu birimleri döndürme, katlama ve rotasyon yöntemlerini kullanarak farklı varyasyonları oluşturuldu. Ladybug eklentisi kullanılarak da binaların tekrar günışığı analizleri yapıldı. Gelişim kule için toplamda 81, eski MMF binası için de toplamda 108 adet günışığı analizi yapıldı. Belirlenen 3 noktaya (Şekil 97 ve Şekil 98) göre analiz sonuçları mevcut cephenin analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldı (Tablo 35 ve Tablo 36). Kule parametrik cephe günışığı analizinin aydınlık düzeyi, kulenin mevcut cephesiyle karşılaştırıldığında 56 adet sonuç optimum değere (500 lux) daha yakındır. 21 Haziran saat 12:00 güneşli gök koşullarında 19 sonuç, 21 Aralık saat 12:00 bulutlu gök koşullarında 18 sonuç optimum değere daha yakındır. Eski MMF binasının parametrik cephe günışığı analizlerinin aydınlık düzeyleri, kulenin mevcut cephesiyle karşılaştırıldığında 104 adet sonuç optimum değere daha yakındır. 21 Haziran saat 12:00 güneşli gök koşullarında 24 sonuç, 21 Aralık saat 12:00 bulutlu gök koşullarında 27 sonuç optimum değere daha yakındır. Binalar için modellenene 9 parametrik cephe denemesinin 9'unun aydınlık düzeyi analizleri, mevcut cephenin aydınlık düzeyi analizlerinden daha iyi sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre parametrik cephe kullanımı, olması gerekenden daha fazla günışığına maruz kalan alanların optimum düzeyde günışığı alabilmesini sağlar. Olması gerekenden daha az günışığı alan alanların daha fazla günışığı alabilmesini sağlar. Böylece parametrik tasarım

metoduyla tasarlanmış bir cephenin yapay aydınlatma kullanımını ve bunun bir sonucu olarak enerji tüketimini azaltabileceği söylenebilir. Parametrik tasarım metodu kullanılarak kısa sürede farklı cephe alternatifleri oluşturulabilir. Parametrik modül denemeleri sonsuz çeşit üretilebilir ve denemeye açıktır. Birbirinden farklı konseptteki binalara parametrelerde değişiklik yaparak uyarlanabilir. Aynı şekilde güneş kontrol sistemlerinin açıklık ve kapalılık oranı parametrelerde değişiklik yaparak bulunduğu ortama ve güneşin konumuna göre uyarlanabilir.

Özetle bu tez çalışmasında kapsam sınırlandırıldığından seçilen 2 ayrı binada sadece günışığı ile ilgili analizler yapılmıştır. Günışığından yeteri kadar faydalanılamadığından dolayı kullanılan yapay aydınlatmalar, binalardaki yüksek enerji tüketiminin bir kısmını oluştursa da kullanıcılar için konforlu bir alan oluşturulabilmek için soğutma, ısıtma ve havalandırma için de enerji harcanmaktadır. Günışığı analizlerinin yanı sıra soğutma, ısıtma ve havalandırmayla ilgili analizler de yapılabilir. Tez sınırları dışında kalan ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması, mekanik havalandırma yerine doğal havalandırmaya olanak sağlayacak bir parametrik cephe modeli geliştirilebilir. Parametrik cephelerin Gelişim kule gibi yüksek katlı binalarda uygulanabilirliği ile ilgili daha kapsamlı ve uygulamaya yönelik öneri sunabilecek farklı çalışmalar yapılabilir. Özellikle enerji üretimi ve tüketiminin sorgulandığı günümüzde tüketim maliyetlerinin yükseldiği yapılarda bina yapım yönetmeliği, proje yönetimi gibi alanlarda efektif tasarruf sağlayacak yöntemlerin teşvik edilmesi yönünden bu araştırmanın sonuçlarının yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

(n.d.). Retrieved from http://digitalcraft.cca.edu/090904-flux

(n.d.). Retrieved from Zlote Tarasy

Abdelsabour, I. (2017). Performative Architecture: Facades' Pattern Effect on Architectural Performance. *Journal of Engineering and Applied Science, 64*(3), s. 165-187.

Selçuk, S. A., & Sorguç, A. G. (2007). Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 451-459.

World Commission On Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.

(2022, 09 06). https://www.unstudio.com/en/page/12104/galleria-centercity adresinden alındı

Ahmed, M. M., Rahman, A. A., Ali, A. H., & Suzuki, M. (2016). Double Skin Façade: The State of Art on Building Energy Efficiency. *Journal of Clean Energy Technologies, 4*(1), pp. 84-89.

Aldemir, B. C. (2014). *Bina Kabuğunun Biçimlenmesinde Doğal Süreçlere Dayalı Üretken Yaklaşımlar.* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alemdağ, E. L., & Beyhan, F. (2017). A Research on Construction Systems of Double Skin Facades. *Journal of Science, 30*(1), s. 17-30.

Alhazzaa, K. (2019). *Contribution of a Passive Dynamic Facade to Energy Reduction, Daylight, and View Quality in a Hot, Arid Climate.* The University of Arizona.

Alik, B., & Ayyıldız, S. (2016). Fractals and Fractal Design in Architecture. *13th International Conference "Standardization, Protypes and Quality: A Means of Balkan Countries' Collaboration"*, (s. 282-291).

Altın , M., & Orhon, A. V. (2014). Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik . *7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu.* İstanbul.

Alvarado, R. G., & Munoz, J. J. (2012). The Control of Shape: Origins of parametric Design in Architecture in Xenakis, Gehry and Grimshaw. *METU JFA*, 107-118.

ArchDaily. (2017, Ekim 13). *Bund Finance Centre / Foster + Partners + Heatherwick Studio*. ArchDaily: https://www.archdaily.com/881511/bund-finance-centre-foster-plus-partners-plus-heatherwick-studio adresinden alındı

Ayçam, İ. (2011). Enerji Etkin Ofis Binalarında Gelişmiş Cephe Sistemlerinin İncelenmesi . *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (s. 1593-1609). İzmir.

Azarbayjani, M. (2022). *High-Performance Double Skin Façade Buildings Climatic-Based Exploration* . New York: Routledge.

Bacha, C. B., & Bourbia, F. (2016). Effect of kinetic facades on energy efficiency in office buildings - hot dry climates. *Advanced Building Skins*, (s. 458-468). Bern.

Barbosa, S., & Ip, K. (2014). Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40*, 2019-2029.

Başarır, B., & Altun, M. C. (2017). A Classification Approach for Adaptive Façades. *Interdisciplinary Perspectives for Future Building Envelopes.* İstanbul.

Bavilolyaei, Y. T. (2016). *Çift Cidarlı Cephelerde Farklı Havalandırma Koşullarında Duman Hareketinin Sayısal Yöntemle İncelenmesi.* İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Birangal, G., Admane, S. V., & Shinde, S. S. (2015). Energy Efficiency Approach to Intelligent Building. *International Journal of Engineering Research, 4*(7), pp. 389-393.

Boake, T. M. (2002). The Tectonics of the Double Skin Facade: Understanding the General Principles of the Double Skin Façade System. *ACSA Technology Conference*, (pp. 52-63).

Bonham, M. B. (2020). *Bioclimatic Double-Skin Façades.* New York: Routledge.

Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design.* Birkhäuser Boston.

Chayaamor-Heil, N. (2023). From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges. *Encyclopedia, 3*(1), 202-223.

Commerzbank Headquarters. (n.d.). Retrieved from Foster + Partners: https://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/

Çakır, H. S. (2022). Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin Tasarımda Biçimlenişi: Akıllı Binalar. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 7*(1), s. 421-441.

Çalışkan, O. (2017). Parametric Design in Urbanism: A Critical Reflection. *Planning Practice & Research, 32*, 417-443.

Davis, D. (2013, August 6). *A History of Parametric*. Retrieved from Daniel Davis: https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/

Demystifying Fritted Glass. (n.d.). Retrieved from dip-tech: https://www.dip-tech.com/about/articles/38-articles/136-demystifying-fritted-glass

Dragonfly. (tarih yok). Tom Wiscombe Architecture: https://tomwiscombe.com/DRAGONFLY adresinden alındı

Dunn, N. (2012). *Digital Fabrication in Architecture.* London: Laurence King Publishing.

Ediz, Ö., & Çağdaş, G. (2006). Kaos, Fraktaller ve Mimari Tasarım. *Journal of İstanbul Kültür University*, 155-160.

Eglash, R. (1999). *African Fractals: Modern Computing and Indigenous Design.* New Jersey: Rutgers University Press.

Elbatran, R. M., & Ismaeel, W. S. (2021). Applying a Parametric Design Approach for Optimizing Daylighting and Visual Comfort in Office Buildings. *Ain Shams Engineering Journal*, s. 3275-3284.

Eltaweel, A., & Su, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1086–1103.

Engin, S. (2022). *Kinetik Cephelerde Sınıflandırma Önerisi ve Geleneksel Gölgeleme Elemanları Arasındaki Farkların Değerlendirmeleri.* İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı.

FLUX — Digital Craft Lab @ CCA. (n.d.). Retrieved from http://digitalcraft.cca.edu/090904-flux

Flux Installation. (n.d.). Retrieved from Lift Architects: http://www.liftarchitects.com/#/flux

Fox, M. A. (2001). Sustainable Applications of Intelligent Kinetic Systems.

Fox, M., & Kemp, R. M. (2009). *Interactive Architecture.* New York: Princeton Architectural Press.

Gane, V., & Haymaker, J. (2007). Conceptual Design of High-rises with Parametric Methods. *eCAADe 25*, (s. 293-301). Frankfurt.

Gerber, D. (2007). *Parametric Practices: Models for Design Exploration in Architecture.* PhD dissertation, Harvard University.

Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., Tookey, J., Li, D. H., & Kariminia, S. (2016). Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 1052-1065.

Haidari, H. (2015). Decisive design aspects for designing a kinetic façade.

Hraska, J. (2018). Adaptive solar shading of buildings. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 107-113.

Ibrahim, J. A., & Alibaba, H. Z. (2019). Kinetic Facade as a Tool for Energy Efficiency. *International Journal of Engineering Research and Reviews, 7*(4), 1-7.

Ilter, S. (2018). Exploring Design Principles of Bioclimatic Architecture and Double Skin Facades as A Convincing Tool for Energy Saving. *Journal Of Contemporary Urban Affairs, 2*(3), pp. 60-66.

İnan, T., & Başaran, T. (2014). Çift Cidarlı Cepheler Üzerine Bir Araştırma. *Megaron, 9*(2), s. 132-142.

İnan, T., & Başaran, T. (2015). Çift Cidarlı Cepheler: Avantajları ve Dezavantajlar. *Tesisat Mühendisliği*(146), s. 80-86.

Jabi, W. (2013). *Parametric Design for Architecture.* Londra: Laurence King.

Jankovic, A., & Goia, F. (2021). Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour. *Building and Environment* , 1-32.

Januszkiewicz, K., & Kowalski, K. G. (2017). Parametric Architecture in the Urban Space . *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (pp. 1-10).

Jeong, J., Park, H., Lee, Y., Kang, J., & Chun, J. (2021). Developing parametric design fashion products using 3D printing technology. *Fashion and Textiles*, 1-25.

Kalyanova, O. (2008). *Double-Skin Facade – Modelling and Experimental Investigations of Thermal Performance.* Aalborg: Aalborg University Department of Civil Engineering Group of Architectural Engineering .

Karakoç, E., & Çağdaş, G. (2015). Performative Architecture with an Adaptive Building Facade. *18 Generative Art Conference.*

Kolarevic, B. (2003). Digital Morphogenesis. B. Kolarevic içinde, *Architecture in the Digital Age Design and Manufacturing.* Londra: Spon Press.

Kolarevic, B., & Parlac, V. (2015). Adaptive, Responsive Building Skins. In B. Kolarevic, & V. Parlac, *Building Dynamics: Exploring Arcitecture of Change.* London: Routledge.

Koppitz, J. P., Quinn, G. C., Schmid, V., & Thurik, A. (2012). Metropol Parasol - Digital Timber Design. In C. Gengnagel, A. Kilian, N. Palz, & F. Scheurer, *Computational Design Modeling: Proceedings of the Design Modeling Symposium Berlin 2011* (pp. 249-257). Springer.

Krieg, O. D., Christian, Z., Correa Zuluaga, D., & Menges, A. (2014). *HygroSkin – Meteorosensitive Pavilion.* UCL Press.

Kutluay, P., İnan, T., Ersoy, U., & Başaran, T. (2015). Türkiye'den ve Dünyadan Örnekler Işığında Çift Cidarlı Cephenin Gelişimi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.* İzmir.

Kyratsis, P., Manavis, A., Gianniotis, P., & Ghiculescu, D. (2019). a non-conventional methodology for interior product design using conceptual design principles and parametric tools. *Romanian Association of Nonconventional Technologies, 23*(4), 16-21.

Lauridsen, P. K., & Petersen, S. (2014). Integrating Indoor Climate, Daylight and Energy Simulations in Parametric Models and Performance-Based Design. *Third International Workshop on Design in Civil and Environmental Engineering*, 111-118.

Loncour, X., Deneyer, A., Blasco, M., Flamant, G., & Wouters, P. (2004). *Ventilated Double Facades: Classifications & illustration of facade concepts.* Belçika: Belgian Building Research Institute (BBRI).

Lu, X., Croome, D. C., & Viljanen, M. (2012). Fractal Geometry and Architecture Design: Case Study Review. *Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM), 2*, 311-322.

Maden, F. (2022). Tesselasyon Tabanlı Kinetik Cephe Tasarımları. *mimar•ist*(73), s. 104-111.

Martin, A., & Yau, A. (2006). Generative Components research. Beijing Biennale exhibition.

Matin, N. H., & Eydgahi, A. (2019). Learning Modules for Geometric Pattern Identification and Mathematical Modeling of Facade System. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings.* doi:10.18260/1-2--33053

Miller, N. (2011). The Hangzhou Tennis Center: A Case Study in Integrated Parametric Design. *ACADIA Regional 2011: Parametricism: (SPC),* (s. 141-148).

Nashaat, B., & Waseef, A. (2017). Responsive Kinetic Facades: An Effective Solution for Enhancing Indoor Environmental Quality in Buildings. *Architecture of the Future: Challenges and Visions.* Saudi Arabia: The First Memaryat International Conference.

Nezamaldin, D. (2019). *Parametric design with Visual programming in Dynamo with Revit.* Stockholm: Yüksek Lisans Tezi, Kraliyet Teknoloji Enstitüsü.

NON LIN / LIN. (n.d.). Retrieved from MARC FORNES / THEVERYMANY: https://theverymany.com/brugge

NON LIN / LIN. (n.d.). Retrieved from MARC FORNES / THEVERYMANY: https://theverymany.com/constructs/10-frac-centre

Oesterle, E., Lieb, R.-D., Lutz, M., & Heusler, W. (2001). *Double-Skin Façades: Integrated Planning.* Prestel.

Ofluoğlu, S. (2014). Bina Yaşam Dögüsünde BIM Uygulamları.

Oxman, R. (2008). Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing, 6*(1), s. 1-17.

Panchuk, N. (2006). *An Exploration into Biomimicry and its Application in Digital & Parametric [Architectural] Design.* Master of Architecture Thesis, University of Waterloo.

Pell, B. (2010). *The Articulate Surface (Ornament and Technology in Contemporary Architecture).* Birkhauser.

Poirazis, H. (2004). *Double Skin Façades for Office Buildings.* Lund University.

Poirazis, H. (2006). *Double Skin Façades: A literature review.* Lund University.

Pollard, B. (2009). Double Skin Facades - More is Less? *Environment Design Guide*, 1-10.

Razzaghmanesh, D. (2015). *Impact of Parametric Design on Designing Performative Facades.* İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Robert, S. (2006). *Aggregation Strategies.* Masters dissertation, University of Bath.

Rogler, K. (2015). *Energy Modeling and Implementation of Complex Building.* https://surface.syr.edu/architecture_theses/305 adresinden alındı

Romero, F., & Ramos, A. (2013). Bridging a Culture: The Design of Museo Soumaya. *Architectural Design, 83*(2), 66-69.

Schumacher, P. (2009). Parametricism: A new global style for architecture and urban design. *Architectural Design*, 14-23.

Shameri, M. A., Alghoul, M. A., Sopian, K., Zain, M. F., & Elayeb, O. (2011). Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(3), pp. 1468-1475.

Shepherd, P., Hudson, R., & Hines, D. (2011). Aviva Stadium: A Parametric Success. *International Journal of Architectural Computing*, 167-185.

Somboonwit, N., Boontore, A., & Rugwongwan, Y. (2017). Obstacles to the Automation of Building Performance Simulation: Adaptive Building

Integrated Photovoltaic (BIPV) design. *Environment - Behaviour Proceedings Journal, 2*(5), s. 343-354.

Sood, R., & Patil, A. S. (2022). Analysis and Review of the Kinetic Façades in Kolding Campus, South Denmark University. H. M. Dubey, M. Pandit, L. Srivastava, & B. K. Panigrahi (Dü.), *Artificial Intelligence and Sustainable Computing* içinde (s. 265-274). Springer, Singapore.

Sümengen, Ö., & Yener, A. K. (2015). Binalarda Aydınlatma Enerji Performansının Belirlenmesinde Günışığına İlişkin Değişkenlerin İncelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31*(2), 135-148.

Szolomicka, H. G., & Szolomicki, J. (2019). Architectural and Structural Analysis of Selected Twisted Tall. *IOP Conference Series: Architectural and Structural Analysis of Selected Twisted Tall*, (s. 1-13).

Tamke, M., & Thomsen, M. R. (2008). Designing Parametric Timber. *Architecture 'in computro' 26th eCAADe* , (s. 609-616). Belçika.

Taşkan, D., & Ismaeel, A. B. (2022). Mimari Bir Eleman: Maşrabiye. *Art-Sanat*, 475-496.

University of Oregon John E. Jaqua Academic Center for Student Athletes / ZGF Architects. (2011). Retrieved from archdaily: https://www.archdaily.com/137141/university-of-oregon-john-e-jaqua-academic-center-for-student-athletes-zgf-architects

Uzun, T., & Savrunlu, M. (2022). Double Skin Facade in Sustainable Architecture. *Sustainable Current Approaches in Architectural Science and Technology* (s. 99-130). içinde Livre de Lyon.

Wong, P. C. (2008). *Natural Ventilation in Double-Skin Façade Design for Office Buildings in Hot and Humid Climate* . Sydney: The University of New South Wales.

Yaman, M. (2021). Different Façade Types and Building Integration in Energy Efficient Building Design Strategies. *International Journal of Built Environment and Sustainability, 8*(2), s. 49-61.

Yılmaz, D., & Keskin, K. (2019). Farklı Bakış Açılarıyla Sürdürülebilir Mimarlık-Estetik İlişkisinin Kurulması. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi, 5*(1), pp. 145-160.

Zeljic, A. S. (2010). Shanghai Tower Facade Design Process. *International Conference on Building Envelope Systems and Technologies*, (s. 1-18). Vancouver.

Zhao, S., & Angelis , E. (2019). Performance-based Generative Architecture Design: A Review on Design Problem Formulation and Software Utilization. *Journal of Integrated Design and Process Science*, s. 1-22.

Zlote Tarasy. (n.d.). Retrieved from Jerde: https://www.jerde.com/projects/8093/zlote-tarasy

Zlote Tarasy. (n.d.). Retrieved from Arup: https://www.arup.com/projects/zlote-tarasy

Zlote Tarasy. (tarih yok). arup: https://www.arup.com/projects/zlote-tarasy adresinden alındı

URL KAYNAKÇASI

(Url 1), https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-consumption-in-buildings-by-fuel-in-the-net-zero-scenario-2010-2030-2

(Url 2), https://archello.com/project/arab-world-institute

(Url 3), https://www.cairo360.com/article/sights-travel/cairos-hidden-gems-the-story-behind-bayt-al-suhaymi/

(Url 4), https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Islamic-cairo-street.jpg

(Url 5), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Mashrabiya%22_at_Al-Sadat_house_in_Cairo.jpg

(Url 6), https://arqteoria.wordpress.com/2013/05/22/aula-1-high-tech/

(Url 7), https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel

(Url 8), https://en.wikiarquitectura.com/instituto_del_mundo_arabe_-_wikiarquitectura_284329-2/

(Url 9), https://aedesign.files.wordpress.com/2009/08/instint2.jpg

(Url 10), https://www.archdaily.com/89270/kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner

(Url 11), http://www.whitevoid.com/flare-facade/

(Url 12), https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associes

(Url 13), https://www.architectmagazine.com/photos/citation-heliotrace-facade-system

(Url 14), https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas

(Url 15), https://www.archiscene.net/firms/aedas/al-bahar-towers/

(Url 16), https://www.prozorivrata.com/fasada-vizuelni-simbol-energetske-efikasnosti/

(Url 17), https://www.iaacblog.com/programs/doruk-yildirim/

(Url 18), https://www.archdaily.com/233487/somas-thematic-pavilion-opens-tomorrow?ad_medium=gallery

(Url 19), http://www.achimmenges.net/?p=5612

(Url 20), https://www.archdaily.com/522344/sharifi-ha-house-nextoffice?ad_medium=gallery

(Url 21), https://www.archdaily.com/522344/sharifi-ha-house-nextoffice?ad_medium=gallery

(Url 22), https://www.sdu.dk/en/om_sdu/byerne/kolding/studieliv

(Url 23), https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects

(Url 24), http://www.liftarchitects.com/air-flower

(Url 25), https://www.fosterandpartners.com/projects/bund-finance-center

(Url 26), https://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters

(Url 27), https://www.record.global/it/references/24/city-gate-duesseldorf

(Url 28), https://www.stadttor.com/building/

(Url 29), https://www.archdaily.com/882963/aurora-place-renzo-piano-building-workshop

(Url 30), https://www.fosterandpartners.com/projects/30-st-mary-axe

(Url 31), https://www.ennead.com/work/michigan

(Url 32), https://www.archdaily.com/236302/the-richard-j-klarchek-information-commons-solomon-cordwell-buenz

(Url 33), https://www.archdaily.com/125125/galleria-centercity-unstudio

(Url 34), https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall

(Url 35), https://wilkinsoneyre.com/projects/the-crystal

(Url 36), https://www.architonic.com/en/project/arup-biq-house/5101636

(Url 37), https://www.robaid.com/architecture/biq-house-has-bioreactive-facade-with-algae-filled-panels.htm

(Url 38), https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today

(Url 39), https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture

(Url 40), https://www.dpa.com.sg/projects/frasers-tower/

(Url 41), https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/

(Url 42), La Sagrada Familia and the hyperbolic paraboloid – The Accidental Mathematician (wordpress.com)

(Url 43), http://dataphys.org/list/gaudis-hanging-chain-models/

(Url 44), https://tr.wikipedia.org/wiki/Sketchpad

(Url 45), https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/

(Url 46), https://www.archdaily.com/945566/learn-more-about-dynamo-for-Revit-features-functions-and-news/5f32e34eb357654a6c000064-learn-more-about-dynamo-for-Revit-features-functions-and-news-image

(Url 47), https://royaldanishacademy.com/case/generative-components-2006

(Url 48), https://www.archdaily.com/452226/museo-soumaya-fr-ee-fernando-romero-enterprise

(Url 49), https://www.artbuild.com/lab/pholiage

(Url 50), https://www.nikken.co.jp/en/expertise/mep_engineering/bioskin_a_facade_system_for_cooling_city_heat_islands.html

(Url 51), https://www.hparc.com/work/the-grand-egyptian-museum

(Url 52), https://architizer.com/projects/federation-square/

(Url 53), https://www.zaha-hadid.com/masterplans/kartal-pendik-masterplan/

(Url 54), https://royaldanishacademy.com/case/parametric-wood

(Url 55), https://grimshaw.global/projects/rail-and-mass-transit/international-terminal-waterloo/

(Url 56), https://tomwiscombe.com/DRAGONFLY

(Url 57), https://www.jerde.com/projects/8093/zlote-tarasy

(Url 58), http://www.designmaroc.com/blog/2009/06/30/genetic-stair/

(Url 59), http://www.liftarchitects.com/flux

(Url 60), https://en.wikipedia.org/wiki/Aviva_Stadium

(Url 61), https://www.archdaily.com/152723/nonlinlin-pavilion-marc-fornes?ad_medium=gallery

(Url 62), https://www.archdaily.com/896176/marc-fornes-theverymany-installs-coral-like-pavilion-in-17th-century-bruges-seminary?ad_medium=gallery

(Url 63), https://jmayerh.de/metropol-parasol/

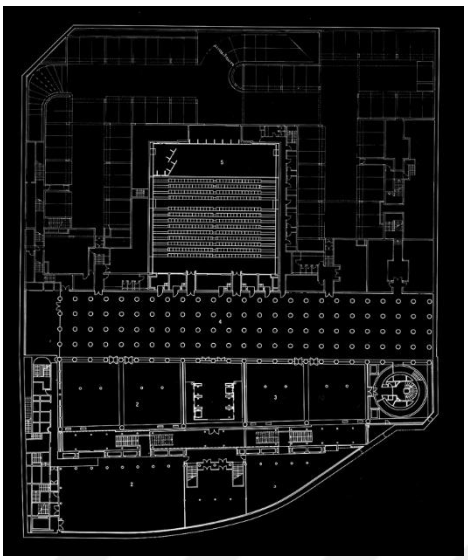
(Url 64), https://www.som.com/projects/cayan-tower/

(Url 65), http://www.o-s-a.com/lens_portfolio/white-out/

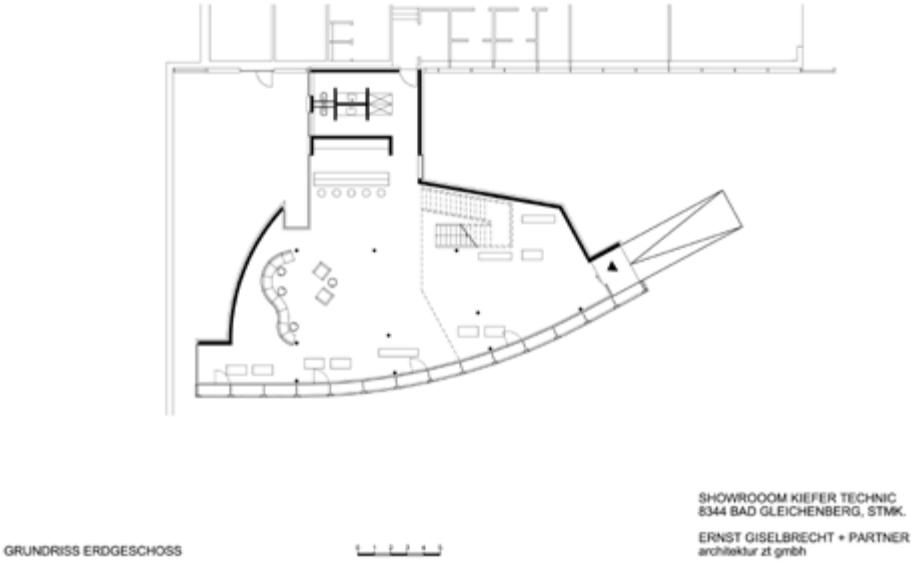
(Url 66), https://en.wikipedia.org/wiki/Hangzhou_Olympic_Sports_Expo_Center

(Url 67), https://www.nbbj.com/work/hangzhou-olympic-sports-center

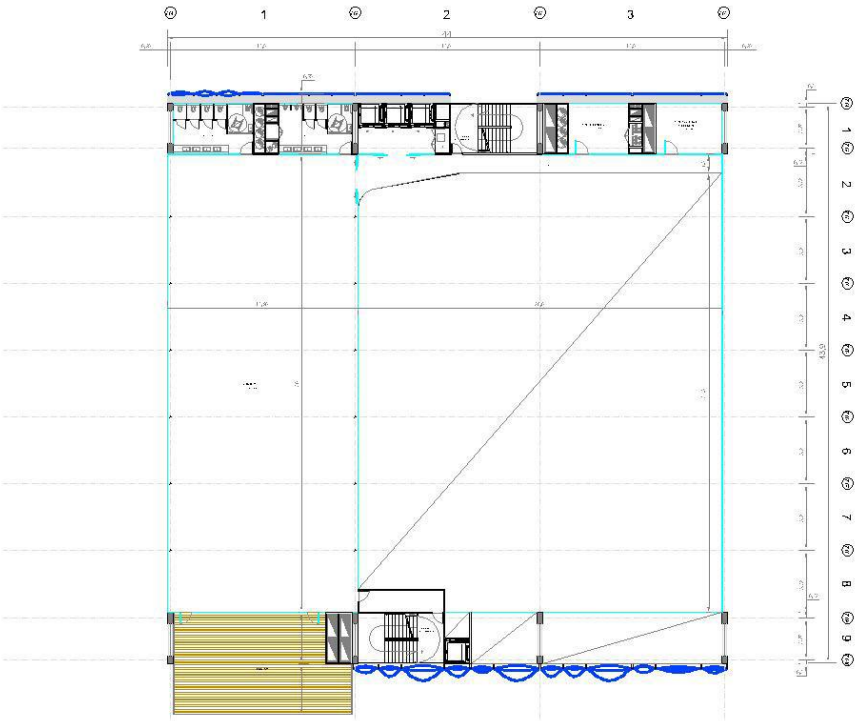
EKLER



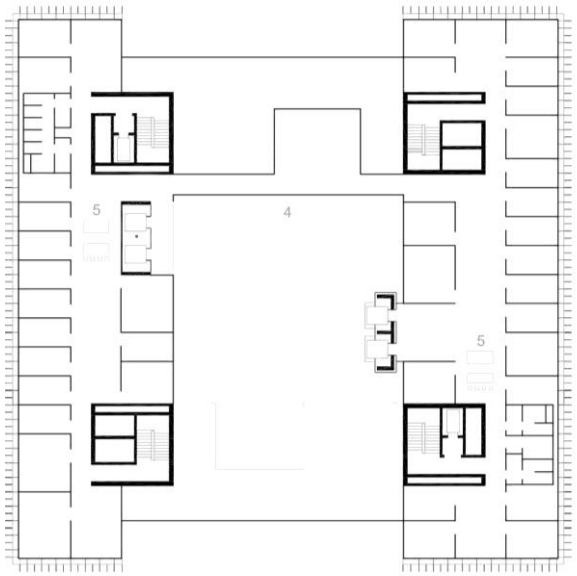
Arap Dünya Enstitüsü Planı
Kaynak: https://www.jeannouvel.com/en/projects/institut-du-monde-arabe-ima/



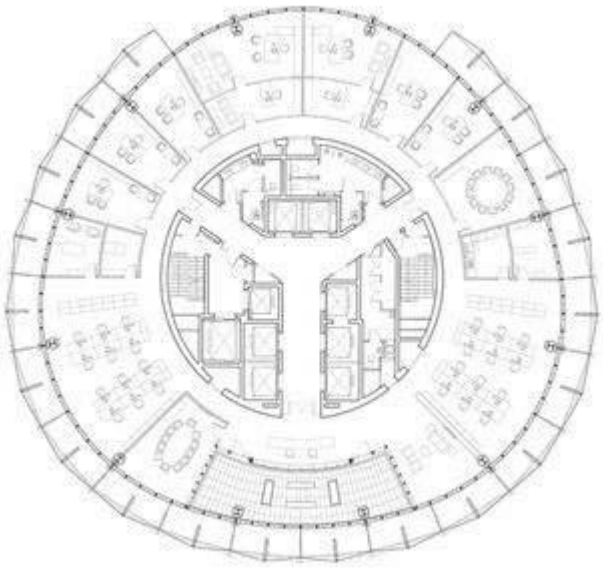
Kiefer Teknik Galerisi Planı
Kaynak:
https://www.giselbrecht.at/projekte/gewerbe_industriebauten/kiefer/index.html#



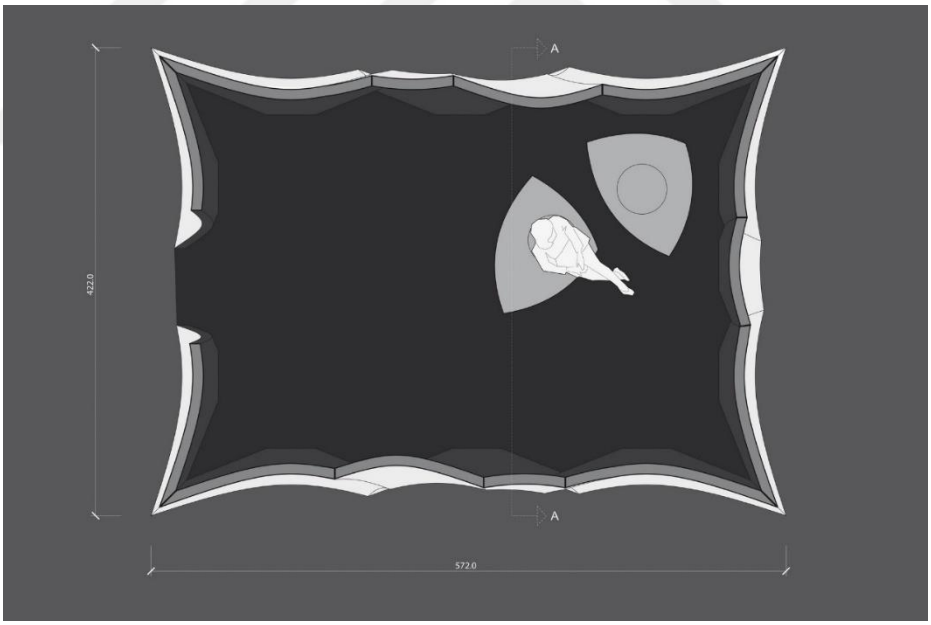
Media-TIC Kat Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli



Q1 ThyssenKrupp Genel Merkezi Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associes



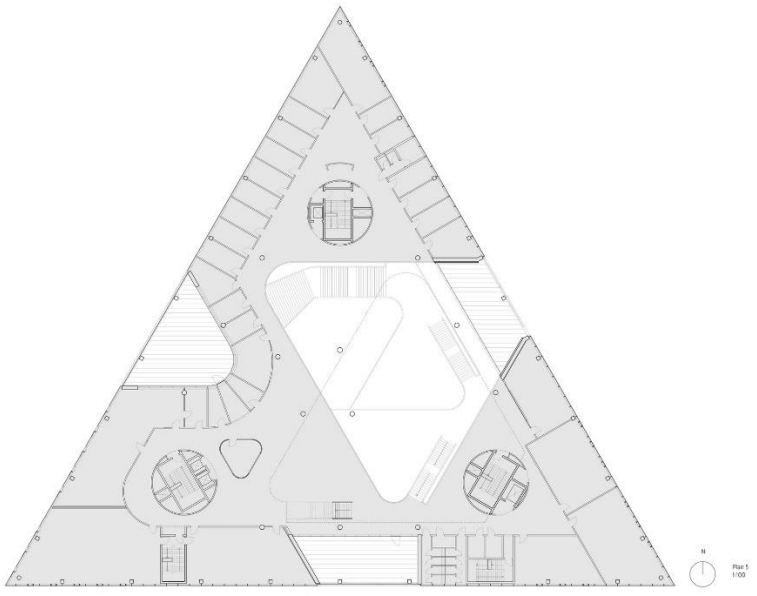
Al Bahar Kuleleri Kat Planı
Kaynak:
https://www.facebook.com/photo/?fbid=1078500009021761&set=pcb.1049139315291164



HygroSkin Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert



Sharifi-ha Evi Birinci Kat Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/522344/sharifi-ha-house-nextoffice



SDU Kolding Kampüs Kat Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects



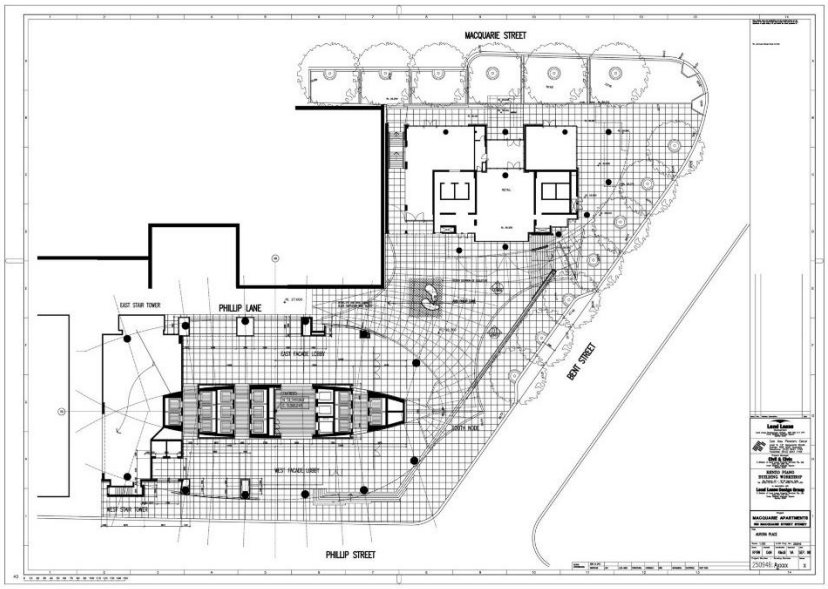
Bund Finans Merkezi Kat Planı
Kaynak: https://www.fosterandpartners.com/projects/bund-finance-center



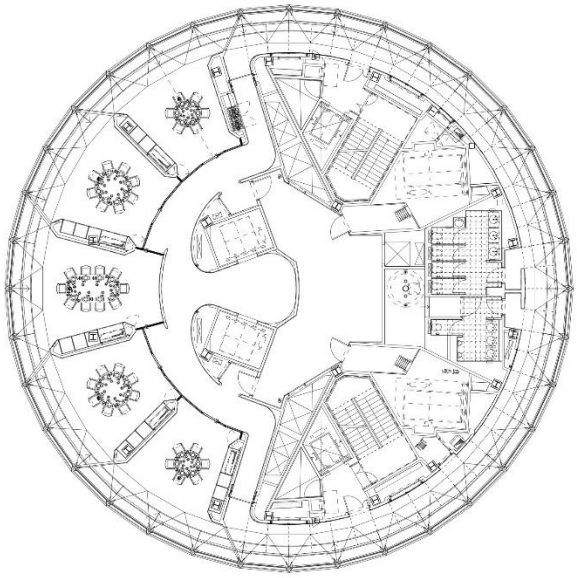
Cambridge Halk Kütüphanesi Zemin Kat Planı
Kaynak: https://www.architecturalrecord.com/articles/7848-cambridge-public-library



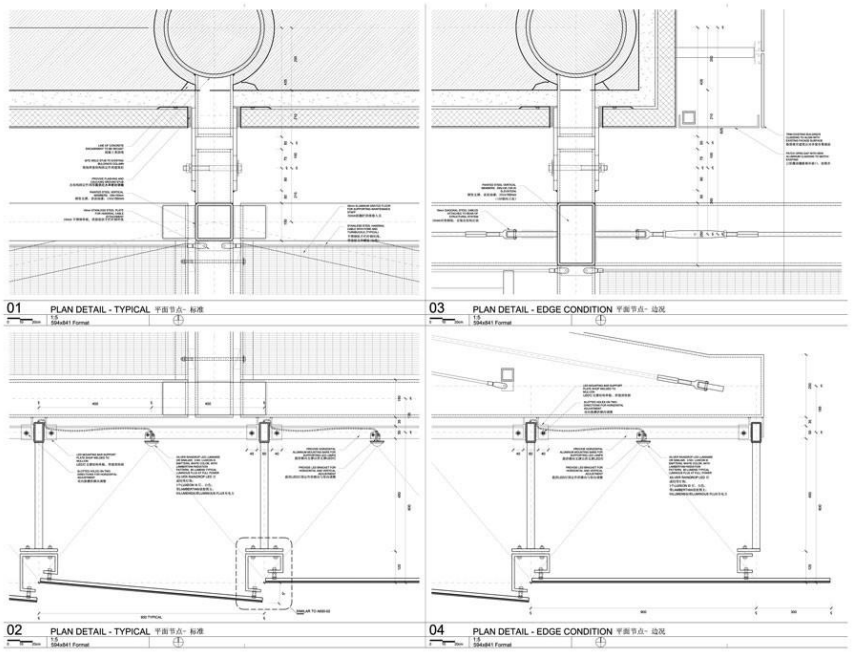
Commerzbank Genel Merkezi Planı
Kaynak: https://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters



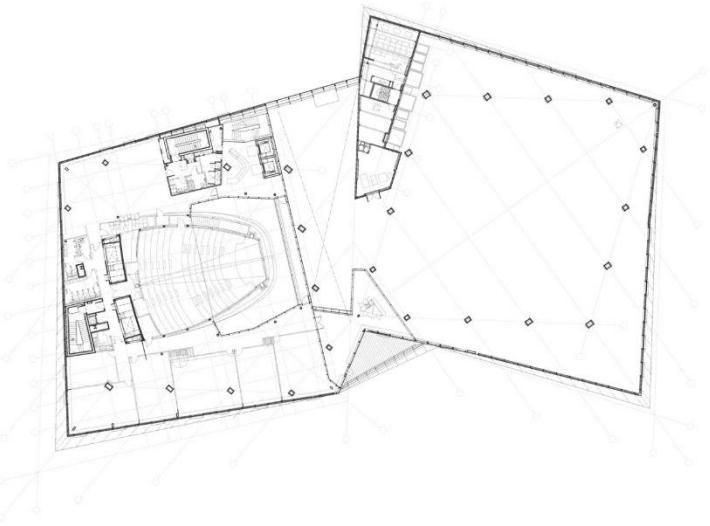
Aurora Ofis Kulesi ve Rezidansları Zemin Kat Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/882963/aurora-place-renzo-piano-building-workshop



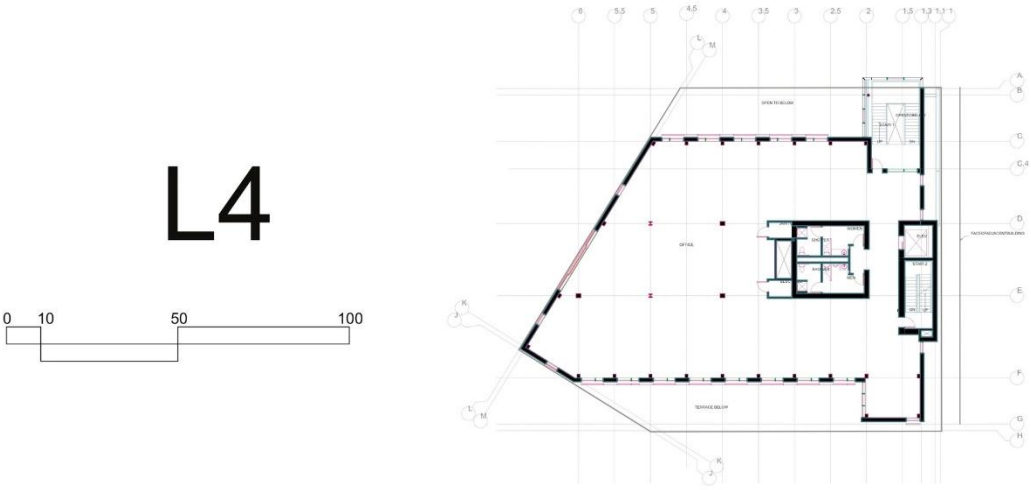
30 St Mary Axe Kulesi Kat Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners



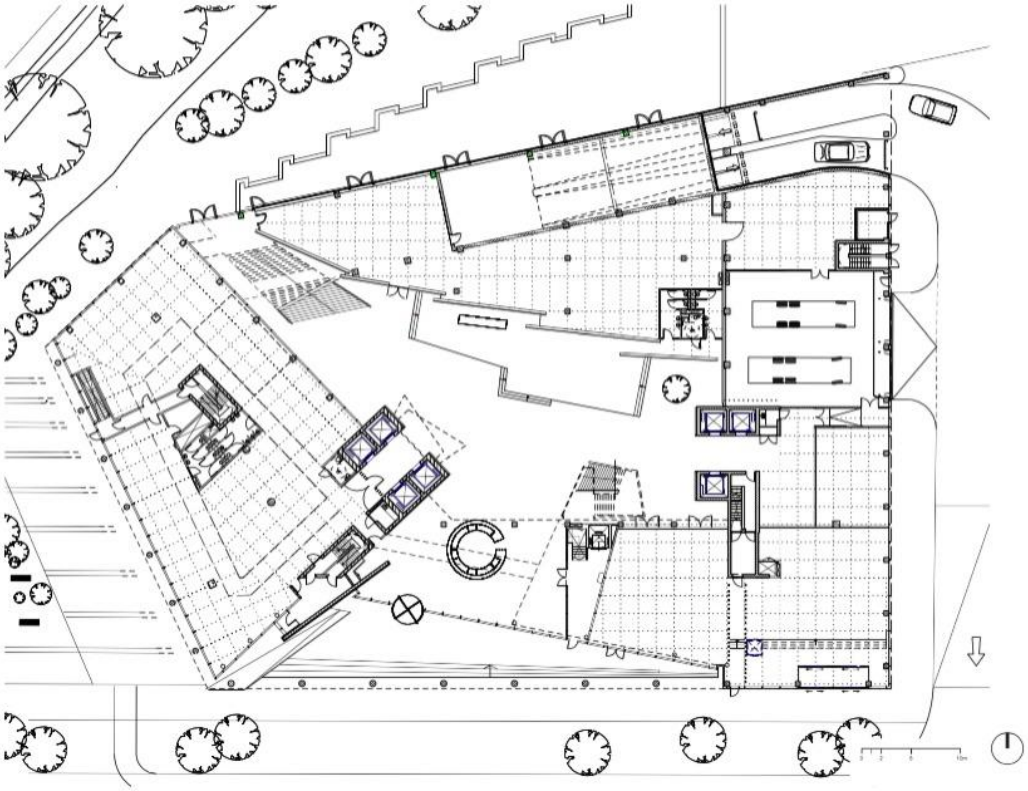
GreenPix Sıfır Enerjili Medya Duvarı Plan Detayı
Kaynak: https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall



The Crystal Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects



Bullitt Center Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today



The Edge Zemin Kat Planı
Kaynak: https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Savrunlu, Merve

Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi – Mimarlık Bölümü
Lisans	Kadir Has Üniversitesi – Mimarlık Bölümü
Lise	Bahçelievler Anadolu Lisesi

İş Deneyimi

Avcılar Belediyesi - İmar ve Şehircilik Ofis Stajı

Zeylan İnşaat – İnşaat Stajı

İstanbul Gelişim Üniversitesi Mimarlık Fakültesi gönüllü asistan çalışmaları:

- Mimari Tasarım V
- Diploma Projesi
- Cumhuriyet Dönemi Mimarlığı
- Mimarlık Tarihi IV
- Müze Mimarlığı
- Cumhuriyet Dönemi Mimarlığı
- Architectural Design III
- Mimarlık Tarihi ve Kuramı I
- Mimarlık Tarihi ve Kuramı II

Yabancı Dil

İngilizce: ●●●●○

Almanca: ●●○○○

Akademik Yayınlar

Uzun, T., & Savrunlu, M. (2022). Double Skin Facade in Sustainable Architecture. *Sustainable Current Approaches in Architectural Science and Technology* (s. 99-130). içinde Livre de Lyon.

Uzun, T., & Savrunlu, M. (2023). Use of Brick from Past to Present. *Architectural Scienes, Sustainable Materials and Built Environment.*

Kullanılan Programlar :

AutoCAD	●●●●●
Rhinoceros	●●●●●
Grasshopper	●●●○○
Sketch-UP	●●●○○
Adobe Illustrator	●●●●○
Adobe Photoshop	●●●○○
Microsoft Office	●●●●●