

**MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PERFORMANS TABANLI PARAMETRİK VE ADAPTİF BİNA KABUĞU  
TASARIM ÖNERİSİ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra YAMAN**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Yapı Fiziği ve Malzemesi Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ümit T. Arpacıoğlu**

**HAZİRAN 2022**



## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında; bilgi ve tecrübesiyle destek olan, bu süreçte her zaman beni yönlendirip destekleyen, anlayışı ve hoşgörüsüyle bu çalışmayı gerçekleştirmemde büyük payı olan değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Ümit Arpacıoğlu'na ve Yapı Fiziği ve Malzeme Kürsüsü'ne,

Bu süreçte manevi desteğini esirgemeyen ve bana sonsuz destek veren, güvenen aileme;

Tez sürecinde gösterdikleri anlayıştan dolayı çalışmakta olduğum REYNAERS Aluminium yönetimine,

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2022

Büşra YAMAN  
Mimar



## İÇİNDEKİLER

|  |           |
|--|-----------|
| ÖNSÖZ .....  | iii       |
| KISALTMALAR .....  | vii       |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....   | ix        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | xi        |
| ÖZET .....   | xv        |
| SUMMARY .....  | xvii      |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Problemin Tanımı .....   | 1         |
| 1.2 Çalışmanın Amacı .....   | 4         |
| 1.3 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi .....                                    | 6         |
| <b>2. ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIMI VE GÜNIŞIĞI İLİŞKİSİ.....</b>           | <b>11</b> |
| 2.1 Adaptif Mimariye Genel Bakış .....                                     | 11        |
| 2.1.1 Adaptif Bina Kabuğu Tanımı .....                                     | 15        |
| 2.1.2 Adaptif Bina Kabuğunun Sınıflandırılması.....                        | 16        |
| 2.1.3 Adaptif Bina Kabuğu Tasarım Parametreleri ve Sistem Prensipleri..... | 23        |
| 2.1.4 Adaptif Bina Kabuğu Uygulamalarının İncelenmesi .....                | 30        |
| 2.2 Günişığı ve Mimari Tasarım .....                                       | 33        |
| 2.2.1 Tasarım Girdileri .....  | 35        |
| 2.2.2 Günişığı Performans Metrikleri .....                                 | 38        |
| 2.2.3 Günişığı Etkinliği.....  | 42        |
| <b>3. PERFORMATİF MİMARİ SİSTEMLER.....</b>                                | <b>48</b> |
| 3.1 Performatif Tasarım .....  | 49        |
| 3.2 Hesaplamalı Tasarım .....  | 58        |
| 3.2.1 Hesaplamalı Tasarım Modelleri .....                                  | 60        |
| 3.2.2 Tasarım Optimizasyonu ve Genetik Algoritmalar .....                  | 71        |
| 3.2.3 Performatif Cephe Tasarımında Parametrik Tasarımın Önemi .....       | 74        |
| 3.3 Parametrik Cephe Tasarımında Günişığı Analizi .....                    | 74        |
| <b>4. MATERYAL VE METOT .....</b>  | <b>76</b> |
| 4.1 Metot gereklilikleri .....   | 77        |
| 4.1.1 Önerilen tasarım süreci.....   | 77        |
| Çalışmada kullanılan yazılımlar .....                                      | 78        |

|           |  |                                     |
|-----------|--|-------------------------------------|
| 4.2       | Modelin kavramsal çerçevesi .....                              | 79                                  |
| 4.3       | Modelin algoritması ve uygulanması .....                       | 79                                  |
| 4.3.1     | Binanın iklim ve çevre koşullarının analizi .....              | 79                                  |
| 4.3.1     | Güneş yolu diyagramı ve Güneş Yönelimi.....                    | 81                                  |
| 4.4       | Cephe modeli ve temel parametreler .....                       | 83                                  |
| 4.4.1     | Cephe bileşenlerinin konsept tasarımı.....                     | 84                                  |
| 4.5       | ClimateStudio programında günışığı analizleri .....            | 92                                  |
| 4.6       | Simülasyon süreci.....   | 92                                  |
| 4.6.1     | Binanın mevcut durumu için Günışığı Analizleri.....            | 92                                  |
| 4.6.1     | Binanın mevcut durumu için analiz sonuçları.....               | 101                                 |
| 4.6.2     | Parametrik cephe kabuğu ile günışığı analizleri.....           | 102                                 |
| 4.6.3     | Parametrik cephe uygulamasından sonraki analiz sonuçları ..... | 106                                 |
| 4.7       | Değerlendirme ölçütleri .....                                  | 109                                 |
| 4.7.1     | Görsel performans değerlendirme ölçütleri.....                 | 109                                 |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                 | <b>111</b>                          |
|           | <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>115</b>                          |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |

## KISALTMALAR

|             |  |
|-------------|--|
| <b>CIE</b>  | :Uluslararası Aydınlatma Komisyonu               |
| <b>DAV</b>  | :Günüşığı Uygunluğu (Daylight Availability)      |
| <b>DF</b>   | :Günüşığı Faktörü (Daylight Factor)              |
| <b>DGI</b>  | :Günüşığı Kamaşma İndeksi (Daylight Glare Index) |
| <b>LEED</b> | :Leadership in Energy and Environmental Design   |
| <b>SC</b>   | :Gök Bileşeni                                    |
| <b>sDA</b>  | :Mekansal Günüşığı Otonomisi                     |
| <b>UDI</b>  | :Faydalı Günüşığı Aydınlik Düzeyi                |





## ÇİZELGE LİSTESİ

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 2. 1 : Ofisler için aydınlık düzeyi (Lux), (CIE-Standard, 2001).....           | 43  |
| Çizelge 2. 2 : Güneş ışığı ile aydınlatılan hacimlerde izin verilebilir maksimum. .... | 47  |
| Çizelge 2. 3 : IES, Güneş ışığı ile aydınlatılan mekânlar için, kamaşma görsel. ....   | 47  |
| Çizelge 4. 1 : Parametrik cephenin uygulamadan önceki analiz sonuçları. ....           | 101 |
| Çizelge 4. 2 : Parametrik cephenin uygulamadan sonraki analiz sonuçları. ....          | 106 |
| Çizelge 4. 3 : Karşılaştırmalı analiz sonuçları. ....                                  | 106 |
| Çizelge 4. 4 : Güneş ışığı ile aydınlatılan hacimlerde izin verilebilir maksimum. .... | 107 |





## ŞEKİL LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1. 1: Performans odaklı kavramsal tasarım süreci (Sarıyıldız, 2012). .....  | 8  |
| Şekil 2. 1 : Adaptif Mimarlık Tasarım Çerçevesi (Schnädelbach, 2010). .....   | 13 |
| Şekil 2. 2: Mimari tasarım sürecinde işlevsel özelliklerin entegrasyonunu gösteren diyagram (Al Thobaiti, 2014). .....  | 14 |
| Şekil 2. 3: Çeşitli kontrol teknolojilerine dayalı adaptif cephe sınıflandırması (Matin ve Eydgahi, 2019). .....  | 17 |
| Şekil 2. 4: Ana ve alt kategorden oluşan Kinetik Cephe Şeması (Waseef and El-Mowafy, 2017). .....   | 18 |
| Şekil 2. 5 : Kinetik Cephe ve Alt Kategorileri (Moloney, 2011). .....   | 20 |
| Şekil 2. 6 : Kinetik Mimarlık için Sınıflandırma Şeması (Megahed, 2017). .....  | 22 |
| Şekil 2. 7 : COST Action 1403 - Adaptive Facade Network 2015 (Aelenei ve diğ., 2016). .....   | 24 |
| Şekil 2. 8 : Farklı gölgeleme sistemlerinin sınıflandırma şematığı (Al-Masrani ve diğ., 2018). .....  | 26 |
| Şekil 2. 9 : Gölgeleme sistemi şematığı (Al-Masrani ve diğ., 2018). .....   | 26 |
| Şekil 2. 10 : Geleneksel dinamik gölgeleme cihazlarının modelleri (Al-Masrani ve diğ., 2018). .....   | 28 |
| Şekil 2. 11 : Ana hareket tipleri ve malzeme deformasyonu (Moloney, 2011). .....  | 29 |
| Şekil 2. 12 : (a) Uzaydaki temel geometrik hareketler (Moloney, 2011), (b) farklı hareketlerin tipolojileri (Fiorito ve diğerleri, 2016). .....                                       | 29 |
| Şekil 2. 13 : Los Angeles County Hall of Records'un güney cephesindeki güneş kırıcılar. ....  | 30 |
| Şekil 2. 14 : Institute du Monde Arabe kinetic cephe modülünün farklı açıklıkları. .  | 31 |
| Şekil 2. 15 : Al Bahar Towers kinetik cephe modülü. ....  | 32 |
| Şekil 2. 16 : İç ve dış aydınlatma oranı (sol), $\theta$ açısında parlaklık ( $L\theta$ ) formülüne sahip CIE Standart bulutlu gökyüzü modeli (Sağ) (Mardaljevic ve diğ., 2009) ..... | 39 |
| Şekil 2. 17 : Faydalı günışığı aydınlatması örnek gösterimi (Reinhart ve diğ., 2006) .....  | 41 |
| Şekil 2. 18 : Günışığı Faktörü Yöntemi ve Formülü (Koçak, M., 2019) .....   | 44 |
| Şekil 2. 19 : Günışığı Faktörü (Daylight Faktor DF) Bileşenleri (Ekotect Wiki, 2009). .....   | 45 |
| Şekil 2. 20 : Günışığı çarpanını oluşturan unsurların gösterimi (Okutan, H., 2008). .....   | 45 |
| Şekil 2. 21 : Günışığı Düzgünlük Faktörü (GDF) Grafik Gösterimi (Arpacıoğlu, Ü., 2010). .....   | 46 |
| Şekil 3. 1 : Bibliothèque Nationale de France binası cephesi, Paris (Dominique Perrault, 1996). .....   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3. 2 : Bernhard Franken ve ABB Architekten tarafından tasarlanan IAA'01 Otomobil Fuarı'ndaki The Dynaform BMW Pavilion, Frankfurt, Almanya (2010) (Kolarevic, 2015). ..... | 53 |
| Şekil 3. 3 : Asimow tarafından sistematikleştirilem tasarım süreci aşaması (Rowe, 1998).....   | 55 |
| Şekil 3. 4 : DDNET'teki kavramsal anlamlar (Oxman, 2012). .....  | 61 |
| Şekil 3. 5 : Geleneksel CAD modeli (Oxman, 2006).....  | 62 |
| Şekil 3. 6 : Formasyon Modeli (Oxman, 2006).....   | 64 |
| Şekil 3. 7 : UNStudio'nun Katar Entegre Demiryolu Projesi.....   | 65 |
| Şekil 3. 8 : NBBJ Architects'in Hangzhou Olimpik Spor Merkezi.....   | 66 |
| Şekil 3. 9 : CD paradigmasıyla ilgili terimlerin uzantısının kavramsal gösterimi (Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A., 2020). .....  | 67 |
| Şekil 3. 10 : Performansa Dayalı Formasyon Modeli (Oxman, 2006).....   | 69 |
| Şekil 3. 11 : Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binası projesi .....   | 70 |
| Şekil 3. 12 : Algoritma destekli tasarım modeli şeması (Koçak, M. 2019). .....   | 73 |
| Şekil 4. 1 : Tasarım süreci diyagramı.....   | 78 |
| Şekil 4. 2 : İstanbul için iklim verileri (Url-1) .....  | 80 |
| Şekil 4. 3 : İstanbul için ortalama sıcaklık değerleri (Url-2).....  | 81 |
| Şekil 4. 4 : Güneş yolu diyagramı (13 Ağustos, 18:00). .....   | 82 |
| Şekil 4. 5 : Güneş yolu diyagramı. ....  | 82 |
| Şekil 4. 6 : Grasshopper'da güneş konumu ile güneş yolu diyagramı için kodlamalar. ....  | 83 |
| Şekil 4. 7 : Binanın güney tarafındaki hexagonal cephe yüzeyi. ....  | 84 |
| Şekil 4.8 : Lunchbox tarafından oluşturulan hexagonal cephe yüzeyi ve Grasshopper'da kodlamaları. ....   | 85 |
| Şekil 4. 9 : X ve Y eksenlerindeki altıgen strüktürün birleşerek üçgen cephe çerçeveleri oluşturması. ....   | 85 |
| Şekil 4. 10 : Altıgen panelin 4 köşesinden birleştirilen cephe formu. ....   | 86 |
| Şekil 4. 11 : Her bir panel modül modeli. ....   | 87 |
| Şekil 4. 12 : Açılı ve kırıklı köşe birleşimi. ....  | 88 |
| Şekil 4. 13 : Güney cephesi panellerinin saat 09:00'de dönme açıları. ....   | 89 |
| Şekil 4. 14 : Güney cephesi panellerinin saat 12:00'de dönme açıları. ....   | 89 |
| Şekil 4. 15 : Güney cephesi panellerinin saat 15:00'de dönme açıları. ....   | 90 |
| Şekil 4. 16 : Güney cephesi panellerinin saat 18:00'de dönme açıları. ....   | 90 |
| Şekil 4. 17 : Grasshopper'da parametrik tasarım ve algoritmaların tüm süreci. ....   | 91 |
| Şekil 4. 18 : Analizin türü, gökyüzü durumu, istenen analizin tarihi ve saati.....   | 94 |
| Şekil 4. 19 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 09:00).....   | 95 |
| Şekil 4. 20 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 09:00). ....   | 95 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4. 21 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 12:00).....                                   | 96  |
| Şekil 4. 22 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 12:00).....                                | 96  |
| Şekil 4. 23 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 15:00).....                                   | 97  |
| Şekil 4. 24 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 15:00).....                                | 97  |
| Şekil 4. 25 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 18:00).....                                   | 98  |
| Şekil 4. 26 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 18:00).....                                | 98  |
| Şekil 4. 27 : Daylight Availability (DAV) analiz sonucu. ....  | 99  |
| Şekil 4. 28 : LEED v4 sDA için kredileme tablosu (URL-3). ....   | 100 |
| Şekil 4. 29 : Daylight Availability (DAV) analiz sonucu. ....  | 100 |
| Şekil 4. 30 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 09:00). ....    | 102 |
| Şekil 4. 31 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 09:00). .... | 102 |
| Şekil 4. 32 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 12:00). ....    | 103 |
| Şekil 4. 33 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 12:00). .... | 103 |
| Şekil 4. 34 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 15:00). ....    | 104 |
| Şekil 4. 35 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 15:00). .... | 104 |
| Şekil 4. 36 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 18:00). ....    | 105 |
| Şekil 4. 37 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 18:00). .... | 105 |
| Şekil 4. 38 : Parametrik cephe ile birlikte günışığı kamaşma analiz sonucu. ....                               | 108 |
| Şekil 4. 39 : Plan düzleminde günışığı kamaşma analiz gösterimi (13 Ağustos, 09:00). ....                      | 108 |



## PERFORMANS TABANLI PARAMETRİK VE ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIM ÖNERİSİ

### ÖZET

Mimarlık alanında son zamanlarda performans tabanlı tasarıma yönelik çalışmalar teknik alanı da kapsamak üzere mimarların sürece etkin olarak katılımını mümkün hale getirmiştir. Yeni nesil dijital teknikleri mimarlara farklı formlara sahip geometrileri algılama ve kontrol etme imkanı sunmaktadır. En yüksek enerji tüketimi olan sektörlerin başında yapı sektörü gelmektedir. Binalardaki enerji korunumu, ısı ve enerji akışının yoğunlukta gerçekleştiği bina kabuğuna eğilim, gelişen teknoloji ile birlikte araştırmaların ilgi alanı olmuştur. Dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran eleman olan bina kabuğuna, ısı geçişini kontrol etme, filtreleme ve yönlendirme gibi yeni işlevler kazandırılmış ve dinamik bileşenlere sahip olan kabuklar geliştirilmeye başlanmıştır.

Yapı fiziği alanında son yıllarda hızla devam eden bilimsel ve teknolojik çalışmalar, aktif ve pasif tasarım stratejileri ile birlikte düşük enerjili binaların tasarımına odaklanmıştır. Pasif stratejileri benimseyen yaklaşım, yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimini azaltacak biçimde tasarım kararları, morfoloji, malzeme secimi gibi kriterler ile kontrol edilmesini amaçlamaktadır. Geleneksel yapı kabuklarının çoğu barınma, dış etkilerden korunma ve optimum konfor koşullarını sağlamaya yönelik tasarlanmıştır. Yapı kabuğunun bu işlevi, genellikle iç ve dış ortam arasında ısı, nem, hava geçişi gibi fiziksel olayların kontrol edilmesi üzerinden kurgulanmıştır. Geleneksel yapı kabukları genelde statiktir ve çevresel değişikliklere cevap verecek şekilde fiziksel özelliklerini değiştirme yeteneğine sahip değildir. Yapı kabuğunun saydam kısmı günışığının iç mekana dahil olmasında, günışığının kullanımında, binaların enerji tüketiminin azaltılmasında ve daha yüksek düzeyde iç mekan çevre kalitesi elde etmede önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla, bina kabuğu bir binanın enerji performansında en önemli etkenlerden biri olarak kabul edilmektedir.

Enerji tüketimi ve konfor parametreleri bakımından bina kabuğu tasarımı önemli bir yere sahiptir. Bu çalışma bağlamında, adaptif cephe tasarımlarının farklı çevresel koşullara yanıt verme konusunda esnekliği nedeniyle yapının enerji performansını yükseltme ve enerji tasarrufu konularında çok daha etkin oldukları savunulmaktadır. Bu çalışmanın devamında, değişen dış koşullara bağlı olarak kontrol etme olanağı veren ve kullanıcılar için konforlu iç ortam koşullarını enerji verimliliği sağlayarak mümkün hale getiren adaptif bina kabuklarının potansiyeli araştırılmaktadır.

Bilgi teknolojisindeki gelişmeler, sayısal ortama geleneksel yöntemlerle mümkün olmayan tasarım alternatiflerinin oluşturulmasına olanak sağlamakta ve tasarım

sürecinin buna göre şekillenmesini sağlamaktadır. Bilgisayar bilimlerinin temelini oluşturan algoritmik düşünce, bir problemin çözümüne dayanan ve tasarımın daha kolay ortaya konmasına olanak sağlamaktadır. Algoritmanın temelini oluşturduğu parametreler ise bir durum için tanımlanan ve değiştirilebilen niceliklerdir. Tasarım sürecinde değiştirilebilen parametreler tasarımcıya birçok alternatif sunarak ortaya çıkan tasarımlarda algoritmanın kontrol edilebildiği özgün kabuk tasarımlarına olacak vermektedir. Mimarlığın yeni metodu olarak sayılan parametrik tasarım algoritmalarına bağlı performans tabanlı tasarım alanında da aktif olarak kullanılmaktadır. Bu anlamda bina performansını iyileştiren ve optimize eden tasarım araçları tasarım sürecinde etkindir. Bu anlamda bu tez çalışması performans tabanlı uyarlanabilir bina kabuğu tasarımını desteklemek adına adaptif bina kabuğu model önerisi ve simülasyon teknikleri ile parametrik tasarlama metod önerisi sunmaktadır.

Ofis mekanlarında yeterli günışığı seviyesinin sağlanması son yıllarda önemli araştırma konularından biri olarak ele alınmaktadır. Yeterli günışığı, enerji verimliliği ve iyileştirilmiş kullanıcı konforuna yönelik olarak yapı kabuğunda farklı yaklaşım ve stratejiler önem kazanmaktadır. Yapı kabuğu iç ve dış ortamı birbirinden ayırmakta olan bir ara yüzdür ve mekandaki günışığı seviyelerini ve bina kullanıcılarının konforunu optimize etme amacıyla konfor ve performansla yönelik parametreleri etkileyen ve bu özellikleri ile adaptif niteliklerin en kapsamlı araştırıldığı bir çalışma alanı haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında parametrik tasarım metodu ile güneş hareketini tamamen takip edebilen, doğrudan güneş ışığından koruyan ve görsel konfor için homojen dağıtılmış günışığı sağlayan yenilikçi bir adaptif-esnek bina kabuk sistemini araştırmaktadır. Bu araştırmalar ele alınarak adaptif cephe tasarımı aydınlatma analizleri ile bina performansını inceleyerek devam edecektir. Tüm sistem, bir ofis hacminin simülasyon yöntemiyle daha üniform ve eşit günışığı dağılımı elde etmeyi amaçlayan parametrik tasarım kullanılarak bağlanır ve kontrol edilir. Simülasyondan elde edilen sonuçlar günışığı seviyeleri ve görsel konfor bağlamında karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Önerilen adaptif cephe kabuki tasarımı, doğal günışığı miktarını en üst düzeye çıkarmak için parametrik kontrolleri kullanan yenilikçi ve algoritmik yöntemleri temsil etmektedir.

Tezin ilk bölümünde, adaptif bina kabuğu tanımı ve tasarım parametreleri ile günışığının mimari tasarımda performans metrikleri anlatılmıştır. İkinci bölümde, hesaplamalı tasarım kapsamında performans tabanlı tasarım yöntemleri ve bu alanda parametrik tasarlama metodunu olası etkileri tartışılmıştır. Son bölümde ise varsayımsal bir ofis bina cephesi için günışığı performansına dayalı bir adaptif cephe tasarım model denemesi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif cephe, hesaplamalı tasarım, parametrik tasarım, performatif mimari, günışığı analizi, görsel konfor, günışığı performansı



# **PERFORMANCE BASED PARAMETRIC AND ADAPTIVE BUILDING FACADE DESIGN PROPOSAL**

## **SUMMARY**

Recent studies on performance-based design in the field of architecture have made it possible for architects to actively participate in the process, including the technical field. New generation digital techniques offer architects the opportunity to detect and control geometries with different forms. The construction sector is one of the sectors with the highest energy consumption. Energy conservation in buildings, the tendency to the building envelope where heat and energy flow are intense, has been the field of research with the developing technology. The building envelope, which is the element that separates the exterior and interior spaces from each other, has gained new functions such as controlling the heat transfer, filtering and directing, and skins with dynamic components have been started to be developed. Scientific and technological studies in the field of building physics in recent years have focused on the design of low-energy buildings together with active and passive design strategies. The approach, which adopts passive strategies, aims to control non-renewable energy resources with criteria such as design decisions, morphology, and material selection in a way that will reduce their consumption. Most of the traditional building envelopes are designed to provide shelter, protection from external influences and optimum comfort conditions. This function of the building envelope is generally built on the control of physical events such as heat, humidity and air passage between the indoor and outdoor environment. Conventional building envelopes are generally static and incapable of changing their physical properties in response to environmental changes. The transparent part of the building envelope has an important place in the incorporation of daylight into the interior, the use of daylight, reducing the energy consumption of buildings and achieving a higher level of indoor environmental quality. Therefore, the building envelope is considered as one of the most important factors in the energy performance of a building. Building envelope design has an important place in terms of energy consumption and comfort parameters. In the context of this study, it is argued that adaptive facade designs are much more effective in increasing the energy performance of the building and saving energy due to its flexibility in responding to different environmental conditions. In the continuation of this study, the potential of adaptive building envelopes, which allow control depending on changing external conditions and enable comfortable indoor conditions for users by providing energy efficiency, is investigated. Developments in information technology enable the creation of design alternatives that are not possible with traditional methods to the digital environment and enable the design process to be shaped accordingly.

Algorithmic thinking, which forms the basis of computer science, enables the design based on the solution of a problem to be revealed more easily. The parameters that form the basis of the algorithm are the quantities defined for a situation and can be changed. The parameters that can be changed during the design process provide the designer with many alternatives, giving the original kabuki designs in which the algorithm can be controlled in the resulting designs. Parametric design, which is considered as the new method of architecture, is also actively used in the field of performance based design based on algorithms. In this sense, design tools that improve and optimize building performance are effective in the design process. In this sense, this thesis presents an adaptive building envelope model proposal and simulation techniques and parametric design method proposal in order to support performance-based adaptive building envelope design. Ensuring sufficient daylight level in office spaces has been considered as one of the important research topics in recent years. Different approaches and strategies are gaining importance in the building envelope for adequate daylight, energy efficiency and improved user comfort. The building envelope is an interface that separates the indoor and outdoor environments, and it has become a study area in which the parameters of comfort and performance are investigated in the most comprehensive way, with the aim of optimizing the daylight levels in the space and the comfort of the building users.

In this thesis, an innovative adaptive-flexible building envelope system is researched that can fully follow the sun's movement with the parametric design method, protect it from direct sunlight and provide homogeneously distributed daylight for visual comfort. These studies will continue by examining building performance with adaptive facade design lighting analysis. The entire system is connected and controlled using parametric design, which aims to achieve a more uniform and even daylight distribution by simulating an office volume. The results from the simulation were compared and analyzed in terms of daylight levels and visual comfort. The proposed adaptive facade shell design represents innovative and algorithmic methods that use parametric controls to maximize the amount of natural daylight. In the first part of the thesis, the definition of adaptive building envelope and design parameters and the performance metrics of daylight in architectural design are explained. In the second part, performance-based design methods within the scope of computational design and the possible effects of the parametric design method in this field are discussed. In the last part, an adaptive facade design model trial based on daylight performance is carried out for a hypothetical office building facade.

Keywords: Adaptive facade, computational design, parametric design, performative architecture, daylight analysis, visual comfort, daylighting performance

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Problemin Tanımı

Ofis binalarının cephe sistemleri, mevcut teknoloji ve trendlere bağılı olarak zaman içinde değişmiştir. 1990'lı yıllarda giydirme cephe sistemleri, geleneksel bir görünümü oluşturmak için camın yoğunlukta kullanıldığı bir sistemken, son zamanlarda alüminyum profiller ile camlı giydirme cepheler, ofis binalarında sıklıkla karşılaşılan bir tasarım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tasarım prensibi estetik kaygılarla tasarlanmış ancak enerji verimliliği açısından optimal çözümler sunmamaktadır. Özellikle ofis çalışanlarının çalışma ortamı içinde önemli rol oynayan iç konfor koşulları, adaptif bir cephe kabuğu ile geliştirilebileceği son zamanlarda üzerinde durulan önemli bir konudur. Bu çalışmanın amacı, İstanbul'da bir ofis binası için enerji verimliliği açısından adapte olabilen bir kabuk potansiyelini araştırmaktır. Bu çalışmanın sonuçları, bir ofis binasının performansını iyileştirmek için olası bir adaptif kabuk tasarımı ve uygulaması için tasarımcılara bir rehber olabilir.

Ofis yapılarının enerji tüketimi oranlarına bakıldığında, tasarım ve kullanım aşamasında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik tedbirlerin alınması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu tedbirler alınırken en çok enerji tüketim yüzdesine sahip üç önemli işlev; ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketim değerleri olmaktadır. Yapı kabuğu tasarımında çevreci yaklaşımlar ele alınırken, tüm enerji tüketim parametrelerine etkisi araştırılmalıdır. Yapı kabuğu tasarımında iç mekân için beklenen performans ve enerji korunumu hedefini karşılamaya yönelik pasif sistem tasarım girdilerinden olan camlar ve gölgeleme elemanları önemli kabuk bileşenidir. Tasarım evresinde; cam-duvar oranı, cam türü ve gölgeleme elemanları gibi şeffaf yüzeylere ait ortaya atılan tasarım kararları, enerji tüketiminin en belirgin kararlarıdır (Zorer, 1992). Yapı kabuğunda saydam yüzey tasarımı ise, hem enerji tüketimi hem de iç mekân konfor şartlarını göz önünde bulunduracak şekilde ele alınmalıdır. Ofis yapıları için tasarlanacak şeffaf yüzeyler, pek çok ihtiyacı aynı anda karşılanabilen dış kabuk elemanı olarak düşünölmelidir. İç mekânda optimum aydınlık düzeyinin

sağlanması, kış döneminde güneş ısısından faydalanılması, yaz döneminde ise aşırı sıcaktan korunma sağlanması ve parlamanın azaltılabilmesi için tasarıma bütüncül yaklaşılmalıdır (Şenyurt ve Altın 2020). Özellikle ofis yapılarında aşırı güneşliğin yarattığı parlamanın azaltılması ve fazla ısı kazancının engellenebilmesi ile pasif soğutma sağlanması açısından gölgeleme elemanları yapı kabuğunun önemli bir bileşenidir. Mekan kalitesinin iyileştirilmesi tasarımda etkin kullanımı ile mümkündür. Bu nedenle güneşli ile fiziksel çevre değerleri birlikte ele alınarak tasarıma entegre edilmelidir. Güneşliğin tasarıma adapte edilmesi mekansal güneşli kalitesinin iyileştirilmesi konusunda ısı ve enerji konularıyla birlikte ele alınmalıdır (Arpacıoğlu, Ümit, 2010).

Bu problemin çözümü için, bina kabuğuna entegreli gölgeleme elemanı kullanmak etkili bir stratejidir. Form ve geometrik tasarım karmaşıklığı, geleneksel tasarım uygulamalarının dışında değerlendirilmelidir. Her tasarım için hesaplama süresi ve simülasyon doğruluğu arasında bir denge sağlamak esastır. Yaz aylarında üzerinde durulması gereken üç ana ısı kazancı kaynağı mevcuttur. Bunlar doğrudan güneş radyasyonu, yüksek dış hava sıcaklıkları, aydınlatma ve ekipmandan kaynaklanan dahili kazançlardır. Bu çalışmanın detaylandığı ofis binasında, bunlar tasarıma entegre edilmiştir.

Tasarımcı, kavramsal tasarımdan ayrıntılı tasarım aşamalarına kadar form üretimi için performans ölçütlerini tasarıma entegre etmelidir. Mimari tasarım sürecinin herhangi bir aşamasında özel tasarım problemi için optimum süreç ve araç tasarımı doğrudan mimarın kullanımına açık olmalıdır. Tasarım araçları, değerlendirme sürelerini hızlandırmak için, kullanımı kolay olmalı ve tasarımcıya sayısal veriler dışında görsel geri bildirimde de bulunmalıdır. Tasarımcının kontrolünde üretilebilecek tasarım alternatiflerinin, hesaplamalı tasarım araçları yoluyla değerlendirilmesi mimarlar tarafından arzu edilmektedir. Farklı tasarım stratejileri için özel olarak geliştirilmiş arayüzler, performans tabanlı üretken sistemler ve parametrik tasarlama esnekliğine ve bilgisine sahip olmalıdır. Niteliksel tasarım yaklaşımlarına nicel değer katmak için mimarlar tarafından kullanılan birçok performans temelli tasarım yaklaşımı vardır. Güneşli gibi performans tabanlı tasarım kuramlarında kullanılan tasarım kriterleri mimariye hem nitelik hem de nicelik olarak değer katabilir.

Kompleks tasarım problemlerinin en iyi örneklerinden biri adaptif gölgeleme elemanı tasarımıdır ve binalarda enerji verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Adaptif

gölgeleme elemanı tasarımı, enerji verimliliğini optimize etme amacı ile karmaşık bir çoklu optimizasyon problemi olarak görülür. Khoroshiltseva et al. (2016), problemin bağımlı değişkenler içerdiğini ve çelişkili hedeflere göre optimize edilmesi gerektiğini savunmuştur. Binanın aşırı ısınma süresini azaltmak, görsel konfor sağlamak ve aydınlatma için minimum düzeyde enerji tüketimi sağlamak adaptif bina kabuğu tasarımının hedeflerinden biri olmalıdır.

Günüşiği seviyesi, iç mekanlar için ilk endişe uyandıracak bir durum haline gelmiştir. J. Mardaljeviç ve diğerleri (2012), faydalı günüşiği aydınlatmasının (UDI) insan faktörlerine bağlı bir ölçüm kriteri olduğunu ifade etmiştir. Bu, UDI'nin, 300 lux ile 2000 lux aralığındaki bir günüşiği aydınlatma aralığı içindeki çalışma düzlemi üzerindeki yıllık aydınlatma olayı olarak nitelendirildiği anlamına gelir. Çoğu zaman 100 lux ile 300 lux arasındaki aralık, insanlar için konforsuz alanlar yaratır. Ayrıca ofis mekanlarının aralığının 300 luxten 500 luxe kadar talep ettiği araştırılmıştır. Yapılarda optimum bir günüşiği aydınlatması için gölgeleme elemanı tasarımı günümüz çözümlerinden biridir. Günüşiğinin iç mekandaki performansını değerlendirmek için bazı dinamik metrikler hesaplanmaktadır. Bu metrikler günüşiği performansını ölçerken, farklı mevsimler, enlem, günün farklı saatleri, farklı gökyüzü koşulları ve bina yönelimleri gibi farklı koşulları ele alınmaktadır. Günüşiği Özerkliği (DA) ve Yararlı Günüşiği Aydınlatması (UDI) dinamik ölçümlerdir. Günüşiği Özerkliği (DA), yıllık bir günüşiği ölçümüdür. Reinhart ve diğ. (2013) tarafından belirli bir minimum aydınlatma eşiğinin üzerindeki bir boşlukta belirli bir noktanın yılın işgal edilen saatlerinin yüzdesini temsil eder. Yıl boyunca cephe yönelimini, kullanıcı profillerini ve gökyüzü koşullarını dikkate alması ile DA önemli bir günüşiği ölçümüdür. Yararlı Günüşiği Aydınlatması (UDI), çalışma düzleminde, bina sakinleri tarafından faydalı olarak kabul edilen bir aralık dahilindeki aydınlatmaların yıllık oluşumunu gösteren, insan faktörüne dayalı bir ölçümdür (Mardaljeviç ve diğerleri, 2012). Bu çalışmada, bir ofis mekanı için adaptif bina kabuğu ve dinamik günüşiği metrikleri açısından günüşiğindeki performansları araştırılmıştır.

Yapı kabuğu ve fiziksel çevre denetimi üzerine yapılan araştırmalar, “ideal” yapı kabuğunun farklılaşan çevresel koşullara göre değişebilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bina sakinlerine ısı ve/veya görsel konfor sağlamak amacıyla adaptif cephe tasarım çalışmaları son dönemlerde üzerinde durulan bir konu haline almıştır. Adaptif bina kabuğu, bina performansını optimize etmeyi amaçlayan ve iç mekandaki

konfor koşulları için otomasyon sistem kararların alınmasını kolaylaştıran bir yaklaşımdır.

Mimari bir eleman olarak yapı kabuğuna ilişkin kararlar ve adaptif yaklaşımlara bağlı olarak bir yapının güneşli niteliklerini ve ısıtma, soğutma, aydınlatma, yüklerine bağlı enerji performansının irdelenmesi bu tezin temel yaklaşımını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, iç mekanda güneşli düzeylerini de kontrol eden yapı kabuğunun, adaptif nitelikleri enerji performansı ve kullanıcı konforu bakımından irdelenmektedir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Birangal, Admane ve Shinde'ye (2015) göre binaların giderek daha yüksek ve daha karmaşık performans gereksinimlerini karşılaması beklenmektedir. Bu eğilim, binalarda enerji verimliliği gibi son yıllarda geniş bir araştırma alanına giren sürdürülebilir yaklaşımlara da yol açmıştır. Yapı kabuğu, binaların enerji verimliliğinde önemli bir kriter olarak kabul edilir. Mevcut bina cepheleri genellikle statiktir ve dış çevre koşullarına ve bina sakinlerinin taleplerine göre performans rakamlarına sahiptir. İç ortamdaki talep, bir zarfın statik parçaları tarafından karşılanamadığında, bina sakinleri, bir bina kabuğunun dış çevre koşullarına dinamik olarak yanıt verme ve bina sakinlerinin taleplerini karşılamak daha fazla enerji tüketimine yol açar (Knaack ve diğerleri, 2018).

Bina kabuğunun şeffaf kısımlarından sızan güneşli ve radyasyonu kontrol etmek için mimari elemanların yıl boyunca her zaman optimum performans göstermesi gerekmektedir. Bir binanın işletme aşamasında enerji tasarrufu elde etmek için, hem adaptif cephe sistemlerini hem de aktif iklimlendirme ve kontrolleri içeren bina hizmetleri, cephenin en önemli parçası olduğu düşünüldüğünde, bir binanın hizmet ömrü boyunca binanın performansını düzenlemede dinamik optimizasyonu bina kabuğu sağlar (Knaack ve diğerleri, 2015).

Değişen iklimsel parametrelere optimum cevap verebilecek performans tabanlı adaptif sistem araştırmaları gelişen teknolojinin yardımıyla günümüzde çok yaygındır. Akıllı bina kavramı, yapı elemanlarının çeşitli karmaşık uyarlanabilir ve duyarlı akıllı teknolojileri bir araya getirerek maliyet etkin ve enerji verimli olurken, bina elemanlarının kullanıcıların ihtiyaçlarına ve çevresel değişikliklere yanıt vermesini sağlar (Buğra, 2014). Performansa dayalı olarak değişebilen adaptif cepheler,

sürdürülebilir bina tasarımında ve işletim maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir araştırma alanı olmuştur. Çevresel etkenler doğrultusunda performansa dayalı olarak oluşan tepkiler, bina kabuklarının ve cephelerin değişmesini ve farklı morfolojiler oluşturmasını sağlar (Karakoç, 2015).

Bu çalışma, adaptif cephe sistemlerinin araştırılmasına ve bunların bir ofis biriminin günışığı seviyeleri, görsel ve güneş kazancı üzerindeki etkilerine odaklanarak model önerisi sunmaktadır. Geliştirilen adaptif cephe modelini test etmek için bir simülasyon yaklaşımı ve belirli sınır koşullarını benimsemektedir. İstanbul hava koşullarında tamamen saydam kabukla örtülü bir ofis binası konsepti için, çalışma ortamında önemli rol oynayan iç konfor koşulları, enerji tüketimi için kritik bir faktör olan soğutma yüklerini azaltmak amacıyla adaptif olarak artırılabilir. Tezin amacı, İstanbul'da bir ofis binası için enerji verimliliği açısından adaptif cephe kabuğu potansiyelini araştırmaktır. Bu çalışmanın sonuçları, bir ofis binasının performansını iyileştirmenin temelinde yatan kendini güneşe göre adapte edebilen ve böylece gerekli konfor koşullarını sağlayabilen bir adaptif cephe modülü tasarımına katkıda bulunmak ve uygulaması için tasarımcılara bir rehber olabileceği öngörülmüştür.

Cephe bileşeni geometrisi ve hareket komut dosyası için Rhino, Grasshopper, ve Rhino için ClimateStudio'da günışığı simülasyonları kullanılarak yapılmıştır. Rhinoceros 3D (McNeel, 2010) için harika bir çevresel analiz eklentisidir. Bu yazılımların parametrik yapısı, karmaşık simülasyonlara imkan sağlar. Elde edilen sonuçlar günışığı seviyeleri, görsel konfor ve enerji performansı açısından karşılaştırıldı.

Bu çalışma; parametrelere bağlı olarak adaptif kabuğunun boyutsal parametreleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak enerji tüketimi açısından karşılaştırma yapılmasına imkân tanıyarak; en uygun tasarımın gerçekleştirilmesini hedeflemektedir.

Bu tezin amacı, günışığı indeksi ve günışığı performansı gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak, hesaplamalı tasarım yaklaşımı ve optimizasyonu yardımıyla adaptif cephe kabuk tasarımının algortimalarla geliştirilmesidir. Parametrik modelleme tasarım araçları (Rhinoceros ve Grasshopper) ile yönetilen bir geometri tasarımının geliştirilmesinden sonra, yıl boyunca güneş radyasyonu girişini en aza indirmek ve dış mekan görünümünü korumak için genetik algoritma optimizasyonu kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasının günışığı optimizasyonu, görsel konfor ve adaptif cephelerin enerji verimliliği konularıyla ilgilenen araştırmacılar için rehber niteliği taşıması beklenmektedir. Böylelikle çalışmanın aşağıdaki sorulara da yanıt olması beklenmektedir.

- Bir adaptif cephe sistemi (ACS) geometrisi ve formu, bir cephe sisteminin genel performansını etkiler mi?
- Bir ACS, günışığı seviyelerini, görsel konforu nasıl optimize edebilir ve bir binanın günışığı enerjisini nasıl optimum düzeye getirilebilir? Bu çalışmanın hipotezi, ACS'lerin ofis alanının görsel konforunu ve aydınlık seviyesini iyileştirdiğini göstermektedir.

### **1.3 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi**

Çalışmanın kuramsal çerçevesini performatif mimari ile günışığı ilişkisi üzerine araştırmalar oluşturmaktadır. Tez kapsamında, hesaplamalı parametrik tasarım araçları ve adaptif cephe sistemlerin tasarım süreçleri için önerilen cephe tasarımının günışığı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Öncelikle kabuk formu seçimi için araştırma ve geliştirme yapılmıştır. Daha sonra bu formun mekandaki aydınlık ve parlaklık seviyesi üzerindeki etkisi analiz edilerek cephe kabuk tasarımı geliştirilmiştir.

Bu tez, ofis binaları için gelişmiş cephe sistemlerinde günışığı sistemlerini ve stratejilerini araştırmaktadır. Çalışma, İstanbul'da varsayımsal bir ofis binası için doğal aydınlatma kullanan ve derin planlı bir düzeneğin enerji tasarrufu ve iç aydınlatma kalitesinin iyileştirilmesi için bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca, analizi yapılan ofis binası, çevre yapılarının etkisinin bu çalışmada hesap edilmediği varsayılmıştır. Artan bina yükleri ve tamamen cam cephelerin kullanımı, bina cephelerinin analizinde yeni bir yolları aramayı zorunlu kılmıştır. Son zamanlarda, bina enerji tüketimini azaltmak için günışığının mimari ve bina tasarımlarıyla birleştirilmesine artan bir ilgi vardır. Bu tez çalışmasındaki ofis binasının cephesi büyük miktarda cama sahiptir. Bu nedenle mevcut azaltılmış enerji tüketimi ihtiyacı ile uyumadığını ve bina sakinlerini rahatsız edecek şekilde doğrudan güneş ışığına maruz kaldığı varsayılmaktadır. Bu nedenle performatif adaptif bir cephe kabuğu tasarımı, doğrudan parlamayı ve ayrıca enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olabilir.



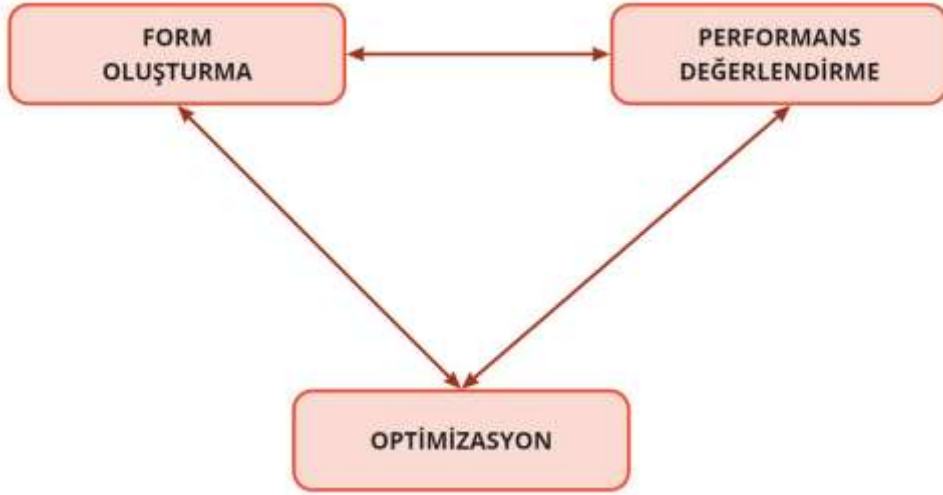
Tip bir ofis modülünde, adaptif cephe kabuğunda günışığı performansını inceleyerek maksimum aydınlık düzeyi ve minimum kamaşma sağlayan optimum cephe sistemini bulmayı amaçlamaktadır. Günışığı ile entegre edilmiş aydınlatma kontrollerinin ofis binalarında enerji tüketimini azaltmak için güçlü bir potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır. Tasarlanan uyarlanabilir cephe bileşenleri ile varsayımsal hücre tipi ofisin günışığı seviyeleri, görsel performansı ve enerji performansı simülasyon yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Türkiye bağlamında bu tez, iklimsel kaygılarını hem nüfus yoğunluğu hem de gelecekteki enerji talepleri açısından Türkiye'nin en kritik şehirlerinden biri olan İstanbul şehri üzerine oturtmuştur. Bu bölge ılıman iklim kuşağı olarak bilinmektedir. Ayrıca, çalışmanın çerçevesinin geliştirilmesinde uygulanan metodoloji, farklı iklimlere sahip diğer coğrafi alanlarda uygulanabilirliğini kısıtlamaz. Bu çalışma, diğer coğrafi bölge kuşaklarının analizinde karşılaştırmalı bir değerlendirme çerçevesini oluşturma niteliğindedir. Çevresel koşul, tasarım varsayımında önemli bir rol oynar. Çalışma, İstanbul, Türkiye'nin iklim ve coğrafi koşullarına odaklanmaktadır.

Simülasyondan elde edilen sonuçlar günışığı seviyeleri, görsel konfor ve enerji performansı bağlamında karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Daha sonra çalışma kapsamında, bir ofis binası konseptinde en optimum adaptif bina kabuğu tasarımı bulmak için simülasyon analizleri yapılmıştır. Belirli akslarda hareketli sağlayan adaptif kabuk konsepti üretilmiştir. Her aksta cephe panelleri günışığı hareketine göre farklı açılarda yönelim sağlamaktadır. Adaptif kabukların davranışını yönlendirmek için değişen dış ortam şartlarına bağlı kontrol stratejileri önerilmiştir. Simülasyonları baz almak üzere, bir ofis binasının en üst katını temsil eden bir temel ofis birimi hazırlanmıştır. Adaptif kabuk konsepti, hazırlanan temel ofis biriminin cephesi önüne ikincil bir bina kabuğu olarak düşünülmüştür. Kabuk konsepti, simülasyonları çalıştırmak için temel ofis birimine günün farklı saatlerinde ve günışığına farklı açılarda yönelim sağlayan kontrol stratejileriyle uygulanmıştır ve simülasyon stratejisi geliştirilmiştir. Analizler, ofis binasına adaptif kabuk tasarımının uygulama öncesi ve sonrası olmak üzere yapılmıştır. Analizi yapılan tüm konseptlerin sonuçları birbiriyle tutarlıdır ve karşılaştırmalı bir şekilde analiz edilmiştir.

Binalarda enerji verimliliği için adaptif cephe kabuğu tasarımı araştırılırken seçilen cephe kabuğu modeli, “performans odaklı kavramsal tasarıma” bağlıdır. Sarıyıldız (2012) bu yöntemi “form oluşturma”, “performans değerlendirme” ve “optimizasyon”

adımları olarak döngüsel bir süreç olarak tanımlamıştır (Şekil 1.1). Binalarda adaptif kabuk tasarımları için farklı form üretimi geliştirilmiştir. Böylece farklı alternatifler arasında birçok tasarım çözümünü aramak için kullanılır.



Şekil 1. 1: Performans odaklı kavramsal tasarım süreci (Sarıyıldız, 2012).

Performans tabanlı adaptif cephe modülünün kontrolünü sağlayan algoritmalara dair incelemeler tez kapsamında aktarılmıştır. Böylece günışığı ile adaptif kontrollü cephe sistemi arasındaki ilişki kapsamındaki araştırma hedeflerine ulaşmak için aşağıdaki konular üzerinde durulmuştur.

Birinci bölüm, ofis mekanlarında günışığının önemi, adaptif ve performatif mimarinin cephe kabuğu üzerine etkileri ve performans parametreleri ile ilgili açıklamaları içermektedir.

İlk aşamada, adaptif mimarlığın tanımı ve mevcut örnekleri üzerinden sistem incelemeleri için literatür gözden geçirilmiştir. Ayrıca incelenen cephe sistemleri için bir sınıflandırma tablosu oluşturulmuştur. Adaptif mimarlık kavramı ve bu kavramdan yararlanılarak yapılan tasarımlar incelenerek adaptif mimarlığın günümüzdeki yeri ve kullanım alanları ile potansiyelleri örnek projeler üzerinden incelenmiştir.

İkinci aşamada, adaptif bina kabuğu ile günışığı ilişkisi literatür taramasıyla irdelenmiştir. Günışığı incelemeleri, performans parametreleri ile birlikte ele alınmış

ve cephe kabuğu ile ilişkisi üzerinde belirli performans ölçütleri ile kullanılan araç ve yöntemlerin literatür araştırmaları üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, cephe kabuk geometrilerinin oluşturulmasında kullanılan yazılımlar, yöntemler ve performansa dayalı adaptif morfolojilerin kontrolünü sağlayan algoritmalara yönelik araştırmalar üzerinde durulmuştur.

Cephe modülündeki değişkenler ve parametreler için kriterler literatür taraması ile açıklanır. Hesaplamalı tasarım araçlarının adaptif sistem tasarımı üzerinde etkisi ve parametrik tasarım araçlarının performansa dayalı sistemler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Üçüncü bölüm, öncelikli olarak adaptif kabuk tasarımına odaklanmaktadır. Tasarım süreci optimum bir geometrik formun tasarımı ile başlar. Önerilen adaptif kabuğun her cepheye uyarlanabilmesi ve farklı açılardan gelen güneş ışınlarının önüne geçilebilmesi nedeniyle altıgen şekil (hexagon) seçilmiştir. Karar verilen adaptif cephe kabuğu modülü tasarımında Grasshopper ile Rhinoceros 3D modelleme programı kullanılmıştır. Daha sonra tasarlanan cephe kabuklarının hareket prensipleri ve kuralları belirlenir. Bu hareketlerin uygulanabilirliği parametrik modelleme ile daha detaylı açıklanmıştır. Son olarak, tasarlanan hareket prensiplerine uygun bir mekanizma tasarlanmıştır. İkinci aşamada, hesaplamalı tasarım yöntemiyle dijital olarak bir ofis binasının kat planı için parametrik modeli oluşturulur. Bu yapının tüm yüzeyinde formu tasarlanan adaptif kabuk modülü uygulanmıştır. Formuna karar verilmiş olan adaptif cephe modülündeki değişkenler ve parametreler için nitel ve/veya nicel kriterler simülasyon programına tanımlanır ve hem binadaki aydınlık seviyesi hem de bu cephedeki güneş radyasyon seviyesi ölçülür. Bu aşamadan sonra, adaptif kabuğun açılım yönü ve açısı değiştirilerek, bina içindeki aydınlık seviyesini 500 lux ve cephedeki güneş radyasyonu seviyesini mümkün olduğunca düşük tutmak için optimizasyon için hesaplamalı optimizasyon araçları kullanılır. Bu optimizasyon Ağustos ayının belirli gün ve o günün farklı saatlerindeki değerler bazında hesaplanmıştır. 13 Ağustos tarihi baz alınarak saat 09:00, 12:00, 15:00 ve 18:00'de analizi yapılan ve farklı açılarda konumlanmış iki farklı simülasyon sonuçları, aydınlık değerleri, DA, UDI yıllık, sDA açısından değerlendirilmiştir. Son bölüm, Rhinoceros'un eklentisi olan Grasshopper'ın modelleme ve simülasyon sürecinin nasıl yapıldığını detaylı olarak açıklayan bu çalışmanın hesaplama metodolojisi

hakkındadır. Simülasyon ve modelleme sürecinden sonra analiz ve inceleme sonuçları çizelge ve tablolarla açıklanmıştır.

### **Araştırma Metodolojisi**

Bu tez kapsamındaki araştırma hedeflerine ulaşmak için aşağıdaki konular üzerinde durulmuştur.

#### **1. Adaptif Cephe Kabuğu İçin Karar Mekanizması Oluşturma**

- ✓ Adaptif kabuk için performans parametrelerini belirleme ve kategorilere ayırma
- ✓ Her kategori için belirli performansla ilgili alt performans parametrelerini tanımlama
- ✓ Performans parametreleri arasındaki etkileşimleri ve ilişkileri belirleme ve performansı etkileyen değişkenleri belirleme
- ✓ Daha sonra cephe kabuğunu etkileyen değişkenleri kategorilere ayırma

#### **2. Tasarım Çerçevesini Geliştirme**

- ✓ Aydınlık ve parlaklık olarak iki güneşliği performans parametrelerini ve arasındaki ilişkileri tanımlama
- ✓ Aydınlığı ve parlaklığı etkileyen değişkenleri belirleme ve kategorilere ayırma
- ✓ Aydınlığı etkileyen alt değişkenlerin yanı sıra ana değişkenleri ve bu değişkenler arasındaki ilişkileri ve etkileşimleri tanımlama
- ✓ Her değişken için ve aydınlık ve aydınlık için ölçüm kaynaklarını tanımlama
- ✓ Aydınlık ve parlaklığa dayalı olarak adaptif kabuk tasarımı sürecinde analiz için tasarım geometrisi oluşturma

Tasarım Sürecini tanımlamak için aşağıdaki aşamalar önemlidir;

1. Karar problemini tanımlama
2. Etki diyagramını ve karar verme ağacını/şemasını geliştirme
3. Adaptif cephe kabuğu tasarımında giriş ve çıkış parametrelerini ve aralarındaki ilişkiyi tanımlama
4. Çıktı verilerine dayanarak bir karar verme sürecini tanımlama

## 2. ADAPTİF BİNA KABUĞU TASARIMI VE GÜNIŞİĞİ İLİŞKİSİ

### 2.1 Adaptif Mimarlığa Genel Bakış

Mimarlar değişen çevresel faktörlerini göz önünde bulundurarak her zaman bina sakinlerinin ihtiyaç ve taleplerine cevap veren günümüz teknolojisinin sonucu olarak ortaya çıkan sistemler ile tasarımlarını geliştirerek yanıt verirler. Mimarlara yeni bir yanıt düzeyi sağlamak için tasarımda esneklik sunan teknolojideki ilerlemeler, işleve göre otomatik olarak kontrol edilebilen dönüştürülebilir yapıların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Otomatik kontrollü bina kabuğu potansiyeli temel olarak yerleşim ve biçimde esneklik, yanıt verme, çevresel koşullara uyum, yapının dönüştürülebilirliği gibi konuları kapsamaktadır. Dinamik hareket yeteneğine sahip bina kabuğu tasarımında matematik, malzeme bilimi, mühendislik ve mimariyi içeren ve disiplinlerarası bir yaklaşım gerektiren çok boyutlu bir görev tanımlanır. Bugün geleneksel tanımlar, mimari alanında yanıt verebilirliği yerine getirmek adına esnekliği tanımlamak için yeterli olmamaktadır.

Çavuş (2019), teknolojik gelişmelerin potansiyellerinden yararlanmak için uyarlanabilir yapıların etkin bir şekilde verimli kullanımı, onları mimarlık alanında umut verici kılan birçok avantajı da aşağıdaki belirtildiği gibi beraberinde getirdiğini belirtmiştir.

- Plan ve formda esneklik
- Yanıtlanabilirlik
- Çevre koşullarına adapte olunabilirlik
- Yapının dönüştürülebilirliği
- Şekil değiştirebilirlik
- Otomatik kontrol

Adaptif kabuklar, doğadaki biyolojik mekanizmalar gibi gerek form değişimleri olarak gerekse dış etkenlere karşı verdikleri tepkiler olarak tasarımcılara esin kaynağı olmuştur. Binaların adaptif olması ile canlılardaki sürekli hareket etme özelliği (dinamiklik), çevreyle aynı desene sahip olma veya gizlenme (kamufle olma) özelliklerinden esinlenerek ortaya atılmıştır. Böylece adaptif binaların tasarlanmasında ilk olarak dinamik kabuk önerisi, çevreyle uyum içinde olma önerisiyle birlikte kullanılarak verimli ve doğadan esinli adaptif tasarımların ortaya çıkmasını sağlamıştır (Karakoç, 2015).

Buckminster Fuller mimari tasarımda doğayı analiz ederek, sistematik bir model olarak kullanan ve doğadan bilinçli öğrenme sürecini başlatan öncülerden kabul edilmektedir (Fuller 1969). Doğal sistemlerde mevcut olan dinamik şekilleri geometrik modüler sistemlere dönüştürerek doğanın prensiplerini uygulayan ilk tasarımcılardan olmuştur.

Mimaride adaptif kavramı, bir yapının çevresel etkenlere veya kullanıcıya, malzemenin özellikleri veya hareketli bileşenleri ile bulunduğu ortama göre değişerek veya dönüşerek uyum sağlaması anlamına gelmektedir. Adaptif mimarlık içerisinde yapının hareket eden bileşenlere sahip olması veya yapının kendisinin hareket kabiliyetine sahip olması durumu, etmenin niteliğine göre yapının performansını artırıcı role sahip olabilmektedir. Mekanların, yüzeylerin hareket eylemini barındırarak, dış çevre veya kullanıcı ile etkileşime geçtiği veya ona adapte olduğu tasarım kriterleri üzerinden yapıların dönüşümü, mimarlığın teknolojiyle etkileşimi ile birlikte bina performansını artırıcı nitelikler kazandırmaya başlamıştır. Gelişen yazılımlar ile birlikte cephe elemanları, algoritmalar, farklı yazılımlar, simülasyonlar ile plan ve cephe şemaları birbiri ile etkileşimli bir şekilde daha hızlı ve sonuçları test edilebilir şekilde tasarlanarak uygulanabilmektedir. Bu bağlamda, tasarım ve uygulama yöntemlerindeki gelişmeler, yapıların plan şemaları, cephelerin yapısı, kent ve çevre arasındaki bağın güçlenmesini sağlayacak nitelikteki uygulamaların yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bina sürdürülebilirliği ve enerji etkinliğinin yükseltilmesi bağlamında, özellikle iklim verilerine göre değişen cephe sistemlerinin uygulamaları yoğunluk kazanmaktadır.

20. yüzyılda mimarlık alanında geçerli olmuş bir yaklaşım olan ‘‘Biçim işlevi takip eder (form follows function)’’ anlayışı, günümüzde ‘‘Biçim performansı takip eder

“(form follows performance)” yaklaşımını takip eden prensip olarak öne çıkmaktadır (Hensel ve Menges, 2008).

Binaların çevresel etkilere ve değişen koşullara tepki göstererek daha konforlu hale getirilmeleri, doğadaki canlıların kendilerini optimize etmeye çalışmaları ile aynı prensiple işlemektedir (Karakoç, 2015).

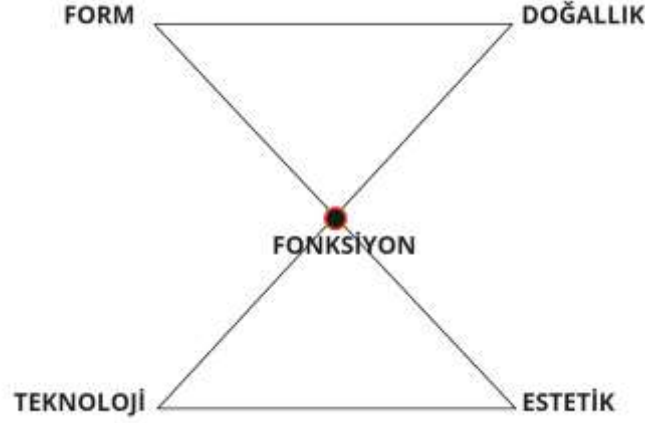
Adaptif tasarım stratejilerinde formun performansı takip etmesi ile binaya veya bina elemanlarına çeşitli hareket imkanları verilerek esnek tasarım anlayışı getirilmiştir. Adaptif bina tasarımlarındaki doğal sistemlerde herşeyin optimize olduğu düşüncesi ile aynı sistematığı binalarda uygulama fikri üzerinde çalışılmaktadır. Hareket eden adaptif bina kabukları doğadaki yönelme, açılıp-kapanma ve morfoloji değiştirme gibi hareketleri uygulayarak çeşitli doğadan esinli mimari kurgular geliştirilmesini sağlamıştır (karakoç, 2015)

Kronenburg (2007) adaptif mimarlığı, çevreye ve bina sakinlerine uyum sağlamak için tasarlanmış yapılar olarak tanımlamaktadır. Schnädelbach (2010), adaptif mimarlığın tasarım çerçevesini belli başlıklar altında toplayarak irdelemektedir. Adaptif binaların mimari yapılarda hangi durumlarda tepki gösterdiğini, etkileşim yöntemini ve bu etkileşime sebep olan uyarlamaları ana başlıklar halinde Şekil 1’deki diyagramda tanımlamaktadır (Şekil 2.1).



**Şekil 2. 1 :** Adaptif Mimarlık Tasarım Çerçevesi (Schnädelbach, 2010).

Akıllı mimarının işlevi, bir binanın estetik kısmını ihmal etmeden doğadan ilham alan form ve teknolojinin entegrasyonudur (Al Thobaiti, 2014). Şekil 2.2’de bu işlevin diyagram ile anlatımı gösterilmiştir.



**Şekil 2. 2:** Mimari tasarım sürecinde işlevsel özelliklerin entegrasyonunu gösteren diyagram (Al Thobaiti, 2014).

Teknoloji, artan enerji tüketimi ile ilerledikçe, bina kabuğunun tasarımı ve işlevi önemli bir konu haline gelmiştir. Çevredeki dış koşulları yönetmek için daha fazla sistemle entegre olmaya başlayan bina kabuğu, aynı zamanda iç ve dış ortam arasında bir arayüzdür. Mevcut teknolojik gelişmeler dinamik olarak çalışan bina kabuğu tasarımlarını mümkün kılmaktadır. Adaptif cephe sistemleri dinamik, kinetik, aktif, uyarlanabilir, duyarlı, gelişmiş, akıllı, akıllı, değiştirilebilir, etkileşimli sistemler vb. olarak literatürde tanımlanmaktadır. Terminolojideki ortak vurgu, bir cephenin adapte olabilirlilik ve malzeme veya sistem bazında belirli yönleridir (Hraska, 2018).

Cephe, iç mekanı güneşten korurken gerektiğinde günışığına da izin verir, sıcağa, soğuğa ve gürültüye karşı yalıtım görevi görür (Knaack U., 2014). Bir binanın enerji tüketimi ve iç konforu, cepheden büyük ölçüde etkilenir. Dinamik, hareket halindeki katı bir cisim üzerindeki kuvvetler tanımlanırken ... Kinetik, kütle ve kuvvetleri içeren hareketin incelenmesidir” diyen Zuk ve Clark (1970), kinetik mimariyi “...değişen bir kümeye uyum sağlayabilen bir mimari” olarak tanımlamıştır. Mimari biçim, doğası gereği yer değiştirebilir, deforme olabilir, genişleyebilir, atılabilir ve başka bir şekilde kinematik hareket yeteneğine sahip olabilir.

Bina unsurları bir araya gelip bilgisayar yazılımlarıyla bağlantı kurduğunda, akıllı mimari terimi ortaya çıktı. Akıllı, değişen koşullara göre durumunu veya eylemini değiştirme yeteneğini gösterir. Akıllı bina görünümleri, bina otomasyonu tarafından oluşturulan tahmin modellerine bağlı olarak binaların sistemlerini iklim, enerji dengesi ve kullanıcı konforu açısından optimize etmeyi amaçlar (Velikov & Thün, 2012).



Akıllı dış görünümünün bir parçası olan uyarlanabilir cepheler genellikle değişen dış koşullara uyum sağlayan bir tür panjur sistemi olarak düşünülür (Glass, 2002, s. 112). Bu ifade doğru olsa da, uyarlanabilir bina kaplamaları, yalnızca hava koşullarına bağlı olmaktan daha fazlasını harekete geçirme ve ayarlama yeteneğine sahiptir. Enerji tasarrufu, enerji üretimi, kullanıcı tercihleri ve kullanıcı etkileşimi gibi çeşitli parametrelere göre uyum sağlayacak şekilde tasarlanabilirler. Uyarlanabilir bina kaplamaları, kullanıcı konforunu artırmak ve enerji kullanımını azaltmak için değişen parametrelere uyum sağlamak için daha geniş bir vizyonla tasarlanabilir. Uyum, bir çözüm oluşturmak için birden fazla parametreyi dikkate alır ve işlevselliği ve enerji tüketimini optimize etmeyi amaçlar (Al-Obaidi, Ismail, Hussein ve Rahman, 2017). Uyarlanabilir bina kabuğu, binanın genel enerji performansını iyileştirmek için değişen sınır koşulları ve performans gereksinimleri sırasında amacını, özelliklerini ve eylemlerini değiştirebilir (Loonen R, 2015).

### **2.1.1 Adaptif Bina Kabuğu Tanımı**

21. yüzyılın getirdiği çevresel problemler sonucunda enerjinin verimsiz kullanımı, binaların tasarım parametreleri, malzeme nitelikleri, yapının kullandığı enerjinin minimuma indirilmesi gibi konuları gündeme getirmiştir. Yapı kabukları, iklimsel verilere cevap verecek şekilde geliştirilmeye başlanmıştır. Ergün'ün (2015) aktarımıyla, “Yapıyı dışarıdan içeriye doğru tasarlamak, yapı kabuğu yani farklılaşmanın başladığı yer olan mimari bir olguya dönüşür. İçerisiyle dışarı arasındaki farkın ortaya konmasıyla mimarlık, bu iç güçler ve çevre güçleri ortaya koyan kapılarını kentsel bir bakış açısına açar”.

Adaptif bina kabukları, değişen çevresel koşullara dinamik olarak tepki veren cephe tasarımlarıdır. Adapte olabilen cepheler, konfor koşulları ve bina performansını iyileştirmek için tepki olarak şekil, konum, işlev, davranış veya malzeme özelliklerinin değiştirilmesine izin veren çok işlevli uyarlanabilir sistemlerden oluşur (Loonen R., 2015). Knaack ve diğ. (2015), cephe teknolojisindeki bir sonraki büyük gelişmelerin dinamik, çok işlevli ve adapte olabilen cephe sistemlerinin geliştirilmesi olduğunu belirtmiştir.

Aelenei et al. (2018), adaptif cephelerin, enerji üretimi için sensörler, sistem bileşenleri ve akıllı malzemeler ile dinamik çözümlere yönelik teknolojik araştırmaların ileri

seviyesi olduğunu belirtmiştir. Adaptif cepheler, sabit bileşenlerin hareketli parçalarını manuel veya otomatik olarak kontrol ederek bina kabuğundaki enerji akışlarını yönetmek için önerilen teknolojik çözümler olarak uygulanmaktadır.

### **2.1.2 Adaptif Bina Kabuğunun Sınıflandırılması**

Bu bölümde, mevcut sınıflandırma yaklaşımlarının yanı sıra, bu yaklaşımlardaki güçlü noktaların analizine dayanarak, adaptif cephe kavramlarını kapsamlı bir şekilde karakterize etmek için kullanılacak yeni bir matris önerisi sunulmuştur. Daha önceki araştırmalara dayalı olarak oluşturulan sınıflandırmalar, farklı parametrelere göre yapılmış, çeşitli ölçek ve kapsamlarda değerlendirilecektir.

Adaptif kabuk sistemlerin tasarımına ve geliştirilmesine artan eğilim nedeniyle farklı kavramları ortak özelliklerine göre alt gruplara ayırarak Loonen ve diğ (2013) ve Ramzya ve Fayed (2011) sınıflandırma üzerine çalışmalar yapmıştır.

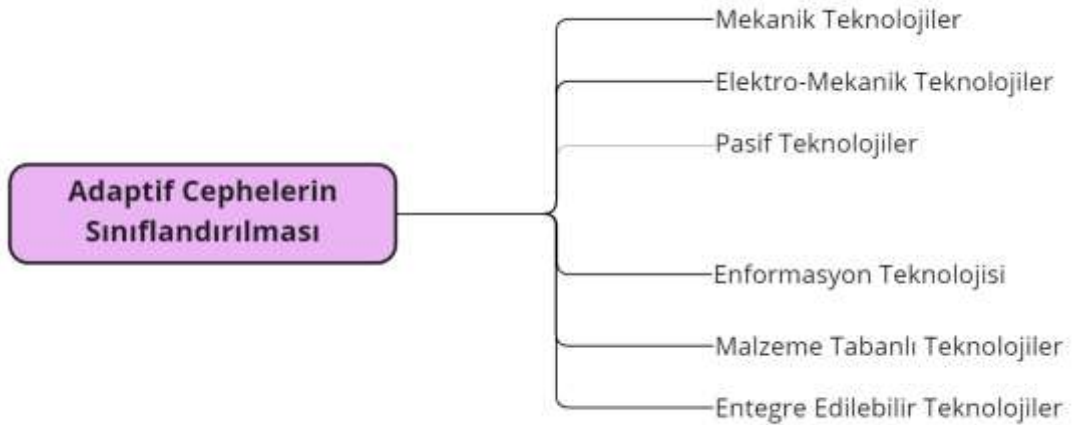
Etki, tepki, ölçek, kontrol tipi, sistem konfigürasyonu, zaman, uyum yapısı, hareket türü, görünebilirlik, uyum ölçeği ve uyum gösterme derecesi sınıflandırma sistematigi içerisinde dahil edilmiştir. Sınıflandırma kapsamında uyum yapısı en çok mekanik örneklere rastlanmıştır. Adaptif bina kabuğuna en çok etki eden faktör güneş ışınımı ve sıcaklıktır. Buna bağlı olarak tepki mekanizmasında güneş ışığının ve ısı kazanımının içerideki etkisini ayarlama refleksi daha çok kullanılmaktadır. En çok rastlanan uyum yapısı mekanik olmakla birlikte, makro uyum ölçeği, görünürlüğün yüksek olması ve dışsal kontrol tipi arasında bağ olduğu gözlemlenmiştir. Adaptif bina kabuğu mekanizmasının kullanım sonrası değerlendirmeleri hakkında bilgiler literatürde eksiktir. Ancak incelenen bazı çalışmalarda kullanıcı değerlendirmelerine rastlanmıştır. Ortalama olarak, çoğu kullanıcı otomatik dinamik cephe ile ilgili olarak oldukça olumlu bir deneyime sahip olduğunu bildirmiştir.

Adaptif cephe sistemleri, binanın enerji dengesine verimli bir şekilde katkıda bulunur ve binanın enerji ihtiyacına göre dinamik bir şekilde enerji üretme kapasitesi olarak yorumlanabilir. Bu sistemler, cephe kabuk parçalarının tamamını veya bir kısmını hareket ettirme kapasitesine sahiptir. Bunlar, uzayda hareket ederek ve zaman içinde farklı yapılar ve konfigürasyonlar olarak değişebilen kinetik cephe sistemleri olarak bilinir (Fox & Yeh, 1995; Wang et al. 2012). Uzun vadeli değişiklikler, esnek bir yapı bağlamında geri dönüşümlü ve benzersiz dönüşümler yoluyla elde edilirken, kısa

vadeli geri dönüşümlü uyarlamalar mekanik çözümlerle gerçekleştirilebilir (Romano et al, 2018).

Adaptif cephelerin hedeflerine ulaşmak için sistemin performansını, yeteneklerini ve mevcut teknolojileri etkileyen çok sayıda değişkeni tanımlamak için sınıflandırma gereklidir.

Net bir sınıflandırma olmasa da literatürde, yazarların çeşitli kontrol stratejilerine dayalı adaptif cephe ve sistemlerde kullanılan sensörler, aktüatörler hakkındaki kapsamlı verileri sınıflandırdığı Matin ve Eydgahi (2019b) tarafından yapılan karşılaştırmalı bir çalışma mevcuttur. Matin ve Eydgahi (2019b), adaptif cepheleri pasif teknoloji, bilgi teknolojisi, malzeme tabanlı teknoloji, mekanik teknoloji, elektro-mekanik teknoloji ve entegre teknoloji gibi kontrol teknolojilerine dayalı olarak sınıflandırmıştır (Şekil 2.3).



**Şekil 2. 3:** Çeşitli kontrol teknolojilerine dayalı adaptif cephe sınıflandırması (Matin ve Eydgahi, 2019).

Waseef ve El-Mowafy'ye (2017) göre, geçmişte uyarlanabilir cephelerin sınıflandırmaları çoğunlukla geometrik yönlerine ve cephe bileşeninin hareketine dayanıyordu. Waseef ve El-Mowafy (2017), kullanılan dönüşüm tipine, kullanım amacına ve hareket mekanizmasına dayalı olarak uyarlanabilir cepheler için yeni bir sınıflandırma önermiştir. Şekil 5, yazarlar tarafından önerilen iki ana uyarlanabilir cephe sınıflandırma faktörünü sunmaktadır.



**Şekil 2. 4:** Ana ve alt kategoriden oluşan Kinetik Cephe Şeması (Waseef and El-Mowafy, 2017).

Hraska (2018), tasarım sürecinde uygun adaptif cephe konfigürasyonlarını seçmek için dört gruptan oluşan cephe sınıflandırma şematini kullanmıştır. Bunlar; Kinetik gölgelendirme, çok işlevli sistemler, değiştirilebilir cam ve özel sistemler (Şekil 2.4).

Farklı kavramlar arasındaki ilişkileri tanımlamak ve böylece bu çok disiplinli alanın daha iyi anlaşılmasını amaçladığı bir sınıflandırma şemasının işlevi; yüksek potansiyelli ve yenilikçi adaptif cephe bileşenlerinin geliştirilmesini kolaylaştırabileceği yönünde farklılaşmıştır. Adaptif cepheler için her sınıflandırmada, aşamalar farklı adlandırılrsa da farklı araştırmacılar tarafından dikkate alınan bazı ana hatlar mevcut olup genelleme yapmak zordur.

Loonen ve diğerleri (2015) tarafından yapılan çalışmada, ilk aşama, çevre hakkında bilgi toplama (algılama, hissetme) aşamasıdır. İkinci aşama, elde edilen bilgilerin (bilgi işlem, düşünme, dışsal ve içsel kontrol türleri vb.) işlenmesi aşaması ve son aşama, dış ve iç ortamın durumuna (kinetik) tepki olarak fiziksel eylemlerin gerçekleştirilmesidir (Harekete geçirme, katlama, kaydırma, genişletme, dönüştürme, vb.) (Loonen R., 2015).

COST Eylemi TU1403, FACET projesi ve IEA Ek 44, cephelerin uyarlanabilir davranışını inceleyen önemli araştırma projelerinden bazılarıdır. COST Eylemi TU1403 "Uyarlanabilir Cepheler Ağı" nın ana hedeflerinden biri, uyarlanabilir cephe tasarımının gelecekteki eğilimleri ve yeni uyarlanabilir teknolojilerin geliştirilmesi

için uyarlanabilir cephenin sistematik bir karakterizasyonunu sağlamaktır (Luible ve diğ., 2015).

Loonen ve diğ. (2015), makalede cepheler için sınıflandırma stratejilerine genel bir bakış sağlamayı amaçlayan alandaki en kapsamlı çalışmalardan biri olan COST Eylemi TU1403 isimli sınıflandırma yaklaşımı üzerine durmuştur. Bu eylem prensibine göre, adaptif cepheler teknolojilere (malzeme ve sistemler) ve kullanım amaçlarına göre kategorize edilerek, tepki verme işlevlerine, çalışma kapasitelerine, tepki süresine, malzeme ve sistemlere, görünürlüğe ve mekansal ölçeğe göre sınıflandırılmıştır (Başarır & Altun, 2017).

Kolareviç ve Parlac (2015), adaptif cephelerde yalnızca neyin harekete geçirildiğiyle değil, bu hareketin nasıl üretildiğiyle de ilgili olduğuna işaret etmektedir. Bu sebeple dört çalışma yöntemi tanımlar: motor bazlı, hidrolik, pnömatik ve malzeme bazlı.

Ramzy ve Fayed (2011) adaptif mimariyi ilk olarak sistem konfigürasyonuna, kontrol tekniklerine ve yardımcı programlara göre sınıflandırır. Daha sonra çevresel kontrol sistemleri olarak kinetik, kontrol teknikleri, sistem konfigürasyonu, kontrol limiti ve maliyetine göre sınıflandırılmıştır. Bu yaklaşımın yeni gelişmelere yol açarak, mevcut yaklaşımların güçlü ve zayıf yönlerini ele alarak sistemi geliştireceği öngörülmüştür.

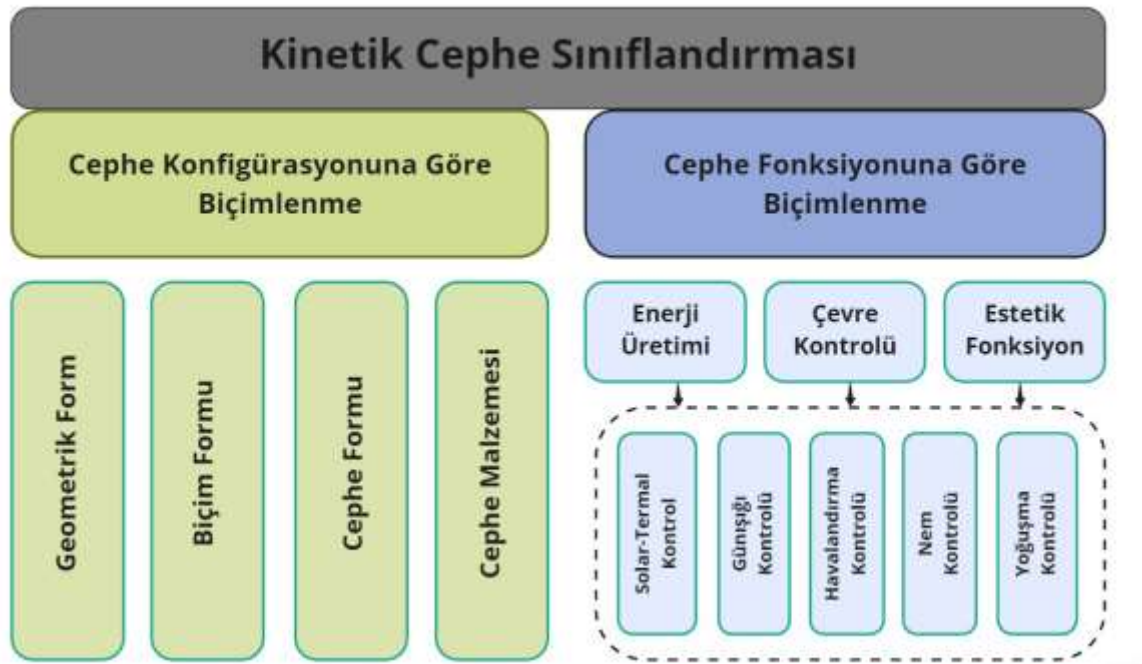
Uyarlanabilir cephelerin sınırlarını belirlemek için doğru şekilde tanımlanması gerekir. Loonen ve diğ. (2013), tarafından yapılan iklim uyumlu bina (Climate adaptive building shell) kabuğu tanımı, adaptif kabuğun değişen performans gereksinimlerine ve değişken sınır koşullarına yanıt olarak bazı işlevlerini veya davranışlarını zaman içinde geri dönüşümlü olarak değiştirme yeteneğine sahip bir sistem olarak tanımlanabilir.

Başarır & Altun (2017), makalesinde mevcut yaklaşımların analizlerine dayanarak cepheler için sistematik on beş tanım kriteri üzerine inşa edilmiş sınıflandırma sistemi önermiştir. Adaptasyon ögeleri, adaptasyon ajanları, ajanlara yanıt verme, hareket tipi, mekansal adaptasyonun boyutu, hareket sınırı, dinamik adaptasyon için yapısal sistem gibi uyum süreci hakkında kapsamlı bilgi sahip olunması beklenen değişkenlerdir. Örneğin; adaptasyon ajanına yanıt verme kriteri, statik veya dinamik bir şekilde uyarana yanıt vermek şeklindedir. Bir cephe, statik tepki olarak adlandırılan malzemelerin ve akıllı malzemelerin potansiyelini fark ederek fiziksel özelliklerini değiştirebilir ve iç ve dış koşullara önceden belirlenmiş bir şekilde tepki verebilir. Adaptasyon ajanına

dinamik bir şekilde yanıt veren uyarlanabilir cepheler, hareketli parçalara sahip olanlardır (Başarır & Altun 2017).

Bu sınıflandırma kriterleri, kalıpları tespit etmeye, uyarlanabilir kavramları tanımlamaya yardımcı olacak ve hepsinden önemlisi, yüksek potansiyelli, yenilikçi uyarlanabilir sistemlerin geliştirilmesi için bir tasarım kılavuzu sağlayacaktır (Başarır & Altun 2017).

2011 yılında Moloney, bina cephesinde meydana gelen geometrik dönüşümlerin tasarımına göre cepheleri sınıflandırmaya dayanan ‘Adaptif Cepheler’ tipleri için bir sınıflandırma şeması ortaya çıkardı (Moloney, 2011). ‘Adaptif Cepheler’ için son örnekleri gözden geçirdikten sonra araştırma, kullanılan dönüşüm tipine, kullanım amacına ve hareket mekanizmasına dayalı olarak yeni bir kategorizasyon önermektedir.



Şekil 2.5 : Kinetik Cephe ve Alt Kategorileri (Moloney, 2011).

Moloney (2011), çevreye duyarlı bina kabuklarına ve hareketli cephe panellerinin kinetik olasılıkları üzerinde çalışmalarını yürüterek, bu cephe sistemlerinin mimari estetiğinden ziyade teknik çözümlerine odaklandığını göstermektedir (Şekil 2.5).

Moloney'in sistemi, iç ortam koşullarını düzenleyen işlevsel bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, gölgeleme elemanlarının kamaşma olasılığı gibi iç ortam performansı üzerindeki etkisi araştırmacılar tarafından artan bir ilgi görmüştür (Mahmoud ve Elghazi, 2016).

Cephe sistemlerinin verimliliği zamana ve yılın gününe göre değişen güneş açısına bağlıdır. Statik cephe sistemleri, iç mekan kalitesi ve kullanıcı ihtiyaçları açısından değişen ortam koşullarına verimli bir şekilde uyum sağlayamadığı gibi kinetik cephe sistemleri, statik cephe sistemlerine göre optimum güneş ışıınımı ve günışığı için güneşin hareketine göre geometrik konfigürasyonlarını değiştirerek alternatif çözümler sunabilmektedir (Schittich, 2006; Meagher, 2015). Bu konu araştırmacıları yeni cephe sistemleri geliştirmeye ve hareketli bir mekanik sisteme dayalı adaptif cepheler için çeşitli sınıflandırmalar oluşturmaya yöneltmiştir. Fakat, bu karakterizasyonları, gereksinimleri ve sistemlerinin uyarlanabilirliğini vurgulamak hala güçtür.

Sınıflandırma örnekleri arasında Loonen ve ark. (2015), karakterizasyon stratejilerini "cephe adaptasyonu için tanımlayıcı karakterizasyon kavramları matrisi" içinde oluşturdu. Karakterizasyon matrisi, hedef/amaç, yanıt verme işlevi, işlem, teknolojiler (malzemeler ve sistemler), tepki süresi, uzaysal ölçek, görünürlük ve uyarlanabilirlik derecesi gibi herhangi bir uyarlanabilir sistemin uyarlanabilirliğini belirler (Loonen, et al. al., 2015).

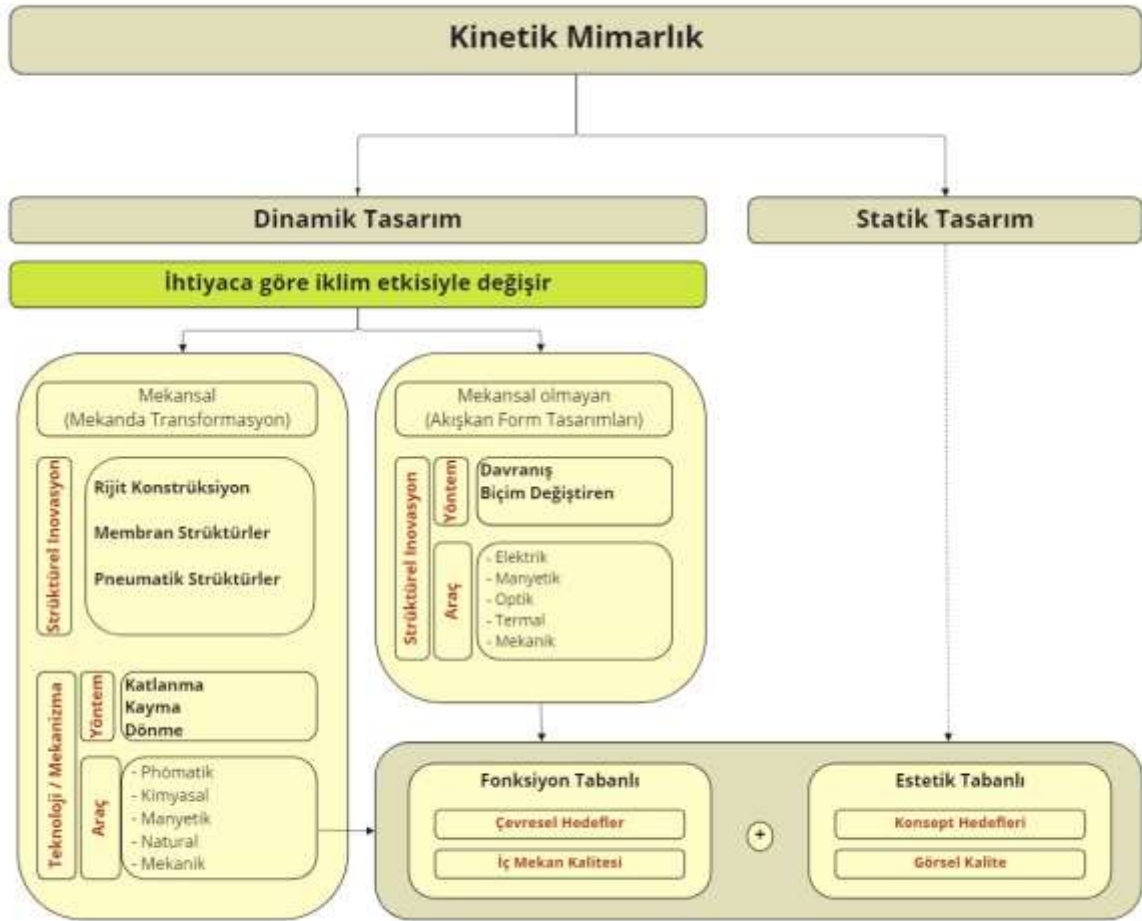
Kolareviç ve Parlac (2015), adaptif cephe sistemlerini, hareketin nasıl üretildiğine göre dört kategoride sınıflandırmıştır; motor bazlı, hidrolik, pnömatik ve malzeme bazlı.

Başarır ve Altun (2017), eksikliklerin giderilmesi için mevcut yaklaşımlar kullanarak hareket tipi, mekansal adaptasyonun boyutu, hareket limiti, yapısal unsurlara dayalı hareketli sistem olarak farklı kategorilerde sınıflandırma geliştirmişlerdir. Dinamik adaptasyon sistemi, aktüatör tipi, kontrol/çalışma tipi, sistemin tepki süresi, sistemin uyarlanabilirlik derecesi, mimari görünürlük seviyesi, adaptasyonun etkisi, performans değişikliğinin derecesi ve sistem karmaşıklığı gibi belirleyici unsurların sınıflandırılmasıyla anlam kazanır (Başarır ve Altun, 2017).

Loonen ve diğerleri (2015), tüm bu sınıflandırma yaklaşımlarını göz önünde bulundurarak, adaptif cepheler için daha geniş bir yaklaşım önermiş ve tepki fonksiyonu, operasyon, teknolojiler, tepki süresi, mekansal ölçek, görünürlük ve

uyarlanabilirlik derecesi gibi çeşitli karakterizasyon kriterlerine sahip bir matris oluşturmuştur.

Megahed (2017) ise tasarım sürecindeki sanal hareketleri parametrik modellerle kapsayan statik yaklaşım ve iklime, ihtiyaca veya amaca göre değişmek üzere dönüştürücü mekanizmaların mimariye uygulanmasını içeren dinamik yaklaşım olarak adaptif mimariyi ikiye ayırmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2. 6 : Kinetik Mimarlık için Sınıflandırma Şeması (Megahed, 2017).



### 2.1.3 Adaptif Bina Kabuğu Tasarım Parametreleri ve Sistem Prensipleri

Adaptif cepheler, bina enerji kullanımında ve CO2 emisyonlarında önemli azalmalar sağlarken aynı zamanda iç ortamın kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Farklı tipte adaptif cephe konsepti (malzemeler, bileşenler ve sistemler) geliştirilmiştir. Bina kabuklarının, binaların enerji performansını etkileyen ana parametre olduğu göz önünde bulundurularak binaların enerji akışı ve ısı konfor açısından gerekli olan esnekliği sağlamak için bina bileşenlerinin tasarlanması gerekmektedir. Öngörülen verimlilik ve işlevsellik seviyelerine ulaşmak için kabuğun değişmesi veya adapte olması gerekir.

“Adapte olabilen” olarak adlandırılan kabuklar, yüksek verimli malzemeler, entegre teknik cihazlar ve akıllı otomasyon sistemleri aracılığıyla enerji akışını otonom olarak kontrol eden yüksek mühendislik çözümleridir.

Bu kabuklar, malzemeler, bileşenler ve sistemler aracılığıyla iç mekân ve dış ortam parametrelerine göre gerçek zamanlı olarak davranışlarını değiştirebilme yetenekleriyle binanın enerji verimliliğini ve ekonomisini geliştirebilir.

Mimarlık alanındaki araştırmalara göre, bina cepheleri bağlamında 'uyabilen' terimi, literatürde genellikle benzer terimlerin uzun bir listesiyle ilişkilendirilir: aktif (Ochoa & Capeluto, 2008), uyarlanabilir, ayarlanabilir, kinetik, akıllı (Knaack & Klein, 2008), interaktif (Velikov & Thün, 2012), reaktif, yeniden yapılandırılabilir, dönüşlü, esnek, duyarlı (Velikov & Thün, 2013), seçici, hassas, hissedebilir. Hangi terim kullanılırsa kullanılsın, bu yeni sistemlerin arkasındaki ana fikir binaların sürekli değişen çevresel koşullara dinamik bir şekilde yanıt vermesi ve bunu enerji verimli yollarla yapması gerektiğidir (Kolarevic & Parlac, 2015).

#### Parametreler

COST TU1403 projesinin planına göre, adaptif cephelerin performansını değerlendiren ve test eden servislere geçmeden önce, teknoloji ve amaç açısından karakterize etmek gerekir. Bu iki parametre, Şekil 2.7'de, diğer anahtar parametrelerle birlikte özetlenmiştir. Buradan görülebileceği üzere, ilk sütun diğer gereksinimlerin yanı sıra ısı konfor, enerji performansı, iç hava kalitesi (IAQ) ve görsel ve akustik performans ile ilişkilendirilebilecek uyarlanabilir kapasiteye sahip bileşenlerin amacını temsil etmektedir.



Şekil 2. 7 : COST Action 1403 - Adaptive Facade Network 2015 (Aelenci ve diğ., 2016).

Çevreyle uyumlu yapı kabuğu tasarımının enerji korunumu kriterine bağlı olarak şekillenmesi; gerek iç mekân konfor koşullarının sağlanabilmesi gerek çevreye verilen zararın azaltılabilmesi açısından önemlidir. Yapı kabuğunun enerji etkin olarak tasarlanması, birden çok parametreyi içermektedir. Bu parametreler; yapının bulunduğu yere, iklim koşullarına, iç mekân kullanım şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak bina cephesinin tasarım aşamasında dikkate alınması gereken birkaç parametre vardır.

**Güneş kazancı kontrolü:** Binaya giren güneş radyasyonu, doğrudan iç ortam sıcaklığını ve dolayısıyla bina sakinlerinin konfor seviyesini etkiler.

**Doğal havalandırma:** Mekanik sistem kullanımını azaltılması hedeflenerek bina kabuğundan doğal hava değişimini ve dolaşımının kontrol edilmesini sağlar.

**Günlüğü ve yapay aydınlatma:** Pencereler ve gölgeleme sistemleri aracılığıyla doğal ışığın mekana girmesi, kullanıcının refahını etkileyen iç mekan aydınlatmasını etkileyen, herhangi bir zarfın temel bileşenleridir. Günlüğü ile yapay aydınlatmanın birlikte düşünülmesi için elektrik enerjisi tüketimini önemli ölçüde en aza indirmek ana hedeftir.

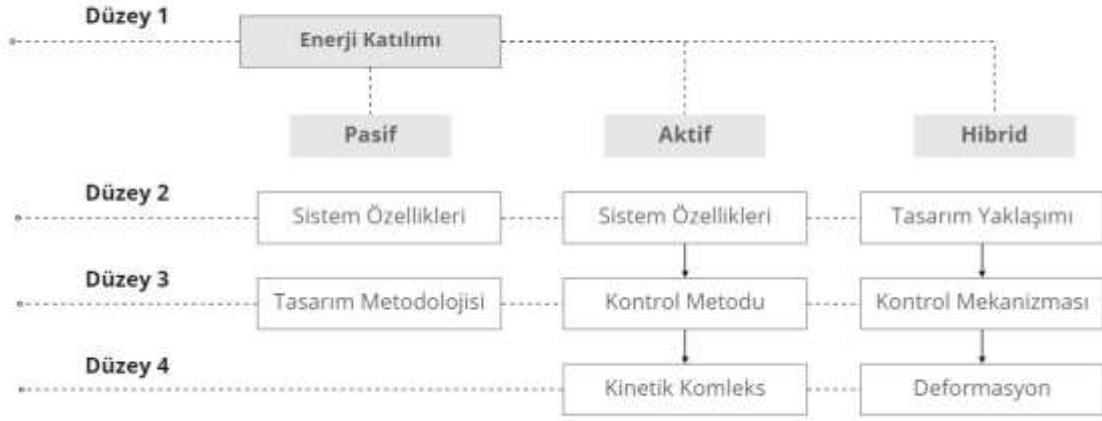
**Isı kontrolü:** İç ve dış arasındaki ısı akışının kontrol edilmesi ile termal performansın büyük ölçüde iyileştirilmesidir. Yaz aylarında cephenin gölgelenmesiyle iyileştirilebilen pencerelerden ısı iletimi optimum düzeye getirilir.

**Gürültü:** Akustik yalıtım, dış gürültüye maruz kalan bir bina cephesinin bir diğer temel kriteridir.

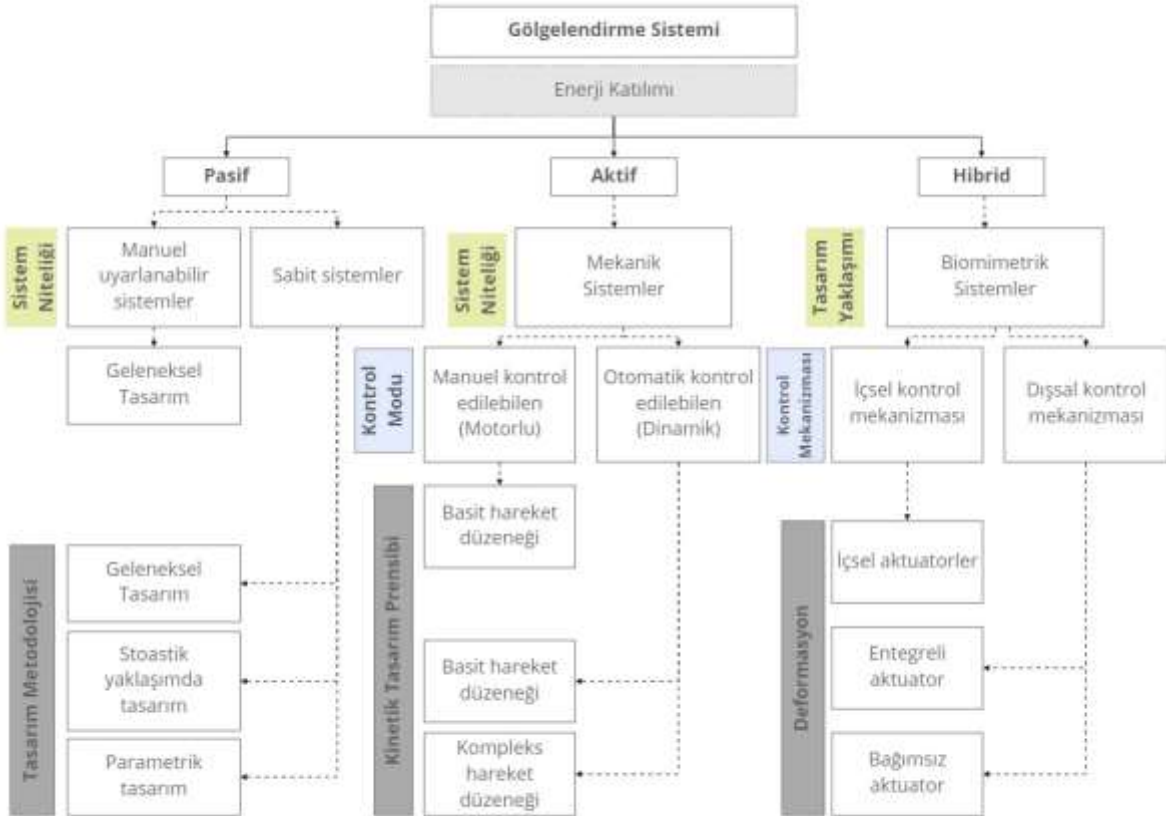
Entegre edilebilen adaptif cephe sistemleri tasarlamak dinamik bir süreç içerir ve tanımlanan amaçları nasıl yerine getirdiklerine göre değerlendirilir. Panjurlar (aç/kapat) veya jaluziler (yükseklik veya lata açısı) gibi geleneksel gölgeleme sistemleri için kuralcı işlevlerden farklı olarak, adaptif cephelerin performansa dayalı işlevleri, potansiyel olarak yenilikleri ve kullanıcı taleplerine dayalı değişiklikleri olduğu gibi kullanmaya izin verir.

Loonen ve ark. (2015), adaptif cepheleri, dış ve iç mekan kontrol değişkenlerine cevap niteliğinde zamanla işlevini veya davranışını tersine çevirebilen iklime uyarlanabilir bina kabuğu (CABS) olarak tanımlamıştır. Adaptif cepheler, bina sakinlerinin taleplerine anında yanıt vererek konfor seviyelerini artırmak için pasif reaksiyonlar (içsel) veya aktif reaksiyonlar (dışsal) ile enerji tasarrufuna izin verir. Adaptif cepheler, literatürde tanımlandığı gibi 'adapte edilebilirlik, sistemin fiziksel özelliklerini zamanla değiştirerek belirsiz çevresel koşullar altında çok amaçlı konfor kriterleri sağlama potansiyeli' olarak yorumlanabilir.

Al-Masrani ve diğ. (2018), pasif, aktif ve hibrit olmak üzere üç temel gölgeleme sistemi için aşağıdaki gibi sınıflandırma sistemi geliştirmişlerdir (Şekil 2.8). Ardından, bu kategoriye genişleterek tasarım yaklaşımını, tasarım metodolojisine (optimizasyon süreci), mekanizmasına, model karmaşıklığına ve deformasyonuna göre çeşitli sınıflara ayırmıştır. İncelenen çalışmalar, Şekil 2.9'da da gösterildiği gibi kategorize edilmiştir.



Şekil 2. 8 : Farklı gölgeleme sistemlerinin sınıflandırma şematığı (Al-Masrani ve diğ., 2018).



Şekil 2. 9 : Gölgeleme sistemi şematığı (Al-Masrani ve diğ., 2018).

## **Otomatik Kontrollü Dinamik Cephe Sistemleri**

Al-Masrani ve diğ. (2018), dinamiklik kavramını, cephede ışık ve ısı gibi değişken uyaranlar tarafından yönlendirilen sürekli bir değişim süreci olarak ifade eder. Ayrıca, kuvvetler ve hareketler arasındaki etkilerle belirli bir zaman içinde değişen dönüştürücü elemanlar sayesinde güneşin hareketine göre elemanlarını yeniden yapılandırabilir (Velikov ve Thün, 2013). Dinamik sistemler, tanımlanmış kurallara dayalı olarak bu duyarlı hareketleri gerçekleştirmek için tamamen otomasyona dayanır (Karanouh ve Kerber, 2015; Loonen ve diğerleri, 2013); bu nedenle, uygulamaları üç bileşen içerir: veri elde etmek için sensör ağı, uygun bir eylemi belirlemek için kontrolör ve mekanik aktüatörler (Konstantoglou ve Tsangrassoulis, 2016; Al-Obaidi ve diğ., 2017a). Bu süreçte sensörler ve kontrolörün rolü, çevresel verileri almak ve ardından tasarlanan hareketleri gerçekleştirmek için aktüatörlere gönderilen sinyalleri yönetmek ve modüle etmektir.

Adaptif cephelerde dinamik modüller, kompleks tasarımların karmaşıklığına bağlı olarak iki ana gruba ayrılmıştır: jaluziler ve panjurlar gibi basit hareket kabiliyetine sahip geleneksel dinamik gölgeleme elemanları ve parametrik geometriler gibi hareket modeline sahip kinetik dinamik gölgeleme sistemleridir.

### **Basit Hareket Düzlemi - Geneksel dinamik kontrollü cephe sistemi**

Geleneksel dinamik sistemler, basit kinetik tasarımlarıyla karakterize edilir. Tek bir düzlemsel harekete sahip geometrik şekilleri, 2D gölgeleme sistem veya panjur gibi elemana sahip basit bir cihaz entegrasyonudur (Al-Masrani ve diğ., 2018) (Şekil 2.10).



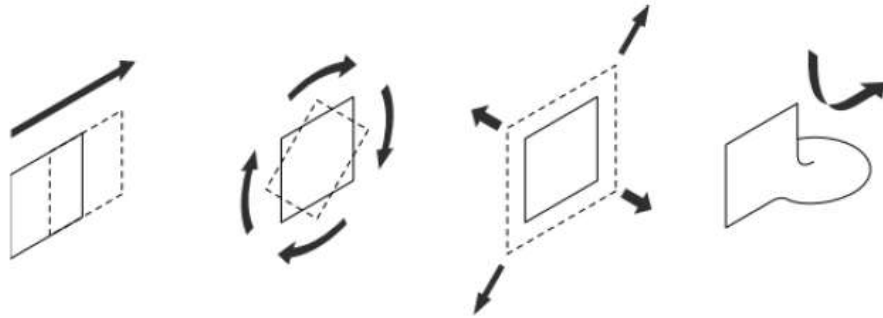
oluşturmak için basit hareketler yoluyla hareketin tekrarı. (d) Farklı hareket parametrelerinin örtüşmesi.

Bu tasarım prensibi, kompleks bir hareket düzeninin, gölgeleme sistemlerinin farklı modellerini belirlemede önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

Dört temel kinetik hareket Şekil 1’de gösterildiği gibi sınıflara ayrılmıştır:

- Doğrusal düzlemsel yönde öteleme hareketi,
- Bir eksen etrafında dönme hareketi,
- Bir modülün boyutunun daralmasını veya genişlemesini gösteren ölçekleme hareketi Malzemede deformasyon

Moloney (2011)’in tanımladığı bu sınıflamalara göre, bir hareket modeli oluşturulur ve bir sistem tasarımı tek bir model içinde sınırlandırılabilir veya modeller arasında geçiş yapılabilir (Şekil 2.11). Bu tipolojiler, uzayda geometrik sınırlama içinde değişken formları ve şekilleri keşfetmek için sofistike bir yaklaşım getiren morfoloji olarak adlandırılabilir kinetik oluşumun yapı temelini oluşturur (Moloney, 2011).



Şekil 2. 11 : Ana hareket tipleri ve malzeme deformasyonu (Moloney, 2011).

(b)

| Characteristic | Typology  | Structural response   |
|----------------|---|---|
| Rotation       | Swivel<br>Revolving (rotation)<br>Swing (flap, lever) | Bending<br>Bending  |
| Translation    | Slide   |   |
| Combined       | Slide+Swing<br>Swingx("n" cycles)<br>Swing+Swivel     | Fold, expand and contract<br>Gather and roll up<br>Fold, Buckling |

Şekil 2. 12 : (a) Uzaydaki temel geometrik hareketler (Moloney, 2011), (b) farklı hareketlerin tipolojileri (Fiorito ve diğerleri, 2016).

## 2.1.4 Adaptif Bina Kabuğu Uygulamalarının İncelenmesi

Teknolojinin gelişmesiyle yapı kabuklarının dış koşullara adaptasyonu ve çevresel koşullardaki değişikliklere yanıt verme olasılığına sahip olma olasılığı, profesyoneller ve akademisyenler tarafından araştırma konusu olmuştur.

1960'larda Hollandalı bir mimar olan Herman Hertzberger, 'esneklik' kavramını laissez-faire tarafından eleştirmek için mimaride bir kavram olarak çokdeğerlilik fikrini sundu (Musa, M.K. 2021). Esneklik, belirli bir sorunu çözme yeteneğine sahip olmamakla birlikte, esnek bir nesne her değişime uyum sağlamaya çalışmaktadır (Hertzberger, 2016). 1962'de, uyarlanabilir bina kabuğunun ilk örneklerinden biri, Richard Neutra ve Robert Alexander tarafından tasarlanan Los Angeles County Hall'dur. T şeklindeki bina, güney cephesinde güneş enerjisiyle çalışan alüminyum panjur ile uygulanmıştır. (Khoo ve Salim, 2013).

Los Angeles County Hall için mekanik olarak kontrol edilebilen uygulama, Kaufmann'ın elle çalıştırılan cephesinden de Richard Neutra'dan ilham almıştır (Musa, M.K. 2021) (Şekil 2.13).



**Şekil 2. 13 :** Los Angeles County Hall of Records'un güney cephesindeki güneş kırıcılar.

1987 yılında Paris'te inşa edilmiş Arap Dünyası Enstitüsü (Institute du Monde Arabe) cephesi, günışığı yönelmesine göre adapte olabilen ilk cephe örneği sayılmaktadır (Şekil 2.14). Jean Nouvel'in tipik eseri, cephe detaylarına gösterdiği özendir ve detay tasarımı düşüncesinin altında yatan bir sebep de vardır. Projenin yenilikçi tasarım



prensibi, güney cephesindeki teknolojik ve duyarlı metalik tabandır. Arap mimarisinin arketipsel bir unsuru olan mashrabiyya'yı güçlü yansıtması Nouvel'in 240 panel deseninde özgünlüğünü açıkca ortaya koymuştur.

Sistem detayı, izin verilen ışık miktarı kadarını düzenleyen duyarlı diyaframlar içerir. Merceğin hareket sırasında, farklılaşan bir geometrik desen oluşturur. Gün içerisinde en fazla 18 kez hareket etmeye programlı bu dinamik diyaframlar yardımıyla binanın konfor koşulları iyileştirilmiştir ve enerji etkinliği artırılmıştır (Karaağaç S., 2020).

Merceğin hareketi sırasında, dinamik bir geometrik desen oluşur ve boşlukta ışık olarak yayılır. İç mekanlar, dış görünümle birlikte önemli ölçüde değişir. Ayrıca dış cephede olduğu gibi iç mekânda da ışık-gölge değişimleri ile dinamik bir iç mekân algısı da yaratılmıştır. Cephe mekanizmasında açıklık boyutları kapatılarak veya azaltılarak güneş kazancı kolayca azaltılabilir.



**Şekil 2. 14 :** Institute du Monde Arabe kinetic cephe modülünün farklı açıklıkları.

Arap mimarisinden esinlenen başka bir alternatif adaptif cephe örneği, 2013’de tamamlanan Birleşik Arap Emirlikleri’ndeki Abu Dhabi Yatırım Konseyi Merkez Binası (Al Bahar Towers) cephesidir (Karaağaç, S, 2020) (Şekil 2.15).

Aynı şekilde İslami kafes gölgeleme cihazı olan “mashrabiya” dan ilham alınmıştır. Parametrik olarak tasarlanan cephe geometrisinde katlama sistemi kullanılmıştır. Aktivatörlü cephe panelleri için, üçgen fiberglas + PTFE kaplı (teflon kaplı cam lif örtü) cephe elemanları güneşin hareketine cevap verecek şekilde programlanmıştır. Cephe kabuğunun tasarım amacı ise binada enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Güneş ışığını kontrollü bir şekilde iç mekâna aktarmayı başaran proje, kulenin cephe önüne koyulmuş, gölgelendirme sağlayan ikinci bir dinamik cephe kabuki uygulaması ile hedefine ulaşmıştır.



Şekil 2. 15 : Al Bahar Towers kinetik cephe modülü.

## 2.2 Günüşığı ve Mimari Tasarım

Tezin bu bölümünde günüşığın tanımı ve mimaride kullanımını kapsayan bir literatür taraması sunulmaktadır. Bölümler, tasarım ilkelerini, genel kavramlarını ve temel yapı değişkenlerini içermektedir.

Günüşığı birincil ışık kaynağıdır. Bu nedenle bugün dünya çapında tasarımcılar için artan bir ilgi konusudur. Günüşığın doğru tasarlanması durumunda insan sağlığını ve aktivitelerini destekleyecek dinamik iç mekanlar yapılandırılabilir ve enerji ihtiyacı azaltılabilir. Mevsime, konuma veya enlem ve bulutluluğa bağlıdırlar.

Günüşığı, fiziksel çevre konuları ile direkt ilişkili bir konu olması sebebiyle üzerinde Çok çalışılan disiplinler arası bir konudur. Roche L., Dewey E., Littlefair P., Slater A., (2001) hazırladıkları çalışmada ortalama Günüşığı Faktörü (DF) %5'in üzerine çıktığında muhtemel memnuniyetsizlik artmakta olduğunu, yüksek günüşığı seviyesinin kamaşma şikâyetlerini arttırdığını, günüşığı faktörü %2 ile %5 arasında olduğunda memnuniyet en yüksek seviyede olduğunu belirlemişlerdir.

Capeluto G., (2003) iyi tasarlanmış bir mekanda gün ışığının enerji maliyetlerini azalttığını, görsel kaliteyi artırdığını ve yapay aydınlatma ihtiyacını da düşürdüğünü belirtmektedir. Günüşığı, binaların ısıtma ve soğutma yüklerini etkiler. Günüşığı aydınlatmasında kontrollü aydınlatma kurulduğunda güneş kazancı ve yapay aydınlatmadan ısı kazanımı sağlanabilir. Araji M. T. (2008), ofis yapılarında kullanıcının daha konforlu olması için geliştirdiği modelde konfor kriterlerini mimari kriterler, kişisel performans kriterleri, çevresel kriterler olarak sınıflandırmıştır. Oluşturduğu konfor değerlendirme modeli ile farklı cephe oranında ofis modülünü yılın belirli günleri ve farklı gök koşullarında inceleyip değerlendirmiştir. Tüm çalışmalar sonucunda pencere oranı ile kamaşma indeksi arasında bir hesap yöntemi hazırlamıştır.

Aydınlık düzeyi; mekânda insanın ihtiyaç duyduğu ve günüşığı kalitesi için ilk aranan unsurlardan biridir. Aydınlık düzeyi ve günüşığı ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Slater A. (1998), yaptığı ölçümler sonucunda standartlarda bilinen aydınlık düzeyinin daha altında seviyeleri deneyleri sonucunda bulmuştur. British Office Lighting Guide'da (1999), standart ofis aydınlatması için 500 lux, bilgisayar çalışması için 300-

500 lux ve derin ofis yapıları için ise 750 lux, derin ofis için de 750lx altında bir seviye belirlemiştir.

Binalarda günışığının daha fazla kullanımı sadece enerji tasarrufu sağlamaz, aynı zamanda insan sağlığı üzerine olumlu etkileri de olur. Günışığı, mimarlık disiplinde insanı fizyolojik ve psikolojik yönleriyle etkileyen, iç mekanda konfor koşullarının yaratılmasında etkili olan, enerji tasarrufu sağlayan en önemli tasarım girdilerinden biridir (Bor, H., 2021).

Mekânda günışığı kalitesinin sağlanabilmesi için günışığından kaynaklı kamaşma problemlerinin giderilmesi gerekmektedir. Fisekis K., Davies M., Kolokotroni M., Langford P.'ın (2003) yaptığı çalışmada pencereden oluşan günışığı kamaşma seviyesi ile (Daylight Glare Index DGI) CIE tarafından oluşturulmuş yapay aydınlatma kamaşma oranı (Unified Glare Rating UGR) arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Fiziksel bir test odası kullanmışlardır. Sonuçlar öznel değerlendirmeler ile DGI arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Boubekri, M. (1990), Ofis yapılarında görsel konfor analizleri yaparak literatürdeki yöntemler ile kamaşma hesaplama yöntemleri üzerinde çalışmıştır. Hesaplanan kamaşma oranlarıyla insanların hissettikleri kamaşma oranlarını karşılaştırmıştır. Analizler sonucunda pencere boyutlarının değişiminin hesaplanan kamaşmayı %29,9 etkilediğini belirlemiştir. Çalışmada güneşli günlere günışığı kamaşma indeksi yüksek çıkmasına rağmen ofis çalışanları bunu tolere edilebilir olarak değerlendirmişlerdir. Pencerenin baktığı yöndeki manzaranın da hissedilen günışığı kamaşma indeksinde etkili olduğunu belirlemiştir.

Mekân ile günışığı arasındaki engeller mekânsal kaliteyi etkiler. Dış mekandaki engellerin mekân ile günışığı kalitesini nasıl etkilediği birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Böylece, mekân ile günışığı etkileşimi ile birlikte insanın mekândaki günışığını kontrol altına alma ihtiyacı da ortaya çıkmış ve bu konuda fazla yöntem geliştirilmiştir.

Rheault ve Bilgen (1990) gölgeleme elemanlarına sahip binaların enerji performansını değerlendirmek üzere yaptıkları çalışmada pencereden iletilen güneş ışınımı, cam iç ve dış yüzey sıcaklıkları, kanat açıklıklarına bağlı olarak yaz ve kış dönemindeki gölgeleme katsayıları ve ısı dirençler karşılaştırılarak, yaz döneminde %50, kış döneminde % 30 oranında enerji ihtiyacının düşürülebileceğini ortaya koymuşlardır.

Tzempelikos A. (2007) bir binanın konsept tasarımı sırasında tasarımcının iç mekan kalitesi ve enerji performansı ile ilgili kararlar vermek zorunda olduğunu, cephe dizaynının kontrolünün bina performansını etkilediğini vurgulamaktadır.

Giydirme cephe sistemleriyle beraber iç mekân kalitesi problemleri de oluşmaktadır. Kamaşma ve aşırı ısınma buna örnek olarak verilebilir. Kamaşma problemi, özellikle ofis yapılarında önemli bir problemidir.

Sıcak iklimlerdeki ofis binalarında, görsel ve termal konforsuzluk en kritik tasarım kaygılarından biridir. Enerji tüketiminin yaklaşık %30'luk kısmını yapay aydınlatma oluşturmaktadır. Plan düzleminde günışığı dağılım hesaplamaları, ısı ve görsel konfor için değerlendirme sürecinin etkiler.

### **2.2.1 Tasarım Girdileri**

Tasarım girdileri, değişmez ve değişken tasarım girdileri olarak iki kısma ayrılmıştır. Değişmez tasarım girdileri, tasarım sürecinde değişmediği, model akışı süresince de değişmeyeceği kabul edilen girdilerdir. Ayrıca, tasarımcıya bağlı olmayan tasarım süresince değişmeyeceği varsayılan tasarım verilerdir. Değişken tasarım girdileri ise, tasarımcının tasarım sürecinde değiştirebileceği, müdahale edebileceği tasarım değişkenleridir.

#### **2.2.1.1 Değişmez Tasarım Girdileri**

Süreç içerisinde değişmeyeceği varsayılan birtakım tasarım kararları alınırken mekânın çözümlenmesi açısından önemli verilerdir.

#### **Tasarımcıya Bağlı Değişmez Girdiler**

Mekanın konfor ihtiyacını belirleyebilmek için mekanda yer alan insanların aktivite seviyesi ve süresinin tasarım aşamasında kurgulanması gerekmektedir. İnsanlar aktivite düzeyine göre metabolizma yoluyla ürettiği ısıyı tüketmektedir.

Bu enerji dinlenme süresinde saatte 60 W/m<sup>2</sup> lik, ağır bir eylemde 400 W/m<sup>2</sup> lik bir miktara ulaşabilmektedir (Ok, 1993).

Bina tasarım aşamasında kurgulanan mekâna ait özellikler, o mekan ihtiyacının verimli bir şekilde değerlendirilebilmesi için işlev ve kullanım periyodunun doğru tespit edilmesi gereklidir. Bu sayede mekanın kullanım saatleri ve işlevine bağlı olarak

kullanıcı profili, aktivite süresi ile değerlendirilerek mekan analizlerinde değişmez kurgu yoluyla kolaylık sağlamaktadır.

Bina tasarım aşamasında, binanın otomasyon sistemine bağlı olup olmayacağı belirlenmelidir. Aydınlatma kontrolü enerji tüketimine bağlı olarak bina tasarımında oldukça önemlidir. Otomasyon sistemi kurgusu mevcut ise aydınlatma kontrolü buna göre değişkenlik gösterecektir.

Değişmez girdiler olarak yapı kabuğu üzerindeki saydam yüzey oranları, tasarımın ilk evresindeki karar mekanizmalarında önemli yere sahiptir. Tasarımcı, saydam yüzeylerin oranını, biçimini, cam çeşitlerini, aydınlık düzeyini ve hacim içindeki dağılımını kontrol ederek kapalı mekanlara dolaylı ve dolaysız günışığının alınabilmesi için tasarım evresinde kararlar alır (Arpacıoğlu, Ü, 2010).

### **Tasarımcıya Bağlı Olmayan Değişmez Girdiler**

Tasarımcıdan bağımsız kabul edilmiş ve günışığı ve fiziksel çevre değerlerinin değerlendirilebilmesi için oldukça önemli olan tasarım girdileridir. Öncelikle tasarlanan mekanın kullanım amacının tespit edilmesi ve mekanın tanımlanması, ileride ortaya çıkacak konfor problemlerinin önüne geçebilmektedir. Bu veriler tasarım sürecinde değişmez kabul edilir. Bu tez çalışmasında oluşturulan modele girdi olacak mekan işlevleri, günışığı ile en fazla ilişkili olan ofis binasının işlevleri ele alınarak çalışma kapsamı oluşturulmuştur.

Atalay'a göre Türkiye ılıman ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Dünya ölçüsünde yapılan iklim sınıflandırmasında kullanılan ölçütler esas alınarak, ülkemizde Karasal İklim, Akdeniz İklimi, Marmara (geçiş) İklimi, Karadeniz iklimi ayırt edilebilir (Atalay, 1997). Prof. L.Zeren tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Türkiye'de sıcak-kuru, sıcaknemli ve ılımlı-kuru, ılımlı-nemli, soğuk olmak üzere beş iklimsel karakter bölgelerine ayrılmaktadır (Ok, 1993).

TS825'in 2008 de yürürlüğe giren düzenlemesinde, Türkiye'nin iklim bölgeleri dört bölgeye ayrılmaktadır. Şekil 3.3'de Türkiye'nin iklim bölgeleri görülmektedir. TS825 ısıtma gün derecelerine göre bir sınıflandırma yapmaktadır. Geliştirilen modelde henüz yetersiz olduğu düşünülmese rağmen, Türkiye için farklı bir standart olmadığından TS825'in sınıflandırması kabul edilmiştir (TS825, 2008).

Güneş ışınimleri atmosfer içinden geçerken atmosferi oluşturan bileşenlere bağı olarak yayılır ve yutulurlar. "Yayınık gök ışınimleri" olarak adlandırılan bu güneş ışınimleri ile birlikte günışığının oluşturduğu aydınlığın nicelik ve niteliği, atmosferin özellikleri, saat, gün, yapının yer aldığı enlem vb. etkenlere göre değışim gösterir (Ünver, 2002).

### 2.2.1.2 Değışken Tasarım Girdileri

Mekanın tasarım sürecinde değışkenlik gösteren tasarım girdileri binanın günışığı analizi ve model kurgusunda oluşabilecek problemlere karşı çözüm önerisi sunabilmektedir. Aşağıda belirtilen açıklamalar tez kapsamında ele alınacak model kapsamına dahil edilecektir.

- Bina kabuğunun doluluk – boşluk oranı mekan içerisindeki konfor talebine göre tasarım evresinde tasarımcının kararı doğrultusunda değışkenlik gösterebilmektedir. Saydam yüzeylerin opak yüzeylere oranı tasarım öncesi veya tasarım aşamasında bina kurgusu için alınan önemli tasarım kararlarındanıdır.
- Mekandaki yüzeylerin malzeme özellikleri de aydınlık düzeyini etkilemektedir. Tavan, yer, duvar gibi yüzeylerin saydamlık oranı ışığın direkt olarak ulaşamadığı bölgelerin aydınlık düzeyini etkiler.
- Cephede saydam yüzeylerin gölgeleme katsayısı mekanın aydınlık düzeyini etkileyen önemli bir unsurdur. Saydam yüzey olan cam malzemenin ışık geçirgenlik oranı ile ilgilidir.
- Bina kabuğu yüzeyindeki gölgeleme elemanların formu, günün belirli saatlerinde içeriye geçen ışığın miktarını etkilemektedir.
- Cephede saydam yüzeylerin geometrisi, bina kabuğundaki boşlukların biçimi formunu temsil eder. Böylece mekânın farklı kısımlarındaki aydınlanma oranlarını etkilemektedir.
- Bina kabuğundaki opak ve saydam yüzey oranı ise cephe boşluğundaki saydam yüzey alanında değışim göstereceği için ısı iletimi de etkilemektedir.
- Opak yüzey üzerine radyasyon alma miktarı, bina kabuğu yüzeyindeki gölgeleme elemanlarının opak yüzeye düşen güneş radyasyonunu ne kadar engellediği ile ilgili bir konudur.

- Aydınlatma kontrolü, binadaki manuel ve otomasyon kontrol sisteminde mekânın aydınlatılmasının hangi şekilde gerçekleşeceğini belirler. Tüm armatür grubunun yandığı manuel kontrolde, enerji ihtiyacı daha fazlayken, otomasyon sistemi ile aydınlatılan mekandaki aydınlatma elemanları günışığı ile daha fazla aydınlanan bölgelerde daha az, günışığı ile daha az aydınlanan bölgelerde daha fazla güç ile yanar.

## **2.2.2 Günışığı Performans Metrikleri**

20. yüzyılda (1920'ler), günışığının değerlendirilmesini sistematize etmek için binalardaki günışığı aydınlatmasının ölçümleri ile odadaki bir pencereden günışığının yeterliliği veya yetersizliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu gün ışığı ölçümleri fikrinin ortaya çıkmasına neden olduğu gibi binalarda yeterli günışığının sağlanması veya ısı kazanımlar için oluşturulmuş birçok stratejik tasarım çalışmasının da başlangıcı olmuştur. Doğrudan ölçümün yapılamadığı zamanlarda, pencere alanının taban alanına oranı veya pencere alanının pencere duvarının alanına oranına dayalı olarak gerekli pencere boyutlarını belirlendi. Veya, pencerenin yüksekliğine göre belirli oranlarda pencere ve maksimum oda derinliği önerildi.

Bina enerji verimliliği, güvenliği ve tasarım kalitesi bağlamında bina performans ölçütleri, bina tasarımına rehberlik etmek için çeşitli analizler ile belirlenir. Günışığı gibi tasarımın daha niteliksel ve çok yönlü olduğu durumların değerlendirmesi ve formüle edilmesi oldukça zordur (Reinhart ve diğerleri, 2006).

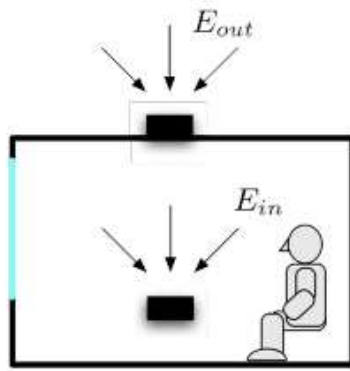
Çeşitli performans metrikleri, iç mekanlardaki çalışma düzlemindeki ışık miktarını değerlendirmek için araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Günışığı metriğinin geliştirilmesi yıllar boyunca araştırma konusu olmuştur. Nicel ölçümleri ifade eden metrik kavramı dinamik ve statik hesaplama metrikleri olmak üzere iki gruba ayrılır.

### **2.2.2.1 Statik Günışığı Metrikleri**

Statik hesaplama, belirli bir zamanda ve belirli koşullarda ölçüm tekniklerine dayalı bir hesaplama çeşidi iken dinamik hesaplama yıllık hava durumu bilgileri ve değişen koşullara göre dinamik bir ölçüm yapmaktadır. Statik metrikler anlık görüntü, 'snapshot' veya tek nokta teknikleri, 'single point-in-time' kullanarak tek tip bir gökyüzü durumunu ele alır (Mardaljevic ve diğ., 2009) (Şekil 2.16).

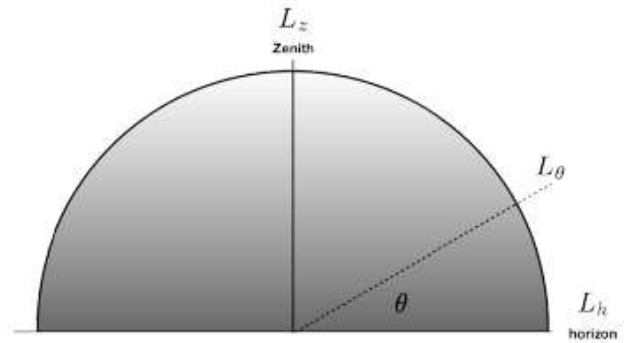


Xue ve diğ. (2016) 'e göre, aydınlatma seviyesi ve günışığı faktörü gibi analizler, fiziksel modellerde basit günışığı değerlendirmelerini test etmek için çoğunlukla kullanılan statik ölçütlerdir. Bunlardan Günışığı Faktörü (DF) en sık kullanılan ölçüm yöntemine dayalı bir oranı ifade etmektedir. Bu oran, iç mekan yatay düzlemindeki alana düşen ışık şiddetinin, aynı düzlemdeki bir noktanın parlaklığına bölünmesi ile elde edilir. Dış nokta, Moon ve Spancer (1942) tarafından sunulan ve 1955 yılında Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) tarafından standart olarak kabul edilen bulutlu gökyüzü koşullarına göre ele alınır (Mardaljevic ve diğ., 2013).



**Daylight factor**

$$DF = \frac{E_{in}}{E_{out}} 100\%$$



**CIE standard overcast sky pattern**

$$L_{\theta} = \frac{L_z (1 + 2 \sin \theta)}{3}$$

**Şekil 2. 16 :** İç ve dış aydınlatma oranı (sol),  $\theta$  açısında parlaklık ( $L_{\theta}$ ) formülüne sahip CIE Standart bulutlu gökyüzü modeli (Sağ) (Mardaljevic ve diğ., 2009)

Bu analizleri kullanmak ve farklı koşullardaki günışığı sistemlerinin seçeneklerini farklı koşullarla karşılaştırmak, günışığını göz önüne alarak en uygun seçeneği bulmanın yolunu açmaktadır (Reinhart ve diğ., 2006). Uzun yıllardır üzerinde çalışılan günışığı metriklerinin güçlü ve zayıf özellikleri bulunmaktadır (Ceylan, Ö. 2019). Metrik yöntemlerinin gökyüzü tipini kullanarak veya tarih ve saate göre ölçüm yaparak çeşitlendirilmesinin amacı, tasarımcıların daha konforlu ve verimli ışık alan alanları seçmesini sağlamaktır.

### 2.2.2.2 Dinamik Günüşığı Metrikleri

Gün ışığı, anlık değişim gösteren bileşenleri olan dinamik bir karaktere sahiptir ve gün ışığı faktörü (DF), günüşığın dinamik doğası karşısında kısıtlı kalmaktadır (Bor, H., 2021). Günüşığın dinamik karakteri nedeniyle, gün boyunca ve mevsimden mevsime iç ve dış aydınlatma miktarı sürekli değişir. Mekanın geometrisi ve fiziksel özellikleri göz önüne alındığında, mekandaki günüşığı düzeyini ölçmek için dinamik günüşığı metriklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Mardaljevic ve diğ., 2009; Reinhart ve diğ., 2006). İklim etkin tanımı dinamik metriklerin bir diğer adı olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda aydınlatma simülasyon tekniklerindeki gelişmeler, çok çeşitli günüşığı ölçümleri için yeni metrikler geliştirmiştir. Günüşığı Faktörü (DF), Günüşığı Otonomisi (DA), Maksimum Günüşığı Otonomisi (DAmax), Mekansal Günüşığı Otonomisi (sDA), Faydalı Günüşığı Aydınlığı (UDI), Günüşığı Doygunluğu Yüzdesi (DSP) , Toplam Yıllık Aydınlik (TAI) ve Kentsel Günüşığı Kullanılabilirlik Göstergeleri (UDAI) (Hraška, 2018). Bu tür metriklerin en önemli özelliği, Dünya üzerinde belirli bir konum için güneşten ve gökyüzünden elde edilen ışık şiddeti ve parlaklık verileri gibi parametrelerdeki yıllık değişimleri göz önünde bulundurarak araştırmalara dahil edilmeleridir.

Günüşığı Otonomisi, yapay aydınlatmaya ihtiyaç duymadan iç mekan aydınlatmasının yeterliliğini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür (Reinhart ve diğerleri, 2006). Farklı gereksinimlere göre belirlenen eşik değerinden daha yüksek günüşığı aydınlığının işgal ettiği saatlerin yıl boyunca iç mekanda belirli bir noktaya yerleştirilmiş günüşığı sensörüne düşen yüzdesi olarak tanımlanır. (Reinhart, 2010).

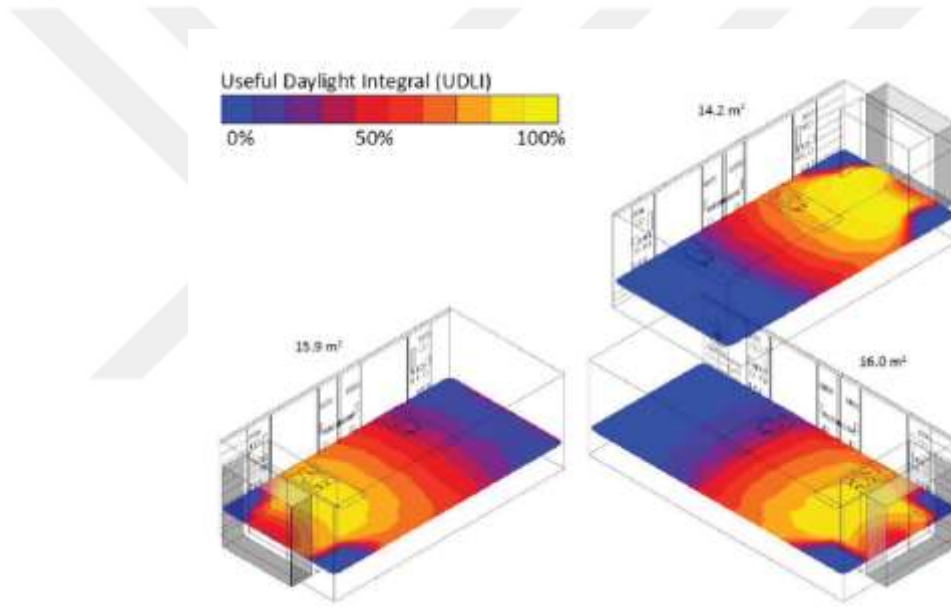
Nabil ve Mardaljevic (2005), günüşığı aydınlatmasının alt ve üst sınırlarını değerlendirerek bina sakinleri için faydalı günüşığı aydınlatmasının bir analizini gerçekleştirdi. UDI, belirtilen noktadaki yataydaki iç mekan günüşığı aydınlatma seviyesinin yıl içinde belli bir aralığa sahip saat sayısının bir yıl içerisindeki mekanın kullanıldığı toplam saat sayısına oranıdır (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Nabil ve Mardaljevic'e (2005) göre, UDI ayrıca kullanıcı rahatsızlığına ve istenmeyen güneş enerjisi kazanımına neden olabilecek aşırı günüşığı seviyeleri hakkında bilgi sağlar.

Faydalı Günüşığı Aydınlığı (UDIUseful), yapay aydınlatmanın 100 lüks ile 300 lüks arasında kabul edildiği değerdir. UDIoverlit, 300 lüks ile 3000 lüks arasında bir değerdir. Yapay aydınlatma yoğunluğunun azaltıldığı veya ihtiyaç duyulmadığı

değerdir. 3000 lux üzerindeki değerler, iç mekanlarda görsel bir rahatsızlık meydana geleceği için ihmal edildiği için 100 lüks ile 300 lüks arasındaki değerler faydalı kabul edilmektedir (Bor, H., 2021).

Reinhart ve diğerleri (2006)'ne göre, UDI, günışığı seviyesinin ortalama bir parlaklıkta olduğu bir seviyeyi belirlemeyi amaçlamaktadır. UDI genellikle üç seviyede değerlendirilmektedir (Şekil 2.17);

- Çok karanlık olarak kabul edilen  $UDI < 100$  lux,
- Yararlı olarak kabul edilen  $100 < UDI < 2000$  lux ve
- Çok parlak olarak kabul edilen  $UDI > 2000$  lux değer aralıklarıdır.



Şekil 2. 17 : Faydalı günışığı aydınlatması örnek gösterimi (Reinhart ve diğ., 2006)

### 2.2.3 Günüşığı Etkinliği

Modelde, bina tasarımının günüşığı ve fiziksel çevre unsurları bağlamında değerlendirilip analizinin yapıldığı esnada fiziksel çevre çözümleme aşamalarından biri günüşığı etkinliğidir. Mekanın günüşığı değerlerini oluştururken, konfor şartlarını da kontrol edilmelidir. Bu kriterler tasarımcıya yön vermektedir. Böylece, tasarımcı günüşığı ile ilgili çevresel kaliteyi arttırırken konfor ve enerji konularını göz önünde bulundurarak tasarımına yönlendirebilmektedir.

Günüşığı Etkinliği (DAV), Günüşığı Otonomisi (DA) ve Yıllık Günüşığı Aydınlık Düzeyinin (UDI) birleşimidir. Bu metrik, yerel hava durumu verilerinden yararlanır ve saatlik ve saatlik zaman serilerine dayalı olarak aydınlık profillerini değerlendirir (Reinhart & Wienold, 2010).

Günüşığı etkinliği, tasarımcı için günüşığı ile ilgili kriterlerin çözümlemesini yaparak mekânın günüşığı değerlerini belirlemektedir ve bu konu ile ilgili başlıca konuları içeren faktörler aşağıdaki gibidir;

- Günüşığı Aydınlık Düzeyi Faktörü
- Günüşığı Aydınlanma Oranı Faktörü
- Günüşığı Faktörü
- Günüşığı Düzgünlük Faktörü
- Günüşığı Kamaşma Faktörü

#### 2.2.3.1 Günüşığı Aydınlık Düzeyi Faktörü

Aydınlık (illuminance) bir yüzeyin birim alanındaki ışık miktarını ölçen performans metriğidir ve “lux” ile ifade edilir. İç mekandaki parlaklık seviyesini analiz etmek ve değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. Tavsiye edilen veya öngörülen aydınlık değerleri, görsel göreve, kullanıcıların yaşına, sosyo-kültürel ve ekonomi gibi çeşitli faktöre bağlıdır (Aksin, F., 2019). Aydınlık düzeyi, birim alana düşen ışık akısı olarak tanımlanır ve gözün görme yeteneğini doğrudan etkileyen bir faktördür (Arpacıoğlu, Ü., 2010). Aydınlık düzeyi, yapılan işin önemine ve hassasiyet derecesine göre değişmektedir. Dikkat gerektiren bir iş ile ilgileniliyorsa, detayları fazla ve hata kabul

etmeyen bir çalışma ise çaydınlık düzeyinin artırılması önerilmektedir. Ofis ortamları için önerilen aydınlık düzeyi değerlerini gösteren Tablo 2.1’de, çalışma alanları için standartlardaki değerlerin altına düşülmemesi gerektiğini vurgulamaktadır.

**Çizelge 2. 1 : Ofisler için aydınlık düzeyi (Lux), (CIE-Standard, 2001).**

| <b>OFİS</b>                               | <b>LUX</b> |
|---|------------|
| Dolaşım alanları, fotokopi                | 300        |
| Yazı yazmak, okumak, veri girişi vb işler | 500        |
| Çizim yapmak                              | 750        |
| Bilgisayar odası                          | 500        |
| Toplantı odası, konferans salonu          | 500        |
| Danışma                                   | 300        |
| Arşiv                                     | 200        |

Farklı aydınlık düzeyleri ile tanımlanan mekanlar için pek çok çalışma yapılmıştır. IES standartlarına göre ofis yapıları için 300 lux ile 500 lux arasında değişen aydınlık düzeyi tanımlanmıştır (Çizelge 2.1).

### **2.2.3.2 Güneşli Aydınlanma Oranı Faktörü**

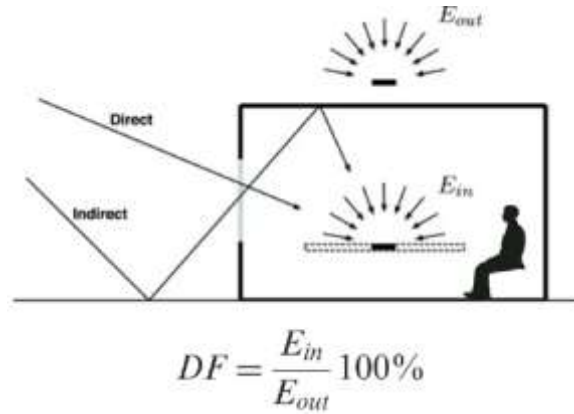
Bir mekan için yıllık yapay aydınlatma gerektirmeden güneşli ile yeterli düzeyde sağlanan aydınlık düzeyi oranını ifade eder. Tasarlanan mekân için ortalama güneşli faktörü bilgisi ile belirlenen oran, gerekli aydınlık düzeyinin değerine bağlı olarak bulunabilmektedir (Arpacıoğlu, Ü., 2010). Aydınlanma oranı seviyeleri işleve göre değişim göstermektedir. Tasarımcı bir mekân için, bu oranı kabul edilen değerlerden farklı olarak kabul alarak tasarımını yönlendirebilir.

Güneşli aydınlanma oranı, bu tez kapsamındaki ofis binası için model çalışmasında, fonksiyona göre değişiklik göstermekte fakat iklimsel bölgeye göre değişiklik göstermediği kabul alınmıştır.

### 2.2.3.3 Güneşli Faktörü

CIE (International Commission on Illumination) tarafından belirlenen bulutlu gökyüzü koşulları altında kabul gören güneşli faktörü (daylight factor), iç mekan aydınlatmasının dış mekan aydınlatmasına oranını ifade etmektedir. Güneşli faktörü literatürde “Güneşli çarpanı” olarak da geçmektedir. Percy Waldram'ın çalışmaları sonucunda ortaya çıkan “gökyüzü faktörü”nden yola çıkılarak gün ışığı metrikleri ve güneşli değerlendirme normları için birçok ölçüm tekniği oluşturulmuştur. Waldram'ın “right to light” adlı çalışmasında kullanılan yüzde değeri, değerlendirme amacıyla gökyüzü faktörü (DF) olarak adlandırılır ve tekdüze bir açık bir gökyüzünün yatay bir yüzey üzerindeki aydınlanmanın bir ölçüsüdür ve yüzde olarak sunulur. “Right to light” için kullanılacak ilk modellerden biri olan Güneşli Faktörü (DF), anlık gökyüzü koşullarından bağımsız bir güneşli performans değerlendirme aracı olarak tasarlanmıştır (Koçak, C. 2019).

Güneşli faktörü binanın konumuna veya yönüne göre değişmeyen sabit bir gökyüzü koşulunda değerlendirildiği içi statik bir güneşli ölçütü olarak kabul edilmektedir (Reinhart, Mardaljevic ve Rogers, 2006).

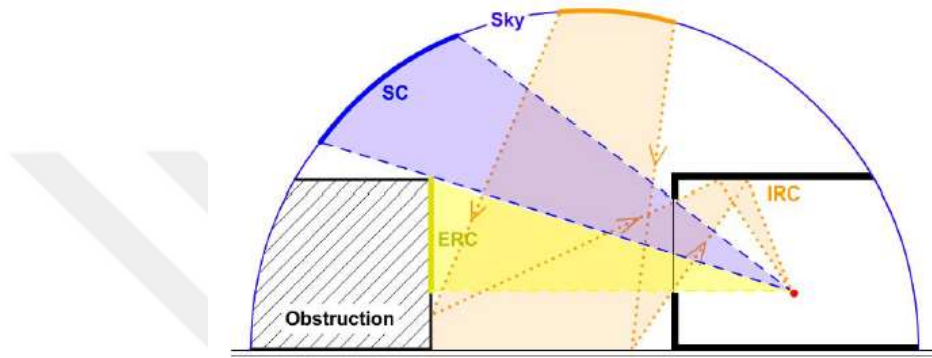


**Şekil 2. 18 :** Güneşli Faktörü Yöntemi ve Formülü (Koçak, M., 2019)

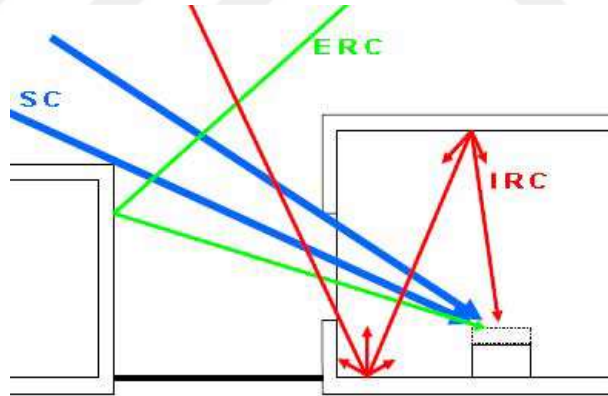
Güneşli faktörü formülünde semboller şu şekilde tanımlanır; Ein: engelsiz (dış) yatay aydınlık, Eout: genellikle yüzde olarak ifade edilir (Şekil 2.18).

Arpacioğlu Ü. (2010)'e göre, kapalı bir mekandaki belli bir noktada oluşan güneşli aydınlığının metriği olan güneşli faktörünün üç ana bileşeni mevcuttur (Şekil 2.19).

- Gök Bileşeni (SC; sky component): Gökten dolaysız olarak, gözleme noktasına gelen günışığıdır.
- Dış Yansımış Bileşen (ERC; externally reflected component): Dış yüzeyler ve engellerden yansdıktan sonra, gözleme noktasına dolaylı olarak gelen günışığıdır.
- İç Yansımış Bileşen (IRC; internally reflected component): Pencereyi geçtikten sonra iç yüzeylerden yansıyarak, gözleme noktasına gelen günışığıdır.



Şekil 2. 19 : Günışığı Faktörü (Daylight Faktor DF) Bileşenleri (Ekotect Wiki, 2009).



Şekil 2. 20 : Günışığı çarpanını oluşturan unsurların gösterimi (Okutan, H., 2008).

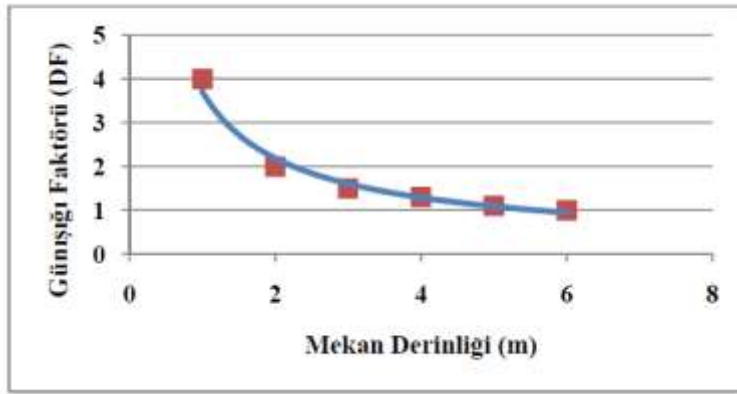
Bazı ülkelerde standartlarla sınırlandırılan günışığı faktörü, örneğin Danimarka'da ofis yapıları için sınır değeri %2'dir. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde %2'nin altında ve %5'in üstündeki günışığı faktörü oranları memnuniyetsizliğin arttığı göstermektedir. Oranın % 10'un üstüne çıkması ise görsel konforsuzluğu arttırmakta ve kamaşma problemleri yaratmaktadır (Araji M. T., 2008).

#### 2.2.3.4 Günüşığı Düzgünlük Faktörü

Mekân değişimi durumunda, mekânlar arasında aydınlık düzeyi farkı oluşacağı için bu geçiş daima kontrollü olarak yapılmalıdır. Böylece kamaşma da kontrol altına alınmış olacaktır.

CIE-Standard (2001)'a göre, günüşığı düzgünlük faktörü sağlanarak ortam düzlemi üzerinde aydınlık düzeyi değişimleri %30'dan fazla olmamalıdır.

Günüşığı Düzgünlük Faktörü, cepheden mekânın derinliğine doğru bir metre ara ile belirlenen tasarım noktalarının aydınlama değişimini gösteren Şekil 2.21'deki gibi grafik ile ifade edilmelidir (Arpacıoğlu, Ü., 2010).



Şekil 2. 21 : Günüşığı Düzgünlük Faktörü (GDF) Grafik Gösterimi (Arpacıoğlu, Ü., 2010).

#### 2.2.3.5 Günüşığı Kamaşma Faktörü

Parlama etkeninin çok yüksek değerlere ulaşması veya hacim içindeki parlaltı kontrastlarının çok büyük olması, gözün görme kabiliyetini azaltarak kamaşmaya yol açmaktadır. Görsel konfor sağlanması için parlaltı kontrastının hacimler için belirtilen kamaşma değerlerine göre ayarlanması gerekmektedir (Yener, 1996).

Dış aydınlık düzeyinin sabit bir değerde kalmaması ve göz yapısının günüşığına çok fazla tolerans göstermesi ile hacim içi yüzey yansıtıcılığını da hesabı katarak "Günüşığı Kamaşma İndisi (Daylight Glare Index (DGI))" oluşturulmuştur (Chauvel P., 1982).



Hesaplanan gn kamaşma indisi (DGI) değerinin kamamayı engellemesi için, izin verilebilir maksimum geliştirilmiş gn kamaşma indisi (DGI<sub>max</sub>) değerinden kk olması gerekmektedir (Arpacıoğlu, ., 2010).

Çizelge 2.2 ve izelge 2.3'te ise gn kamaşma seviyelerinin görsel konfor algıları grlmektedir. Gn Kamaması (DGI) konusunda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, gn kamaşma konfor sınır değerinin literatürde çoğunlukla 22 olarak alındığı grlmektedir. Gn kamaması ile ilgili çalışmalarda, işlev farklılığının ele alındığı çalışmalar sınırlıdır.

**Çizelge 2. 2 :** Gn ile aydınlatılan hacimlerde izin verilebilir maksimum.

| Gn Kamama Konfor Seviyeleri                         | DGI <sub>max</sub> |
|--|--------------------|
| - Genel hacimler   | 24                 |
| - Kısa süreli kullanılan hacimler                          | 26                 |
| - Seyrek olarak görsel i görülen hacimler                 | 22                 |
| - Kontrastın veya boyutların büyük olduğu görsel iler     | 20                 |
| - Kontrastın orta, boyutların kk olduğu görsel iler     | 18                 |
| - Kontrastın kk, boyutların çok kk olduğu görsel iler | 16                 |

**Çizelge 2. 3 :** IES, Gn ile aydınlatılan mekânlar için, kamaşma görsel.

| Kamama lt    | Gn Kamama İndeksi (DGI) |
|-------------------|--------------------------------|
| Fark Edilemez     | 16                             |
|                   | 18                             |
| Kabul Edilebilir  | 20                             |
|                   | 22                             |
| Konforlu Olmayan  | 24                             |
|                   | 26                             |
| Tolere Edilemeyen | 28                             |

### 3. PERFORMATİF MİMARİ SİSTEMLER

Enerji verimliliği ve bina sakinlerinin konforu gibi konuların son zamanlarda çoğunlukla araştırmalarda yer bulması ile birlikte sürdürülebilirlikle ilgili performans konuları, özellikle de enerji ve günışığı tasarıma dahil edilmeye başlanmıştır (Lagios ve diğerleri, 2010). Mies van der Rohe'nin New York'taki Seagram's Tower binası, bu döneme kadar ofis binalarının tasarımını etkileyen ikonik bir bina olmuştur. Tamamen cam ve alüminyum kabuktan oluşan bu tasarım enerji verimliliği ve konfor için birçok negatif yönü de barındırmaktadır. Büyük açıklıklar günışığı ile estetik ve görsel temas sağlarken, yüksek maliyeti yalıtım malzemeleri ve aşırı ısınma nedeniyle birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Mimarlıkta performans, genel olarak yapının fiziksel çevre ile ilişkisinin değerlendirilmesi, yapının fizibilitesi veya estetik ve kültürel bağlamla ilişkisinin değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Düşük karbon emisyonlu ve sürdürülebilir bir bina tasarımında nicel kategorilerin tasarım üzerindeki etkisiyle, performans sorunları, mimarların doğru bir şekilde tasarımları için yeni odak noktaları haline gelmektedir. Bu çalışmada, fiziksel çevre ile ilişkileri içeren performansın kullanımı son yıllarda sürdürülebilir mimari yaklaşımlarla incelenmiştir.

Ofis binalarında cephe tasarımının önemli rolleri mevcuttur. Tasarımcılar, ofis çalışanlarını dış çevre etkilerinden korumak, havanın bina içerisine girmesini sağlamak, çalışanları güvende tutmak ve dış mekan görüş açısını iyileştirmekten sorumludurlar. Böylelikle cephe modülleri daha dinamik ve uyumlu hale getirilerek çeşitli koşullara daha iyi yanıt verebilir ve bina sakinlerine daha fazla konfor sağlayabilmektedir. “Bir bina kabuğu, kendi gölgeleme özelliklerini değiştirerek, sıcaklık ve güneş ışığı hakkındaki bilgilere dayalı olarak ısıtma ve soğutma sistemini tetikleyerek bir binanın enerji tüketimini azaltmada aktif bir rol planlayabilir” (Jamin, 2011). Böylece, ofis çalışanlarının iş için kendi ortamlarını değiştirme ihtiyacı duymadan, daha fazla odaklanarak çalışmaya devam etmeleri hedeflenmiştir.

Çevresel faktörlere göre değişebilen, kullanıcıların yaşam konforunu artıran, sürdürülebilirliği sağlayan, işletme maliyetlerini azaltan ve mimari ile diğer

disiplinlerin bütünleşmesi sayesinde bina ömrünü uzatan performansa dayalı uyarlanabilir yapı kabukları (Karakoç, 2015).

Bu tez çalışmasında, hesaplamalı tasarım araçlarının adaptif sistem tasarımına etkileri ve tasarım sürecinde, parametrik tabanlı tasarım araçlarının performansa dayalı sistemler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı geometrilerin oluşturulmasında kullanılan yazılımlar, yöntemler ve performansa dayalı adaptif morfolojilerin kontrolünü sağlayan algoritmalara yönelik araştırmalar üzerinde durulmuştur.

### **3.1 Performatif Tasarım**

Aksamija'ya (2013) göre cephe tasarımında yüksek performans sağlamak için temel stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejiler; binanın geometrisini yönlendirme, aynı zamanda güneş yönelimine yanıt verecek şekilde bina formunu oluşturmak, soğutma yüklerini kontrol etmek, soğutma yüklerini azaltmak ve hava kalitesini artırmak için doğal havalandırma, duvar yalıtımını ve güneşiği kullanımını optimize ederek yapay aydınlatma ve mekanik soğutma ve ısıtma için kullanılan enerjiyi en aza indirme vb. (Aksamija, 2013).

Dijital tasarım süreci, geometrik bir modelin dönüştürülmesini ve üretilmesini desteklemekle birlikte, fiziksel çevre koşullarının simülasyon tabanlı performans ölçüm teknikleri ile değerlendirmesini de destekler. Performatif tasarım, simülasyon aşamaları için tanımlanmış dijital form üretimi (generation) ve form modifikasyonu (modification) entegrasyonunu ifade eder (Razzaghmanesh, 2015). Performans, geometrik formun yaratılması için belirleyici bir yöntemdir. Performans değerlendirmesi, parametrik modeli yönlendirir ve geometrik formu değiştirerek performans tabanlı üretken süreçlere yol açabilir (Oxman, 2008). Oxman (2008), dijital tasarımın tasarımcının biçimsel manipülatif becerilerinin ve tercihlerinin süreci dışarıdan kontrol ettiği bir tasarım paradigmasından, tasarımın iç değerlendirme ve simülasyon süreçleri tarafından bilgilendirildiği bir tasarım paradigmasına doğru ayrıldığını ifade etmektedir. Dijital tasarım, değerlendirme (evaluation) süreçlerinin dijital form oluşturma ve/veya değiştirme süreçleriyle bütünleşik olarak ele alınmaktadır. Oxman (2008), aynı zamanda “Performance-based Design: Current Practices and Research Issues” adlı makalesinde ‘Performative morphogenesis’ teoremini, “biçim yapma” tasarım paradigmasından “biçim bulma” paradigmasına geçişi ifade ettiğini belirtmiştir. Dijital tasarım özelinde ‘form finding’ teknikleri ile

tasarımın erken evrelerinde geometrik bir formun diğer faktörler ile de nasıl bir etkileşimi olacağı temel araştırma konularıdır.

Le Corbusier'in "mimarlığın standartlar tarafından yönetildiğini" belirttiği gibi, standardizasyon mimarlığın evrimi için önemli bir adım olmuştur. Daha sonra ise standart ve tekrarlanan seri üretim ile üretilmiş yapılar bina sakinlerinin ihtiyaçlarına cevap vermediği için dijital üretiminin mimari alana girmesine sebep olmuştur. Dijital tasarım ve fabrikasyonun gelişmesiyle birlikte, tasarımcılar, tasarım, analiz ve üretim süreçlerinin yeniden entegrasyonunu tekrar etmeyen yapı bileşenleri ile üretmeye yardımcı olabilecek teknolojik araçlara ihtiyaç duyacaklardır (Razzaghmanesh, 2015). Dijital fabrikasyon ile özelleştirilmiş tasarım birlikte ele alınmaya başlamıştır.

Dijital tasarım ve bilgisayarın mimarlıkta olan önem ve etkisi ile özelleştirilmiş tasarıma (mass customization) bu tez çalışmasında değinilmiştir. Ayrıca tasarım ve üretim ile performans tabanlı tasarım ve bu alanda parametrik tasarım metodu ile esnek-adaptif cephe tasarımı geliştirilmiştir. Ardından günışığı analizi ile tasarım kriterleri değerlendirilmiştir. Böylece günışığına karşı bina performansı incelenmiştir. Temel mimari faktörler ile yakın ilişkili olan günışığının niteliği ve niceliği gibi parametreler aydınlatma analizlerinde temel faktörleri oluşturmaktadır.

Özelleştirilmiş tasarım (mass customization), talebe göre şekillenen, gelişmiş teknoloji ve sistemler sayesinde yeterli çeşitlilik ve kişiselleştirmeye dayanan tasarım biçimidir (Razzaghmanesh, 2015). Özelleştirilmiş cephe tasarım örneklerinden, Paris'teki Bibliothèque Nationale de France'ın (Şekil 3.1) çok katmanlı çift kabuk tasarımı, lamine dikey ahşap panjurlar sayesinde talebe uygun manuel olarak açılıp kapanmayı sağlamaktadır. Tasarım olarak da bireyselliğe vurgu yapan cephe tasarımı bina içindeki doğal aydınlatma seviyesi ve iç mekanların ısı kazanımı ile iç mekan konfor, ışık ve ısı seviyelerinin korunmasını sağlamaktadır (Piroozfar ve Piller, 2013).



**Şekil 3. 1 :** Bibliothèque Nationale de France binası cephesi, Paris (Dominique Perrault, 1996).

Tasarımcılar, bilgisayar desteğiyle tasarım analizinin entegrasyonunu kolaylaştırabilir ve üretim süreci ile tekrar etmeyen yapı bileşenleri üretebilmektedir. Dijital fabrikasyon ile standart dışı, tekrarlamayan yapı bileşenleri ve formları üretmek günümüz teknolojisinde gerçekçi bir yaklaşım olmuştur. Artık her türlü geometriyi oluşturmak için hesaplama araçlarında kod yazmak mümkün hale gelmiştir.

Seri üretim çağında tasarımcı, standart ve tekrarlayan bileşenler nedeniyle sınırlı bir biçimsel ve işlevsel olanaklara sahiptir. Dijital tasarım ve fabrikasyonun ortaya çıkmasıyla birlikte mimarlar artık tasarım, analiz ve üretim süreçlerini kolaylaştırabilecek, tekrar etmeyen yapı bileşenleri ve montajları üretmeye destek olacak araçlara erişime sahiptir.

Kolareviç'e (2003) göre, “çağdaş mimaride, dijital üretkenlik ve üretim süreçleri kavramsal, biçimsel ve tektonik keşifler için yeni alanlar yaratarak, formun uyarlanabilir özelliklerine odaklanan bir mimari morfolojiyi ifade ediyor”. Performans tabanlı tasarım, binanın performans optimizasyonu sürecinde kritik bir öneme sahiptir.

Bir tasarım paradigması olarak bina performansına olan ilgi, sürdürülebilirliğin tanımlayıcı bir sosyo-ekonomik konu olarak ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Bina performansı finansal, mekansal, sosyal ve kültürel tanımlamalardan daha çok teknik (yapısal, termal, akustik, vb.) birçok alanda çok geniş bir şekilde tanımlanabilir.

Ağ bağlantılı tasarım kapsamında, dijital nicel ve nitel performansa dayalı simülasyonlar teknolojik bir temel olarak kullanılır.

Razzaghmanesh (2015), performans tabanlı tasarımın, pratik bir dizi soruna bir dizi pratik çözüm tasarılmasının basit bir yolu olarak görülmemesi gerektiğini belirtmiştir. Bir uçta kültürel performans gibi soyutluklara, diğer uçta yapı, akustik gibi yapı tasarımının ölçülebilir ve nitelenebilir performatif yönlerine dayanan performatif tasarım stratejilerine dayanan form oluşturma süreçleri bu çalışma kapsamında irdelenmiştir. Bir projedeki farklı performatif yönleri belirlemek, çelişen performans hedeflerini yaratıcı ve etkili bir şekilde uzlaştırmak performansa dayalı tasarımdaki temel zorluklardandır.

Performans analizi yapmak ve tasarımı etkin ve verimli bir şekilde optimize etmek günümüz teknolojisinde artık daha pratik hale gelmiştir. Performans simülasyon araçlarının ortaya çıkması ve geliştirilmesi, hızlı performans analizini mümkün kılarak, mimarlar ve mühendisler içim tasarımlarında proaktif olarak kullanmalarına olanak sağlamıştır. Performans tabanlı tasarım, binaların çeşitli ölçülebilir performans optimizasyonuna vurgu yapar, bu nedenle mimarlar, performans odaklı tasarımın yönlendirilmesinde ve yürütülmesinde hayati bir rol oynar.

Mimaride yeni bir yöntem olarak parametrik tasarım, performatif modellerin tasarlanmasına yardımcı olmaktadır. Parametrik olarak tanımlanmış bir modelde, tasarım bileşenleri tanımlanabilir ve değişkenler, tasarım ilkeleri üzerindeki kontrolü kaybetmeden revize edilebilir ve parametrik tasarım, yapılı çevreye performatif potansiyel sağlayabilir (Hensel, 2004).

Parametrik ilişki, tasarım girdilerinin birbiriyle ilişkisini tanımlama ve sınıflandırmaya dayalı bir tasarılma stratejisidir. Bu strateji sayesinde farklı mekanlar için farklı bina kabukları veya form kurguları tasarlanabilmektedir (Karakoç, 2015).

### **3.1.1.1 Tasarım Prensipleri**

1960'lardan itibaren tasarım, bilimsel, rasyonel ve sistematik süreçler olarak araştırmalara konu edilmeye başlanmış ve dergiler, uluslararası yayınlar ile üzerinde çalışılmaya devam edilmiştir. Tasarım olgusunun her yönüyle analiz edildiği bu araştırmalar Morris Asimow'un (1962) tabiri ile "tasarım bilimi" olarak literature geçmiştir (Arpak, 2014).

Dijital avangardın zamana bağı modelleme teknikleriyle şekil bulan tasarım çalışmaları, dijital form neslinin (dijital morfogenez) olasılıkları ve zorlukları önemli öngörüler kazandırmaktadır. Sosyo-ekonomik ve kültürel kent ölçeğinde mimarlığın fiziksel bağlamını şekillendiren çevresel bir dinamik güç örneği, şekil 1'deki Bernhard Franken ve ABB Architect'in tasarımı olan BMW pavilion tasarımında görülebilir (Şekil 3.2). Greg Lynn'e göre, "tasarım bağlamı, biçimin form bulmuş halini bilgi olarak depolayabilen ve yön veren aktif soyut bir alan anlamını taşır". Dinamik ve zamana dayalı bu değişim, yalnızca biçimsel görünümle sınırlı olmamalıdır. Mimariyi etkileyen bu dinamik güçleri görselleştirme araçlarına sahip olduğumuz günümüz teknolojisinde artık zaman boyutunu ve etkilerini nitelemeye başlayabilir ve belirli teknik yönelimler durumunda onları da nicelleştirmeye başlayabiliriz (Kolarevic, 2005).



**Şekil 3. 2 :** Bernhard Franken ve ABB Architekten tarafından tasarlanan IAA'01 Otomobil Fuarı'ndaki The Dynaform BMW Pavilion, Frankfurt, Almanya (2010) (Kolarevic, 2015).

Bayazit'e (2004), son 40 yılda değişen mimari tasarım süreci için iki farklı yaklaşım tanımlamaktadır. İlki, "form follows function" prensibi ile özetlenebilecek ve arzu edilen işlevi destekleyecek bir biçim bulmaya çalışan çalışma grubudur. İkinci yaklaşımdaki tasarımcı grubu ise, istenilen işlevsel kriterleri elde etmek için adapte edilmiş bazı formlarla araştırmaya başlayan bir gruptur. Bu yaklaşımlar artık mimari tasarım sürecini formüle etmeye yeterli olmamakla birlikte, birçok belirsizlik barındırır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkan tasarım kararlarının, kullanıcı katılımı ve amaçlarının belirlenmesi ile karakterize edilen tartışmacı yöntem Rittel ve Kuntz (1970) "problemi sentezleme" aşamasının "bilgi" veya "çözüm"den ayrılmamasını çünkü problemin her formülasyonunun aynı zamanda potansiyel bir çözüm sunduğunu ifade etmiştir. Karl Popper'ın bilimsel yönteminden ortaya atılan conjecture/analysis modeli, tasarım sürecinde, çözümlerin nereden geldiğini ortaya çıkarmamaktadır fakat mantıksal olarak bir sentezi optimize etmek yerine varsayımları test ederek ortaya çıkarmaktadır. Trebilcock (2009) süreci şu şekilde özetlemektedir:

*“Analiz/Sentez paradigması, tasarım problemlerini parçalara ayırarak olası çözümleri sentezlemek ve değerlendirmekle başlar ve tasarım daha rasyonel ve sistematik hale getirilmiştir. Diğer yandan Conjecture/Analysis paradigması, tasarım kısıtlamalarına karşı hızla testlerle ve hata payının büyük olmasına karşın önemli bir yere sahip olduğunu öne sürer. A/S modeli kuralcı iken, C/A modeli ise çoğunlukla tanımlayıcıdır ve tasarım teorisi alanına yerleştirilebilir.”*

Ercan, B. (2013)'ın belirttiğine göre, ucu açık bir süreç ile yaklaşılan tasarımda keşif ve deneme, çözüm için kullanılan araçlardır ve her çözüm, diğer tasarım alternatiflerinin çözümü için bir adımdır. Schön (1983) tasarım kararlarını önceki tasarımlarla karşılaştırdığımızı ve bunu yaparken bu aşamanın düşündürücü bilişsel bir süreç olduğunu ifade etmektedir.

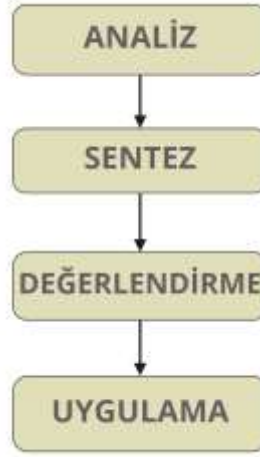
Dorst ve Cross (2001) yaratım sürecini, hem fikir geliştirme hem de problemin formüle edilmesinin bir kombinasyonu olarak tanımlamaktadır. Tasarımın özgünlüğü, bir fenotip ve genotipin optimum uygunluk fonksiyonunu ifade ettiği gibi, rastlantısal değişimlerin de öncelikli olduğu bir sürecin sonucudur (Dorst & Cross, 2001).

Asimow (1962) tasarımı, yatay ve dikey boyuta sahip ve zaman içinde evrilen bir süreç olarak ortaya atmıştır (Rowe, 1998) (Şekil 3.3):

- Yatay Boyut: bilgi edinme, analiz, sentez, değerlendirme, uygulama aşamalarının süregeldiği döngüsel bir süreç,
- Dikey Boyut: tasarım süreci aşamalarının soyuttan somuta ve tasarım probleminden sonuç ürüne ilerleyen hiyerarşik bir düzen (Rowe, 1998),

olarak tanımlamaktadır.





**Şekil 3. 3 :** Asimow tarafından sistematikleştirilem tasarım süreci aşaması (Rowe, 1998).

Lawson (2005), tasarım sürecine ait devam eden birçok çalışmanın temelinde analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç aşamanın yattığını ifade etmektedir. Uygulamada sıralı bir takibin mümkün olmadığını ifade etse de, tasarım sürecinin başından sonuna kadar bu aşamaların birbirlerini izlemesi gerektiğini belirtmektedir. Pratikte tasarım evrelerinin dinamik ve esnek olduğunu da belirtmiştir (Şekil 3.3).

Tasarım süreci, araştırma, keşfetme, ilişkilendirme, düşünme ve seçim yapma gibi eylemler barındırmakta, veri toplama, analiz, sentez, değerlendirme/geliştirme, iletişim/uygulama aşamalarıyla ise gelişmeye devam etmektedir (Avinç, M., 2016).

Kavramsal tasarım aşaması, yenilikçi tasarım alternatifleri üretmenin temel adımıdır. Tasarımı uyarlamak ve geliştirmek, başlangıçtaki umut verici kavramlarla mümkündür. Tasarımcı bir problem ve çözümü ortaya attığı anda yaratıcı bir kurgu oluşmaya başlar ve tanımlanan çözüm uzayı (solution space) "bridging" terimi ile yeni bir bölümüne geçiş için sonraki süreçlere hazırlanır (Cross, 1997). Çözüm ve problem aynı anda geliştirilir.

Tasarım araştırmasında tasarımcı, problem uzayını yapılandırmak için kullandığı çözüm uzayında kısmi bir yapı kurar. Bu nedenle ilk yaklaşım 'problem odaklı' ve ikincisi, 'çözüm odaklı' tasarım stratejileri olarak tanımlanır. Bu iki stratejinin yanı sıra, probleme dayalı stratejilerin bir çeşidi olarak 'bilgiye dayalı' ve çözüme dayalı stratejilerin bir çeşidi olarak 'bilgiye dayalı' geliştirilmiştir (Kruger ve Cross, 2006).

Bilgiye dayalı tasarımda probleme dayalı tasarımda olduğu gibi, veri toplamak için daha fazla vurgu ve zaman harcanarak problem mümkün olduğunca katı bir şekilde tanımlanmaya çalışılır. Çözüm odaklı strateji ise bilgi toplama aşamasını oldukça hızlı bir şekilde aşar ve bilgi hafızadan toplanır. Bu yaklaşımda üretim ve değerlendirme aşamaları daha fazla zaman almaktadır. Bilgiye dayalı tasarım, uzun bir analiz aşaması ve daha kısa bir sentez aşaması ile çoğunlukla önceki bilgilere dayalı olarak ortaya atılır (Kruger ve Cross, 2006).

Problem odaklı tasarım, yüksek yaratıcılıkla iyi sonuçlar veren birçok çözümlerle sonuçlanabilir. Çözüm odaklı tasarım ise genellikle yüksek yaratıcılık ile başlarken düşük kalite ile sonuçlanır. Bilgi odaklı tasarım ise, daha az çözüm ile daha düşük yaratıcılık ile sonuçlar ve bilgi odaklı tasarım üretir. Hem problem hem de çözüm odaklı stratejiler, şimdiye kadar tartışılan teoriler ve metodolojiler ile dijital tasarım teorilerinin etkileşimi ile daha verimli bir şekilde bütünleşmiştir.

### **3.1.1.2 Dijital Tasarım Prensipleri**

1960'lı yıllardan itibaren bina performansı ile ilgili araştırma alanları gelişmiş ve 1970'lerden itibaren bilgisayar bilimcileri 'tasarım bilimi ve yöntemleri' ile daha fazla ilgilenmeye başlayarak performans değerlendirmesinin çok kriterli bir uygulama olarak bir parçası haline gelmiştir. Kalay (1999: 396) performans tabanlı tasarım yaklaşımını şu şekilde önerir:

*(...) Önerilen tasarım çözümü, yalnızca önerilen çözümün biçimini, işlevsel hedeflerini, ve ikisinin bir araya geldiği koşulları dikkate alan yorumlayıcı, yargılayıcı bir değerlendirme ile belirlenebilir.*

Farklı biçimlerin benzer işlevleri yerine getirebileceğini ve farklı işlevlerin benzer biçimlerle korunabileceğinin de altını çizen Kalay (1999), ancak bağlam değişikliklerine göre performansların değişeceğini kabul etmek gerektiğini vurgular. Dijital performans analizi için ilk araçlar 1973'te geliştirilmiştir ve bu anlamdaki ilk yaklaşım, karmaşık geometrik formların hem çizimi hem de hesaplanması açısından tekrarlayan ve zaman alıcı uygulamaları hızlandırmak için bilgi işlem gücünü dahil daha da güçlendirmektir.

Dijital tasarımın kritik önemi ise, yeni tasarım ve karmaşık formlar yerine, geleneksel tasarım formlarında tekrarlama mantığına anlamlı alternatifler önerme yeteneğidir.

Oxman, dijital tasarımın iki etki durumundan bahseder: birincisi, dijital tasarımı metodolojik olarak benzersiz bir tasarım biçimi olarak kurgularken, ikincisi bu benzersiz içeriği tanımlamaya çalışır. Oxman (2006), 'Architectural Design Folding in Architecture' dergisinin özel sayısında, teorik çerçeveyi destekleyen dijital tasarım üzerine olan kısımda, hala iyi formüle edilmediğini ve kavramsal temellerin ideolojik konumlara bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Dijital tasarım sistemlerinin karakteristiği haline gelen şey, süreçte tasarımcıya sağlanan kontrol derecesidir. Tasarımcı bir araç üreticisi haline gelir, üretici, performatif süreçleri ve mekanizmaları kontrol eder ve yönetir ve bilgi tasarımcı için yeni malzeme olur. Bu bilginin temsilleri ve formülasyonu, etkileşimi ve uygulanması, tasarımcının tasarım hedefleri için üretilen verileri manipüle etme becerisine ve becerilerine bağlıdır. Oxman tarafından özet olarak categorize edilen dijital tasarım modeli, temsil, üretme, değerlendirme ve performans olmak üzere dört temel madde içermektedir. Bu maddeler arasındaki ilişki etkileşimler ve bağlantılar olarak iki gruba ayrılır. Etkileşimler dışsal ve içsel olarak ikiye ayrılır. Dışsal olanlar şekiller ve formlarla geleneksel etkileşimlerken, içsel olanlar "belirli dijital ortamlar, hesaplama süreçleri veya mekanizmalar aracılığıyla dijital formla" etkileşimlerdir (Oxman, 2006).

Oxman aşağıdaki dijital tasarım modellerini araştırmaları sonucunda sunmuştur:

- I. Cad Modelleri
- II. Dijital Formasyon Modelleri
- III. Üretken Tasarım Modelleri
- IV. Performans Modelleri
- V. Bütünleşik CAD Modelleri

Tasarımcı, dijital süreçte etkileşim ve kontrole sahip olmakla birlikte Oxman'ın tanımladığı birden çok aşamadan oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında konusu geçecek olan sınıflama, çağrışımsal geometriden yararlanan parametrik tasarım tekniklerine dayalı süreçlerdir. Nesnelere arasındaki ilişkiler açıkça tanımlanmıştır ve çoklu varyasyonlar oluşturmak için manipüle edilmeye uygundur. Parametrik oluşumlar, kullanıcının ortamla etkileşimin türünün

ve seviyesinin kontrol edebildiği, adapte edilebilirliği, sürekliliği ve bağlanabilirliğinin dışavurumudur.

Performans tabanlı modeller, tasarım performans hedeflerinin ve simülasyonunun bir sonucu olarak formlar üretmektedir. Performans, varyantları tasarım problemiyle ilgili olarak parametrik olarak tanımlanan üretken süreç haline gelir. Tasarım performansı sosyal, kültürel, ekolojik veya ekonomik olarak birçok parameter barındırabilir (Kolarevic & Malkawi, 2005). Performans tabanlı modelin oluşumunda karmaşık bir simülasyon modeli oluşturmak için çoklu tasarım kriterleri kullanılır. Performans tabanlı tasarım modeli, "performans tarafından yönlendirilen ve oluşum süreçleriyle entegrasyonu sağlayan üretken süreçler" olarak tanımlanmaktadır. Bu modelde performans simülasyonları, formu oluşturmak için üretim süreçlerini yönlendirir. Tasarımcı doğrudan performans kriterleri ve dijital araçlar ile etkileşime girer.

### **3.2 Hesaplamalı Tasarım**

Çolakoğlu (2011), Türkiye’de ‘computational’ terminolojisinin henüz olması gereken tanımlamada kullanılmadığını ve genellikle kaynaklarda “hesaplamalı” ya da “işlemsel” olarak belirtildiğini ifade etmiştir. Bilgisayar teknolojileri kullanılarak tasarımın başından sonuna kadar kompleks problem çözümlerine analitik olarak yaklaşımı mümkün kılmaktadır (Avinç, G. 2016). Bilgisayar destekli analiz yazılımının geliştirilmesiyle, fizik ilkelerine dayalı karmaşık matematiksel formüller yazılma adapte edilir ve bina modellerine kolayca uygulanabilir. Hesaplamalı tasarımın mimarideki önemi ve evrimini doğru bir şekilde tanımlamak ve formüle etmek için analiz edilme ihtiyacı ile özellikle son on yılda mimari alan için önemli ve gerekli hale gelmiştir (Caetano ve diğ., 2020).

Hesaplamalı tasarım optimum tasarım çözümünün tanımlanmasına yardımcı olabilecek optimizasyon iş akışlarının oluşturulması için altyapı oluşturmaktadır. Böylece, ‘form yapımı’ndan ‘form bulmaya’ geçişi beraberinde getirir. Hesaplamalı tasarım araçları, kolayca değiştirilebilen ve verimlilik açısından test edilebilen geniş bir çözüm yelpazesi sunarken tasarım sürecini kolaylaştıran çoklu modellerin oluşturulmasını destekler.

Sean Ahlquist ve Achim Menges (2011), hesaplamalı tasarım için, “öğeler arasındaki bilgi ve etkileşimlerin işlenmesi; biçim ve yapı oluşturma kapasitesi ile bilgi veri

kümelerinin karşılıklı etkileşimini sağlayan bir algoritma” tanımını vurgulamıştır. Tasarımcılar, hesaplamalı tasarım yoluyla beklenmedik sonuçlar elde edebilir ve tasarım problemini çözmek için kod yazdığında, algoritmalar ile tasarım değişikliklerine daha fazla seçenek bulabilir. Algoritmalar en basit tanımıyla bilgisayar diliyle anlaşılabilen yazılı kodlardır. Hesaplamalı tasarımın doğuşu ve gelişimi, form oluşturmada biçimsel özgürlük, esneklik ve tüm sistemlerin performans kontrolü ve farklı analizlerden elde edilen verilerin karşılaştırılarak optimize edilmesi için yeni potansiyeller getirmiştir.

### **Hesaplamalı Biçim, Form ve Sayısal Tasarım**

Mimari biçim olarak, mimari alanı yapılandıran iç ve dış mekanın birbirine bağlı olmasının mimari bağlam üzerinde büyük bir etkisi vardır. Tasarımın sonucunda hedeflenen asıl konu, tasarımın biçimidir. Tasarım sonucunda üretilen biçimin, tasarım sorunlarına cevap vermesi ve estetik bir değer taşıması beklenir.

Hesaplamalı ve performans tabanlı tasarımın gelişimi, biçim bulma, esneklik ve tüm sistemlerin malzeme ve performans kontrolü ve analizlerden elde edilen verilerin optimize edilerek yeni potansiyellerin araştırılmasına öncülük etmiştir. Hesaplamalı tasarım yaklaşımı, performans hedefini dikkate alarak konsept aşamasından imalata kadar tüm süreci tanımlamaktadır. Bir kurallar bütünü ile ele alınan geometrik dizilim, evrimsel algoritmaların kullanımı ile optimize edilmiş bir cephe bileşeni oluşturmak için gerekli hale gelir.

Bu tez çalışması, parametrik iş akışı ve çeşitli çevresel parametreleri optimize eden genetik algoritmalar aracılığıyla şekil optimizasyonunu ele alan model önerisi sunmaktadır. Adaptif cephe tasarım elemanlarının farklı geometrik parametrelerinin günışığı seviyesi, kamaşma düzeyi ve enerji performansının iyileştirilmesi açısından iç mekan görsel konforu üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Düzensiz geometri, çok boyutluluk, birden fazla değişken, bilgisayarın tasarım ortamına girmesiyle çözülebilir hale gelmiştir (Sülü, M. 2018).

Deformasyon metoduyla form ile doğa arasındaki sürekliliği bulan Thompson, ortaya çıkardığı eğriler ile kuvvetlerin form üzerinde etkili olduğunu analiz çalışmalarını sunmuştur. D’Arcy . Greg Lynn (1999), Thompson’un deformasyon metoduna bağlı olarak tanımladığı etkileri şekilde açıklığa kavuşturmuştur: “(...) deformasyon,

bükülme ve eğilme terimleri form üzerinde kuvvetin etkisini kayıt altına almaktadır. Deformasyonu formun düzenleme işlemi veya birden çok alanla etkileşim halinde olan kuvvetlerin bütünleşmesi ve dağılmasıyla devam eden düzen olarak anlamak gerekir.”

Son zamanlardaki sayısal tasarım olanaklarıyla çeşitlenen mimari; form, strüktür, malzeme, işlev, bağlam gibi farklı değişkenlerin birlikte ele alındığı kompleks bir sistem olarak tanımlanmaktadır.

Form, analizler ve tasarım kısıtlarından önce ortaya çıkar. Form oluşturma ise analiz çalışmaları sonucunda ortaya çıkar. Ortaya çıkan formun son noktası ise uygulamalı mühendisliktir. Form yalnızca işlevler tarafından belirlenmiştir (Oxman, 2010).

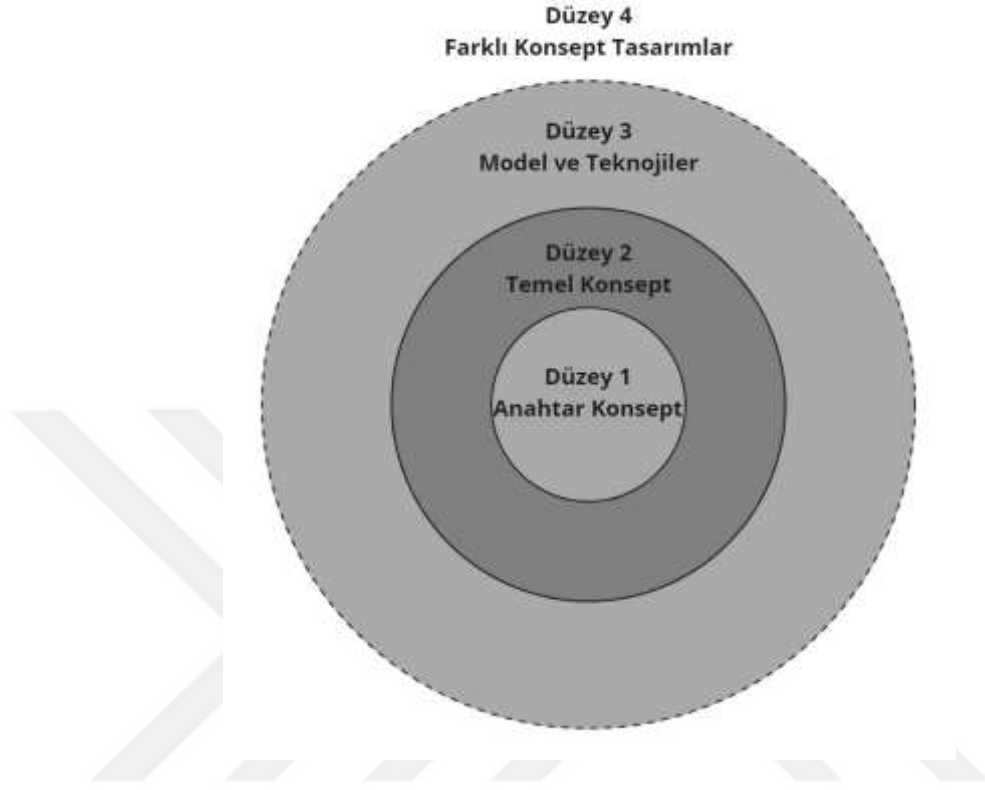
Kolarevic’e göre, bilgisayarda biçim tasarımı, sürecin işleyişi ve elde edilen sonuçların niteliğine göre; birçok mimarlık sınıfında değerlendirilmektedir. Bu tez çalışmasında performatif ve parametrik mimarlık üzerinde durularak model önerisi üzerine analizler yapılmıştır.

### **3.2.1 Hesaplamalı Tasarım Modelleri**

Mevcut yöntemlerden farklı olarak ele alınan hesaplamalı tasarım yöntemi, literatür içerisinde, Oxman’a (2006; 2012) göre ait sınıflamalar ile ele alınmaktadır. Oxman (2012) ise, “Novel Concepts in Digital Design” (Dijital Tasarım İçerisindeki Yeni Kavramlar) adlı makalesinde “Computational Models” (Hesaplamalı Modeller) bölümünde yer alan formasyon-üretken-performans modelleri içerisinde, topolojik tasarım, parametrik tasarım, animasyona dayalı tasarım, biçim gramerleri ile tasarım, evrimsel tasarım, performansa dayalı tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım yöntemlerini açıklamaktadır. Bu tez kapsamında Oxman’ın (2006; 2012) sınıflamasına yer verilmiştir; çünkü bu yöntemler literatürde yaygın olarak kullanılmakta, aynı zamanda uygulanmış ya da deneysel ölçekte bir çok örneği bulunabilmektedir.

Oxman (2012), “Novel Concepts in Digital Design” adlı makalesinde “DDNET: digital design network” adlı kavramsal bir harita ile anlambilimsel sistemi anahtar kavram, alt kavramlar, hesaplamalı model ve teknikler üzerinden tanımlamıştır (Şekil 3.4). Bu harita metodu, tasarımcıların hem pratik hem de teorik kaynaklardan elde ettikleri bilgileri, model, konsept ve metodolojiler ile formüle etmelerini kolaylaştırmak amacıyla ortaya atılmıştır. Oxman (2012), şekil 3.4’teki kavramsal kümeleme düzeylerinin, temel kavramlar, modeller, yöntemler ve teknoloji ile anlamsal ilişkileri

netleştirmeye,tasarım pratiğini karakterize eden ideolojik yaklaşımların temelini oluşturacağını savunmaktadır.



Şekil 3. 4 : DDNET'teki kavramsal anlamlar (Oxman, 2012).

Oxman (2006) ilk olarak tasarımcının etkileşim halinde bulunduğu serbest form sunumuyla dijital yapı ve dijital ortam gibi bazı kavram konseptlerine değinmiştir. Bu çalışmada, tasarım mekanizmalarının işlemsel yönü ile gerçekleştirilen ve dijital temsili üreten hesaplamalı mekanizma (computational mechanism) ile etkileşim içerisinde bulunduğu kavrama değinilmiştir. Model içerisinde yer alan semboller ise şu şekildedir (Oxman, 2006):

S = sunum ve biçimsel içerik

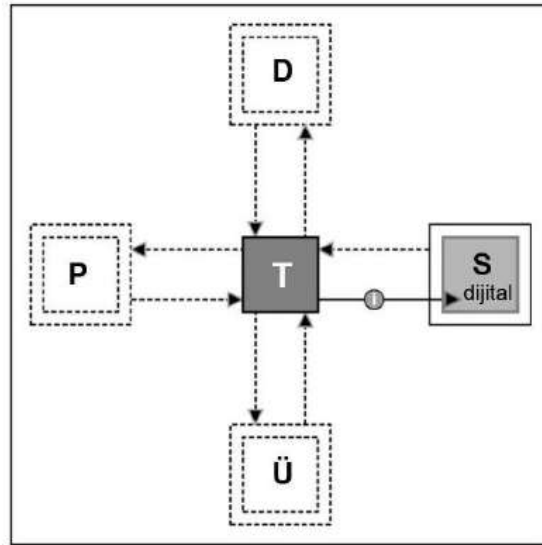
Ü = üretim

D = değerlendirme

P = performans aşağıda yer alan kavramlara değinmiştir:

Dijital tasarım modelleri, tasarımcının modelleme süreçlerine bağlamsal yaklaşımı, tasarım sürecinin ve tasarım objesinin uygulanması, dijital tasarım modellerinin genel olasılıkların haritalanması ve kapsamlı bir yapılanma için iyi bir ortam sunmaktadır. Dijital tasarım modelleri beş başlıkta sınıflandırılmıştır (Oxman, 2006).

1. CAD Modelleri (CAD Models)
2. Formasyon (Biçimlendirme) Modelleri (Formation Models)
3. Üretken Modeller (Generative Models)
4. Performans Modelleri (Performance Models)
5. Birleşik Model (Integrated compound Models) (Oxman, 2006).



Şekil 3. 5 : Geleneksel CAD modeli (Oxman, 2006).

Şekil 3.5, CAD temsili ve değerlendirme süreçlerinin açıklandığı, diğer süreçlerin örtük kaldığı durumu ifade etmektedir. Geleneksel CAD'in en yaygın kullanımı, dijital objelerin grafiksel sunumunun hazırlanması ve istenen değişikliklerin yapılması şeklindedir (Oxman, 2006).

Geometrik diziler bir kurallar bütünü ile ele alındığında, optimize edilmiş bir cephe tasarımı oluşturmak için çok amaçlı algoritmaların kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Sayısal, hesaplamalı ve algoritmik dahil olmak üzere birçok terim

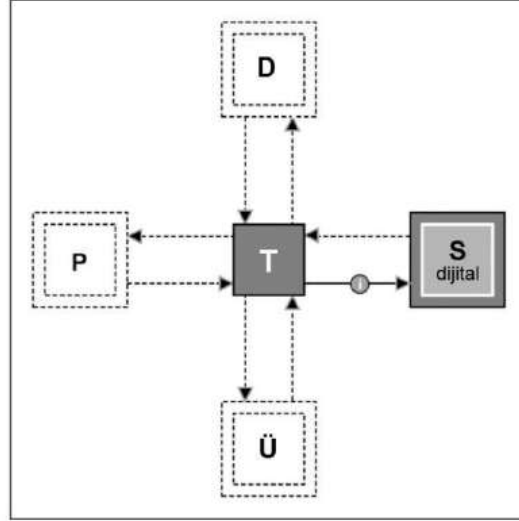


bilgisayarları tanımlamak için kullanılmış olmasına rağmen, dijital tasarım sürecinde bilgisayar araçlarının kullanımınıdır. Bilgisayar destekli tasarım kavramları çeşitlendikçe tanım ve içerikleri örtüştüğü için özellikle hesaplamalı tasarım ve algoritmik tasarım ayrımı net olarak yapılmalıdır. Hesaplamalı tasarım, hesaplama gerektiren tasarımları geliştirmek için dijital araçlara gerek duymadan analog hesaplama dayanan hesap yöntemidir. Son zamanlarda ortaya çıkan tasarım yaklaşımları, bina simülasyonu ve evrimsel optimizasyon gibi farklı hesaplama tabanlı teknikleri entegre etmekte ve dolayısıyla yeni tasarım yaklaşımları ortaya çıkarmaktadır.

### **3.2.1.1 Formasyon Modeli**

Geleneksel mimarlık dışına çıkarak form kavramından formasyon (formation) kavramına dönüşen tasarım teorileri, bu modelin temelini oluşturmaktadır. Biçimlenme (formation), geometrik form ve şekillerin dijital ortamda dijital tasarım performansını arttıran etkileşim ve kontrol seviyesidir. Formasyon modeli olarak tanımlanan model şekillerin ve formların biçimlenmesi (formation) için kullanılan dijital teknikler bu tasarım modelinin temelini oluşturmaktadır (Avinç, G., 2016). Tasarımcı ise dijital tekniklerle yüksek seviyede etkileşim ve kontrol içerisindedir. Geleneksel tasarımdan farklı olarak biçim kavramı yerine biçimlenme kavramı modelin odak noktasıdır ve tasarımcı, tasarım sürecini tasarlayarak biçimlenmeyi sağlayarak daha çok ortam ile etkileşime girmektedir (Avinç, G., 2016).

Formasyon modeli (Şekil 3.6), geometrilerin biçimlenme amaçlı dijital tasarım ortamında kullanıldığı topolojik tasarım, parametrik ve üretken bileşen (generative components) prensiplerine dayanan ilişkisel tasarım (associative design) ve animasyon, hareket ve zaman tabanlı modelleme tekniklerine dayanan, dinamik süreçlerin oluşmasını sağlayan dinamik tasarımdır (Oxman, 2006; Oxman, 2012). Oxman (2008) aynı zamanda “Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium” adlı makalesinde de, animasyon ve parametrik tasarımın bu model ile ilişkili olduğunu söylemiştir.



Şekil 3. 6 : Formasyon Modeli (Oxman, 2006).

#### 3.2.1.1.1 Parametrik Tasarım Yöntemi

Parametrik mimari, “çeşitli parametrelere bağlı boyutlar arasındaki ilişkileri tanımlama”yı amaçlayan mimari sistemler olarak tanımlanmıştır. Tasarım sürecindeki belirsizlikler beraberinde tekrarı, denemeleri ve yenilemeyi getirir. Tasarımcının, tasarıma anında müdahale etmesi zor olduğu gibi parametrik tasarım araçlarıyla tasarım bileşenlerini aynı anda koordine etmek mümkündür. Optimum tasarıma ulaşıncaya kadar tasarım süreci yinelenir. Oxford Sözlüğü, parametreyi "bir sistemi tanımlayan veya işleyişinin koşullarını belirleyen bir kümeden birini oluşturan sayısal veya diğer ölçülebilir bir faktör" veya "belirli bir süreç veya faaliyetin kapsamını tanımlayan bir sınır" olarak tanımlamaktadır. Literatürde ise parametrik tasarımı, kısıtlamak için parametreler ve kurallar kullanan algoritmik düşünme temeline dayalı bir tasarım süreciyle sentezleyebiliriz (Jabbi, W., 2013).

Modern mimarinin çağdaş mimariye evrimi, bina konseptini ve tasarımını önemli ölçüde etkilemiştir. Çağdaş mimarideki ofis binaları, yüksek güneş kazanımlarını, ısı kayıplarını ve görsel konforu kontrol etmek ve Ulusal enerji düzenlemelerini ve LEED gerekliliklerini yerine getirmek için aşırı ısınmayı önlemek, güneşini ve dış mekan algısını optimize etmek için şeffaf ve opak veya gölgeli yüzeyler arasında uygun bir denge gerektirir. Uluslararası düzenlemeler ve LEED gibi çevresel derecelendirme

sistemleri, termal geçirgenlik (U değeri 1.0 ile 1.4 W/m<sup>2</sup>K arasında), güneş ısısı kazanç katsayısı (SHGC 0.35'ten düşük) açısından katı sınırlamalar gerektirir.

Bir sembolik tasarım olan parametrelerin kullanımını tanımlayan yaklaşım, farklı tasarım öğeleri arasında ilişkisel geometri kavramlarının vurgulanmasıdır.

Parametreler ile ortaya çıkan tasarım arasında doğrudan bir ilişki vardır, ancak parametreler kompleks tasarımlar üretmek için karmaşık bir şekilde kullanılabilirdiğinden bu tarz bir tanımlama uygun olmayabilir. Şekil 3.7 ve şekil 3.8'de parametrik tasarım örneklerinden biri olan NBBJ Architects'in Hangzhou Olimpik Spor Merkezi ve UNStudio'nun Katar Entegre Demiryolu Projesi yer almaktadır.



**Şekil 3. 7** : UNStudio'nun Katar Entegre Demiryolu Projesi.



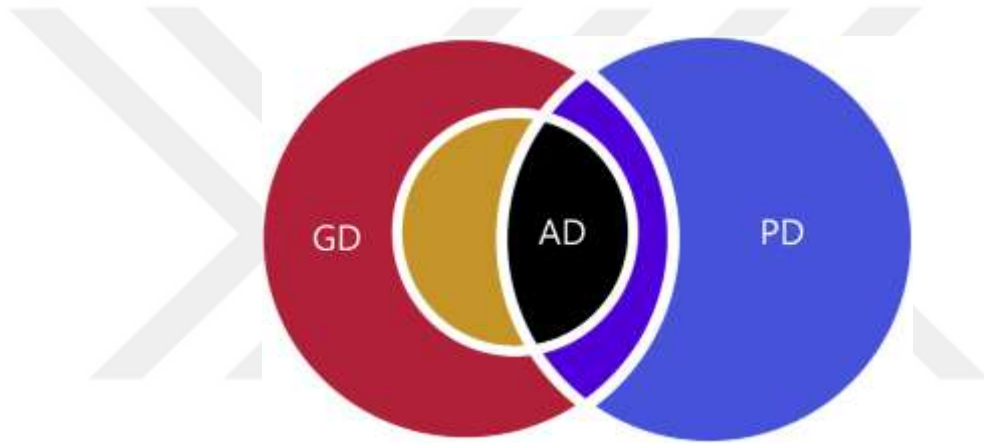
**Şekil 3. 8 :** NBBJ Architects'in Hangzhou Olimpik Spor Merkezi.

Bu temsili projelerde tasarım stüdyoları, tasarım parametrelerini değiştirerek binaların varyasyonlarını oluşturmalarına izin veren parametrik programlar geliştirmişlerdir (Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A., 2020) (Şekil 3.9).

Ortaya çıkan kombinasyonlar, yeni terimlerin ortaya çıktığı yeni tasarım yöntemleri ve paradigmlar üretmiştir ve parametrik tasarımın (PD) en popüler terim olduğunu ve bunu üretici tasarımın (GD) izlediğini göstermektedir. Literatür, PD, GD ve AD'nin eşdeğer kullanım durumlarını göstermektedir. Bu terimler sıklıkla paralel olarak kullanılır ve çoğu zaman birbiriyle karıştırılır.

Performans tabanlı tasarım, en sık kullanılan terimdir. Algoritma ile oluşturulan tasarım arasında tanımlı bir korelasyon var ise, ‘Algoritmik Tasarım’ olarak da adlandırılabilir. Tasarım bir takım parametrelere bağlıysa, ‘Parametrik Tasarım’ olarak tanımlanır. Şekil 9, AD'nin GD'nin bir alt kümesi olduğunu ve PD ile boş olmayan bir kesişimi olduğunu göstermektedir.

Parametrik algoritma kullanan bir AD yaklaşımı aynı zamanda bir PD örneğidir. Farklı cephe elemanlarının boyutu ve dağılımı gibi bir dizi parametreye bağlı olarak oluşturulan bir algoritma buna örnek olarak verilebilir. Şekil 89'daki siyah dolgu bu örtüşme seviyesini temsil etmektedir.



**Şekil 3. 9 :** CD paradigmasıyla ilgili terimlerin uzantısının kavramsal gösterimi (Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A., 2020).

### 3.2.1.2 Performans Modelleri

Performans kriterlerine göre biçimlenme süreci olarak ele alınan hesaplamalı tasarım modeli olan performans modelleri, parametric olarak tanımlanmış problemin üretken süreçleri olarak tanımlanabilmektedir (Avinç, G. 2016). Performans simülasyonları ile üretilen tasarım çıktıları, performansın formasyon ve üretken süreçlerle birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Dış güçler, yapısal yükler, akustik, ulaşım, yerleşim yeri, program gibi çevresel güçler olarak tanımlanan güçler (forces) dijital tasarım ortamında formun biçimlenmesini sağlamaktadır (Avinç, G. 2016).

### 3.2.1.2.1 Performans Tabanlı Tasarımın Tanımı

Enerji tüketimini, çevresel koşullar, kullanıcı konforu ve finans gibi konular büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle tasarımın erken aşamalarında tasarımcının kararı enerji tüketiminin azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olabilir.

Performatif mimari, kendisini sürekli olarak yeniden biçimlendirerek değişen sosyal, kültürel ve teknolojik koşullara yanıt verme kapasitesinin yanı sıra ortaya çıkan kültürel kalıpların bir arayüzü olarak tanımlanabilir (Kolareviç, 2005). Performans konusu, binanın tasarımında yer alan çeşitli taraflara güvenerek tasarımın erken aşamalarında devreye girmelidir.

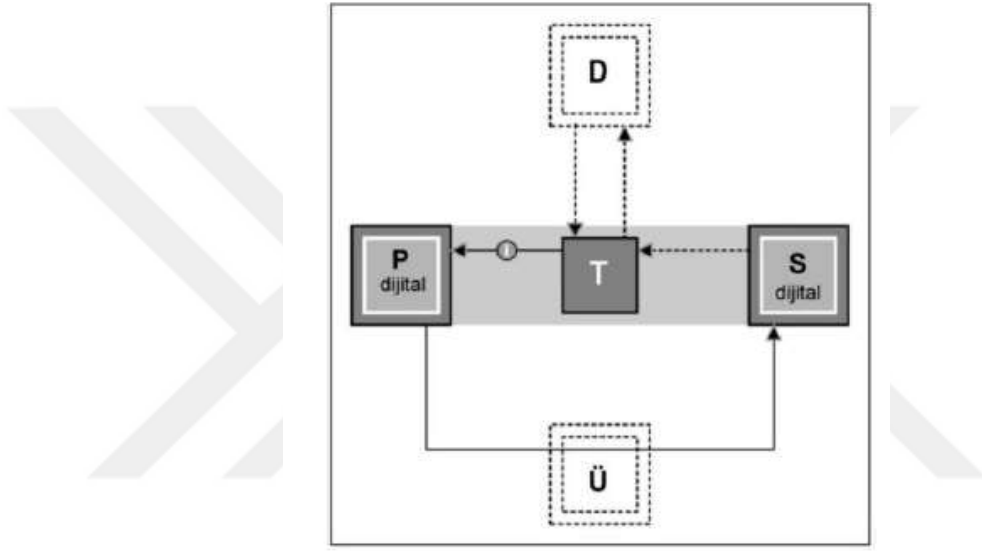
Parametrik bir model, geometrikin bir bilgisayar gösterimidir. Kısıtlanmış olarak adlandırılan bazı nitelikler parametre adı verilen değişkenlerdir. Branko Kolareviç (2003), parametrik tasarımı şu şekilde tanımlamıştır: “Parametrik tasarımda, beyan edilen belirli bir tasarımın şekli değil, parametreleridir. Parametrelere farklı değerler atayarak farklı nesnelere veya konfigürasyonlar oluşturulabilir”.

Parametrik tasarımda tasarımcı, tasarım için en iyi çözümü bulmak için parametreleri değiştirir ve tüm model kendini parametrelerin yeni değerlerine uyarlar ve yeniden yapılandırır. Mimari tasarım endüstrisinde parametrik tasarım araçları, temel olarak karmaşık bina formu oluşturma, çoklu tasarım çözüm optimizasyonu ve yapısal ve sürdürülebilirlik kontrolünde kullanılmaktadır (Yu ve diğerleri, 2013).

Tasarım, çevresel koşulları, sosyal ve kültürel unsurları, ekonomiyi ve teknolojiyi içeren karmaşık bir bağlam konseptidir. Parametrik ve üretken sistemler gibi hesaplama araçları yardımıyla çözülebilir. Parametrik sistemlerin ve kompleks “biyolojik” olayların araştırılmasına izin veren hesaplamalı modelleme yazılımlarının ortaya çıkışı, mimari tasarımcı için tasarım üretimi ve detaylı bileşen imalatı için öncülük olmuştur (Dunn, 2012). Mimaride optimizasyon, performans veya elde edilebilecek en iyi araç ekonomisi gibi doğada bulunabilen bir uygunluk fonksiyonu olarak temsil edilir (Chalabee, 2013). Kompleks maddeleri modelleme, analiz etme ve üretme yeteneği bina optimizasyonu için önemlidir. Ayrıca bu süreçler parametrik modellemenin devreye girdiği bir entegrasyon çalışmasını da gerektirmektedir.

### 3.2.1.2.2 Performans Tabanlı Tasarım Yöntemi

Oxman (2006), performans tabanlı tasarım yöntemini, tasarımın performans kriterleri tarafından yönlendirildiği çevresel performans, maliyet, sosyal, kültürel, ekolojik ve teknolojik bazı yönlendirici performans kriterleri ile birlikte ele alarak açıklamıştır. Açıklamış olduğu performans kriterlerinin dijital ortamda formasyon amaçlı kullanılmasıyla oluşan model Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3. 10 : Performansa Dayalı Formasyon Modeli (Oxman, 2006).

ABACUS tarafından 1970 yılında tanıtılan ilk dijital performans analiz araçlarından biri olan PACE (Package for Architectural Computer Evaluation), mimari tasarımda bilgisayar destekli değerlendirme ve daha basit parametrelerin optimizasyonu için değerlendirme ölçütü üreten bir araçtır. PACE, mekânsal ve çevresel performans değerlendirmelerini yaparak, optimum yerleşim yeri, plan ve kütledeki doluluk hakkında bilgi vermektedir.

Performans, fiziksel şartlar karşısında tasarım dilinin vermiş olduğu tepki olarak tanımlanmaktadır (Oxman, 2012). Performans tabanlı tasarım teknolojilerinin yaygın kullanımı, bina kabuğunun optimum performansa uygun biçimlendirilmesi konusunda önemli yere sahiptir (Kolarevic, 2003). 2002 yılında Foster ve ortakları tarafından projelendirilen GLA Yönetim binası, performans tabanlı tasarım yöntemleri

kullanılarak gerçekleştirilen bir projedir (Şekil 3.11). Akustik performans tabanlı simülasyon programları aracılığıyla yapılan analizlere ve yıl içindeki güneş ışığı verilerine göre tasarlanmıştır (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



**Şekil 3. 11 :** Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binası projesi

Performans analizlerine dayalı tasarım teknikleri mimari alanda iki şekilde uygulanmaktadır:

1. Temel kararları verilmiş ve dijital modeli oluşturulmuş bir proje, çeşitli performans analizlerine göre test edilir ve sonuçlarına göre revize edilir.
2. Erken tasarımın aşamasında, performans analizleri tasarım girdisi olarak vurgulanır ve tasarımda belirleyici rol alır. Ayrıca, mekânın formunun biçimlenmesi bu analizlere göre tasarlanır (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Performans tabanlı yöntem aşamalarında bütün olarak değerlendirilen bina tasarımı, çevre simülasyonunun bilgisayar ortamında yapılmasını ve tasarım optimizasyonunun buna göre şekillenmesini sağlamaktadır (Avinç, G. 2016).



### 3.2.2 Tasarım Optimizasyonu ve Genetik Algoritmalar

Bilgisayar destekli mimari tasarıma geçişin başlangıcından bu yana bilgisayarın mimari tasarım ile ilişki kapsamı araştırmalara konu olmuştur. Algoritmalar en basit tanımıyla bilgisayar diliyle anlaşılabilen yazılı kodlardır. Bilgisayarın mimari tasarımdaki rolüne ilişkin en temel anlayış, kompleks formlar üretmelerini ve daha iyi kontrol etmelerini sağlayan programları çalıştıran gelişmiş bir araç olduğudur. Terzidis (2006), bilgisayarı yaratıcı bir şekilde kullanmak için 'Algorithmic Architecture' adlı kitabının büyük bir bölümünü, komut dosyası tekniklerindeki ustalığın mimariye neler getirebileceğinin araştırılmasına ayırmıştır.

Zihnimiz, yaratıcı çabanın orijinalliğini bozabilecek olaylardan kaçınmak için kuralları takip eder ve bu kurallar genellikle bilgisayar tarafından yürütülen algoritmik prosedürler kadar kısıtlayıcıdır. İç benliğimizin bir parçası sürekli olarak düzenlemeden kaçarken, diğeri neredeyse mekanik bir şekilde işlev görme eğilimindedir (Terzidis, K. 2006). Mimarlık her zaman kurallarla onların karşıtı arasında bir uzlaşma olarak görülür. Algoritmik mimarinin temel mantığı, bilgisayarın sunduğu olanakların ayrıntılı incelemesi ile tasarım süreci üzerinde felsefi nitelikteki sorgulamalar arasında kurduğu ilişkidir (Terzidis, K. 2006).

Mühendislik alanındaki optimizasyon algoritmalarının doğrudan yorumlanmasının aksine, optimizasyon yöntemlerinin tasarım alanındaki uygulamaları doğası gereği karmaşıktır (Ipek, Y. (2012). Mimaride karşılaşılan sorunlar çoğunlukla belirsizdir; bu nedenle bir algoritma olarak yorumlamak ve problemlerin çözümünü aramak zordur. Problemin amacı ve adımları, problemin doğası gereği, genel olarak matematiksel bir şekilde yorumlanamaz. Optimizasyon yöntemleri, çözüm kümesini daraltarak tasarım problemlerini betimler; bu nedenle optimizasyon yöntemleri, tasarım süreci içinde karar destek sistemi olarak düşünülebilir (Ipek, Y. (2012).

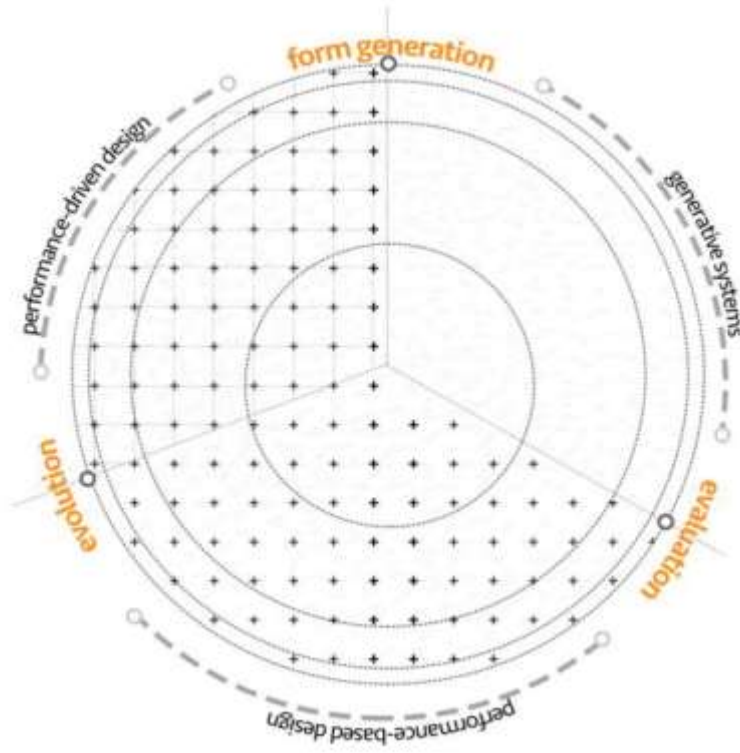
Genetik algoritmalar, genetikte bulunan mekanizmaları simüle ederek geleneksel tasarım keşif tekniklerine bir alternatif sunmaktadır. Tasarım problemlerinde parametre sayısı çok fazla olabilir ve aralarındaki ilişkiler çok karmaşık olabilir. Tasarım araştırması, kötü tanımlanmış bir probleme dayanır. Genetik algoritmalar arama uzayı ve çözüm uzayı kullanır, birincisi genotiplerden veya kromozomlardan oluşan kodlanmış uzay, ikincisi fenotipler gibi gerçek çözümlerdir. Genotip olarak bilinen, optimize edilecek parametrelerin kodlanmış bir formunu ifade ederken, tasarım algoritmasının tanımı olan "genotip" genetik algoritmaların tasarımcı

tarafından tanımanması demektir. Fenotip (Phenotype), bu algoritmanın çıktısı olarak üretilir.

Genetik algoritmaların doğası gereği, çaprazlama ve mutasyon gibi süreçlerin rastgele seçimi ile mutasyon sürecinin değerleri değiştirerek veya parçalarını ekleyerek yeni bir birey yaratması yaratıcı çözümlerin potansiyelinin sonuç üretmesine izin verir (Renner ve Ekart, 2003). Uygunluk fonksiyonu, verilen tasarım probleminin gereksinimlerine kıyasla çözümün ne kadar iyi performans sergilediğini göstermelidir. Uygunluk atamasına göre yeni popülasyonu oluşturmak için seçim şemaları kullanılır. Bu yöntemle ilgili sorun, çoğu durumda uygunluk değeri için iyi bir ölçünün tanımlanamamasından dolayı tasarımın kalitesine katkıda bulunmamasıdır (Ercan, B. 2013). Bu araştırmada, günışığı analizi kapsamında algoritmik yapı kabuğu üretimi ile oluşturulan mimari mekanların ölçülmesi, bu "genotipi" bir uygunluk fonksiyonu olarak oluşturmaktadır.

Genetik algoritmalar, doğal evrim kavramlarını bilgisayarlara aktarır ve bir popülasyon için en uygun çözümleri bulmaya çalışarak onu taklit eder (Ercan, B. 2013). Genetik Algoritmalar, çok amaçlı veya tek amaçlı optimizasyon problemlerinde tercih edilen en yaygın algoritma türlerinden biridir (Kocak, 2019). Performans odaklı bir geometriye dayanarak optimize edilmiş yapı formları oluşturmak için parametrik modelleme teknikleriyle birlikte kullanılabilir bu anlamda grasshopper, optimizasyon çalışmalarında önemli bir özelliğe sahiptir.

Bu tez çalışmasında, tasarımın erken aşamalarında sunulan, günışığı miktarının yeterliliği ile kısa sürede değerlendirilebilen, uygulanabilir ve talep edilen tasarım çözümleri değerlendirilerek döngüsel / yinelemeli (geri bildirim) bir 'Algoritma Destekli Tasarım' modeli geliştirmek için bir tasarım yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu kapsamda performans odaklı tasarım (PDD) kullanılarak evrimsel tasarım yöntemleri ile ürünleri değerlendirebilen bir model sunulmaktadır. Bu sistem form oluşturma, performans değerlendirme ve optimizasyon olmak üzere üç ana aşamadan oluşur (Şekil 3.12). PDD'nin temel amacı, erken tasarım aşamasında performansla ilgili hedefleri karşılayan geometrileri araştırarak literature katkıda bulunmaktır. Bu tasarım aşamalarının entegrasyonu için oluşturulan sistemin diğer özelliği de 'değiştirilebilir' olmasıyla entegrasyona sağladığı esnekliktir.



Şekil 3. 12 : Algoritma destekli tasarım modeli şeması (Koçak, M. 2019).

Koçak (2019) tez araştırması için üç farklı alternatif yaklaşımı birlikte ele alarak kusursuz çalışan (Algorithmic-Aided Deasing) AAD sistemi sağlamıştır. 2. alternatif tasarımcının geleneksel olarak tasarlanmış modelini günışığı analizi ile değerlendirdikten sonra algoritmalarla kısmi müdahale ile optimize edilebilecek bir tasarım önerisidir. 3. alternatifte form üretimi ve ardından günışığı hesabının yapıldığı ve değerlendirmenin tasarımcının tercihinin bırakıldığı bir seçenektir. Bu tasarım yaklaşımları, tasarım önceliğine göre eklenip çıkarılabilen bir sistem olarak tasarlanmıştır.

### **3.2.3 Performatif Cephe Tasarımında Parametrik Tasarımın Önemi**

Performansa dayalı tasarım, genellikle bina performansının tasarımda yol gösterici faktör haline geldiği bir yaklaşımdır. Mimaride performans tabanlı modeller, hedef optimizasyon doğrultusunda doğru geometrik formun oluşturulması için bina performans simülasyonunun süreçleri olarak tanımlanmaktadır. Performatif terimi, dijital tasarımın iki temel özelliğinin bir kombinasyonunu temsil edebilir. Dijital tasarım, geometrik bir model veya formun optimizasyonunu destekler. Ayrıca, fiziksel koşulları simüle etmeye dayalı çevresel performansın değerlendirilmesini destekler. Performatif Tasarım terimi ile ifade edilen, değerlendirici simülasyon süreçlerinin dijital “form üretimi” ile bütünleştirilmesi olasılığıdır. Mimaride yeni bir yöntem olan parametrik tasarım, tasarımcıların performans kriterlerine dayalı formlar oluşturmasına olanak tanır. Gelişmiş bina performansı simülasyon yazılımı, dijital tasarım araçlarının arayüzleri sayesinde algoritmaların organize edilmesine olanak sağlayarak tasarımcıların performans tabanlı tasarım keşifleri yapmasına izin verir.

Hesaplamalı bir yöntem olarak parametrik tasarım, son on yılda uygulama, araştırma ve eğitimde önemli ölçüde ilgi görmüştür. Parametrik araçlar algoritmik ilkelere dayanır ve aralarında kesinlikle karşılıklı bir ilişki vardır. Algoritma, problemlerle başa çıkmak için sonlu ve iyi tanımlanmış kurallar bütünüdür (Terzidis, 2006). Algoritmalar temel olarak parametreler tarafından çalıştırılır ve parametrik sistemlerin ana bileşenleri algoritmalarıdır.

Parametrik sistemler, optimal tasarım çözümlerinde, tasarım geometrisindeki değişiklikleri aşamasında, parametrelerin müdahale konusu üzerinde çalışmaktadır (Dino, 2012). Formun parametrik kontrolü, performans analizinin tasarıma entegrasyonu için önemli bir özellik olarak kabul edilir (Dino, 2012).

### **3.3 Parametrik Cephe Tasarımında Günışığı Analizi**

Günışığı hem yenilenebilir enerjinin başlıca kaynağı olduğu için hem de insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olması nedeniyle mimari tasarım kararlarını etkileyen kayda değer bir olgu haline gelmiştir. Bundan dolayı cepheler, formlar, biçimler, işlevler, malzeme kullanımı ve iç mekan organizasyonu gibi mimari kavramlar ile günışığı ilişkisi arasında güçlü bağlar kurulmalıdır. Ancak enlem ve boylama bağlı olarak değişen iklim koşulları, güneş radyasyonu, ekinoks gibi birçok faktör günışığı

kullanımını farklı şekillerde etkiler ve çeşitli tasarım sorunlarını birlikte getirir. Son zamanlarda bu sorunların üstesinden gelmek için parametrik tasarım araçları ile ilgili yazılımlar seçilerek çalışmalar yapılmaktadır. Bina tasarımında günışığı tasarımı ve analizleri bu araçlar ile yapılarak hem çeşitli varyasyonlar üretilmekte, hem hızlı sonuçlar alınmakta hem de sonuçlar optimum hale getirilebilmektedir. Pesenti ve diğ. (2015), yaptıkları çalışmada, ofis binaları için aydınlatma yüklerini azaltırken, kullanıcılar iç mekân iklim kontrolü ve görsel konfor sağlayan bir gölgeleme sistemi tasarlamayı amaçlamışlardır.

Tez çalışmasında, bir ofis binası için gölgeleme sisteminin görsel konfor metriklerinin optimizasyonunu amaçlayan analiz sonuçları ve değerlendirmeleri sunulmaktadır. Çalışmanın parametrik yapısından dolayı, analizleri yapmak için Grasshopper kullanılmıştır. Tüm modellenmiş bina elemanlarının değiştirilmesi, kuralları tanımlayan özel algoritmalar sayesinde yazılım ile kontrol edilmiştir. Böylece, parametreleri değiştirerek, mimari elemanlar kolayca kontrol edilebilmiştir. Farklı boyutları ve oranları birleştirmek ve şekil kinetiğini simüle etmek için parametrik yazılım kullanılarak günışığı analizleri yapılmıştır. Çevresel simülasyonlar 'Climatestudio' eklentisi kullanılarak yapılmıştır.

Tez çalışmasındaki ofis bina kabuğunun disiplinlerarası entegrasyonunun ve performans optimizasyonunun organize edilmesi ve sistematik hale getirilebilmesi için analizler tez sonunda karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Böylece, bu araştırma tasarımcılara performans tabanlı tasarım oluşturmada destek olabilecek form araştırması için kullanılan çok amaçlı bir optimizasyon modeli sunmaktadır. Kabuk yapısının geometrisi, yapı, gün ışığı ve radyasyon kontrolü ile ilgili performans değerleriyle yönlendirilen parametrik bir model ile oluşturulmuştur.

#### 4. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, tasarımın ilk aşamalarında bina analizi, kararları ve yönlendirici kriterlere ait veriler, çizimler ve diğer görsel materyaller yardımıyla tanıtılmaktadır. Ayrıca bu bölümde, günışığı analizi amacıyla modelleme yöntemi ve parametreleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Modelleme, analiz ve form oluşturma için kullanılan yazılımlar ilerleyen sayfalarda detaylı olarak incelenmiştir.

Bir önceki bölümde, günışığı stratejileri, günışığı performansı, ofis yapıları için günışığı gereksinimleri ve bu amaçla yaygın olarak kullanılan hesaplama araçları ve simülasyon tabanlı metrikler hakkında kısa bir literatür taraması sunulmuştur.

Sonuç olarak, performans tabanlı günışığı tasarımını destekleyen yöntem ve araçların eksikliği ile ilgili sorunlar tespit edilmiştir. Performans tabanlı günışığı değerlendirme yaklaşımları için gereksinimler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- ✓ Günışığı performansını doğru analiz edebilmek için iklim bazlı hava durumu verilerine duyulan ihtiyaç.
- ✓ Doğrudan güneş ışığı ile başa çıkmak için performans değerlemelerine duyulan ihtiyaç.
- ✓ Parametrik tasarım keşfi sırasında hesaplama eforunu azaltmak için uygun arama algoritması yöntemine duyulan ihtiyaç.

Bu bölümde, ofis binalarında iç mekan günışığı performansının araştırılması ve optimizasyonu için geliştirilmiş yeni bir model yaklaşımı sunulacaktır. İstanbul'da varsayımsal olarak ele alınan bir ofis binasının kabuk kısmında parametrik tasarım yoluyla adaptif bir cephe tasarlanacaktır. İlk aşama, simülasyon çalışmasında kullanılan varsayımsal modele ve iklim koşullarına dayalı kriterlerdir. İkinci aşama, adaptif cephe bileşenlerinin, geometri özelliklerinin ve hareket prensiplerinin oluşturulmasına odaklanacak ve üçüncü aşamada simülasyon modelleri kurulacaktır.

Tasarımın ilk konusu, vaka çalışmasının iklim ve çevre koşullarının dikkate alınmasıdır. Daha sonra cephe bileşenleri Grasshopper kullanılarak tasarlanacak ve tasarımın temel parametreleri ve girdileri önerilecek, tasarım sürecinde güneş ışığı performansını artırmak için optimizasyon kriterleri dikkate alınacaktır. Optimizasyonun amacı, güneşten doğrudan gelen ışığın yol açtığı görsel rahatsızlığı azaltmaktır. Bir güneş ışığı sisteminin performansını araştırırken, sadece binaya girebilecek güneş ışığı miktarını değil, aynı zamanda görsel rahatsızlık sorunu nedeniyle içeri alınamayan miktarı da dikkate almak önemlidir (Nabil ve Mardaljevic, 2005).

#### **4.1 Metot gereklilikleri**

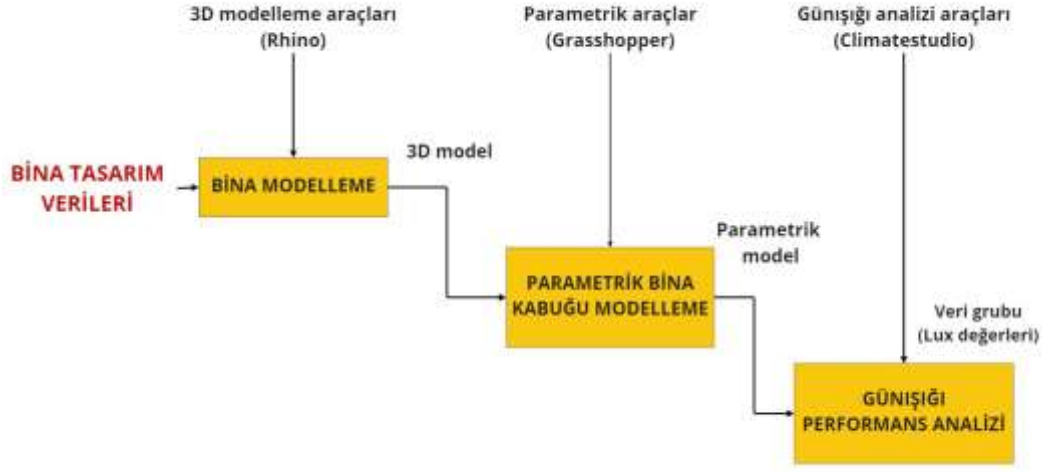
Önerilen yöntem, adaptif bina kabuk elemanlarının geometrik parametrelerini optimize ederek bir ofis binası için gölgelendirme tasarımını desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu adaptif kabuk tasarımı, ofis çalışanlarının tercihlerine göre saatlik, günlük, aylık veya mevsimsel olarak dahili güneş ışığı koşullarına yanıt verir. Güneş ışığı performansı gereksinimleri, bina sakinlerinin tanımladığı şekilde yeterli güneş ışığı seviyelerini sağlamak ve doğrudan güneş ışığının iç ortama girmesini engellemektir.

Bu, adaptif cephe kabukları, çeşitli parametrelerinin önceden ayarlanmasını ve açılma konumlarının önerilen yöntemle optimize edilmesini gerektirir. Bu nedenle, saatlik güneş ışığı performansını ölçen ve saatlik verileri haftalık, aylık veya mevsimsel toplu verilere genelleştiren çoklu simülasyonlar gerçekleştirilir. Bu tez çalışmasında tek bir mevsim ve gün referans alınarak günün belli saatleri için güneş ışığı simülasyonları gerçekleştirilecektir.

##### **4.1.1 Önerilen tasarım süreci**

Bu bölüm, parametrik adaptif aracılığıyla ofis alanı içindeki güneş ışığı performansını optimize etmek için yeni bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem, üç ana adımda önerilen bir tasarım sürecine yerleştirilmiştir (Şekil 4.1):

- ✓ Binanın modellenmesi
- ✓ Gölgeleme sisteminin parametrelendirilmesi
- ✓ Simülasyon yoluyla güneş ışığı performansının analiz edilmesi



Şekil 4. 1 : Tasarım süreci diyagramı

#### Çalışmada kullanılan yazılımlar

Üretken tasarımlar için kullanılan Grasshopper eklentisi, Rhinoceros'un 3D modelleme araçları ile bütünleşik çalışan bir algoritma editörü olup bu tez çalışmasında cephe kabuğu modellemesi için tercih edilmiştir.

Grasshopper kompleks form tasarımlarına izin verir ve kodlama özelliği sayesinde tasarımlara parametrik programlama yeteneği kazandırır. Kodlama içerisinde düğüm noktaları ve bu noktalar arasındaki bağlantıyı sağlayarak ağların algoritma dili oluşturmasını sağlar.

Günişığı simülasyonları ise Rhinoceros programının bir eklentisi olan ClimateStudio programında gerçekleştirilmiştir. ClimateStudio, Robert McNeel & Associates tarafından geliştirilen ve Solemma LLC tarafından dağıtılan, Rhinoceros 3D modelleme yazılımı için bir eklentidir. Gelişmiş bir günişığı, aydınlatma ve termal simülasyon yazılımıdır. Ayrıca, LEED v4 günişığı kredileri için yıllık günişığı simülasyonları, kamaşma ve termal konfor dağılımları gibi çevresel analiz iş akış programlarının çalışmasını desteklemektedir.



## 4.2 Modelin kavramsal çerçevesi

Performans tabanlı bina kabuk tasarımında, model girdilerine göre değişen bina morfolojisi, optimize edilerek daha kompleks formlar ortaya çıkarılır. Çevresel etkilerden kaynaklanan tepki, performans tabanlı tasarımda farklı tasarım kurgularının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu kurgular aynı zamanda çeşitli durumlarda avantajlar sağlamaktadır. Hesaplamalı tasarımın önemli konusu olan performans tabanlı tasarımda, çevresel etkiler sonucu oluşan tepkilerin (girdilerin) performans tabanlı yapı kabuklarına ve bazı morfolojilere (çıkıntılara) dönüşmesi sıklıkla kullanılmaktadır (Karakoç, E., 2015).

Çevresel girdilerin en önemli etkeni olan güneş, görsel konfor (ışık dengesi) açısından belirleyicidir. Binaların doğaya adapte olabilmemesinin ve gerekli konfor koşullarını sağlayabilmesinin temelinde bina kabuklarında güneş kontrol sistemleri önemli yer tutmaktadır (Karakoç, E., 2015). Tez kapsamında geliştirilen ve güneşin bina kabuğu üzerindeki etkisinin optimize edildiği model, çevreye ve bina kullanıcılarına daha konforlu mekanlar sunabilen çevresel girdilere göre performans dayalı adaptif binalar tasarlanmasına yönelik bir modeldir. Bu sayede tasarımcı, güneşin bina kabuğu üzerindeki etkisini kontrol edebilecektir.

Günümüzdeki enerji kullanım analizlerine bakıldığında bina kabuklarının bu kullanımda fazlasıyla katkısı olduğu görülebilmektedir. Bundan dolayı güneşin geliş açısına ve ısı radyasyon değerlerine göre tasarlanmış adaptif bina kabukları ile bu sorunun çözümüne yönelik bir başlangıç yapılması amaçlanmıştır.

## 4.3 Modelin algoritması ve uygulanması

### 4.3.1 Binanın iklim ve çevre koşullarının analizi

Binanın çevresel verileri tasarımın ilk aşamasında önemli rol oynar. Bu tez çalışmasında İstanbul, Türkiye'nin iklim ve coğrafi koşullarına odaklanmaktadır. İstanbul, Türkiye'nin kuzey-batısında Marmara Bölgesi'nde yer alan ve toplam 5.343 kilometrekarelik yüzölçümüyle Türkiye'nin en büyük şehridir. Boğaz, Marmara ve Karadeniz'i birbirine bağlamaktadır.

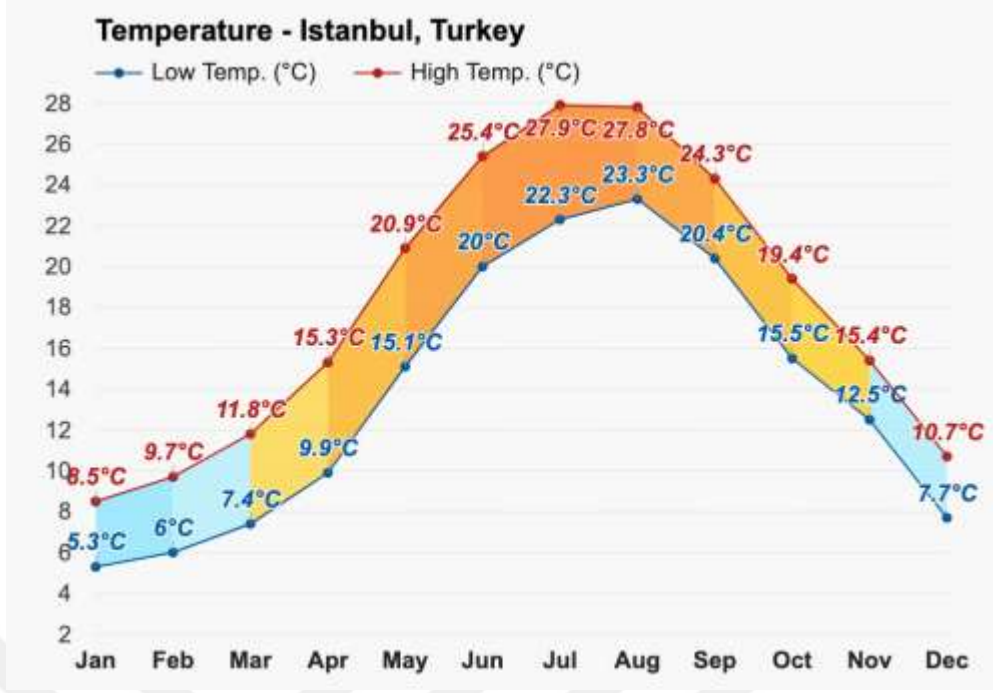
Şehrin kuzey yarısı ve Boğaziçi kıyı şeridi, Karadeniz'den gelen nem ve nispeten yüksek bitki örtüsü nedeniyle okyanus ve nemli subtropikal iklimlerin özelliklerini yansıtmaktadır.

Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi İstanbul'da kaydedilen en yüksek ve en düşük sıcaklıklar 41,5 °C (106,7 °F) ve -11 °C (12,2 °F)'dir.

| Month                             | Jan              | Feb             | Mar             | Apr             | May             | Jun             | Jul             | Aug             | Sep             | Oct             | Nov              | Dec              | Year              |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Record high °C (°F)               | 22.0<br>(71.6)   | 23.2<br>(73.8)  | 28.3<br>(84.7)  | 33.8<br>(92.8)  | 38.2<br>(100.8) | 40.5<br>(104.9) | 41.5<br>(106.7) | 39.6<br>(103.3) | 35.4<br>(95.7)  | 34.0<br>(93.2)  | 28.5<br>(83.3)   | 25.8<br>(78.4)   | 41.5<br>(106.7)   |
| Average high °C (°F)              | 8.3<br>(46.9)    | 8.8<br>(47.8)   | 10.7<br>(51.3)  | 15.3<br>(59.5)  | 20.0<br>(68.1)  | 24.6<br>(76.3)  | 26.5<br>(80.7)  | 26.7<br>(80.1)  | 23.5<br>(74.3)  | 19.1<br>(66.4)  | 14.7<br>(58.5)   | 10.7<br>(51.3)   | 17.41<br>(63.34)  |
| Daily mean °C (°F)                | 5.6<br>(42.1)    | 5.6<br>(42.1)   | 7.0<br>(44.6)   | 11.0<br>(51.8)  | 15.6<br>(60.1)  | 20.4<br>(68.7)  | 22.8<br>(73)    | 23.0<br>(73.4)  | 19.7<br>(67.5)  | 15.6<br>(60.1)  | 11.4<br>(52.5)   | 7.9<br>(46.2)    | 13.8<br>(56.84)   |
| Average low °C (°F)               | 3.0<br>(37.4)    | 3.0<br>(37.4)   | 4.2<br>(39.6)   | 7.7<br>(45.9)   | 12.1<br>(53.8)  | 16.5<br>(61.7)  | 19.4<br>(66.9)  | 20.0<br>(68)    | 16.7<br>(62.1)  | 13.0<br>(55.4)  | 8.9<br>(48)      | 5.4<br>(41.7)    | 10.83<br>(51.49)  |
| Record low °C (°F)                | -11.0<br>(12.2)  | -8.4<br>(16.9)  | -5.8<br>(21.6)  | -1.4<br>(29.5)  | 3.0<br>(37.4)   | 8.5<br>(47.3)   | 12.0<br>(53.6)  | 12.3<br>(54.1)  | 7.1<br>(44.8)   | 0.8<br>(33.1)   | -1.4<br>(29.5)   | -7.0<br>(19.4)   | -11<br>(12.2)     |
| Average precipitation mm (inches) | 104.2<br>(4.102) | 77.3<br>(3.043) | 89.5<br>(3.524) | 46.4<br>(1.827) | 33.5<br>(1.319) | 32.8<br>(1.291) | 32.7<br>(1.287) | 40.8<br>(1.606) | 58.9<br>(2.319) | 96.8<br>(3.811) | 102.2<br>(4.024) | 125.0<br>(4.921) | 810.1<br>(31.892) |
| Avg. precipitation days (≥ 1 mm)  | 17.8             | 15.5            | 13.7            | 10.8            | 8.1             | 8.2             | 4.4             | 5.1             | 7.5             | 11.1            | 13.2             | 17.5             | 136.8             |
| Mean monthly sunshine hours       | 71.3             | 87.8            | 133.3           | 188.0           | 251.1           | 309.0           | 322.4           | 294.5           | 243.0           | 164.3           | 102.9            | 68.2             | 2,217.7           |

Şekil 4. 2 : İstanbul için iklim verileri (Url-1)

Güneşin gökyüzünde izlediği yolu (sun path diyagram) göstermek için güneşin hareketine göre yönelim gösteren modeldeki cephe panelleri için şekil 4.3'deki gibi diyagram verilmiştir. Güneş yolu diyagramı, İstanbul, Türkiye'deki güneşin tam konumunu ve açısını almasına yardımcı olması için Grasshopper'ın "Ladybug" eklentisi ile oluşturulmuştur.

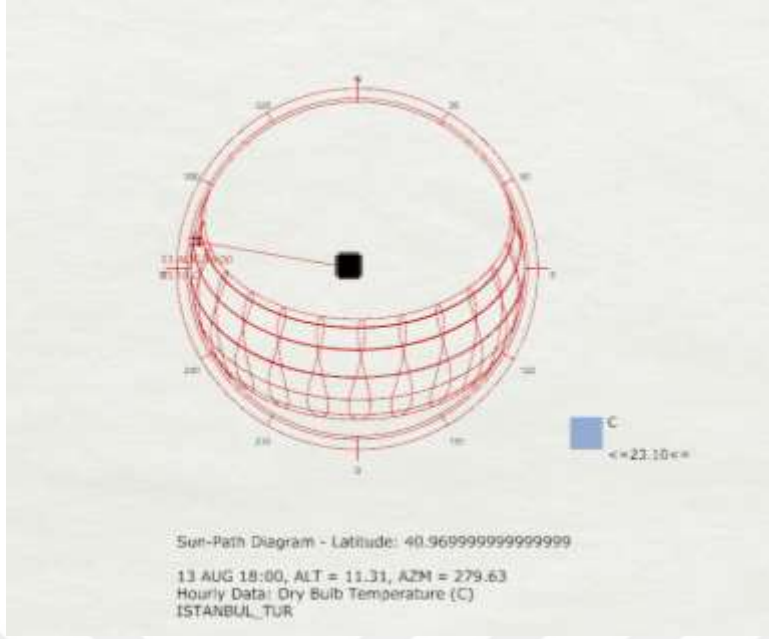


Şekil 4. 3 : İstanbul için ortalama sıcaklık değerleri (Url-2)

İstanbul'un iklim durumu tablosunda görüldüğü gibi, Temmuz - Ağustos en sıcak aydır. Bu nedenle tez çalışmasını analiz ederken Ağustos ayı kabul alınmıştır. Radyasyon ve ışık için 24 saat boyunca tüm güneş konumlarını görmek için saat parametresini 1'den 24'e ayarladık.

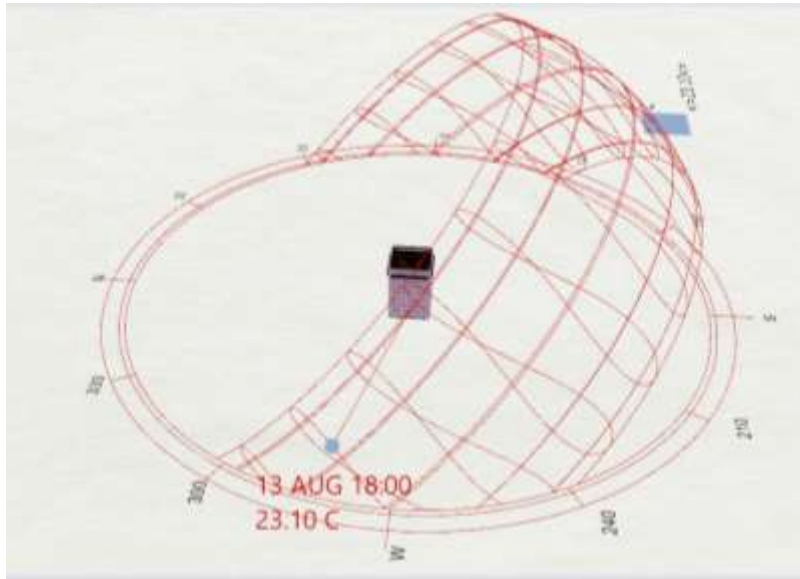
#### 4.3.1 Güneş yolu diyagramı ve Güneş Yönelimi

Grasshopper'da oluşturulan kodlama sayesinde Rhinoceros'ta güneş yolu ve güneş konumları ile radyasyon (Wh/m<sup>2</sup>) ve sıcaklık (C°) konusunda veriler elde edilmektedir (Şekil 4.2). Günün 24 saati boyunca güneşin konumu ve yönelimini programa kodlayarak her bir saat parametresi için sıcaklık bilgileri elde edilir (Şekil 4.4).



**Şekil 4. 4 :** Güneş yolu diyagramı (13 Ağustos, 18:00).

Sekil 4.2'deki güneş yolu diyagramı kullanılarak binaların gölgeleme etkileri tahmin edilmektedir. Stereographic güneş yolu diyagramı güneşin konumunu, yüksekliğine ve azimuta göre belirler ve güneşin yüksekliğinin yatay düzlemde ifade edilmesini sağlar (Okutan, H., 2008). Şekil 4.4 ve şekil 4.5'teki grafikler verilen konum için istenilen saat ve günde güneşin yerini göstermektedir.



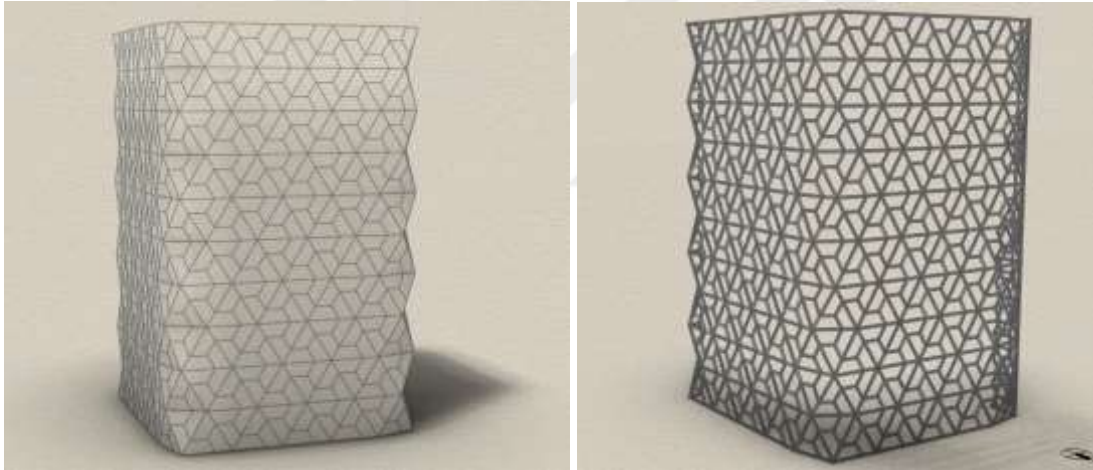
**Şekil 4. 5 :** Güneş yolu diyagramı.



konum girdisinin kodlanması gerekmektedir. Panellerin güneş yönelimine göre bir noktaya tepki verebilmesi ve bu noktanın cephe yüzeyi boyunca hareket ederken panellerin yönünü değiştirebilmesi çalışmanın kritik sorunlarından biridir. Nokta güneşi tanımlamak için kullanıldı ve güneşin yönünü takip edebilmesi için model içinde yeni bir parametre seti geliştirildi.

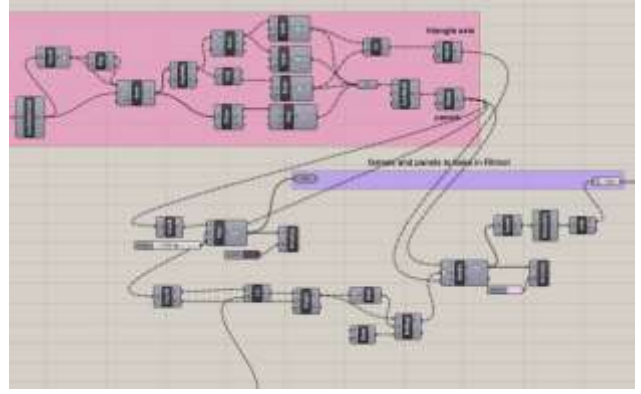
#### 4.4.1 Cephe bileşenlerinin konsept tasarımı

**Adım 1:** Rhino'da tasarlanan ilk eleman cephenin ana yüzeyidir. Cephe yüzeyi Grasshopper'da parametrik kenar çizgilerinden oluşturulabilir. İstenmeyen güneş ışınları cephenin güney kısmında olduğu için yüzeyi sadece cephenin güney kısmı üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7). Önerilen güney cephesi, mevcut ana cephenin önünde ikinci bir katman olarak tasarlanmıştır.

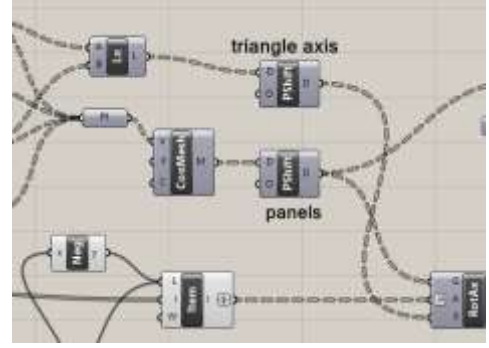
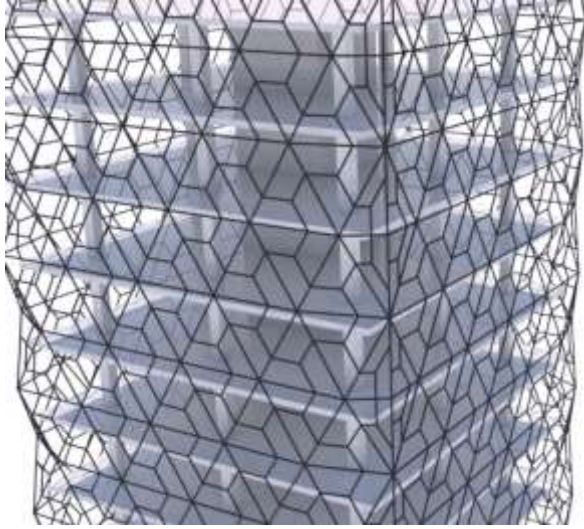


**Şekil 4. 7 :** Binanın güney tarafındaki hexagonal cephe yüzeyi.

**Adım 2:** Cephe yüzeyi tasarlandıktan sonra paneller bu yüzey üzerine yerleştirildi. Altıgen paneller, Grasshopper eklentisi olan "Lunchbox" tarafından tasarlanmıştır. Paneller, iç mekanları istenmeyen güneş ışınlarından korumak için kinetik olarak güneş yönelimine göre hareket etmektedir. Paneller, cephe yüzeyindeki modül sayısı parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Cephe yüzeyinin ölçeğine, boyutuna ve oranlarına göre değişmektedir (Şekil 4.8).



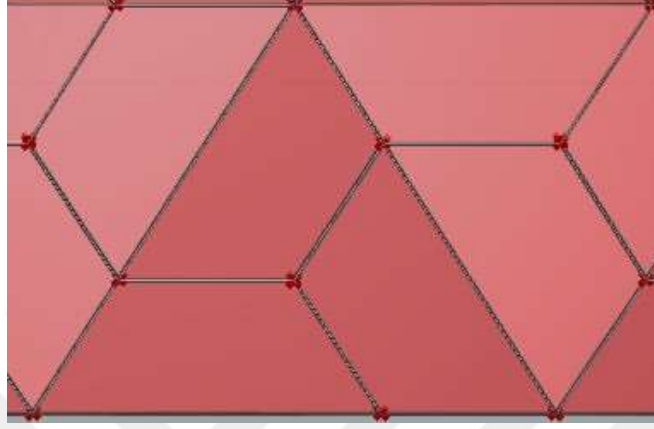
**Şekil 4.8 :** Lunchbox tarafından oluşturulan hexagonal cephe yüzeyi ve Grasshopper'da kodlamaları.



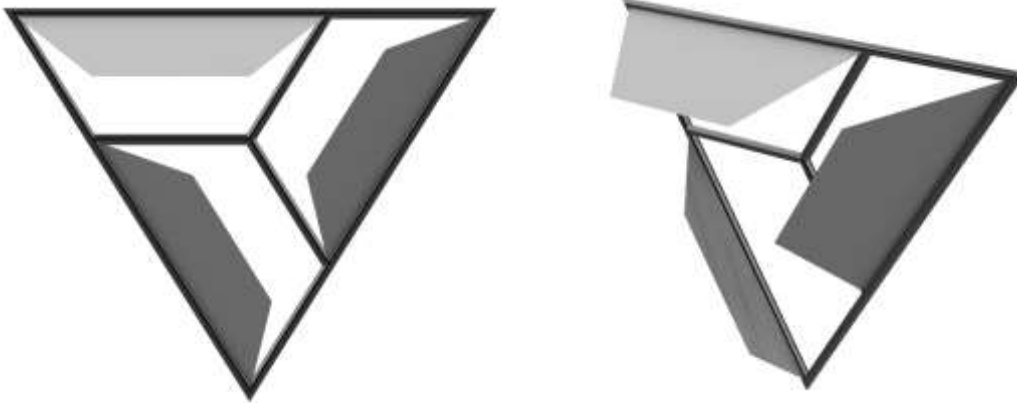
**Şekil 4.9 :** X ve Y eksenlerindeki altıgen strüktürün birleşerek üçgen cephe çerçeveleri oluşturması.

**Adım 3:** Her üçgen ızgara altıgen panel formlarının orta akslarının birleşiminden oluşur. Böylece binanın ikincil kabuğunu oluşturan üçten strüktürler, alüminyum çerçeveyi oluşturmak için merkez noktalarına göre ölçeklendirilmiştir. Ana altıgenler ile ölçekli çerçeveler oluşturulmuş ve alt ve üst ızgara çelik strüktür köşeleri arasında bir çizgi çizilerek altıgenler iki parçaya bölünmüştür (Şekil 4.9).

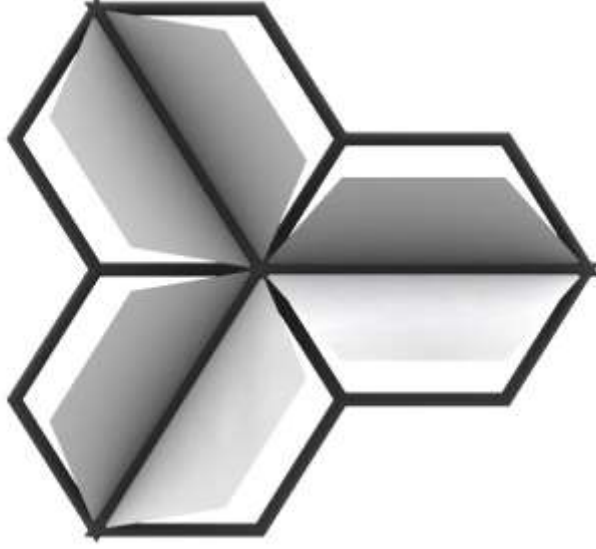
**Adım 4:** Strüktürü belirtmek için altıgen paneller şekil 4.10'de gösterildiği gibi patlatıldı ve her bir panelin dört noktasından birleştirilerek strüktürün köşeleri birleştirildi.



**Şekil 4. 10 :** Altıgen panelin 4 köşesinden birleştirilen cephe formu.

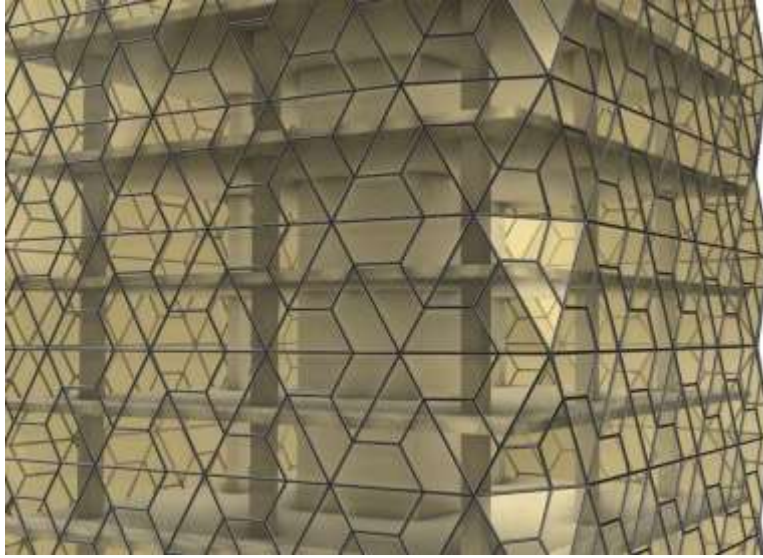
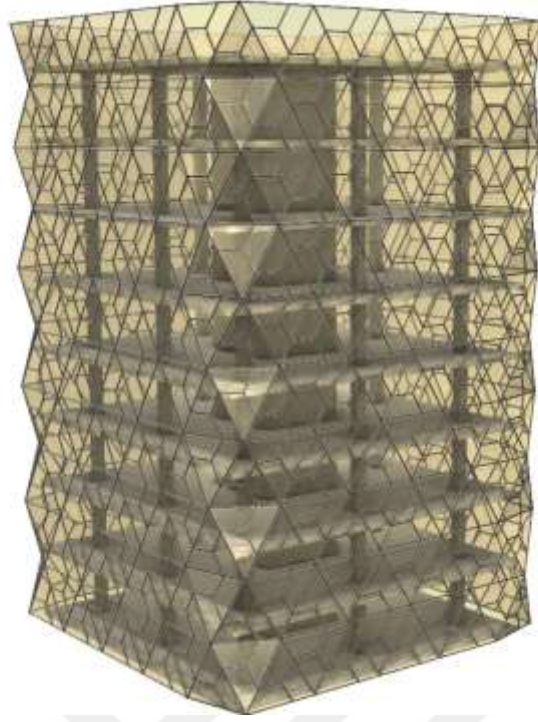






**Şekil 4. 11 :** Her bir panel modül modeli.

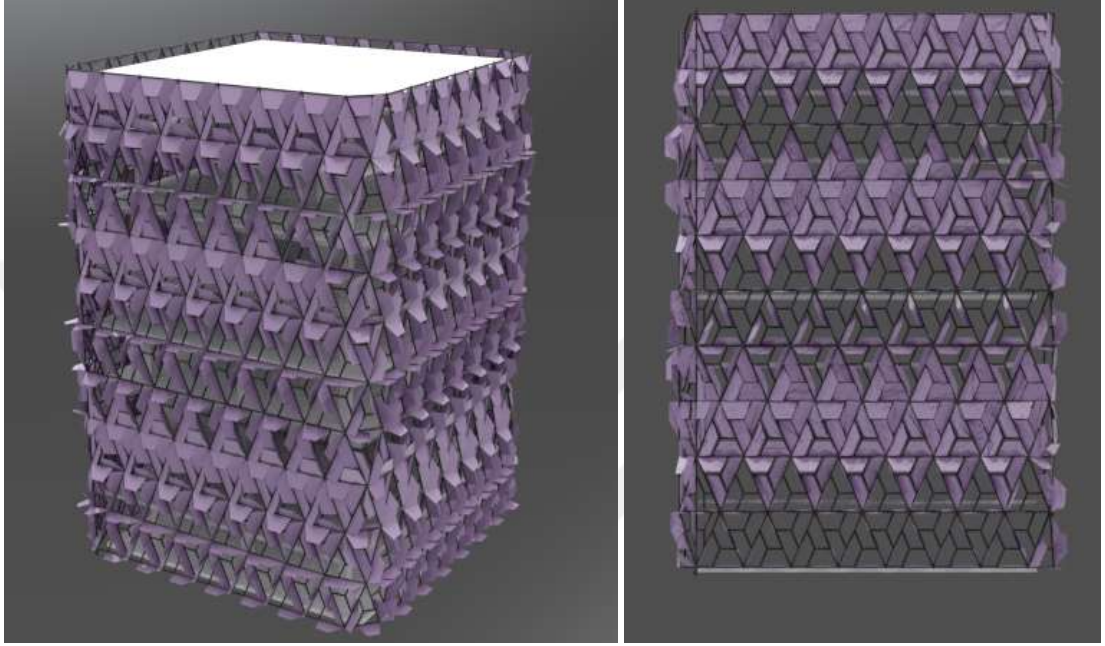
**Adım 5:** Altıgen paneller orta aks çizgisi ile birleştirilerek aralarında bir çelik strüktür ile bağlanır. Bölünmüş her panel, vektörü ile ladybug eklentisi tarafından güneş yönelimine göre dönerek hareket sağlamaktadır (Şekil 4.11).



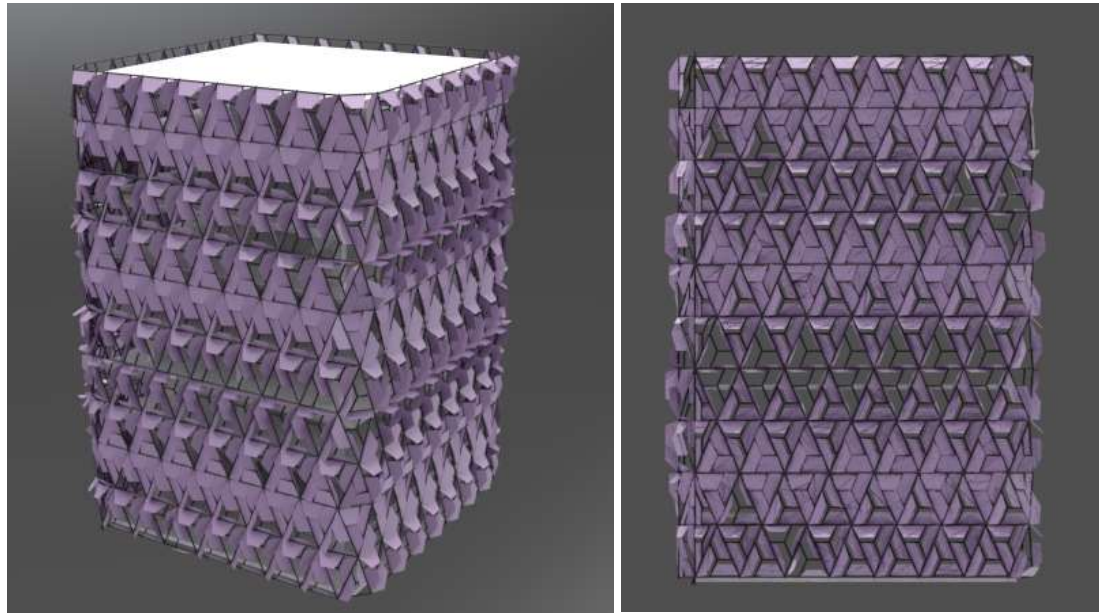
**Şekil 4. 12 :** Açılı ve kırıklı köşe birleşimi.

**Adım 6:** Son adım, panelleri yüzeye yerleştirirken açılı ve kırıklı köşe panellerin birleşiminde çözüm algoritmasını bulmak için grasshopperda kodlar tanımlamaktır. Panellerin yüzeye yerleştirilmesi için istenilen U ve V değerlerine bölünmeli ve modül bir geometri objesi olarak tanımlanmalıdır. Her altıgen köşenin UV koordinatları, istenen yüzeyin UV koordinatlarıdır. Parametrik kabuki tasarımını modellemek için açılı köşe birleşimi algoritmalar yardımıyla adaptif panellere dönüştürülmüştür (Şekil

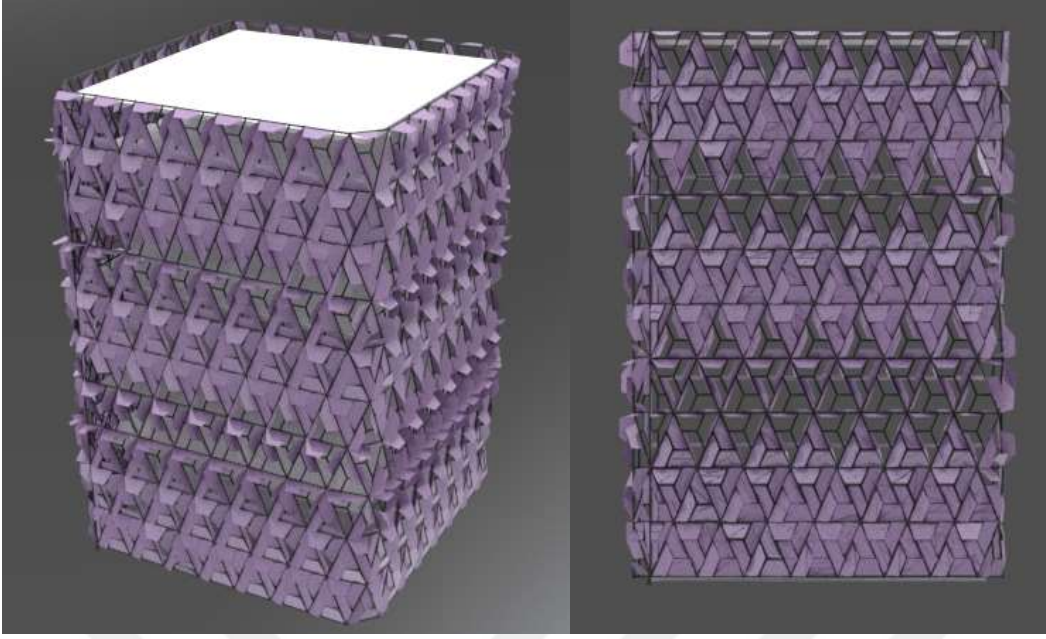
4.13). Panellerin farklı açılıp kapanma açıları mevcut olmakla birlikte, her bir yüzey yanındaki panelden farklı bir yüzey normaline sahiptir. Dönme açıları, sol yan paneller için  $0^\circ$  ile  $+90^\circ$ , sağ yan paneller için  $0^\circ$  ile  $-90^\circ$  arasındadır (Şekil 4.13). Saat bileşeninin değiştirilmesiyle güneşin konumu da değişmekte ve panellerin dönüşü de değişmektedir (Şekil 4.10-4.13).



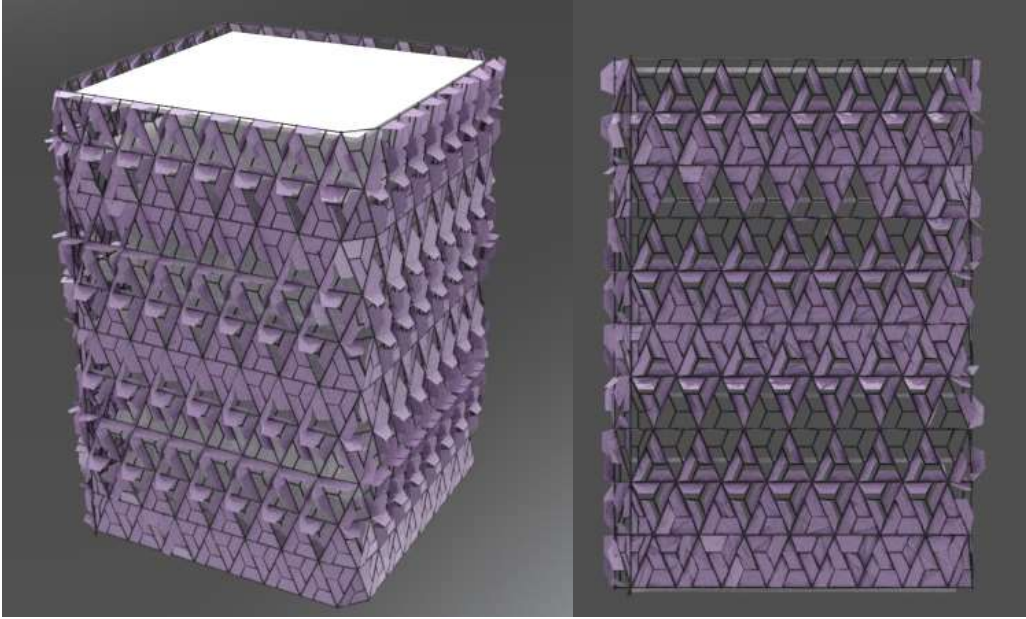
**Şekil 4. 13 :** Güney cephesi panellerinin saat 09:00'de dönme açıları.



**Şekil 4. 14 :** Güney cephesi panellerinin saat 12:00'de dönme açıları.

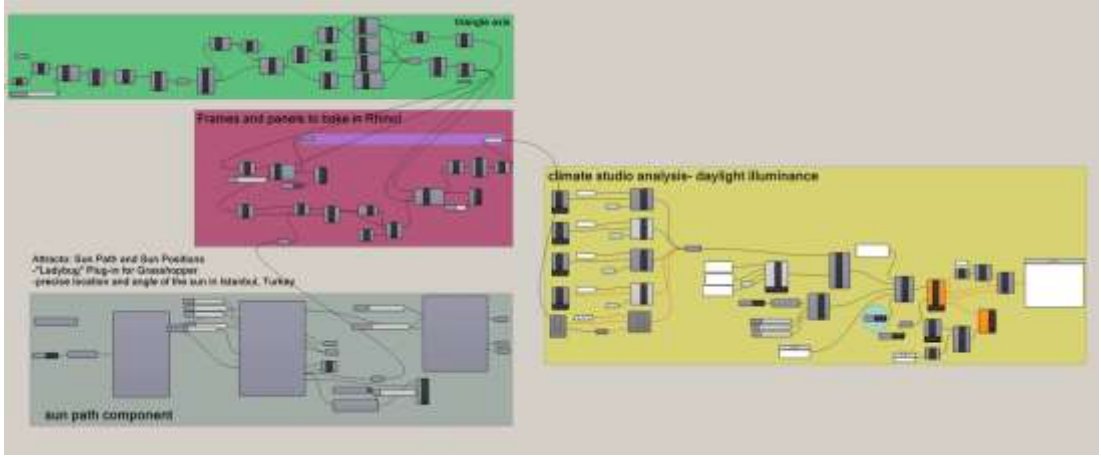


**Şekil 4. 15 :** Güney cephesi panellerinin saat 15:00’de dönme açıları.



**Şekil 4. 16 :** Güney cephesi panellerinin saat 18:00’de dönme açıları.

Parametrik tasarım ve algoritmaların tüm süreci şekil 4.17’de gösterildiği gibi kodlar yardımıyla organize edilmiştir.



**Şekil 4. 17 :** Grasshopper’da parametrik tasarım ve algoritmaların tüm süreci.

Parametrik cephe yüzeyi, tamamı alüminyum çerçeve ile desteklenen panellerden oluşmaktadır. Panellerin malzemesi, çevre dostu bir yapı malzemesi olarak kullanılabilen hafif, şeffaf, geri dönüştürülebilir ve flor esaslı bir plastik olan ETFE'dir (Ethilen Tetra Floro Etilen). Benzer boyuttaki cam panellerin sadece %1'i ağırlığındadır. Panolar kapalıyken dahi içerisini görmek mümkün olduğundan iç mekanları tamamen güneşten maruz bırakmamaktadır.

Yapı kısmı için altıgen paneller üçgenlerden oluşan alüminyum stüktür eksenlerine göre dönmektedir. Bu strüktür mevcut bina cepesinde bulunan alüminyum çerçevelere birleştirilebilir.

## 4.5 ClimateStudio programında gn analizleri

Binanın evresel ve yapısal performansını tasarım öncesi kararlar doğrultusunda tahmin etmek için kullanılan simülasyon programları önemli bir dijital bir araçtır ve performans tabanlı tasarımda önemli bir role sahiptir. ClimateStudio (CS), Rhinoceros ve Grasshopper için modelleme, simülasyon ve optimizasyona izin veren bir eklentidir.

Grasshopper ise, tasarımcının tasarladı adaptif cephe kabuğunu simüle etmesine ve parametrik modeldeki parametre deiikliklerinin simülasyon sonucunu etkileyecek Şekilde CS simülasyonuna balamasına izin vermektedir. CS analizleri, binanın her katında alan için gn mevcudiyetini ve enerji performansını da analiz ederek çeşitli tasarım alternatiflerinin de kolayca test edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca tasarlanan modelden gn ve enerji sonuçlarının hızlı bir Şekilde grselletirilmesine izin verir (Jakubiec & Reinhart, 2012).

Bu tez alıŗmasının analiz kısmında öncelikle Revit'te tasarlanan 3D ofis binası modeli simüle edilmektedir. Açık ofis modeli referans alınmıştır ve binanın çekirdek kısm duvarla çevrilidir. Zemin, duvar, kolonlar, dŗeme gibi bina geometrisi katmanlara (layer) ayrılmıştır.

## 4.6 Simülasyon süreci

### 4.6.1 Binanın mevcut durumu için Gn Analizleri

ClimateStudio'da gn analizini alıŗtırmak için dört parametre önemlidir; projenin konumu, istenilen düzlemdeki analiz dmleri (analysis nodes), malzeleler ve analiz türü. Bu alıŗma kapsamında "aydınlık değerleri", zemin düzlemine eŗit olarak daılm aydınlık dmlerinin analiz programında hesaplanması ile elde edilecektir.

Açık hava gök modeli (CIE Clear sky) "gneŗli ve açık" olarak analiz programına atanmtır. alıŗmada kullanılan tarih ve saatler; 13 Ağustos 09:00, 12:00, 15:00 ve 18:00 olmak üzere dört farklı saat kapsamında olacaktır. Ofis mekanlar için IES tarafından önerilen aralığa göre aydınlık değer aralığı 300-1500 lux olarak referans

alınmıştır. 300 lüksten küçük veya 1500 lüksten büyük herhangi bir değer, simülasyon sonuçlarında yüzde şeklinde vurgulanmıştır.

Analiz, son kat (8. kat) için yapılacaktır. Seçilen ofis katının 16 m genişliğinde kare plan düzlemi ve 3,20 m yüksekliğinde olduğu varsayılmıştır.

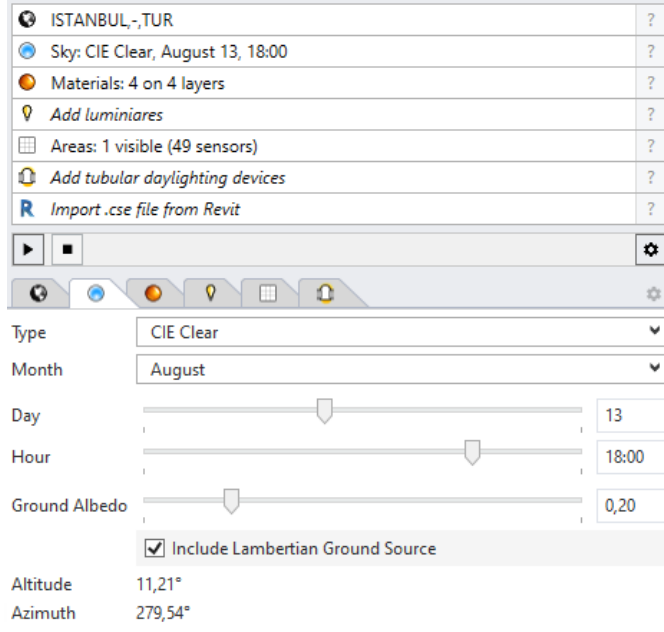
Günüşğini yapay aydınlatmadan ayırmak için ölçüm sırasında tüm yapay aydınlatmaların kapalı olduğu varsayılmıştır. Tüm iç mekanda günüşği aydınlatma dağılımını doğru bir şekilde elde etmek için ölçüm grid noktaları toplamda 49'dur.

**Adım 1:** Analizi Rhino'da çalıştırmak için öncelikle İstanbul'un —.epwl dosyası olan lokasyon dosyasını programa atanır.

**Adım 2:** Bir sonraki adım, malzemelerin modelin veri tabanına atanmasıdır.

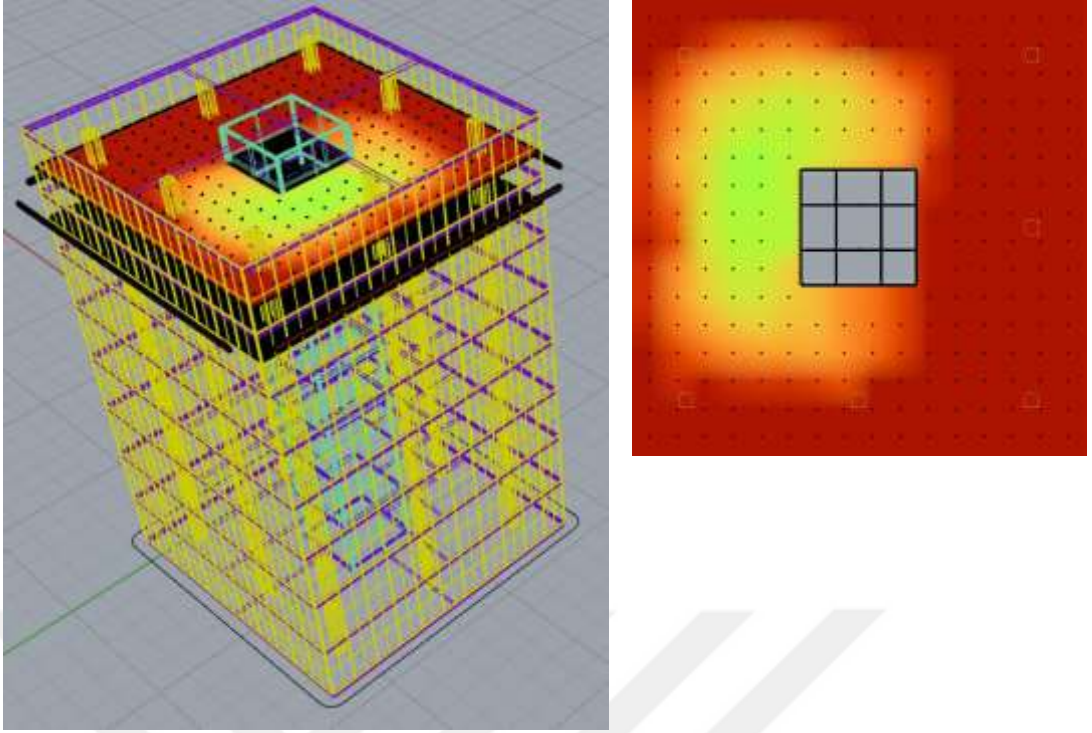
**Adım 3:** Analizleri gerçekleştireceğimiz binanın son kat zemin yüzeyine analiz düğümleri (nodes yada sensör) tanımlanır. Zemin yüzeyine tanımlanan sensör aralıkları, toplamda tüm kat için 49 adet analiz düğümü ile analizler için gerekli alt taban oluşturmuştur.

**Adım 4:** Son olarak analiz çalışmasını gökyüzü durumu, tarih ve saat bilgileri veri tabanına tanımlanır. Gökyüzü durumu için 'güneşli ve açık gökyüzü' seçildi ve alan ölçümü 13 Ağustos, saat 09:00, 12:00, 15:00 ve 18:00'de yapılmıştır (Şekil 4.18).

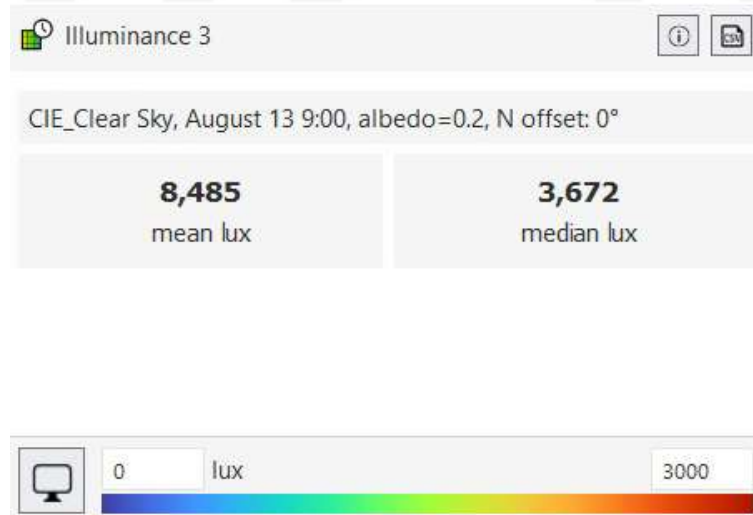


Şekil 4. 18 : Analizin türü, gökyüzü durumu, istenen analizin tarihi ve saati.

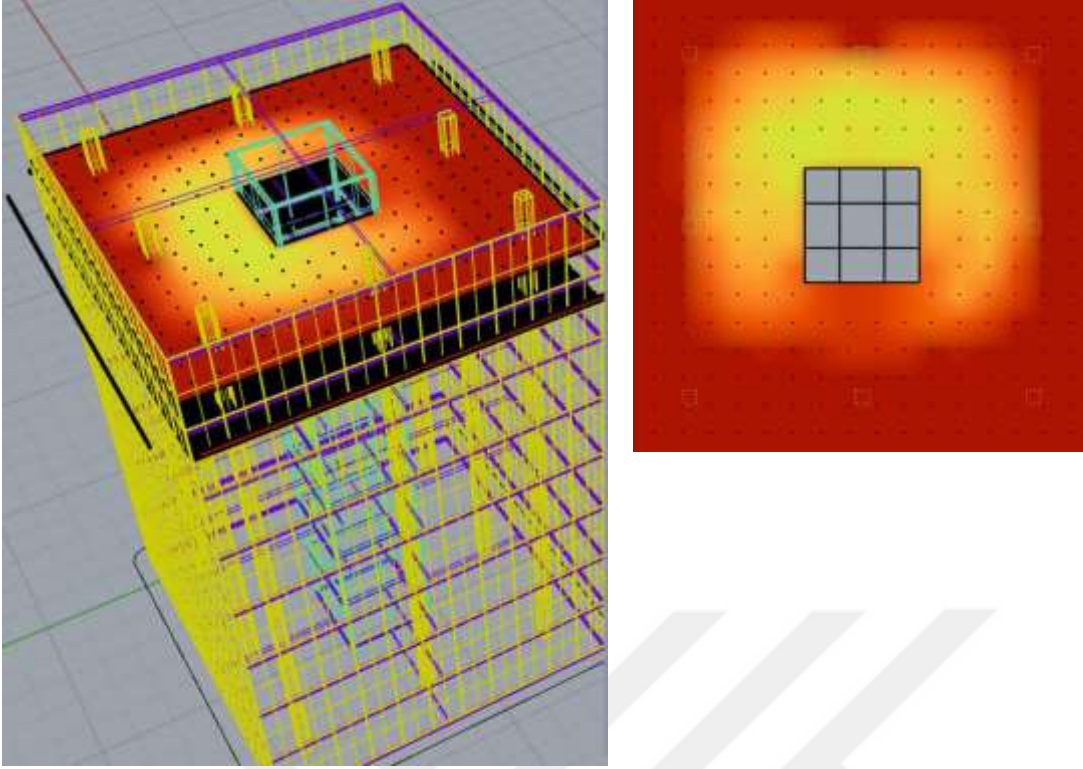




Şekil 4. 19 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 09:00).



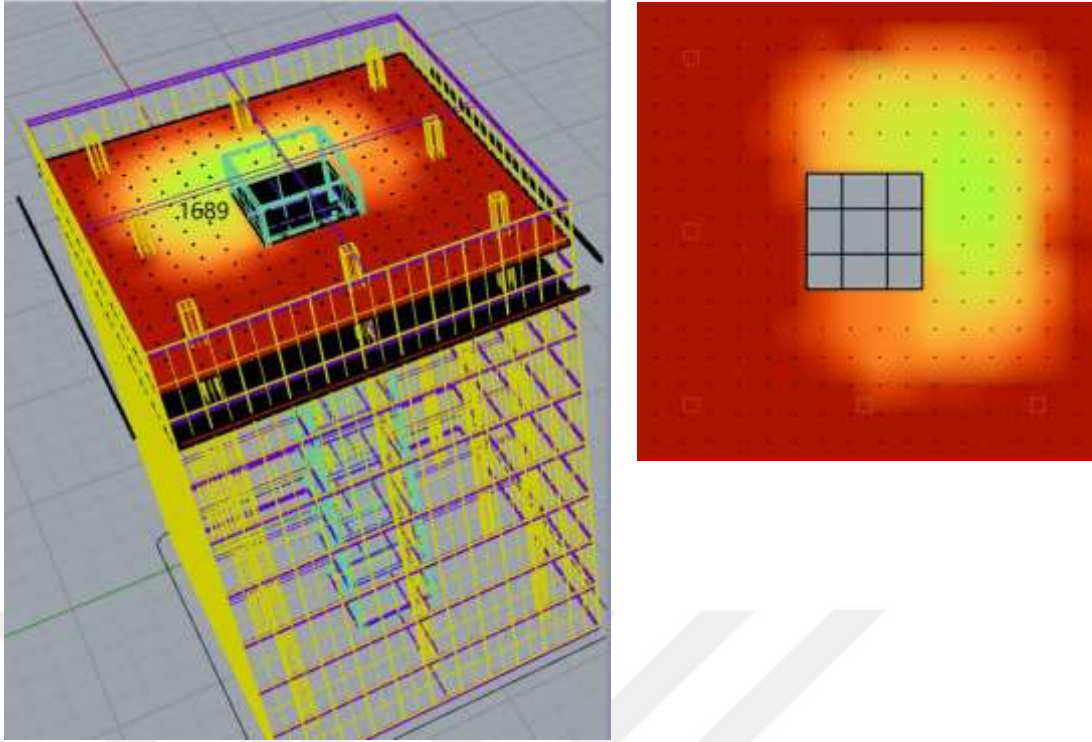
Şekil 4. 20 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 09:00).



Şekil 4. 21 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 12:00).



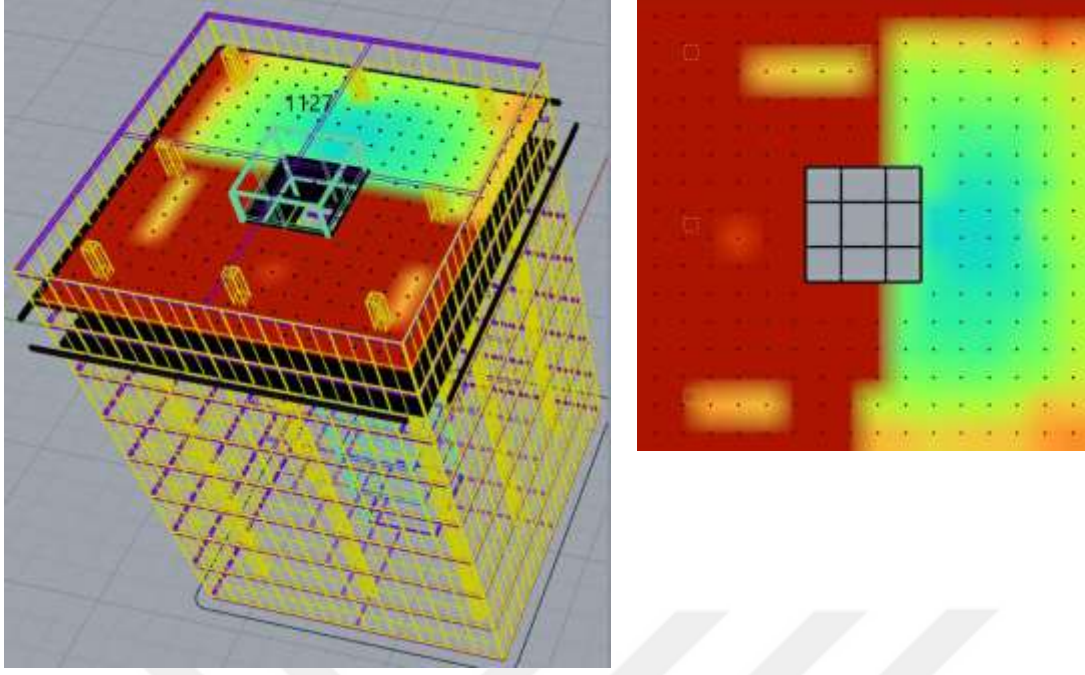
Şekil 4. 22 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 12:00).



Şekil 4. 23 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 15:00).



Şekil 4. 24 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 15:00).



Şekil 4. 25 : Çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 18:00).



Şekil 4. 26 : Aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 18:00).

Ardından, 300 ve 1500 lüksün atandığı minimum ve maksimum parlaklığı tanımlamasını istediği birkaç dakika sonra simülasyonu çalıştırılır. Analiz sonuçları seçilen zemin yüzeyinde görüntülenir ve her düğüm aldığı lüks miktarını gösterir (Şekil 4.19-4.26).

Günişliğinde Kullanılabilirlik (DAV), hem belirli koşullar altında hem de tüm yıl boyunca günişliğinden kaynaklanan iç mekan aydınlatma dağılımını kat düzleminde gösterir. DAV analizinin amacı, günişliği yeterliliğini kat bazında göstermektir.

Günişliğinde Kullanılabilirlik (DAV), Günişliği Otonomisi (DA) ve Faydalı Günişliği Aydınlightının (UDI) birleşimidir. Bu metrik, yerel hava durumu verilerinden yararlanır ve saatlik zaman serilerine dayalı aydınlık profillerini değerlendirir (Reinhart & Wienold, 2010).



**Şekil 4. 27 :** Daylight Availability (DAV) analiz sonucu.

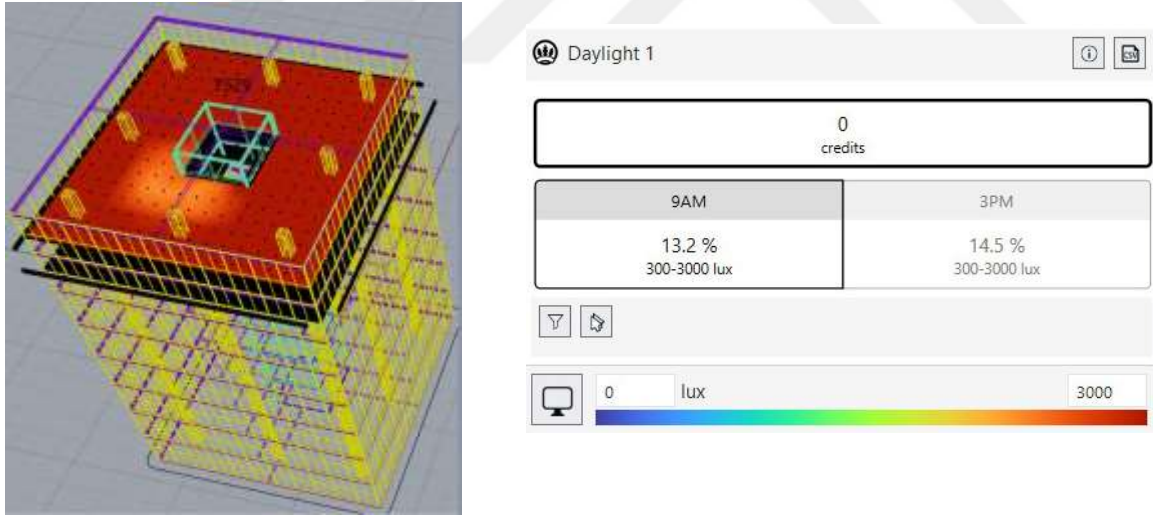
Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED), ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından sürdürülen bir yeşil bina derecelendirme sistemidir. Sistem, Günişliği Kredisini elde etmek için simülasyon tabanlı iki seçenek sunar. Seçenek 1, tüm yıl boyunca günişliği kullanılabilirliğini (DAV) simüle eder (Şekil 4.27). Seçenek 2 ise, zaman içinde iki belirli anda günişlightının mevcudiyetini simüle eder: ekinoksta sabah 9 ve akşam 3.

|                | Version 4.0 | Version 4.1 |
|----------------|-------------|-------------|
| sDA $\geq$ 40% | -           | 1 point     |
| sDA $\geq$ 55% | 2 points    | 2 points    |
| sDA $\geq$ 75% | 3 points    | 3 points    |

**Şekil 4. 28** : LEED v4 sDA için kredileme tablosu (URL-3).

Uzamsal Güneşli otonomisi (sDA): zemin alanının kullanılan güneşli yüzdesidir. Yalnızca güneşli kullanan hedef aydınlatma düzeylerini (300 lux) karşılayan yerlerdir. sDA hesaplamaları, yıl boyunca binlerce farklı gökyüzü koşulunun yıllık, iklim tabanlı simülasyonlarına dayanmaktadır (Şekil 4.28).

Analiz sonucunda krediler, tüm kat planının toplam mekansal güneşli otonomisine (sDA) dayanmaktadır. Çok fazla doğrudan güneş ışığı (ASE) alan alanlar, için % 10'un üzerindeki ASE değerlerinin, gönderilen raporun bir parçası olarak yazılı olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



**Şekil 4. 29** : Daylight Availability (DAV) analiz sonucu.

Kazanılan kredilerin sayısı, güneşliğin iş görevleri için ne çok loş ne de görsel konfor için çok parlak olduğu bir Goldilocks bölgesi olan 300 ile 3000 lüks arasında zemin alanının yüzdesine dayanmaktadır. 09:00 ve 15:00 koşullarının her ikisi de en az %75 uyum alanına ulaşırsa bir puan verilir. Her iki alan da %90'a aşarsa iki puan verilir.

300 ile 3000 lüks arasında alan düğümlerin yüzdesi sabah 09:00 için %13,2 ve saat 15:00 için %14,5'tir (Şekil 4.29).

#### 4.6.1 Binanın mevcut durumu için analiz sonuçları

Daylight Availability (DA) Analizi: Ortalama günışığı kullanılabilirliği saat sabah 09:00'da %13,2'dir. Günışığının ne çok loş ne de görsel konfor için çok parlak olduğu bir 300 ile 3000 lüks aralığına sahip bölgede DA, zemin kat alanının yüzdesine bağlı olarak ölçülmektedir. Günışığının doğru kullanımı sadece enerji tüketimini etkin bir şekilde azaltmakla kalmaz, aynı zamanda iç mekan görsel konforunu da artırır.

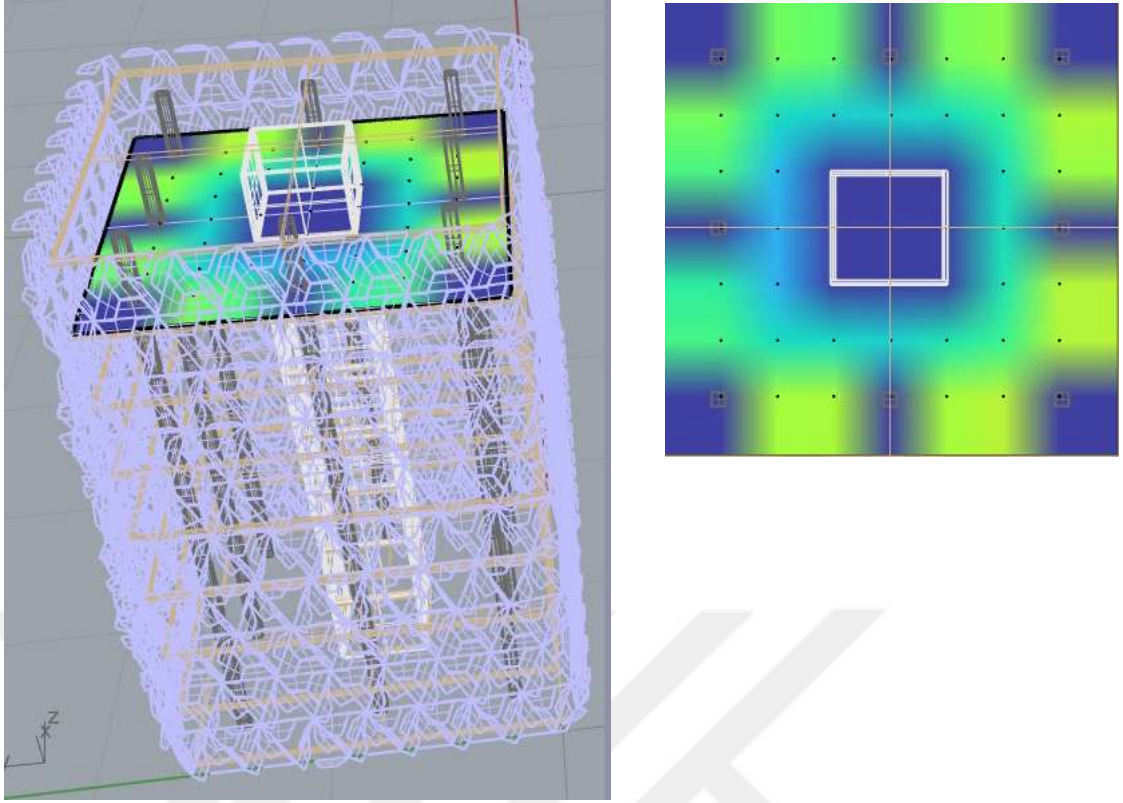
Revit'de modellenen birincil cam cepheli ofis binası için günışığı dağılım analizlerine göre ortalama lux değerleri oldukça yüksektedir (Çizelge 4.1).

| Parametrik cephe uygulamasından önce | 9:00 ÖÖ | 12:00 ÖS | 3:00 ÖS | 6:00 ÖS |
|--------------------------------------|---------|----------|---------|---------|
| Mean lux                             | 8,485   | 6,914    | 20      | 4,12    |
| Median lux                           | 3,672   | 3,405    | 3,675   | 2,855   |
| Daylight Availability (DA)           | 13,2%   |          | 14,5%   |         |

Çizelge 4. 1 : Parametrik cephenin uygulamadan önceki analiz sonuçları.



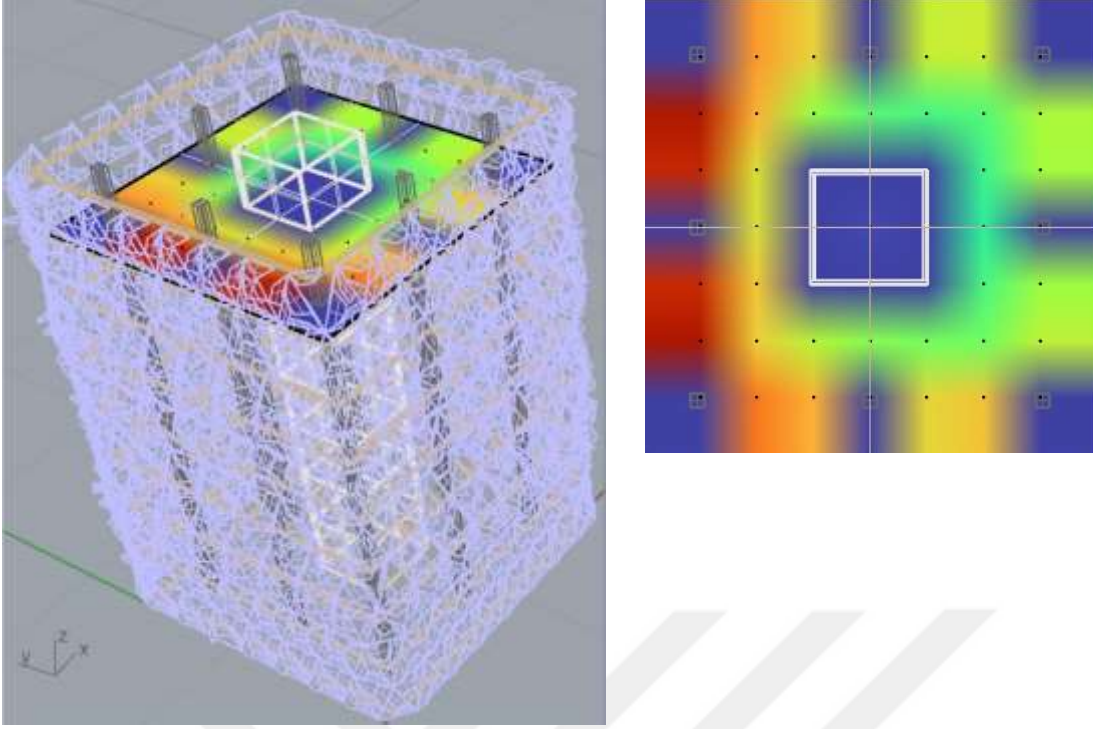




Şekil 4. 32 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 12:00).



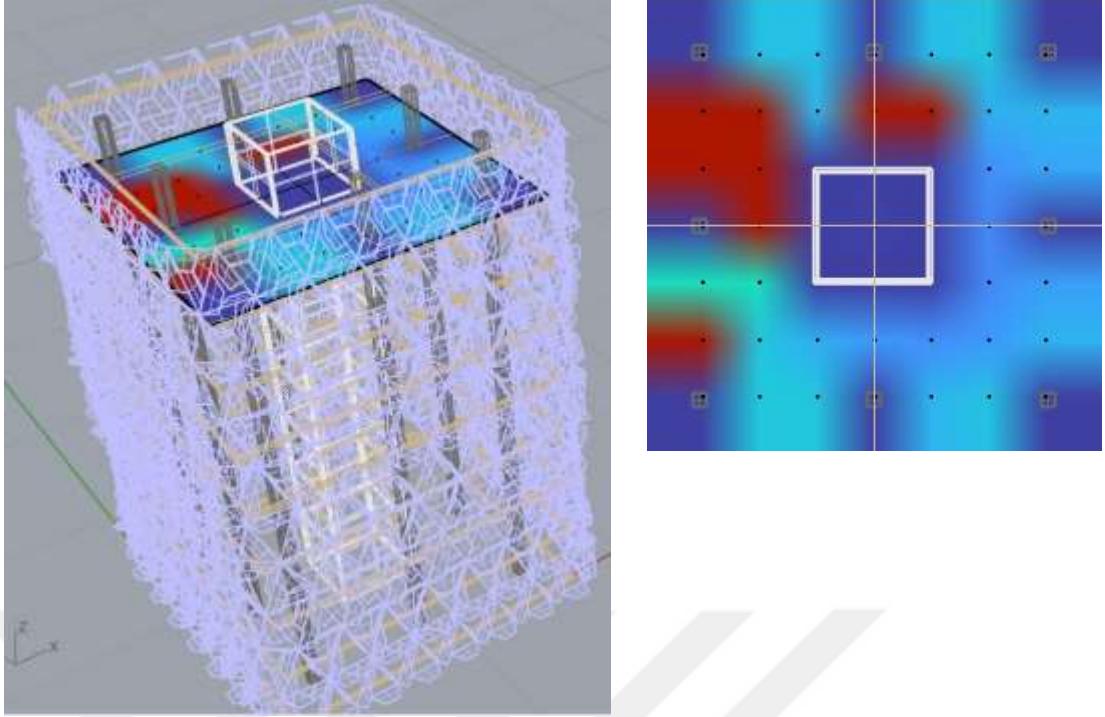
Şekil 4. 33 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 12:00).



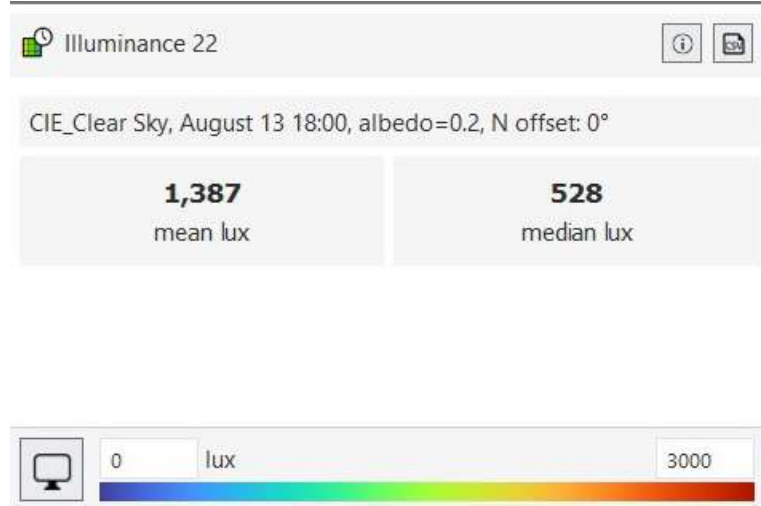
Şekil 4. 34 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 15:00).



Şekil 4. 35 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 15:00).



Şekil 4. 36 : Parametrik cephe ile birlikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (13 Ağustos, 18:00).



Şekil 4. 37 : Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonucu (13 Ağustos, 18:00).

#### 4.6.3 Parametrik cephe uygulamasından sonraki analiz sonuçları

Adaptif cephenin uygulanmasıyla ortalama günışığı aydınlatma seviyeleri (Lux değeri) önemli ölçüde iyileştirilmiştir (Çizelge 4.2). Karşılaştırmalı Çizelge 4.3'e bakıldığında, parametrik cephenin uygulamadan önceki ve sonraki durumunda özellikle 09:00 ve 12:00 saatlerinde yüksek derecede iyileşme sağlanmıştır. İç ortamı Günışığı kullanılabilirlik ölçümleri, LEED seçenek 2'ye göre saat 09:00 ve 15:00'e göre analiz edildiğinde toplam alanda günışığı dağılımı kabul edilebilir ve yeterli seviyeye ulaşmıştır. %50'den fazla günışığı alan alanlar, kabul edilebilir günışığı performansı elde etmek için yeterli kabul edilir (Sherif ve diğerleri, 2012).

| Parametrik cephe uygulamasından sonra | 9:00 ÖÖ | 12:00 ÖS | 3:00 ÖS | 6:00 ÖS |
|---------------------------------------|---------|----------|---------|---------|
| Mean lux                              | 931     | 730      | 2,210   | 1,387   |
| Median lux                            | 1,083   | 860      | 1,320   | 528     |
| Daylight Availability (DA)            | 46,9%   |          | 51,0%   |         |

Çizelge 4. 2 : Parametrik cephenin uygulamadan sonraki analiz sonuçları.

| Point-in time illuminance             |            | 9:00 ÖÖ | 12:00 ÖS | 3:00 ÖS | 6:00 ÖS |
|---------------------------------------|------------|---------|----------|---------|---------|
| Parametrik cephe uygulamasından önce  | Mean lux   | 8,485   | 6,914    | 6,971   | 4,120   |
|                                       | Median lux | 3,672   | 3,405    | 3,675   | 2,855   |
| Parametrik cephe uygulamasından sonra | Mean lux   | 931     | 730      | 2,210   | 1,387   |
|                                       | Median lux | 1,083   | 860      | 1,320   | 528     |

Çizelge 4. 3 : Karşılaştırmalı analiz sonuçları.

Günışığı kamaşma oranları ile bina sakinlerinin hissettikleri bir çalışmada karşılaştırılmış ve güneşli günlerde yapılan kamaşma hesaplamaları, günışığı kamaşma indeksi yüksek çıkmasına rağmen ofis çalışanları için rahatsızlık düzeyinde olmadığı, çalışanların bu durumu tolere ettikleri ortaya konmuştur. Erken tasarımın temel amaçları; günışığının en üst düzeye çıkarılması, kamaşmanın önlenmesi ve aydınlık düzeyinin iyileştirilmesidir.

Araji M.'ye göre, %2 ile %5 oranında Günışığı Faktörü iyi seviyede aydınlanma oranını ifade ederken oranın % 10'un üstüne çıkması ise görsel konforsuzluğu arttırmakta ve kamaşma problemlerini ortaya çıkarmaktadır (Araji M. T., 2008).

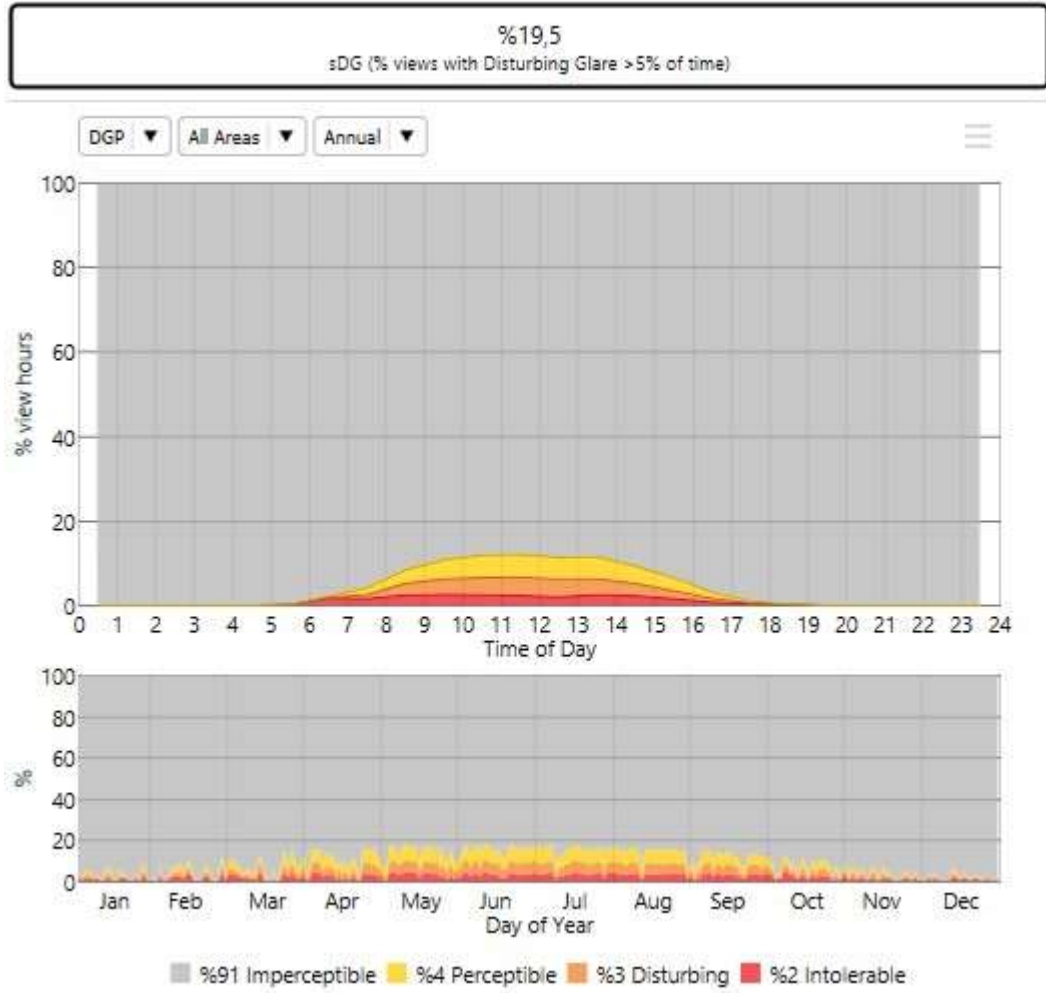
Alanların fonksiyonuna göre belirlenen izin verilebilir maksimum kamaşma indeksi (DGImax) değeri sonucunda, yapay ışık kaynakları ile aydınlatılan hacimlerle günışığı ile aydınlatılan hacimlerde birbirinden farklıdır (Robbins, 1986).

Çizelge 4.4'te günışığı ile aydınlatılan alanlarda izin verilebilir kamaşma indisi değerleri görülmektedir. DGImax değerinin 24'ün üzerinde çıkması durumunda konforsuzluk oluşmaktadır.

| <b>Günışığı Kamaşma Konfor Seviyeleri</b>                  | <b>DGImax</b> |
|--|---------------|
| Genel hacimler   | 24            |
| Kısa süreli kullanılan hacimler                            | 26            |
| Seyrek olarak görsel iş görülen hacimler                   | 22            |
| Kontrastın veya boyutların büyük olduğu görsel işler       | 20            |
| Kontrastın orta, boyutların küçük olduğu görsel işler      | 18            |
| Kontrastın küçük, boyutların çok küçük olduğu görsel işler | 16            |

**Çizelge 4. 4 :** Günışığı ile aydınlatılan hacimlerde izin verilebilir maksimum.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen modelde Günışığı Kamaşması İndisi (DGI) fonksiyona göre değişiklik göstermekte olup, iklimsel bölgeye göre ise değişiklik göstermediği kabul alınmıştır. Ayrıca modelde DGImax konfor sınır değerleri, ofis için 22 olarak alınmıştır. Şekil 4.38'de parametrik cephenin uygulanmasından sonra alınan günışığı kamaşma analiz sonucuna göre kabul edilebilir kamaşma miktarına yaklaşılmıştır. Yine de kamaşma kat bazında mevcuttur (Şekil 4.39). Bu seviyenin iyileştirilmesi daha önceli bölümlerde de bahsedildiği gibi birçok faktöre bağlıdır. Günışığı kullanılabilirlik (DAV) miktarı iyileştirildikçe kamaşma problemini de ortaya çıkarabilir.



Şekil 4. 38 : Parametrik cephe ile birlikte günışığı kamaşma analiz sonucu.



Şekil 4. 39 : Plan düzleminde günışığı kamaşma analiz gösterimi (13 Ağustos, 09:00).

## 4.7 Değerlendirme ölçütleri

Varsayımsal bir ofis binası (parametrik cephe kabuğu bulunmayan) ve parametrik cephe kabuğu ile birlikte ele alınan model için görsel performansını karşılaştırmak ve değerlendirmek için İstanbul iklim koşullarında bir ofis binası tasarlanmış ve Grasshopper arayüzü ile modellenmiştir. Grasshopper arayüzünün çalışma prensibi ve varsayımsal binaya ilişkin modelleme esasları bağlamında geliştirilen simülasyon çalışmasına ait metodoloji önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

### 4.7.1 Görsel performans değerlendirme ölçütleri

Analiz karşılaştırmalarına istinaden günışığı değerlendirmesinde en kritik konu, ofis çalışanları için görsel konforu ve optimum aydınlık düzeyi sağlamak için bazı faktörlerin değerlendirilmesidir. Binalarda tavsiye edilen değerlerden daha yüksek aydınlık düzeyleri, artan memnuniyeti de beraberinde getirmektedir. Yüksek aydınlık düzeyi daha iyi görsel performans sağlamaktadır. Fakat yüksek aydınlık düzeyi beraberinde görsel konforsuzlukları da getirebilir. Genel standartlara göre ofis alanları için tavsiye edilen ortalama aydınlık düzeyi değeri 300-500 lux seviyesindedir (Erdem L., 2007).

Tez çalışmasında tasarlanan parametrik cephe entegreli ofis binası modelinde aydınlık düzeyi değerleri, tasarımcı eğilimi ve fonksiyona göre değişiklik gösterirken, iklimsel bölgeye göre ise değişiklik göstermediği baz alınmıştır. Model girdisi, aydınlık düzeyi değerlerinin minimum değerlerin altına düşmeyeceği kabul edilerek geliştirilmiştir.

Günışığı faktörü değerlendirmelerinde %2'nin altında ve %5'in üstünde bina sakinlerinde memnuniyetsizliğin arttığına daha önceki bölümlerde değinilmişti. %2 ile %5 oranında günışığı faktörü iyi seviyede aydınlanma oranını ifade ederken % 10'un üstüne çıkması görsel konforsuzluğa sebep olmakta ve kamaşma problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Geliştirilen modelde günışığı faktörünün bu aralıkta olduğu varsayılmaktadır.

Görsel performans analizi, günışığı düzeylerinde optimum saat\açı ve optimum saat\açı için iç ortamda oluşan kamaşma düzeyleri olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Daha sonra analizler için kat düzleminde aydınlık dağılımlarına bakılmıştır. Aydınlık düzeyi, birim alana düşen ışık akısı olarak tanımlanır ve birimi lux'tür. Gözün görme

yeteneği ile doğrudan bağlantılı olan aydınlık düzeyi, iç mekanda görsel konfor koşulların sağlanabilmesi için optimum aydınlık düzeyi değerlerini iyileştirmeye çalışır.

13 Ağustos tarihinde saat 09.00'dan 18.00'a kadar olan dört saat için İstanbul iklim verileri baz alınarak gnişiği simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon süreside göz önünde bulundurularak daha iyi sonuç almak için gridi oluşturan noktalar arası uzaklık 0.2 m olarak alınmıştır.

İç mekanlarda görsel konfor genellikle kamaşma endeksleriyle ifade edilmektedir. İç ortam gnişiği için, en çok analizi yapılan kamaşma endeksleri, Gnişiği Kamaşma Endeksi (DGI) ve Gnişiği Kamaşma Olasılığı'dır (DGP). Hopkinson (1972) tarafından dikey açıklıklardan gelen dağınık gnişiğinden (DGI) olarak tanımlanan kamaşma geliştirilmiştir. DGI değerleri <18, algılanamaz olarak algılanırken,> 31 değerleri kabul edilemez.

13 Ağustos gününün dört saati için yapılan gnişiği aydınlık değer analizleri için her saat diliminde parametrik cephenin yaptığı farklı hareket değişimlerinin oluşturduğu dört durumun sonuçları analiz edilmiştir. Dönme hareketi, günün farklı saat aralıklarında açıları değişerek iç mekan konforunu optimize etmektedir. Parametrik cephe ile birlikte aydınlık düzeyini gösteren analiz sonuçlarında zemine düşen gnişiği dağılımları hesaplanarak karşılaştırmalı değerlendirilmiştir. Sonuçların parametrik cephesi olmayan binada aydınlık değerine göre iyileştiğini görmekteyiz. Analizin sonuç panelinde, simüle edilen son kat zemin alanı için ortalama ve medyan aydınlık değerleri gösterilmiştir.

Panellerin dönme hareketi, kat düzleminde optimum gnişiği aydınlık değerini elde etmek için uygun aılar ile optimize edilmiştir. Böylece kabul edilebilir gnişiği performansı analiz sonuçlarında da grldğu gibi elde edilmiştir. Parametrik cephe bina yüzeyine uygulandıktan sonra ortalama gnişiği aydınlık düzeyleri değerlendirildiğinde, ortalamaların yüksek olmasına karşın özellikle 09:00 ve 12:00 saatlerinde aydınlık düzeyi seviyelerinin oldukça dştğu gözlemlenmektedir. Genel olarak sonuçlar, parametrik cephe formu ve hareket açılarının ofis alanlarının genel gnişiği performansı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde doğal kaynakların azalması ve iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği kaynakların verimli kullanımı konuları çokça tartışılmaktadır. Bu sebeple, sürdürülebilirlik yaklaşımları gereklilik haline gelmiş olup, pasif tasarım olanaklarının verimli kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Küresel enerji tüketiminde binalar önemli bir alana sahip olması nedeniyle, tasarımcılar enerji etkinliğin ön planda olduğu tasarımlar üretmeye odaklanmışlardır. Dış ve iç mekanı birbirinden ayıran bina kabuğu, enerji tüketimini azaltmak için geleneksel statik bina kabuğundan adaptif bina kabuk tasarımlarına doğru evrilmiştir. Adaptif bina kabukları, değişen dış mekan koşullarını bina kullanıcıları için daha konforlu iç ortam koşulları yaratmak için binaya adapte etmektedir. Günümüz koşulları sürekli bir değişkenlik göstermekte olduğu için farklı parametrelere göre uyarlanabilen cephe tasarımlarına ilgi giderek artmaktadır. Değişen dış koşullara göre hareket edebilen adaptif cephe kabukları, düşük enerji tüketimi ile binanın enerji, ısı, ışık ve hava akışını kontrol edebilme yeteneğine sahiptir. Adaptif cepheler, cephe kabuğunun bina performansına etkisini önemli ölçüde değiştirebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, İstanbul'daki yüksek katlı bir ofis binası için adaptif cephelerin enerji verimliliği potansiyelini araştırmaktır. Bina kabukları enerji tüketim bütçesini önemli ölçüde etkilemesi sebebiyle verimli cephe kabuğu tasarımları ile özellikle yaz aylarında iç mekan konforu iyileştirilebilir ve klima kullanım miktarı azaltılabilir hale gelmiştir. Tasarımcılar, iç mekan konfor seviyesinin artması ile daha fazla çevresel koşullara yanıt veren performatif cephe tasarımlarına odaklanmaktadır. Böylelikle daha dinamik ve çeşitli koşullara optimum düzeyde yanıt vererek adapte olabilen cephe modül tasarımları için mimarlar ve tasarımcılar parametrik tasarımlara yönelmiştir. Parametrik tasarım, mimarların problemlerin nedeni ve diğer unsurlarla ilişkisini doğrudan incelemesini ve çoklu alternatifli çözümler üretmelerini sağlamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen model tasarımı parametrik modelleme aracı

olan Grasshopper'da yapılmıştır. Böylece cephe modülleri daha dinamik ve adaptif hale gelerek iç mekan konfor seviyesini arttırabilme olanağına sahiptir.

Erken tasarım aşamasında, bina performansını en iyi düzeye çıkarabilmek için bina çevre simülasyonları, tasarım sürecinde önemli bir yere sahiptir. Ancak, bu simülasyon araçları, senaryo tabanlı bir süreç olduğu için deneme yanılma yaklaşımı ile sonuç vermektedir. Bu sebeple, çeşitli cephe tasarım alternatiflerini otomatik oluşturabilen bir hesaplama aracının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Hesaplamalı tasarım araçlarının adaptif sistem tasarım sürecine etkisi bu tez çalışmasının en temel konusudur. Parametrik tasarım araçlarının performansa dayalı sistemler üzerindeki etkileri ile farklı geometrilerin oluşturulmasında kontrolü sağlayan algoritmalar ile tasarım denemeleri yapılmıştır. Çalışmanın asıl amacı, ofis binaları için verimli günışığı analizleri ile çeşitli koşullara göre adapte olabilen ve parametrik araçlar ile cephe modül tasarımı geliştirmektir. Cephe modül geometrisi, cephe fonksiyonu ve günışığı arasındaki ilişkiyi parametrik yöntemle değiştirebilmektedir.

Dijital teknolojinin mimaride uygulanma olanaklarının gelişmesi sayesinde performans analizleri ile tasarımı etkin bir şekilde optimize etmek mümkün hale gelmiştir. Performans simülasyon araçları ile günışığı analizleri yapmak daha pratik hale gelmiştir. Bu tez çalışmasında geliştirelen cephe tasarım modeli daha sonra Grasshopper programının eklentisi olan ClimateStudio ile günışığı analizleri yapılarak performans optimizasyonu sağlanmıştır. Günışığı performansı için adaptif cephe kabuk modelini simülasyon programı sayesinde çeşitli günışığı analiz kategorilerinde analiz ederek bu tez çalışması sonucunda karşılaştırmalı tablolar verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, üç farklı tasarım tekniği birbiri ile bütünleştirilerek çalışma sonunda karşılaştırılmıştır. İstanbul'da bulunduğu varsayılan açık ofis bina modelini simüle etmek için Revit programı seçilmiştir. Daha sonra performatif cephe tasarımı için Rhino/Grasshopper arayüzü seçilmiştir. ClimateStudio, günışığı analizi için kullanılarak tüm bu araçların kullanımı, mimarlar için kavramsal tasarımda iyi bir rehber olacağı da öngörülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, İstanbul'da varsayımsal bir ofis binası için birincil olarak cam cepheye sahip, çalışma süresi boyunca doğrudan güneş ışınlarını ve kamaşmaya maruz kalan ofis çalışanları için daha verimli bir çalışma alanı oluşturmak için performatif

bir cephe tasarlamaktır. Cephe parametrik yöntem kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışmada ayrıca, bina tasarımında gerçek zamanlı değişikliklerin incelenmesinde parametrik tasarımın önemini ve karmaşık geometrik formlar oluşturmada işlevsellik ve verimlilik düzeyini belirlemek için parametrik tasarım araçlarının kullanımı teşvik edilmiştir. Ofis mekanlarında günışığı çok önemli olduğu için, çalışanların verimliliğini arttırdığı, moralini yükselttiği ve sağlığını koruduğu için günışığı parametreleri üzerinde durulmuştur.

Model, doğrudan günışığını önlemek için güneş yönelimine göre tepki olarak dönen panellerden oluşmaktadır. Panellerin malzemesi ETFE'dir ve bu malzeme seçim nedeni ise panellerin tam kapalı olsa bile iç mekanın görülebilmesidir. Tasarlanan ikincil kabuk, binanın varolan birincil kabuğunun 1 metre dışına yerleştirilmiş ve bağımsız bir çerçeve içinde desteklenmiştir. Paneller, bina yönetim sistemi ile kontrol edilen güneşin hareketine yanıt verecek şekilde programlanan bir otomasyon sistemine sahiptir. Bir sonraki adım, sonuçları karşılaştırmak için tasarlanan adaptif cephenin uygulanmasından önce ve sonraki modelin ClimateStudio programı ile binanın günışığı seviyesi için analiz edilmesidir. Ofis binaları için en iyi günışığı seviyesi 300 ile 1500 lüks arasındadır ve analiz sonuçlarında bu seviyelere ulaşmak optimal ve yeterlidir.

Panellerin dönme hareketi, kabul edilebilir günışığı performansının elde edilmesi için uygun optimize değerleri vermiştir. Özellikle 09:00 ve 12:00 saatlerinde aydınlık düzeyi seviyelerinin oldukça düştüğü gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, parametrik cephe formu ve açılarının ofis alanlarının genel günışığı performansı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir. Dönme hareketinden kaynaklanan günışığı aydınlatmasının karşılaştırmalı analizleri, her bir hareket türünün güneş açılımlarına göre her zaman en iyi şekilde nasıl performans gösterebileceğini gösterir.

Analizler 13 Ağustos tarihi için dört zaman diliminde yapılmıştır. Bu dört zaman periyodunda (9:00am, 12:00pm, 15:00pm ve 18:00pm), adaptif cephe modeli uygulamasından önce ortalama günışığı aydınlatması (Average daylighting illuminance), ofis alanı için çok yüksek aydınlık değerleri olan 3672, 3405, 3675 ve 2855 Lux idi. Parametrik cephe modeli uygulandıktan sonra, aynı saat dilimleri için ortalama günışığı aydınlatması 1083, 860, 1320 ve 528 Lux idi. Böylece ofis alanı için optimal düzeyde bir günışığı seviyesi elde edilmiştir. Böylece, güneş ışınlarına tepki veren parametrik adaptif cephe, doğrudan güneş ışınını engellediği gibi

kamaşmayı da azaltmıştır. Günişığına göre adaptif olarak hareket eden cephenin uygulanmasıyla ortalama aydınlatma seviyesi, ofis alanları için yeterli bir aydınlatma seviyesi olan 300 ile 1500 lux arasındadır, bu da yapay aydınlatmanın ve CO2 emisyonlarının olabildiğince azalmasında etkili olduğunu analiz sonuçlarında görölmektedir.

Analiz sonuçları ile parametrik tasarımın kullanılmasının, geleneksel CAD programlarıyla pek mümkün olmayan performans tabanlı bir cephe tasarım olanaklarının mümkün olduğu kolayca görölmektedir. Parametrik tasarımda, herhangi bir zaman diliminde güneşin konumuna göre, her panelin güneş ışınlarına cevap verebilmeleri mümkün olmuştur.

Tez çalışmasının sonucunda, parametrik araçların kullanımının, tasarım sürecinde mimarlara iyi bir rehberlik sağlayacağı ve nispeten yeni ve sınırlamalara sahip olan bu programların teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha detaylı ve verimli sonuçlar vereceği öngörülmektedir. Gelecekteki araştırmalar için güneşe göre yönelim sağlayan bu parametrik panellere fotovoltaik malzeme yerleştirmek ve binanın toplam enerjisini hesaplamak için termal analizlerin yapılması da mümkündür. Daha dinamik hale getirilecek iç ortam konfor koşulları ile enerji tüketimi minimum düzeye getirilerek maliyetlerin düşürülmesi konuları gelecekteki araştırmaların gündemini oluşturacaktır.

## KAYNAKLAR

- Aelenei, L., Brzezicki, M., Knaack U., Luible, A., Perino, M., & Wellershoff, F.** (2015). COST Action TU1403 - Adaptive Facades Network. In: Aelenei, L., Brzezicki, M., Knaack U., Luible, A., Perino, M., & Wellershoff, F., *Adaptive façade network* — Europe. Delft: TU Delft Open
- Aksamija, A.** (2013). Sustainable Facades: Design Methods for High-Performance Building Envelopes. Wiley edit. 256p.
- Al-Masrani, S.M., Al-Obaidi, K.M., Zalin, N.A., & Isma, M.I.** (2018). Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. *Solar Energy*.
- Arpacioğlu, Ü.** (2010). *Günişığı Öncelikli Fiziksel Çevre Tasarım Destek Modeli*. (Doktora Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Attia, S., Favoino, F., Loonen, R., Petrovski, A., & Monge-Barrio, A.** (2015). Adaptive Façades System Assessment: An initial review. In *Advanced Building Skins* (pp. 1265-1273). Munich, Germany: 978-3-98120538-1.
- Başarır, Bahar & Altun, M.** (2017). A Classification Approach for Adaptive Façades.
- Bayazit, N.** (2004). Investigating design: A review of forty years of design research. *Design Issues*, 20(1), 16-29.
- Birangal, Gitanjali & Admane, Dr & Shinde, S.S.** (2015). Energy Efficiency Approach to Intelligent Building. *International Journal of Engineering Research*. 4. 389-393. 10.17950/ijer/v4s7/711.
- Caetano, Inês & Santos, Luis & Leitão, António.** (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. 10.1016/j.foar.2019.12.008.
- Cross, N.** (1997). Descriptive models of creative design- application to an example. *Design Studies*, 18, 427-455.
- Cross, N.** (2001). Designerly Ways of Knowing: Design Dicipline versus Design Science. *Design Issues*, Volume:17, Number:3, 49-55.
- Chalabee, H.** (2013). Performance-based Architectural Design: Optimization of Bulidng Opening Generation using Generative algorithms. University of Sheffield, Master Thesis. 50p.
- Çolakoğlu, B.** (2011). Özel Dosya: Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2010: Teknolojiler, Yöntemler ve Bilgi Yönetimi İşlemsel: Bilim-Tasarım-Düşünce ve Mimarlık, METU. JFA, 2, 10, 205-208.
- Dorst, K., & Cross, N.** (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problemsolution. *Design Studies*, 22, 425-437.

- Dunn, N.** (2012). *Digital Fabrication in Architecture*. Laurence King Publishing, London, 192p.
- Ercan, B.** (2013), A method for performance based design exploration: generating external shading units for an office building in Nicosia, Cyprus (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Hensel, Michael & Sunguroglu Hensel, Defne & Menges, Achim.** (2008). Material Performance. *Architectural Design*, 78. 34 - 41. 10.1002/ad.639.
- Hraska, Jozef.** (2018). Adaptive solar shading of buildings. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 9. 107-113. 10.1556/1848.2018.9.2.5.
- Jabbi, W.** (2013). *Parametric Design for Architecture*. Laurence King Publishing, London, 208p.
- Juaristi, M., Barrio, A.M., Knaack, U., Acebo, T.G.** (2018). “Smart and Multifunctional Materials and their possible application in façade systems”, *Journal of Facade Design and Engineering*, Vol 6. No 3. (FAÇADE 2018-Adaptive) 19-24.
- Karaağaç, S.** (2020). Uyum gösteren cepheler: Bir meta analizi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karakoç, E.** (2015). Performansa dayalı adaptif bina kabuğu tasarımı (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khoroshiltseva, Marina, Slanzi, Debora, & Poli, Irene.** (2016). A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices. *Applied Energy*, 1400-1410. doi:101016/j.apenergy201605015
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., and Auer, T.** (2014). Principles of Construction. In *Façades* (pp. 1-133): Birkhäuser.
- Knaack, U., Luible, A., Overend, M., Aelenei, L., Perino, M., Wellershof, F., and Brzezicki, M.** (2015). *Adaptive facade network Europe*.
- Kolarevic, B. & Malkawi, A. M.** (2005). *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*. 1st ed. London: Spon Press.272p.
- Kolarevic, B.** (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. 1st ed. New York and London: Spon Press.
- Kolarevic, B., Parlac, V.** (2015). Adaptive, Responsive Building Skins. In B. Kolarevic, V.Parlac (Eds.), *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change* (pp.69-100). New York: Routledge
- Kruger, C., & Cross, N.** (2006). Solution driven versus problem driven design: strategies and outcomes. *Design Studies*, 27(5), 527-548. doi: 10.1016/j.destud.2006.01.001
- Lawson, B.**, (2005). *Problems, solutions and The Design Process, How Designers Think*, ArchitecturalPress, Great Britain, 7, 121-125.
- Loonen, R., Trčka, M., Cóstola, D., and Hensen, J. L. M.** (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483-493. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016
- Luible A., Overend, M., Aelenei, L., Knaack, U., Perino, M., Wellershoff F.** (2015), *Adaptive facade network – Europe*. TU Delft fort he COST Action 1403 adaptive facade network

- Lynn, G.** (1999). *Animate Form*, First Edition, Princeton Architectural Press, New York.
- Mahmoud, A.H., & Elghazi, Y.** (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111-127.
- Mardaljevic, John & Andersen, Marilyne & Roy, Nicolas & Christoffersen, Jens.** (2012). Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?.
- Matin, N. H., & Eydgahi, A.** (2019). Learning modules for geometric pattern identification and mathematical modeling of facade systems. 2019 ASEE Annual Conference & Exposition. <https://monolith.asee.org/public/conferences/140/papers/26474/view>
- McNeel, R.** (2010). *Grasshopper-Generative Modeling with Rhino*, McNeel North America, Seattle, USA. In.
- Megahed, N. A.** (2017). Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy. *Architectural Engineering and Design Management*, 13(2), 130-146.
- Menges, A., & Ahlquist, S.** (2011). *Computational Design Thinking*.
- Mohamed, B.** (1990). Texas A&M University ProQuest Dissertations Publishing,
- Mohamad T. Araji & Mohamed Boubekri** (2008) Window Sizing Procedures based on Vertical Illuminance and Degree of Discomfort Glare in Buildings Interiors, *Architectural Science Review*, 51:3, 252-262, DOI: 10.3763/asre.2008.5130
- Moloney, J.** (2011). *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*. Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change, 1-178.
- Mutlu Avinç, G., and Arslan Selçuk, S.,** On the Evolution, *AM Journal*, No. 27, 2022, 57–74. doi: 10.25038/am.v0i27.493
- Ochoa, C. E., and I. G. Capeluto.** (2008). “Strategic Decision-Making for Intelligent Buildings: Comparative Impact of Passive Design Strategies and Active Features in a Hot Climate.” *Building and Environment* 43: 1829–1839. doi:10.1016/j.buildenv.2007.10.018.
- Oxman, R.** (2008). Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. *International journal of architectural computing*, 6(1), pp. 1-17.
- Oxman, R.** (2008). Towards a Performance based Generation and Formation Model in Architectural Design in *International Journal of Architectural Computing*, 2008, Vol. 6, Issue 1, pp. 1-17.
- Oxman, R.** (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229-265. doi: 10.1016/j.destud.2005.11.002
- Oxman, R.** (2012). *Novel Concepts In Digital Design, Contemporary And The Digital Design Process*, Architectural Press, 18-33.
- Piroozfar, P., Piller, F.** (2013). *Mass Customization and Personalisation in architecture and Construction*. Routledge, New York, 273p.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z.** (2013). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, 3(1), 7–31.

- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z.** (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, 3, pp.7-31.
- Jakubiec, J., & Reinhart, C.** (2012). The ‘adaptive zone’ – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. *Lighting Research & Technology*, 44(2), 149–170. <https://doi.org/10.1177/1477153511420097>
- Reinhart, C.F., & Wienold, J.** (2010). The daylighting dashboard – A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and Environment*, 46, 386-396.
- Ramzy, N., & Fayed, H.** (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*, 1(3), 170–177. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2011.07.004>
- Renner, G., & Ekárt, A.** (2003). Genetic algorithms in computer aided design. *Comput. Aided Des.*, 35, 709-726.
- Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S.** (2018). What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6(3), 65–76.
- Rowe, P. G.** (1998). *Design Thinking*, The MIT Press, London.
- Sariyıldız, I.S.** (2012). Performative computational design.
- Şenyurt, S. ve Altın, M.** (2020). Ofis yapıları için çevreyle uyumlu yapı dış kabuğu tasarım parametrelerinin enerji tüketimine etkisini belirlemede kullanılabilecek bir yaklaşım. *MEGARON*, Cilt:15, 1, 55-66.
- Schnädelbach, Holger.** (2010). *Adaptive Architecture - A Conceptual Framework*.
- Terzidis, K.** (2006). *Algorithmic Architecture*, First Edition, Taylor and Francis Group, New York.
- Thobaiti, A., & Mohammed, M.I.** (2014). Intelligent and Adaptive Façade System: The Impact of Intelligent and Adaptive Façade on The Performance and Energy Efficiency of Buildings.
- Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K.** (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy*, 81(3), 369-382. doi: 10.1016/j.solener.2006.06.015
- Velikov, K., and Thun, G.** (2012). Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. In F. Trubiano, *Design and Construction of High-Performance Homes: Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice* (pp. 75-92). Routledge.
- Velikov, K., & Thün, G.** (2013). Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. *Design and Construction of High Performance Homes* (s. 75-92). içinde London and New York: Routledge.
- Zorer, G.** (1992). *Yapılarda Isısal Tasarım İlkeleri*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Url-1** < <http://en.wikipedia.org/wiki/Istanbul>>, date retrieved 14/04/2015
- Url-2** < *Istanbul, Turkey - Detailed climate information and monthly weather forecast / Weather Atlas (weather-atlas.com)*
- Url-3** < *LEED v4 Daylight Option 1 — ClimateStudio latest documentation (climatestudiodocs.com)*