



**GÜNEŞ VERİLERİ BAĞLAMINDA OPTİMUM YAPI KABUĞU  
TASARIMI ODAKLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

**Meryem ALAGÖZ**

**DOKTORA TEZİ  
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2020**

Meryem ALAGÖZ tarafından hazırlanan “GÜNEŞ VERİLERİ BAĞLAMINDA OPTİMUM YAPI KABUĞU TASARIMI ODAKLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Başkan:** Prof. Dr. H. Güçlü YAVUZCAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Doç. Dr. Aslı ER AKAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Meryem ALAGÖZ

24/07/2020

# GÜNEŞ VERİLERİ BAĞLAMINDA OPTİMUM YAPI KABUĞU TASARIMI ODAKLI BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

(Doktora Tezi)

Meryem ALAGÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

## ÖZET

Güneş odaklı mimari tasarım, binalarda yüksek enerji tüketimine karşı gelişen bir mimari yaklaşımdır. Bu yaklaşımda kullanılan sayısal teknolojiler tasarımcılara, tasarım alanının tüm koşullarını parametrik olarak sağlayarak, binanın performansını eş zamanlı olarak test etme olanağı sunmaktadır. Erken tasarım aşamasında doğru kararlar almak amacıyla mimari tasarım sürecinde sayısal programlardan daha fazla yararlanılması gerekmektedir. Sayısal teknolojiler kullanılarak, optimum enerji kazancı sağlamak için alternatif biçimleri saptamak amacıyla Düzenli Modüler Form, Düzensiz Modüler Form ve Güneş Işınları Yöntemi gibi yöntemler geliştirilmiştir. Mevcut olan bu yöntemler yapıları çevrede kullanılırken, komşu binaları da göz önünde bulundurmak için uzun ve karmaşık algoritmik bağlantıların kullanıldığı ve yine bu algoritmik programlarla enerji analizlerinin yapıldığı görülmüştür. Bu bağlamda, erken tasarım aşamasında, güneş enerjisi verimliliği odaklı tasarım yaklaşımlarında, optimum sonuca ulaşmak için kolay ve hızlı çözüm yollarının olmadığı saptanmıştır. Bu problemi çözmek amacıyla, yapıları çevrelerde tasarlanan binaların, komşuluk ilişkileri bağlamında güneşten maksimum düzeyde yararlanabilmesi ve bununla birlikte binaların istenilen alanlarında güneşten optimum şekilde korunma için bir tasarım yöntemi önerilmiş ve bu yöntemi karışık algoritmik bağlantılar kurmadan en hızlı ve en kolay şekilde tamamlamak için bu çalışma kapsamında Sıkıştırılmış Kısa Yol araçları (SKY) geliştirilmiştir. Bulanık mantık tekniği ile karşılaştırılan tasarım yöntemlerinden Güneş Işınları Yönteminin, öneri yöntem için optimum çözüme rahat ulaşabilecek en uygun yöntem olduğu saptanmıştır. Öneri yöntemde, Güneş Kabuğu ve Güneş Işınları Yöntemlerinin beraber kullanımıyla yeni bir optimum kılavuz tasarım sınırına ulaşılmakta ve buna ulaşılırken geçilen tüm aşamalar geliştirilen SKY araçları vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Çalışma, Rhinoceros – Grasshopper ve Ladybug, ArchSim, Diva eklenti programları aracılığı ile tamamlanmıştır. Alan çalışmasında, mevcut yapı kabuğuyla, öneri yapı kabuğu kıyaslanmış ve enerji tüketim oranının yaklaşık %50 oranında azaltıldığı görülmüştür. Bu tez kapsamında geliştirilen algoritmik araçlar ile uygulanan öneri yöntemin, yapıları çevredeki tasarımların optimum enerjide olmasını sağlayan bir yöntem olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 80103  
Anahtar Kelimeler : Güneş Odaklı Mimari Tasarım, Performansa Dayalı Tasarım, Enerji Verimliliği, Parametrik Tasarım Araçları, Sıkıştırılmış Kısa Yol Aracı  
Sayfa Adedi : 246  
Danışman : Prof. Dr. Figen BEYHAN

# A METHOD PROPOSAL ON THE OPTIMUM BUILDING ENVELOPE DESIGN IN THE CONTEXT OF SOLAR DATA

(Ph. D. Thesis)

Meryem ALAGÖZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

## ABSTRACT

Solar- oriented architectural design is an evolving architectural approach to high energy consumption in buildings. The digital technologies used in this approach provide the ability to simultaneously test the performance of the building to the designers by parametrically providing all conditions of the design area. To make the right decisions in the early design phase, digital programs need to be used more in the architectural design process. Methods such as Regular Modular Form, Irregular Modular Form and Solar Rays Method have been developed to determine alternative forms for optimum energy gain by using digital technologies. While these existing methods were used in the built environment, it was observed that long and complex algorithmic connections were used to consider neighboring buildings, and energy analyses were also performed with these algorithmic programs. Moreover, during the early design phase, it was determined that there were no easy and quick solutions to achieve optimum results in solar energy efficiency-oriented design approaches. To solve this problem, a design method was proposed to make maximum use of the sun and to ensure optimum protection from the sun in the desired areas of buildings at the same time with in the context of neighborly relations. In addition, Compressed Shortcut Tools (CST) were developed in this study to complete the afore-noted method in the fastest and easiest way without establishing mixed algorithmic connections. Solar Rays Method, which is one of the design methods compared with fuzzy logic technique, was determined to be the most appropriate method that could easily reach the optimum solution for the proposed method. In the proposal method, a new optimum guide design limit is reached by the collective use of the Solar Envelope Method and Solar Rays Method. In addition, all steps are taken by means of the developed CST in this period. The study was completed through the Rhinoceros – Grasshopper and Ladybug, ArchSim, Diva plug-in programs. In the case study, the proposed building envelope was compared with the existing building envelope, and the energy consumption rate was reduced by about 50%. The proposed method implemented through the algorithmic tools that were developed within the scope of this thesis was found to be suitable for the use as a method of ensuring the optimum energy of the designs in the built environment.

Science Code : 80103

Key Words : Solar Oriented Architectural Design, Performance Based Design, Energy Efficiency, Parametric Design Tools, Compressed Shortcut Tool

Page Number : 246

Supervisor : Prof. Dr. Figen BEYHAN

## TEŞEKKÜR

İlk olarak, bana bu çalışmanın tamamlanmasında ve bunun da ötesinde manevi olarak da çok destek olan, her zor durumda kaldığımda o sıcacık gülüşüyle, o hayat dolu pozitif enerjisiyle beni rahatlatan, çok kıymetli değerli hocam Prof. Dr. Figen BEYHAN'a en içten minnettarlıklarımı sunuyorum.

Yapıcı yaklaşım ve önerileri ile Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK ve Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN'e gönülden şükranlarımı sunarım. Ayrıca, bu zorlu süreçteki yönlendirmeleriyle benim Gazi Üniversitesi'ndeki serüvenimi destekleyen değerli hocalarım Prof. Dr. Dicle AYDIN ve Prof. Dr. Mehmet UYSAL'a çok teşekkür ederim.

Çalışma sürecinde karşılaştığım her türlü sorunu çözmemde yardımcı olan İstanbul Rhinoceros Akademi kurumunun sahibi Sayın Cem DÖNMEZ'e teşekkür etmeyi bir borç addediyorum. Zor zamanımda yardımlarını esirgemeyen Avrasya Üniversitesi'nden Atabak KHOSRAVI ve Portekiz Iscte-iul Üniversitesi'nden Canan COLAÇO hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum. Yine tez çalışmamı geliştirmemde yardımcı olan, 9 aylık çalışma olanağı bulduğum Polonya West Pomeranian University of Technology Üniversitesi'nde bana her konuda gösterdiği yardım ve katkıları için Prof. Dr. Krystyna JANUSZKIEWICZ ve Yük. Mimar Marek ANTOSZCZYSZYN'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Barcelona IAAC Üniversitesi öğretim üyeleri Sayın Begle MORITZ ve Sayın Stephanie BACHIR'e ve şu an Foster Grup'ta mimar olarak görev yapan öğrencileri Sayın Carlos Bausa MARTINEZ'e bana kıymetli bilgilerini verdiği için teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışma sürecinde karşılaştığım zorlu aşamalarda bana motivasyon desteği olan başta Arş. Gör. Aysu ÖZDOĞAN, Öğr. Gör. Neslihan YANAR, Arş. Gör. Sevim Gülen ÖZAKTAN, Arş. Gör. Elif BÜLÜÇ, Arş. Gör. Sevede DERMAN SİDDİQUI ve Arş. Gör. Pelin SARICIOĞLU olmak üzere tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve Konya Selçuklu Belediyesi İmar Müdürü Sayın Mimar Hüseyin ÇOPUR'a şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi, bu en yorucu yolculuk süresince de bana destek, anlayış ve sabırlarını esirgemeyen sevgili annem Ayla ALAGÖZ ve babam Mustafa ALAGÖZ'e en içten sevgilerimi sunuyorum. İyi ki benim ailesiniz.

Çalışmalarım sırasında küçük ya da büyük yardımını esirgemeyen herkese minnetlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                   | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                                                                        | iv    |
| ABSTRACT.....                                                                                                     | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                                     | vi    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                 | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                                                         | ix    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                                                           | xii   |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                                                                          | xviii |
| HARİTALARIN LİSTESİ.....                                                                                          | xx    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                                                      | xxi   |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                                    | 1     |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE .....                                                                  | 15    |
| 2.1. Sayısal Teknolojiler ve Performatif Mimarlık .....                                                           | 15    |
| 2.1.1. Sayısal tasarım yaklaşımı .....                                                                            | 15    |
| 2.1.2. Performatif mimarlık .....                                                                                 | 28    |
| 2.2. Güneş Enerjisi ve Performansa Dayalı Güneş Mimarisi .....                                                    | 47    |
| 2.2.1. Dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi durumu.....                                                           | 47    |
| 2.2.2. Tasarıma girdi oluşturan çevresel parametrelerden güneş .....                                              | 53    |
| 2.2.3. Performansa dayalı güneş odaklı tasarım yöntemleri.....                                                    | 67    |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                                                                                        | 105   |
| 3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Tasarım Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....                    | 106   |
| 3.2. Optimum Yapı Kabuğu Tasarımında Performansa Dayalı Öneri Tasarım Yöntemi Oluşturma Süreci-SKY Araçları ..... | 110   |
| 4. TASARIM SÜRECİNDE SKY ARACI KULLANIMININ ÖRNEK ÇALIŞMA ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ .....                       | 135   |
| 4.1. Genel Bilgiler .....                                                                                         | 138   |

**Sayfa**

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2. SKY Aracının Kullanım Adımları ve Mevcut Binanın Analizleri.....    | 141 |
| 4.3. SKY Aracının Kullanım Adımları ile Parametrik Tasarım Önerisi ..... | 164 |
| 4.3.1. Yöntem kapsamında parametrik model tasarım önerisi .....          | 176 |
| 4.3.2. Yöntem kapsamında önerilen parametrik model analizleri.....       | 186 |
| 4.4. Alan Çalışmasında Elde Edilen Bulguların Değerlendirilmesi .....    | 204 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                | 209 |
| KAYNAKLAR .....                                                          | 212 |
| EKLER.....                                                               | 225 |
| EK-1. Ekran alıntısı ve grafikler .....                                  | 226 |
| EK-2. Algoritmalar .....                                                 | 233 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                           | 246 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                              | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Parametrik olmayan modelleme araçları .....                                                                             | 16    |
| Çizelge 2.2. 3D Max ve Sketch Up bina modelleme örnekleri .....                                                                      | 17    |
| Çizelge 2.3. Parametrik modelleme araçları.....                                                                                      | 18    |
| Çizelge 2.4. BİM modelleme araçları.....                                                                                             | 21    |
| Çizelge 2.5. Rhinoceros -Grasshopper’da çevre, strüktür ve malzeme analizleri için kullanılan eklenti programlarından bazıları ..... | 38    |
| Çizelge 2.6. Türkiye’nin aylık güneş enerjisi potansiyeli .....                                                                      | 51    |
| Çizelge 2.7. Farklı cam malzemelerin güneş ışınları ile etkileşimi.....                                                              | 65    |
| Çizelge 2.8. Cephe elemanı olarak PV kullanımı.....                                                                                  | 66    |
| Çizelge 2.9. Düzenli modüler form ile farklı geometriler için tasarım süreçleri .....                                                | 82    |
| Çizelge 2.10. Sesen-Aden Tapınağıanalizi.....                                                                                        | 83    |
| Çizelge 2.11. Os Üniversite Binasıanalizi.....                                                                                       | 84    |
| Çizelge 2.12. Samba Headquarters Binası analizi.....                                                                                 | 85    |
| Çizelge 2.13. Q1- ThyssenKrupp AG Merkez Binası analizi .....                                                                        | 86    |
| Çizelge 2.14. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü (SAHMRI) analizi .....                                            | 87    |
| Çizelge 2.15. Dünya Kondansör binası (World Fab Condenser) analizi .....                                                             | 89    |
| Çizelge 2.16. Austin, Teksas Üniversitesi Termal Laboratuvarı analizi .....                                                          | 90    |
| Çizelge 2.17. Grove Towers analizi .....                                                                                             | 91    |
| Çizelge 2.18. Karle Town Centre – HUB 1 Ofis Binası analizi.....                                                                     | 92    |
| Çizelge 2.19. Pan-am (Metlife) ofis binasıanalizi .....                                                                              | 93    |
| Çizelge 2.20. Güneş Işınları Yöntemi tasarım süreci, Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins).....                  | 97    |
| Çizelge 2.21. Güneş Işınları Yöntemi kullanım aşamaları, Amsterdam kalesi ek yapı                                                    | 99    |
| Çizelge 2.22. Endesa Pavilyonuanalizi .....                                                                                          | 101   |
| Çizelge 2.23. Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins) analizi ....                                                 | 102   |

| <b>Çizelge</b>                                                                                                                    | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 2.24. Amsterdam kalesine ek yapı tasarımı analizi .....                                                                   | 103          |
| Çizelge 3.1. Mevcut yöntemlerin kullanım süreçlerinin karşılaştırılması.....                                                      | 107          |
| Çizelge 3.2. Girdi kısmını oluşturan sözel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri.                                              | 109          |
| Çizelge 3.3. Kullanılan ölçütlerin oluşturduğu matris.....                                                                        | 109          |
| Çizelge 3.4. Çıktı oluşturan ölçütlerin önemlilik oranları .....                                                                  | 110          |
| Çizelge 3.5. Grasshopper yazılımında kullanılan çevre analizi eklenti programlarının karşılaştırılması .....                      | 112          |
| Çizelge 4.1. Yöntem için geliştirilen SKY araçları .....                                                                          | 136          |
| Çizelge 4.2. SKY aracının tasarım sürecinde kullanımına yönelik oluşturulan strateji .....                                        | 136          |
| Çizelge 4.3. 21 Aralık günü gün boyunca hesaplanan güneş yükseliş ve güneş azimut açıları ve güneş vektörlerinin değerleri .....  | 148          |
| Çizelge 4.4. 21 Haziran günü gün boyunca hesaplanan güneş yükseliş ve güneş azimut açıları ve güneş vektörlerinin değerleri ..... | 148          |
| Çizelge 4.5. Mevcut konut binasında kullanılmış yapı elemanları .....                                                             | 155          |
| Çizelge 4.6. Dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu .....                                                             | 158          |
| Çizelge 4.7. Dairenin aylık ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu .....                                                              | 159          |
| Çizelge 4.8. Dairenin aylık elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu.                                               | 160          |
| Çizelge 4.9. SKY aracı ile arazi, tasarım alanı ve yapıyı çevrenin tanımlanması.....                                              | 168          |
| Çizelge 4.10. GKY ile oluşturulan tasarım sınırları .....                                                                         | 170          |
| Çizelge 4.11. İdeal tasarım sınırını veren kabuğun oluşumu .....                                                                  | 171          |
| Çizelge 4.12. İdeal tasarım sınırını veren kabuğun oluşumu .....                                                                  | 173          |
| Çizelge 4.13. Kılavuz tasarım sınırını veren kabuğun oluşumu.....                                                                 | 174          |
| Çizelge 4.14. Kılavuz tasarım sınırına göre modellenen örnek modeller .....                                                       | 178          |
| Çizelge 4.15. Modellerin karşılaştırılması.....                                                                                   | 181          |
| Çizelge 4.16. Öneri parametrik konut yapısında kullanılan yapı elemanları .....                                                   | 196          |
| Çizelge 4.17. Dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu .....                                                            | 199          |
| Çizelge 4.18. Dairenin aylık ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu .....                                                             | 200          |

| <b>Çizelge</b>                                                                       | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 4.19. Dairenin aylık elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu. | 201          |
| Çizelge 4.20. Modellerin güneş ışıınım ve enerji kullanım miktarları.....            | 205          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil       |                                                                                           | Sayfa |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1.  | Yapı elemanları ile yapıdan beklenenler ve hedefler arasındaki korelasyonlar .....        | 10    |
| Şekil 1.2.  | Rhinoceros eklenti programı Grasshopper ve Ladybug yazılımı .....                         | 12    |
| Şekil 1.3.  | Çalışmada kullanılan yöntemler .....                                                      | 12    |
| Şekil 1.4.  | Tez akış şeması .....                                                                     | 14    |
| Şekil 2.1.  | Parametrik tasarım örneği .....                                                           | 18    |
| Şekil 2.2.  | Geometrik kütle oluşumu .....                                                             | 21    |
| Şekil 2.3.  | Bilgisayar araçlarının kullanım yoğunluğu .....                                           | 24    |
| Şekil 2.4.  | Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü cephesindeki modüller .....          | 26    |
| Şekil 2.5.  | Lineer (doğrusal) ve spiral tasarım süreci .....                                          | 29    |
| Şekil 2.6.  | Yapıya dayanan ve performansa dayalı tasarım süreçleri .....                              | 30    |
| Şekil 2.7.  | Performans tabanlı tasarım süreci .....                                                   | 31    |
| Şekil 2.8.  | Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme için kullanılan araçların etkileşimleri ..... | 32    |
| Şekil 2.9.  | Bina ve yapıların nD model hesaplamaları ve teknik çözümler .....                         | 33    |
| Şekil 2.10. | Grasshopper’da algoritmik çözümlerin yapı taşları .....                                   | 36    |
| Şekil 2.11. | Grasshopper’da bir ekleme algoritması örneği .....                                        | 36    |
| Şekil 2.12. | Bir 3D yüzeyin NURBS ve mesh- tel kafes modeller ile temsili .....                        | 37    |
| Şekil 2.13. | Honeybee örnek tasarım üzerinden kullanım akış şeması .....                               | 39    |
| Şekil 2.14. | ArchSim yazılımı kullanım süreci .....                                                    | 43    |
| Şekil 2.15. | Tell El Daba Arkeoloji Müzesi sirkülasyonu .....                                          | 45    |
| Şekil 2.16. | Tell El Daba Arkeoloji Müzesi yapı kabuğunun güneş verilerine ilişkin biçimlenişi .....   | 45    |
| Şekil 2.17. | Kebayoran Lama ofis kulesi alternatif tasarımları ve enerji analizleri .....              | 46    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.18. Avrupa Birliği ülkelerinin 2005-2009 enerji kullanım payları ve 2020 yılı hedefleri.....        | 49           |
| Şekil 2.19. Türkiye’de enerji kullanımının kaynaklara göre dağılımı .....                                   | 52           |
| Şekil 2.20. Eğimli bir yüzey için güneş açıları .....                                                       | 54           |
| Şekil 2.21. Solar oryantasyon diyagramı .....                                                               | 54           |
| Şekil 2.22. Gün dönüm-ekinoks açıları .....                                                                 | 55           |
| Şekil 2.23. Gün ışınlarının geliş açılarına göre oluşan enerji miktarı.....                                 | 55           |
| Şekil 2.24. Binaların çevre ve alan oranlarına göre değişen formları.....                                   | 56           |
| Şekil 2.25. Güneş ışınlarına göre şekillenen farklı türdeki gölgeleme elemanları .....                      | 57           |
| Şekil 2.26. Güneş ışınlarına göre şekillenen farklı formlardaki gölgeleme elemanları .....                  | 58           |
| Şekil 2.27. Farklı topografik yapılar içinde binanın konumuna göre ısı kayıpları ve sıcaklık farkları ..... | 61           |
| Şekil 2.28. İklim bölgelerine göre bina yönelmeleri .....                                                   | 62           |
| Şekil 2.29. Farklı geometrik biçimlerin hacimlerine göre değişen ısı kayıp oranları..                       | 63           |
| Şekil 2.30. Cama gelen rastlantısal (etkin) güneş açısı (geçirgen olan ve yansıyan) ..                      | 64           |
| Şekil 2.31. Isı ve ışık davranışları arasındaki etkileşim.....                                              | 67           |
| Şekil 2.32. Döngüsel tasarım süreci.....                                                                    | 68           |
| Şekil 2.33. Algoritma akış şeması .....                                                                     | 70           |
| Şekil 2.34. Organizmadaki deri fonksiyonları ile cephe arasındaki benzeşim .....                            | 73           |
| Şekil 2.35. Örnek gölgelendirme analizi .....                                                               | 74           |
| Şekil 2.36. Form bulma süreci .....                                                                         | 74           |
| Şekil 2.37. Güneş kabuğu zaman sınırlaması .....                                                            | 77           |
| Şekil 2.38. Saat 9.00 - 15:00 ve 10:00 - 14:00 zaman aralıklarındaki güneş kabuğu kesiti.....               | 77           |
| Şekil 2.39. Farklı yönlerdeki üç bloğun güneş kabuğu sınırları .....                                        | 78           |

| <b>Şekil</b>                                                                              | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.40. Rhinoceros – Grasshoper programındaki Güneş Kabuğuaracı uygulama örneği ..... | 79           |
| Şekil 2.41. CCHT konutu ve tasarım yöntemi .....                                          | 80           |
| Şekil 2.42. Düzensiz modüler form (dikdörtgen) tasarım yöntemi süreci .....               | 88           |
| Şekil 2.43. Güneş Işımları Yöntemi tasarım süreci .....                                   | 94           |
| Şekil 3.1. Yöntemin seçim probleminin hiyerarşik yapısı .....                             | 108          |
| Şekil 3.2. Bulanık sistem girdileri ve çıktıları .....                                    | 108          |
| Şekil 3.3. Sözel değişkenlerin üçgen bulanık sayı cinsinden karşılıkları .....            | 108          |
| Şekil 3.4. Öneri yöntemin adımları .....                                                  | 118          |
| Şekil 3.5. GIA – Ç için oluşturulan algoritmik bağlantılar .....                          | 119          |
| Şekil 3.6. SOD için oluşturulan algoritmik bağlantılar .....                              | 120          |
| Şekil 3.7. GKY için oluşturulan algoritmik bağlantılar .....                              | 121          |
| Şekil 3.8. GIY için oluşturulan algoritmik bağlantılar .....                              | 123          |
| Şekil 3.9. GIA-T için oluşturulan algoritmik bağlantılar .....                            | 124          |
| Şekil 3.10. GIA için SKY bağlantıları .....                                               | 125          |
| Şekil 3.11. GIA-Ç SKY girdileri .....                                                     | 126          |
| Şekil 3.12. SOD için SKY bağlantıları .....                                               | 127          |
| Şekil 3.13. SOD - SKY girdileri .....                                                     | 128          |
| Şekil 3.14. GKY için SKY bağlantıları .....                                               | 129          |
| Şekil 3.15. GKY - SKY girdileri .....                                                     | 130          |
| Şekil 3.16. GIY için SKY aracı bağlantıları .....                                         | 131          |
| Şekil 3.17. GIY için SKY aracı bağlantıları .....                                         | 132          |
| Şekil 3.18. GIA-T için SKY bağlantıları .....                                             | 133          |
| Şekil 3.19. GIA-T SKY aracı girdileri .....                                               | 134          |
| Şekil 4.1. Ankara kentinin ortalama yıllık sıcaklık değerleri .....                       | 139          |
| Şekil 4.2. Seçilen konut yapısı normal kat planı .....                                    | 141          |
| Şekil 4.3. Grasshopper yazılımı üzerinde tanımlanan konut yapısı ve çevresi .....         | 142          |

| <b>Şekil</b> |                                                                                                                                                    | <b>Sayfa</b> |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 4.4.   | GIA için SKY aracı kullanımı .....                                                                                                                 | 142          |
| Şekil 4.5.   | Radyasyon gülü (Radiation rose) analizi ile yıllık güneş ışıınım miktarı ..                                                                        | 143          |
| Şekil 4.6.   | Radyasyon gülü (Radiation rose) analizi ile yayılan ve doğrudan olan güneş ışıınım oranları .....                                                  | 144          |
| Şekil 4.7.   | Gök kubbe (Sky dome) analizi ile yıl boyunca toplam güneş ışıınım miktarı.....                                                                     | 145          |
| Şekil 4.8.   | Gök kubbe (Sky dome) analizi ile yayılan ve doğrudan güneş ışıınım miktarları .....                                                                | 145          |
| Şekil 4.9.   | SOD için SKY aracı kullanımı .....                                                                                                                 | 147          |
| Şekil 4.10.  | SKY aracı ile SOD oluşumu.....                                                                                                                     | 147          |
| Şekil 4.11.  | Tasarıma uygulanan GIA-T için SKY aracı kullanımı.....                                                                                             | 149          |
| Şekil 4.12.  | Mevcut bina kabuğuna düşen yıllık güneş ışıınım miktarı (Doğu cephesi)                                                                             | 150          |
| Şekil 4.13.  | Mevcut bina kabuğuna düşen yıllık güneş ışıınım miktarı (Kuzey, güney ve batı cephesi) .....                                                       | 150          |
| Şekil 4.14.  | Mevcut bina kabuğuna düşen toplam yıllık güneş ışıınım miktarı.....                                                                                | 150          |
| Şekil 4.15.  | Mevcut konut binasında analizi yapılacak olan dairenin konumu .....                                                                                | 151          |
| Şekil 4.16.  | Mevcut konut binasının güneybatı yönündeki daire planı ve zonlara ayrılması .....                                                                  | 152          |
| Şekil 4.17.  | Zone oluşumunda kullanılan pencerelerin normalleri .....                                                                                           | 152          |
| Şekil 4.18.  | Oluşturulan zonların ArchSim programına 3 kategori halinde tanımlanması.....                                                                       | 153          |
| Şekil 4.19.  | ArchSim programına girilen kişi sayısı ve fonksiyon verileri.....                                                                                  | 154          |
| Şekil 4.20.  | ArchSim programına girilen yapı bileşenleri .....                                                                                                  | 155          |
| Şekil 4.21.  | ArchSim programına girilen pencere verileri .....                                                                                                  | 156          |
| Şekil 4.22.  | ArchSim programında çeşitli yazılım bileşenleri ile simülasyon sürecine geçiş .....                                                                | 157          |
| Şekil 4.23.  | Zonlardaki ışıınım miktarları .....                                                                                                                | 158          |
| Şekil 4.24.  | Mevcut konut binasının sonbahar ve kış dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu ..... | 161          |

| Şekil                                                                                                                                                       | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.25. Mevcut konut binası ilkbahar ve yaz dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu ..... | 162   |
| Şekil 4.26. Mevcut konut dairesi aylık enerji kullanım yoğunluğu .....                                                                                      | 163   |
| Şekil 4.27. Işınım gülü (Radiation rose) analizi ile yıl boyunca toplam güneş ışıınım miktarı.....                                                          | 165   |
| Şekil 4.28. Yüksek bloğun olası gölge oranları .....                                                                                                        | 165   |
| Şekil 4.29. Gök kubbe (Sky dome) analizi ile yıl boyunca toplam güneş ışıınım miktarı.....                                                                  | 166   |
| Şekil 4.30. SKY aracı ile SOD oluşumu.....                                                                                                                  | 168   |
| Şekil 4.31. Tasarım alanına uygulanan GKY için SKY aracı kullanımı .....                                                                                    | 169   |
| Şekil 4.32. SOD SKY aracı ile GKYSKY aracının bağlantısı .....                                                                                              | 170   |
| Şekil 4.33. GKY ile oluşan ideal tasarım sınırı .....                                                                                                       | 171   |
| Şekil 4.34. İdeal tasarım sınırına uygulanan GIY için SKY aracı kullanımı.....                                                                              | 172   |
| Şekil 4.35. GIY SKY aracı ile Ladybug_Construct location bileşeni bağlantısı.....                                                                           | 173   |
| Şekil 4.36. GIY ile oluşan kılavuz tasarım sınırı .....                                                                                                     | 175   |
| Şekil 4.37. Kılavuz tasarım sınırına düşen düşen yıllık güneş ışıınım miktarı.....                                                                          | 175   |
| Şekil 4.38. Kılavuz tasarım sınırına düşen toplam yıllık güneş ışıınım miktarı .....                                                                        | 176   |
| Şekil 4.39. Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan modelin GIA-T güneş ışıınım analizi.....                                                                  | 177   |
| Şekil 4.40. Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan modelin yapıllı çevredeki GIA-T güneş ışıınım analizi .....                                               | 177   |
| Şekil 4.41. Model 1GIA-T güneş ışıınım analizi.....                                                                                                         | 179   |
| Şekil 4.42. Model 1 yapıllı çevre içerisinde GIA-T güneş ışıınım analizi.....                                                                               | 179   |
| Şekil 4.43. Model 2 GIA-T güneş ışıınım analizi.....                                                                                                        | 180   |
| Şekil 4.44. Model 2 yapıllı çevre içerisinde GIA-T güneş ışıınım analizi.....                                                                               | 180   |
| Şekil 4.45. Kılavuz tasarım sınırı ölçütlerine göre 3d kabuğun oluşumu.....                                                                                 | 182   |
| Şekil 4.46. Güneş ışıınlarının geliş derecelerine göre farklı açılarda biçimlenen yüzeyler .....                                                            | 183   |

| <b>Şekil</b>                                                                                                                                                     | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 4.47. Öneri konut yapısı normal kat planı .....                                                                                                            | 186          |
| Şekil 4.48. Diva yazılımı ile SunPath bileşenine tüm verilerin girilmesi .....                                                                                   | 188          |
| Şekil 4.49. Diva Radiation Map bileşeni gizli girdi kısmına verilerin girilmesi .....                                                                            | 188          |
| Şekil 4.50. PV panel için simülasyon ayarları .....                                                                                                              | 189          |
| Şekil 4.51. PV panellerindeki güneş ışıınım miktarlarının bulunması .....                                                                                        | 189          |
| Şekil 4.52. PV panellerinin cephe bileşenlerine yerleşimi .....                                                                                                  | 190          |
| Şekil 4.53. Öneri parametrik modele düşen yıllık güneş ışıınım miktarı .....                                                                                     | 191          |
| Şekil 4.54. Mevcut yapı kabuğuna düşen yıllık güneş ışıınım miktarı (Kuzey, doğu ve güney cephesi) .....                                                         | 192          |
| Şekil 4.55. Öneri parametrik modele düşen toplam yıllık güneş ışıınım miktarı .....                                                                              | 192          |
| Şekil 4.56. Öneri parametrik modelde analizi yapılacak olan dairenin konumu .....                                                                                | 193          |
| Şekil 4.57. Mevcut konut binasının güneybatı yönündeki daire planı ve zonlara ayrılması .....                                                                    | 193          |
| Şekil 4.58. Oluşturulan zonların ArchSim programına 3 kategori halinde tanımlanması.....                                                                         | 194          |
| Şekil 4.59. ArchSim programına girilen kişi sayısı ve fonksiyon verileri.....                                                                                    | 195          |
| Şekil 4.60. ArchSim programına girilen yapı bileşenleri .....                                                                                                    | 197          |
| Şekil 4.61. ArchSim programına girilen pencere verileri .....                                                                                                    | 197          |
| Şekil 4.62. ArchSim programında çeşitli yazılım bileşenleri ile simülasyon sürecine geçiş .....                                                                  | 198          |
| Şekil 4.63. Zonlardaki ışıınım miktarları .....                                                                                                                  | 199          |
| Şekil 4.64. Öneri parametrik modelin sonbahar ve kış dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu       | 202          |
| Şekil 4.65. Öneri parametrik modelin ilkbahar ve yaz dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu ..... | 203          |
| Şekil 4.66. Öneri parametrik model aylık enerji kullanım yoğunluğu .....                                                                                         | 204          |
| Şekil 4.67. Modellerin karşılaştırmalı güneş ışıınım ve enerji kullanım miktarları .....                                                                         | 207          |
| Şekil 4.68. Mevcut ve öneri modeldeki toplam enerji kullanım oranları .....                                                                                      | 208          |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                                          | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 2.1. Sanal bina, parametrik olmayan modelleme araçlarının kullanım alanları .....        | 16    |
| Resim 2.2. Rhinoceros-Grasshopper parametrik tasarım örnekleri .....                           | 19    |
| Resim 2.3. 3D model örneği ve bu modelden veri elde etme .....                                 | 20    |
| Resim 2.4. Kod yazılım dili ile yapı kabuğu tasarımı .....                                     | 22    |
| Resim 2.5. Güneş ışınlam analizi sonucu çatı biçimindeki değişim .....                         | 23    |
| Resim 2.6. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitü Binası (SAHMRI).                 | 25    |
| Resim 2.7. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü cephe ve iç mekân detayı ..... | 25    |
| Resim 2.8. Q1 Merkez Binası ve kampüs içerisindeki konumu .....                                | 26    |
| Resim 2.9. Q1 Merkez Binası cephesi .....                                                      | 27    |
| Resim 2.10. Cephedeki kinetik elemanların açılıp-kapanma açıları .....                         | 27    |
| Resim 2.11. Revit parametrik modelleme örneği .....                                            | 34    |
| Resim 2.12. Dynamo'nun program akış örneği .....                                               | 35    |
| Resim 2.13. Grasshopper – Ladybug kullanım örneği .....                                        | 38    |
| Resim 2.14. Grasshopper – Ladybug kullanım örneği .....                                        | 40    |
| Resim 2.15. Grasshopper – Geco kullanım örneği .....                                           | 40    |
| Resim 2.16. Grasshopper – Gerilla kullanım örneği .....                                        | 41    |
| Resim 2.17. Diva yazılımının Rhinoceros arayüzünde oluşturduğu sekmeler .....                  | 41    |
| Resim 2.18. Grasshopper – Diva kullanım örneği .....                                           | 42    |
| Resim 2.19. ArchSim yazılı ile yapılmış bir simülasyon örneği .....                            | 43    |
| Resim 2.20. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi ön görünüşü .....                                    | 44    |
| Resim 2.21. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi yan görünüşü .....                                   | 44    |
| Resim 2.22. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi sergi salonu .....                                   | 46    |
| Resim 2.23. Enerji analizleri sonucu karar verilen model .....                                 | 47    |
| Resim 2.24. Optimum enerji için düzenlenen pencere boyutları .....                             | 56    |

| <b>Resim</b>                                                                                                  | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 2.25. Gölge elemanlarının optimizasyonu ve oluşumu .....                                                | 58           |
| Resim 2.26. Yatay ve düşey hareketli gölgeleme elemanları .....                                               | 59           |
| Resim 2.27. Pencerelemin korunaklı oluşuna bağılı olarak enerji dağılımı .....                                | 59           |
| Resim 2.28. Arizona’da genetik algoritma kullanılarak tasarlanan bir model .....                              | 69           |
| Resim 2.29. Miuro-ori kalıbı örnekleri .....                                                                  | 71           |
| Resim 2.30. Al Bahar Towers katlanıp açılan gölgeleme eleman detayı .....                                     | 71           |
| Resim 2.31. Kozyatağı Bahriye Üçok Anaokulu Tasarımı, Origami etkisi .....                                    | 72           |
| Resim 2.32. Biyomimetik tasarım örnekleri .....                                                               | 73           |
| Resim 2.33. Katlama yöntemi ile tasarlanmış prototip .....                                                    | 75           |
| Resim 2.34. Katlama yöntemi ile tasarlanmış üniversite cephesi .....                                          | 75           |
| Resim 2.35. Şehir blokları için uygulanan Güneş Kabuğı yöntemiyle hesaplanan hacim ve tasarımı alanı .....    | 80           |
| Resim 2.36. Binanın lokasyonu ve fotokromik yapı kabuğı .....                                                 | 95           |
| Resim 2.37. Sistemin aktif ve deaktif olmasıyla değışen renk skalası .....                                    | 96           |
| Resim 2.38. Pasif gölgeleme sistemi ile iç mekânda konfor koşulu .....                                        | 98           |
| Resim 2.39. Amsterdam kalesine ek yapı tasarımı .....                                                         | 98           |
| Resim 4.1. Kabuk yüzeyinin güneş ışınları odaklı biçimlenmesi .....                                           | 183          |
| Resim 4.2. Yüzeylerin konumuna göre farklı açılarda gelen güneş ışınları odaklı yüzeylerin biçimlenmesi ..... | 184          |
| Resim 4.3. Yapı kabuğunda kullanılan bileşenler ve PV paneller .....                                          | 185          |
| Resim 4.4. Diva yazılımı ile malzeme ayarları .....                                                           | 187          |
| Resim 4.5. 100x165 ebatlarındaki panelin 6 adet modülü ve ışınlm miktarları .....                             | 190          |

**HARİTALARIN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                                                                   | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Harita 2.1. Küresel güneş enerjisi potansiyeli .....                           | 48           |
| Harita 2.2. Avrupa ülkeleri içerisinde Türkiye'nin güneş ışıınım miktarı ..... | 50           |
| Harita 2.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli .....                       | 51           |
| Harita 4.1. Tasarım alanının bulunduğu yapılı çevre vaziyet planı.....         | 140          |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>           | <b>Açıklamalar</b>                                                                             |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>btu/ft<sup>2</sup></b> | Enerji miktarı                                                                                 |
| <b>cm<sup>2</sup></b>     | Santimetre kare                                                                                |
| <b>epw</b>                | Hava durumu dosya uzantısı                                                                     |
| <b>kcal</b>               | Kilokalori                                                                                     |
| <b>kwh</b>                | Işınım miktarı                                                                                 |
| <b>m<sup>2</sup></b>      | Metre kare                                                                                     |
| <b>U değeri</b>           | Isı iletkenlik katsayısı                                                                       |
| <b>Kısaltmalar</b>        | <b>Açıklamalar</b>                                                                             |
| <b>AHS</b>                | Analitik Hiyerarşi Süreci                                                                      |
| <b>AIA</b>                | American Institute of Architecture                                                             |
| <b>BIM</b>                | Yapı Bilgi Modelleme                                                                           |
| <b>BREEAM</b>             | İngiltere yeşil bina derecelendirme sertifika sistemi                                          |
| <b>CAD</b>                | Computer Aided Design-Bilgisayar Destekli Tasarım                                              |
| <b>CHPS</b>               | Collaborative for High Performance Schools-Yüksek Performanslı Okullar Birliği                 |
| <b>3D</b>                 | 3 Dimension-3 Boyut                                                                            |
| <b>DGNB</b>               | Alman Sürdürülebilir Binalar Derneği                                                           |
| <b>GIA-Ç</b>              | Güneş Işınım Analizi – Çevre için                                                              |
| <b>GIA-T</b>              | Güneş Işınım Analizi – Tasarım için                                                            |
| <b>GIAB</b>               | Güneş Işınları Algoritma Bağlantıları                                                          |
| <b>GITAB</b>              | Güneş Işınları Toplama Algoritma Bağlantıları                                                  |
| <b>GIY</b>                | Güneş Işınları Yöntemi                                                                         |
| <b>GKY</b>                | Güneş Kabuğu Yöntemi                                                                           |
| <b>HVAC</b>               | Heating Ventilating and Air Conditioning-ısıtma, havalandırma ve iklimlendirmeyi içeren sistem |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklamalar</b>                                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>IAAC</b>        | Institute for Advanced Architecture of Catalonia          |
| <b>IEA</b>         | International Energy Agency                               |
| <b>IGTS</b>        | İdeal Güneş Tasarım Sınırı                                |
| <b>KD</b>          | Kış Dönemi                                                |
| <b>LEED</b>        | Amerika yeşil bina derecelendirme sertifika sistemi       |
| <b>MGD</b>         | Maliyetin Geri Dönüşümü                                   |
| <b>NURBS</b>       | Non Uniform B Spline                                      |
| <b>PV</b>          | Fotovoltaik                                               |
| <b>RENDER</b>      | Görsel sunum                                              |
| <b>SHGC</b>        | Solar Heat Gain Coefficient - güneş ısı kazancı katsayısı |
| <b>SKY</b>         | Sıkıştırılmış Kısa Yol                                    |
| <b>SOD</b>         | Solar Oryantasyon Diyagramı                               |
| <b>TGI</b>         | Toplam Güneş Işınları                                     |
| <b>VT</b>          | Visible Transmittance -görünür ışık geçirgenliği          |
| <b>YD</b>          | Yaz Dönemi                                                |
| <b>YDM</b>         | Yaşam Döngüsü Maliyeti                                    |
| <b>YEGM</b>        | Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü                      |

## 1. GİRİŞ

Dünyadaki doğal kaynakların bilinçsizce tüketiminden ve kullanılan fosil yakıtlardan dolayı ortaya çıkan sera gazı salınımı, buzulların erimesi ve küresel iklim değişikliği gibi doğaya olan birçok tahribat durumu ve insanlarda neden olan önemli sağlık sorunları, enerji bilincinin günden güne artmasını sağlamıştır. Dünyada yapı sektöründe, tüm küresel enerjinin %36'sı kullanılırken, enerji ile bağlantılı CO<sup>2</sup> emisyonunun %39'unun tüketildiği hesaplanmıştır. Buna karşın, bina sektörü enerji kullanımı açısından, m<sup>2</sup> başına yıllık ortalama %1,5 oranında artmaya devam etmektedir [1]. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan bina tasarımını gündeme getirmiştir. Bu tasarımlara ise projenin tüm aşamalarını destekleyen sayısal teknolojiler ve veri tabanlarını kullanarak ulaşılmaktadır. Mimarlıkta, projelerin tasarım süreçlerinin ne denli önemli olduğu dikkate alındığında sayısal teknolojilerden yararlanarak performansa dayalı tasarım yapma olanağı, tasarımcıya maksimum fayda sağlayan bir öneri sunmaktadır. Performansa dayalı tasarım için gereken programların kullanımı çok disiplinli bilgi yönetimi ve kod yazılımı gerektirebileceğinden günümüzde gerektiği kadar kullanılmamaktadır. Bunun yerine, 2D çizim ve 3D görselleştirme araçlarının kullanım oranı oldukça yüksektir [2].

Bulunduğu coğrafi konum itibariyle Türkiye, diğer Avrupa ülkelerine göre çok daha fazla güneşten yararlanma potansiyeline sahiptir [3]. Türkiye'de binalarda enerji tüketiminin %82'si ısıtma ve soğutmada kullanılmaktadır. Bu da tüketilen toplam enerjinin %26'sına karşılık gelmektedir. Enerjinin %78'inin ithal edildiği göz önünde bulundurulduğunda, özellikle bu alanda yapılan çalışmalar öncelikli sırayı almaktadır [4]. Bu bağlamda, erken tasarım aşamasında verilen kararlarla sayısal teknolojiler vasıtasıyla yapı kabuğunda, kış mevsiminde güneş ışınlarından maksimum fayda sağlarken, yaz mevsiminde aşırı ısı kazançlarını engellemek ve sonuçta optimum enerji sağlamak önem arz etmektedir.

Tez kapsamında güneş mimarisi, BİM ve performansa dayalı tasarım - parametrik tasarım olmak üzere üç ana başlık altında literatür taraması yapılmıştır. Performansa dayalı güneş odaklı bir tasarım yöntemi önerileceği için kavramsal alt yapı olarak, güneş mimarisi, performansa dayalı tasarımlarla birlikte güneşin parametrik bir olgu olması sebebiyle parametrik tasarımlar ve bu tasarımları oluştururken başvurulan teknolojiler önem arz etmektedir.

## Güneş mimarisi

Güneş enerjisinden mimarlık alanında yararlanma potansiyelleri ve yöntemleri konulu pek çok akademik çalışma yapılmıştır. Reinhart (2015) “Environmental Technologies in Buildings” adlı çalışmasında ne tür gölgeleme sistemlerinin olduğunu anlatmış ve bu gölgeleme sistemlerini enerji analizleriyle destekleyerek farklı formlar bulmak için neler yapılması gerektiğini irdelemiştir. Adriaenssens, Barbarigos, Kilian, Baverel, Charpentier Horner, ve Buzatu (2014) “Dialectic Form Finding of Passive and Adaptive Shading Enclosures” adlı çalışmalarında güneşe adapte edilmiş pasif gölge elemanları ile güneş ışınları geliş açılarına göre nasıl geometrik form bulunacağını anlatmışlardır. Güneşten korunmaya yönelik elemanları anlattıktan sonra, katlanmış ızgara kabuk (louvered grid shell) ve dinamik kabuk (dynamic shell) gibi tasarım konseptlerini belirleyerek enerji etkinliği analizini yapmışlardır. Knowles (2003) “The Solar Envelope: Its Meaning for Energy and Buildings” isimli makalesinde, yazarın bizzat kendisinin geliştirdiği Güneş Kabuğu Yöntemi hakkında bilgi vermiş ve yöntemin kullanımı Los Angeles kentindeki projelerle örneklemiştir. Krietemeyer, Andow ve Dyson (2015) “Computational Design Framework Supporting Human Interaction with Environmentally-Responsive Building Envelopes” adlı makalelerinde, çevresel etkilere duyarlı aynı zamanda insanların konfor şartlarına dikkat eden sayısal bir tasarım örneklemiştir. Buna göre, bina cephesi güneş ışınlarına göre renk değiştirerek belli sıklıklarda bir doku elde ederken, bir kişi dışarı bakmak için cephenin önüne geldiğinde dokudaki o sıklık azalmaktadır. Güneşi, çevreye duyarlı yapı tasarımında odak noktası olarak kullanmışlardır. Giovanni ve Andrea (2014) “Evolutionary Optimisation of Façade Design, A New Approach for the Design of Building Envelopes” adlı kitaplarında, güneş kazançları, ısı transferleri, gün ışığı, hava hareketliliği, bütünleşik tasarım ve örneklemeleri üzerinde durmuşlardır. Enerji performanslı akıllı binalar ve cephe teknikleri hakkında bilgi vererek bir bina üzerinden enerji optimizasyonunu sağlamak için pencere boyutlarının nasıl olması gerektiğinin analizlerini yapmışlardır. Noble ve Kensek (2011) ise, “Computer Generated Solar Envelope in Architecture” adlı makalelerinde Güneş Kabuğuyönteminin örnekler üzerinden kullanımı hakkında bilgi vererek, bilgisayar ortamında uygulanan yöntem ile el modelleme tekniğine başvurarak uygulanan yöntemi karşılaştırmışlardır. Colaço (2011), “Performative Architecture as a Guideline for Transformation of the Defence Line of Amsterdam” isimli yüksek lisans tezinde edimsel mimarlık hakkında bilgi vererek, Amsterdam’da 1900’lerden kalma kalelere ek olarak Güneş Işınları Yöntemi ile yeni tasarımlar gerçekleştirmiştir. Tez kapsamında da bu yöntem

kullanılacağı için Delft Teknik Üniversite’siyle ortak yapılan bu tez önem arz etmektedir. Bununla birlikte, Türkiye’deki güneş enerjisi durumunu saptamak için, Tiftikçioğlu (2015) “Enerji Diplomasisi” adlı kitapta Türkiye’nin enerji kaynakları hakkında bilgi vermiş ve küresel ölçekte Türkiye’deki enerji sorununu ve önemini tartışmıştır.

Yapılan literatür çalışmalarından alınan sonuca göre; Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla potansiyel olanı güneştir. Çünkü Türkiye, güneş kuşağı adı verilen kuşakta yer almaktadır. Güneş ışınları odaklı oluşturulan tasarımlarda farklı yöntemler kullanılarak enerji açısından maksimum verim alınabilmektedir. Bu yüzden çalışmada, tasarımı etkileyen çevresel koşulların en etkilisi olarak güneş seçilmiştir. Bununla birlikte, literatürlerde anlatılan Güneş Kabuğu yönteminin, uygulanış şekli ve uygulanma sebebi açısından öneri yöntem için yararlı olabileceği düşünülmektedir.

#### BİM (Yapı bilgi modelleme)

Anderson (2014), “Design Energy Simulation for Architects Guide to 3D Graphics” adlı kitabında mimarlık ve enerji modeli arasındaki ilişkiyi anlatarak erken tasarım aşamasında yapılan simülasyonlar, ısı, ışık ve rüzgâr başta olmak üzere iklimsel analizler ve örneklemeler üzerinde durmuştur. Chronis, Liapi ve Sibetheros (2012) “A Parametric Approach to the Bioclimatic Design of Large Scale Projects: The Case of a Student Housing Complex” adlı makalelerinde parametrik tasarım metotlarını ve tasarım sürecinde güneş verilerinin önemini anlatarak, örnek bir bina tasarımında kullanılan algoritmalar ile güneş, gölgeleme ve rüzgâr analizini yapıp tasarımın nihai haline ulaşmışlardır. Karen, Kensek, ve Noble (2014) “Building Information Modeling - BIM in Current and Future Practice” adlı kitabında, tasarımda, Arduino, Dynamo, Revit API ve Grasshopper gibi programları kullanarak ışık, nem, CO<sup>2</sup> gibi çevresel etmenlere bağlı çözüm önerileri getirmişlerdir. Akıllı binalar hakkında bilgi vererek simülasyon ve çevre verileri ile binaların optimum durumunu saptamışlardır. Ramilo ve Embi (2013) “Critical Analysis of Key Determinants and Barrier Stodigital Innovation Adoption Among Architectural Organizations” adlı çalışmalarında BİM, non-parametrik tasarım ve kod program yazılımları hakkında bilgi vermişlerdir. Bu programların mimari, finansal vb. alanlarda engellere maruz kaldığını ve uygulanabilirliğinin yeterli olmadığını belirterek, anket sonuçları ile bu sorunlara çözüm yolları aramayı hedeflemişlerdir. Heidegger (2013) “Energy Façade - Operational Energy Optimizing Tool for Conceptual Facade Design” adlı tez çalışmasında, sürdürülebilirlik,

enerji etkin cepheler, pencereler, gölgeleme elemanları, erken tasarım aşamaları ve parametrik tasarım konularını ele almış, bina performans simülasyonu ile ısı ve ışık hesaplama metotlarını geliştirmiştir. Ofluoğlu (2015) bu araştırmaya ek olarak, “Performansa Dayalı Sürdürülebilir Kavramsal Mimari Tasarım Eğitimi” adlı çalışmasında BİM ve performatif mimarlık üzerinde durmuş, sürdürülebilir mimarlık gereksinimini ve bina performans analizini anlatarak BİM’in mimarlık eğitiminde kullanımının ne denli önemli olduğunu vurgulamıştır. Akipek ve İnceoğlu (2007) “Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları” adlı çalışmasında sayısal tabanlı tasarım ve üretim teknolojilerinin mimari tasarımda kullanımlarıyla ilgili bir çerçeve çizmişlerdir. Bu çerçeve kapsamında parametrik tasarım, evrimsel sistemlere dayalı algoritmik tasarım, animasyona ve performans analizlerine dayalı tasarım incelenmiştir. Bilgisayar kullanımı ile ilgili tüm bu çalışmalara karşın Holzer (2015) “BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age” adlı makalesinde BİM (Yapı Bilgi Modelleme) ve parametrik tasarımın çağdaş mimaride kullanımının sonuçlarını ve buradaki rol ve sorumluluklarını araştırmıştır. Genç mimarlık bölümü mezunları ve deneyimli mimarlar arasında bu araçların kullanımını analiz etmiş ve çalışmada, BİM ve parametrik tasarım araçlarının günümüzde çok fazla kullanılmadığını vurgulamıştır.

BİM alanında yapılan literatür araştırmaları sonucunda, tasarımcıların hassasiyet ve gerçeklik elde etmek amacıyla görsel grafik simülasyonlarında bilgisayar teknolojilerinden yararlanmakta olduğu görülmüştür. Mimarlar, özellikle tasarım aşamasında formlara karar verme ve görsel modellemede bu programları kullanmaktadır. Ancak, optimum enerjide yapı tasarlamak amacıyla kullanılan performansa dayalı tasarımlar erken tasarım aşamasında tasarımcılar tarafından çok tercih edilmemektedir. Bu durum, yere uygun tasarım olgusundan uzaklaşıldığının göstergesidir. Tez çalışması ile tasarımın konumuna ve bağlamına bakılmaksızın yapılan birbirine benzer tipte binalar yerine, yere uygun tasarım yapmanın önemi vurgulanıp farkındalık yaratılmaktadır.

#### Performansa dayalı tasarım ve parametrik tasarım

Suyoto, Indraprastha ve Purbo (2015) “Parametric Approach as a Tool for Decision-making in Planning and Design Process” adlı çalışmalarında tasarım sürecindeki (programlama, site planlama, yapı planlama, cephe planlama) sorunları çözmek için yöntem sunmuşlardır.

Uygulama alanı Kebayoran Lama, Jakarta’da bir ofis binası tasarımıdır. Çalışmanın amacı, fizibilite aşamasında parametrik tasarım yöntemini keşfetmektir. Çalışmanın sonucunda, bu yöntemin eğitim, planlama açısından geleneksel süreçlere göre daha avantajlı bir yöntem olduğu saptanmıştır. Hogrefe (2010) “Evaluating the Digital Design Process: Bottom-up vs. Top-down” adlı yüksek lisans tezinde parametrik tasarım sürecindeki algoritmik yaklaşım ve sezgisel yaklaşım teknikleri hakkında bilgi vermiş, Grasshopper parametrik tasarım ara yüzünde katlama yöntemi (louvered grid shell) ile örnek uygulamalar yapmıştır. Clarke (2001) “Energy Simulation in Building Design” adlı çalışmasında enerji modeli teknikleri üzerinde durarak, bina simülasyonları, bina enerji denge süreçleri, yenilenebilir enerji ve kontrol sistemleri, güneş ışıınım pozisyonları ve açıları hakkında daha çok formülasyona dayalı bilgiler vermiştir. Beaman ve Bader (2010) “Responsive Shading and Intelligent Façade Systems” adlı çalışmasında sürdürülebilir tasarım kriterleri ve duyarlı güneş gölgelendirme odaklı cephe tasarımı (responsive solar shading façade) amaç ve yöntemleri hakkında bilgi vererek Teksas’daki bir örnek üzerinden analizini yapmışlardır. Kolarevic ve Malkawi (2005) “Performative Architecture: Beyond Instrumentality” adlı kitaplarında performansa dayalı tasarım süreçlerini ve maliyete etkisini örnekler üzerinden anlatmışlardır. Amerika perspektifinde, sürdürülebilir tasarımda karşılaşılan zorluklar ve sürdürülebilir tasarım bağlamında biyoteknik ve morfogenetik uygulamalar hakkında bilgi vererek simülasyonlar ve araçlar ile alternatif sunumlar yapmışlardır. Güneş tasarımında şehir ölçeğinde bir örnek ile performatif çevrede mühendislik ve standart olmayan yapı tasarımında performans konularını ele almışlardır. Grobman ve Neuman (2012) ise, “Performatism: Form and Performance in Digital Architecture” adlı kitaplarında performatif kavramını mimarlığın her alanında ele alarak bu kavramın teknoloji ve yüksek performanslı binalar hakkında ilişkisini dile getirmişlerdir. Malzeme perspektifinden yönlendirilmiş binaların performansı hakkında bilgi vererek uluslararası pek çok mimari örnekleri analiz etmişlerdir. Binaların enerji ile olan ilişkisi şüphesiz binanın formundan da etkilenmektedir. Ko, Schiler, Kensek ve Simmonds (2012) “Tilted Glazing in Building Simulations and Its Effect on Form Refinement of Complex Facades” adlı makalelerinde, tasarım ve enerji arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak doğrudan güneş ısısı kazanımı için örnek bir binanın genetik algoritmalar yardımıyla hangi formda olabileceğini analiz etmişlerdir. Lee (2013) “High Energy Efficient Building Envelope Design with Integrated Workflow in Multidisciplinary Performance Criteria” adlı yüksek lisans tezinde performansa dayalı tasarım yöntemleri ve simülasyonları anlatarak bütünleşik tasarım ve parametrik çözümler hakkında bilgi vermiştir. Alan çalışması olarak ilk önce site içerisinde lokasyonu sabit bir

binanın, komşu binalarını dikkate alarak ısı, ışık ve rüzgâr analizlerini yapmıştır. Daha sonra grasshopper, Diva gibi programları kullanarak yaz aylarında ısı kazancını engellemek ve daha düşük güneş açısı ile ısıtma sezonunda serbest güneş ışınlamına izin vermek için bina kütlesine ayarlanabilir panjurlar eklemiştir. Roudsari ve Pak (2013) “Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design” adlı makalelerinde Grasshopper programı altında çalışan ve enerji analizleri için kullanılan eklenti programlar hakkında bilgi vermişler, tez kapsamında kullanılan Ladybug programının diğer programlar içerisindeki durumunu analiz etmişlerdir.

Bu araştırmalardan elde edilen veriler bağlamında, yapı kabuğu biçimlenişi ve güneş mimarisi ile ilgili yeşil ve sürdürülebilir binalar çerçevesinde konular ele alınarak, bütünleşik tasarım ve geleneksel tasarım süreçleri ve karşılaştırılması, rüzgar, güneş gibi pasif enerji için kullanılan sistemlerin binalara entegrasyonu gibi konular üzerinde durulmuş, kent ve yönetim modeli karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Güneş verilerine bağlı yapı kabuğu tasarım yöntemleri kullanılırken yapıyı çevredeki binaları da göz önünde bulundurmak için uzun ve karmaşık algoritmik bağlantıların kullanıldığı ve yine bu genetik ve algoritmik programlarla enerji analizlerinin yapıldığı görülmüştür. Bu bağlamda literatürde; erken tasarım aşamasında, güneş enerjisi verimliliği odaklı tasarım yaklaşımlarında, optimum sonuca ulaşmak için kolay ve hızlı çözüm yollarının olmadığı saptanmıştır.

Bu yüzden çalışmada, yapıyı çevreyi de dikkate alan ve tasarımın uygulanacağı arazinin hangi konumunda yer alacağını saptayan bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca, öneri yöntemle yapıyı çevre içindeki lokasyon ve güneş ışınlarına göre şekillenen hayali tasarım sınırının içinde kalmak koşuluyla tasarımcıya istediği tasarımı yapma özgürlüğü verilmiştir.

### Araştırmanın Problemi

Türkiye, enerji kullanımı açısından büyük ölçüde dışa bağımlı bir ülkedir ve bu dışa bağımlılık ülke ekonomisini baskılamaktadır. Oysaki Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından son derece elverişli bir konumdadır [5]. Türkiye’deki bu kaynaklardan en fazla potansiyeli olan güneş enerjisidir. Çünkü Türkiye güneş kuşağında yer almaktadır ve 110 gün gibi bir oranda yüksek enerji potansiyeli vardır [6]. Bu yüzden, güneş enerjisi

kullanımı ve bu yönde yapılan tasarım yaklaşımları ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşması açısından önem arz etmektedir.

Güneş enerjisinin Türkiye’de kullanımını teknolojik yöntem ve düzey açısından değerlendirdiğimizde, ısı güneş teknolojileri ve güneş pilleri (fotovoltaik sistem) olarak kategorize edilebilir. Çeşitli dünya ülkelerinde ise bu teknolojilere ek olarak, güneş ışınlarının geliş açısına bağlı, enerji korunumu ya da kazanımında maksimum verim için yapı kabuğunun doğru biçimlenmesi hususunda üç farklı yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin yapıyı çevrede kullanılırken, içinde bulunduğu binaların konumunu ve yüksekliklerini göz önünde bulundurmak için uzun ve karmaşık algoritmik bağlantılardan yararlanıldığı ve yine bu uzun algoritmik bağlantılarla enerji analizlerinin yapıldığı görülmüştür.

Bu bağlamda, kent içerisindeki yapıyı çevrelerde tasarlanan binaların komşuluk ilişkileri bağlamında güneşten maksimum düzeyde yararlanabilmesi ve bununla birlikte binaların istenilen alanlarında güneşten optimum şekilde korunma için en hızlı ve en kolay şekilde nasıl bir yöntem uygulanması gerektiği problemin temelini oluşturmaktadır.

Öte yandan, bilgisayar teknolojilerinin kullanımıyla ilgili mimarlar genel olarak sonuç ürüne odaklanmakta, biçime karar verme sürecinde görsel grafik simülasyonlarından yararlanmakta ve tasarım kararlarında hız, hassasiyet ve gerçeklik sağlamaktadırlar. AIA Architecture 2030 Commitment Progress (2013) raporuna göre, mimarlar enerji modellemesini proje tasarım sürecinin temel bir parçası haline getirmemektedirler [7]. Oysaki enerji simülasyonlarından yararlanılan projelerde, binalardaki enerji tüketim oranı büyük oranda azalmaktadır. Kısacası, tasarım öncesi süreçte bilgisayar ortamında çevresel koşulları değerlendirme aşamasının çok dikkate alınmadığı görülmektedir. Bu da problemin alt başlığını oluşturmaktadır.

#### Araştırmanın amacı

Bu araştırmanın amacı, performansa dayalı tasarım bağlamında sayısal tasarıma olanak sağlayan günümüz bilgisayar programları (Rhinoceros - Grasshopper) ile çevresel faktörlerden etkisinin en yoğun şekilde görüldüğü güneşe ait parametreleri kullanarak yapıyı çevrede optimum yapı kabuğu çözümü için bir yöntem önerisi sunmak ve bu yöntemi

karmaşık algoritmik bağlantılara gerek kalmadan en hızlı ve kolay şekilde uygulamak için araçlar geliştirmektir.

Bu amaç doğrultusunda tasarlanacak olan yapılarda enerji kaybı minimize edilerek, gereken durumlarda aşırı ısı kazanımından korunmak ile optimum enerji kazanımını sağlamak konularında önemli bir yaklaşım oluşturulabileceği ve böylece ülke ekonomisine de büyük katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Mimarlık disiplini içerisinde tasarım sürecinin ilk aşamasında, tasarımın bulunduğu lokasyon ve çevresel veriler büyük önem teşkil etmektedir. Öte yandan, günümüzde bu veriler sadece plan aşamasında kullanılmakta, yapı kabuğu biçimlenişleri mimarın üslubuna bırakılmaktadır. Bu husus dikkate alınarak tezin temel amacı, “yer” in özelliklerini en iyi şekilde değerlendirmenin önemini vurgulamak, enerji verimliliği odaklı tasarım yaklaşımlarında optimum değerlendirme ve sonuçlara ulaştıracak bir yöntem önerisi ortaya koymak ve yöntemin uygulanabilirliğini destekleyecek araçlar geliştirmek olarak belirlenmiştir.

#### Araştırma sorusu ve hipotezi

Araştırmada genel olarak “Enerji optimizasyonu sağlamak amacıyla, yapılı çevrede sayısal teknolojiler vasıtasıyla biçimlenen yapı kabuğu tasarımları için karışık algoritmik bağlantılar yerine aynı sonuca daha kısa ve kolay ulaştıran araçlar geliştirilebilir mi?” sorusunun cevabı aranmış ve bu çerçevede, aşağıdaki hipotezler sorgulanmıştır:

1. Yapı kabuğu tasarımlarında, güneş hareketi odaklı oluşacak farklı biçimlenişlerle yapıda enerji korunumu ya da kazanımı sağlanabilir.
2. Yapı kabuğu ile enerji arasındaki ilişkinin belirlenmesi doğrultusunda, mevcut yöntemleri oluşturmada kullanılan algoritmik bağlantılar yerine daha kısa sürede amaca ulaşabilen ve kullanım sürecinin daha kolay gerçekleştiği sıkıştırılmış algoritmik araçlar geliştirilebilir. Böylece, tasarımın ilk aşamalarından itibaren “yer” e ait verilerin değerlendirilmesine olanak sağlayarak daha hızlı ve kolay şekilde yapılı çevrede yapılan tasarımlarla, enerji kaybı minimize edilerek, optimum enerji kazanımı sağlanabilir.
3. Tasarım modellemesinin yapıldığı ortamda, Grasshopper program tabanlı Ladybug yazılımı ile güneş analizleri yapılarak, kısa sürede enerji optimizasyon sonucu elde edilebilir. Çevre verileri parametrik olduğundan, belirli saat aralığında ve tüm

mevsimlerdeki güneş ışınlarının anlık etkileşimli hesapları yapıp tasarım kararlarını gerçek zamanlı olarak test etme şansı olabilir.

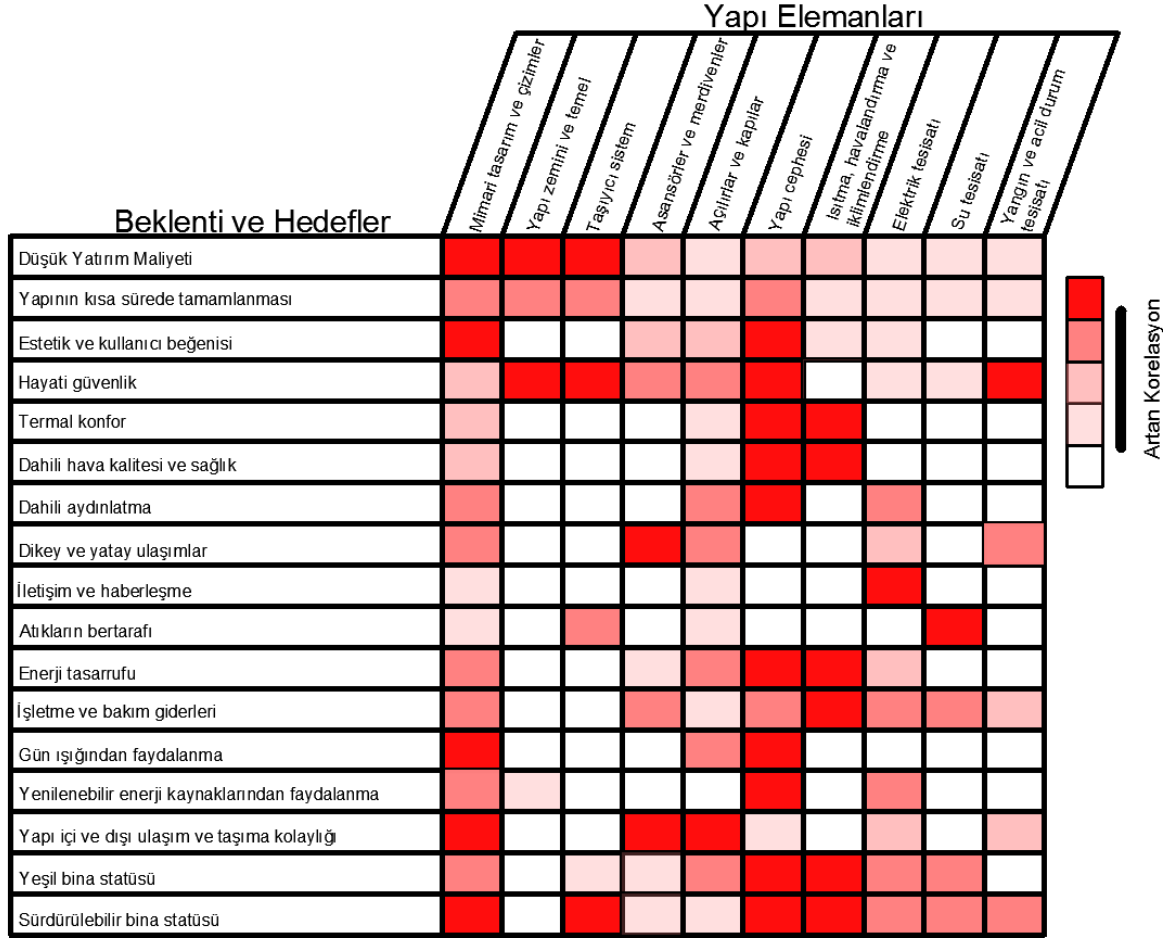
4. Güneş verilerinin parametrik tasarım yazılımına (Rhinoceros ve Grasshopper) girilmesiyle, yapılı çevrede seçilen lokasyonda ve güneş ışınlarına bağlı olarak yeni oluşturulacak tasarımın sınırları ile enerji odaklı tasarım sürecinde mimara dilediği tasarımı yapma özgürlüğü verilebilir.

#### Araştırmanın önemi

Bu araştırma, tasarımcıların kent içi yapılı çevre içerisinde karışık algoritma yazılımlarına gerek olmadan, yüksek performanslı optimum çözümlere daha kolay ve daha hızlı ulaşmaları için bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca tasarımcıların, enerji verimliliği bağlamında yüksek performanslı yapı kabuğu çözümlerine ulaşmaları için erken tasarım aşamasından itibaren sayısal teknolojilerden yararlanmalarını teşvik ederek farkındalık yaratılmaktadır. Aynı zamanda, bu yöntemle oluşturulacak olan tasarımlarda maksimum kazanç sağlanacağından ülke ekonomisine de büyük katkısı olacağı yadsınamaz niteliktedir.

#### Araştırmanın sınırlılıkları ve varsayımları

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş çok daha fazla bir potansiyele sahip olduğu için araştırma sadece güneş kapsamında sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik çerçevesinde özellikle LEED, BREEAM gibi yeşil bina sertifika sistemlerinde yapı cepheleri tüm proje düşünüldüğünde çok daha önem kazanmaktadır. Şekil 1.1’de, fonksiyonellik, termal konfor, gün ışığından faydalanma, enerji tasarrufu, geri dönüşüm, sürdürülebilirlik gibi kavramların yapı bileşenleri içinde en çok cephe ile ilişkili olduğu görülmektedir [9]. Bu yüzden araştırma, yapı kabuğu kapsamında tutulmuştur.



Şekil 1.1. Yapı elemanları ile yapıdan beklenenler ve hedefler arasındaki korelasyonlar [9]

Araştırmada, kent içerisinde fonksiyon olarak en yaygın kullanılan apartman tipi konut yapısı seçilerek mevcut durum, konut yapısının bulunduğu lokasyona uygulanan öneri yöntemden ortaya çıkan optimum kılavuz tasarım sınırı kabuk ve bu kabuk kullanılarak tasarlanan parametrik model, enerji bağlamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapılan alan çalışmada;

- Ankara ilinde Aralık ve Haziran ayları ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 2,5 °C ve 20,1 °C iken, küresel ısınma gibi faktörler göz önünde bulundurularak bu değerler sırasıyla 5 °C'den düşük ( $a < 5$ ) ve 30 °C'den düşük ( $a < 30$ ) şeklinde bir oran tanımlanmıştır.
- Analiz aşamasında aylık aydınlatma odaklı elektrik kullanım oranları hesap edilirken aydınlatmada LED kullanımı olduğu varsayılmıştır.

- Daire analizlerinde, bir dairede oturan kişi sayısı, m<sup>2</sup> başına 0.035 kişi olarak belirlenmiştir. Bu durumda 128 m<sup>2</sup>'lik bir dairede ortalama 4-5 kişinin ikamet edeceği varsayılmıştır.

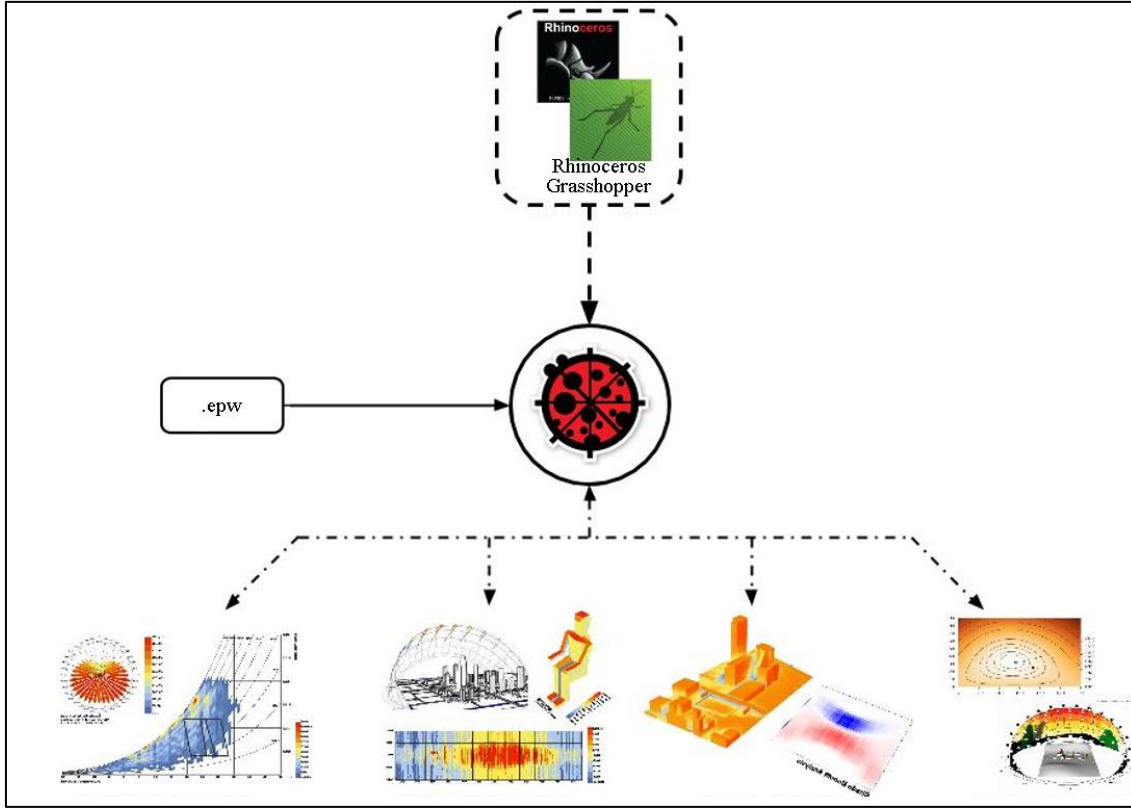
### Araştırmanın yöntemi

Araştırmada, öneri tasarım yöntemi sürecine girdi oluşturabilecek nicel ve nitel veriler toplanmıştır. Daha sonra, çalışmanın amacına uygun olarak önceden yapılmış mimari örneklerin tasarım yöntemleri kategorize edilmiş ve bu yöntemlerden öneri yöntem için kullanılmak üzere hangisinin uygun olduğu, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) çerçevesinde bulanık mantık yöntemi ile seçilmiştir.

AHS, karar verilecek olan kriterlerin öncelik sırasını dikkate alan, nicel ve nitel parametreleri bir arada değerlendiren çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Bu yöntem kullanılırken öncelikle karar hiyerarşisi üzerine karşılaştırmalı bir ölçek belirlenmektedir. Kararı etkileyen kriterler önem değerine göre sınıflandırılarak karar hiyerarşisi ile birebir karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak, önem oranları kriterler üzerinden yüzdelik olarak ifade edilmektedir [10].

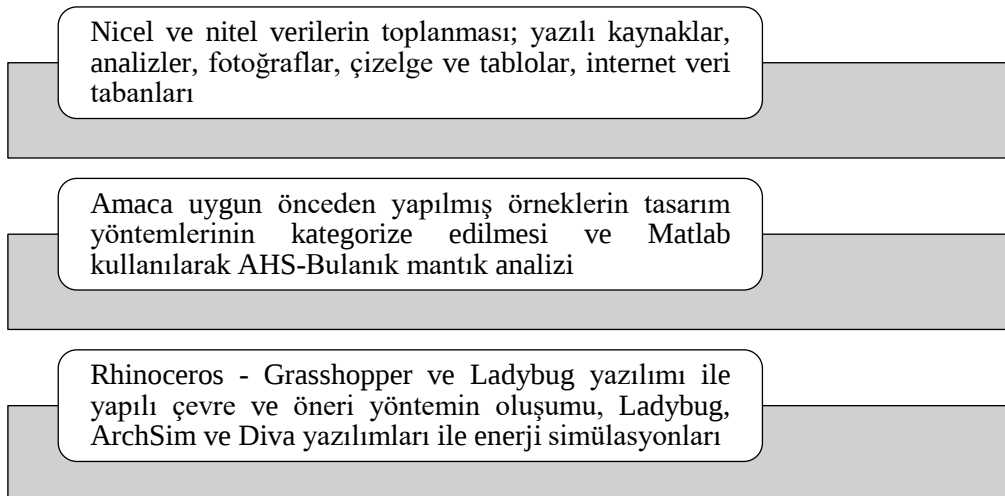
Bu bağlamda, analiz edilen tasarım yöntemlerinin ölçütleri, sözel ifadelerden sayısal ifadelere dönüştürülerek yöntemlerin daha iyi kavranması sağlanmıştır. Böylece, uygun yöntemin seçimi için sayısal veriler elde edilebilmiştir.

Araştırmada öneri yöntemin kurgulanması ve alan çalışması aşamasında, Rhinoceros üç boyut (Three Dimension – 3D) tabanlı çalışan Grasshopper (algoritmik grafik düzenleyici) programı ve Ladybug yazılımı ile temel yazılım zincirleri oluşturulmuştur. Rhinoceros - Grasshopper programı NURBS (Non Uniform B-Splines) yüzey mantığı ile çalışan ve parametrik modelleme ve evrimsel algoritmalara dayalı en temel programdır. Aynı amaç için kullanılan diğer programlarda NURBS yüzey mantığı az geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bu programın hassas ve kesin değerler ile çalışması ve parametrik veriler ile enerji hesaplarının aynı ara yüzde yapılabilmesi, çalışma için en uygun program olarak seçilmesinde etkili olan ölçütlerdir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Rhinoceros eklenti programı Grasshopper ve Ladybug yazılımı [11]

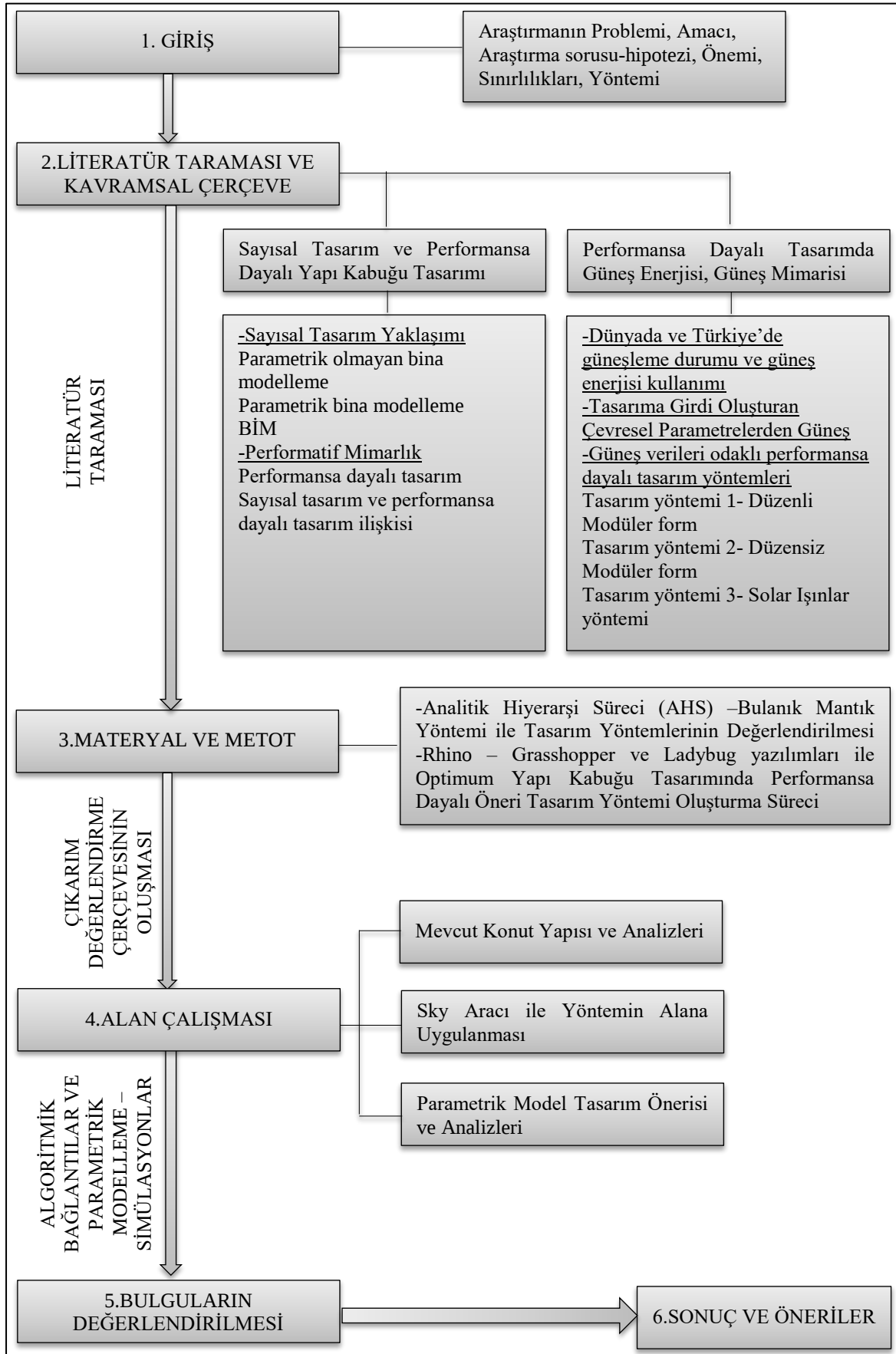
Ladybug yazılımı, simülasyon modellerini ve yapı çevre parametrelerini tanımlamak ve yine Ladybug ile ArchSim ve Diva yazılımları, modellerde Open Studio üzerinden EnergyPlus ile enerjiyi simüle etmek için kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan yöntemler Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Çalışmada kullanılan yöntemler

Tez çalışmasında, istenilen amaca ulaşmak için toplam altı ana bölüm bulunmaktadır. Şekil 1.4.'de tez akış şemasında da gösterildiği gibi;

- Birinci bölümde; araştırmanın problemi, amacı, araştırma sorusu - hipotezi, önemi, sınırlılıkları ve yöntemi açıklanmıştır.
- İkinci bölümde; sayısal tasarım ve performansa dayalı yapı kabuğu tasarımı, performansa dayalı tasarımda güneş enerjisi ve güneş mimarisi konuları kapsamında literatür taraması yapılarak sayısal tasarım ve güneş mimarisi arasındaki ilişki ortaya konulmuş, daha sonra tasarım yöntemlerini kategorize etmek için örnekler incelenmiş ve yapı kabuğu ile enerji arasındaki ilişki belirlenmiştir. Böylece, tezin temellerinin oturtulduğu kavramsal bir çerçeve çizilmiştir.
- Üçüncü bölümde; materyal ve metot detaylı olarak anlatılmıştır.
- Dördüncü bölümde; gerçekleştirilen alan çalışması ile mevcut konut binasının enerji simülasyonları yapılmış, daha sonra geliştirilen SKY araçları ve algoritmik bağlantılar ile öneri yöntem kullanılarak bir parametrik model tasarlanmış ve bu modelin de enerji simülasyonları yapılarak, alan çalışması üzerinden elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.
- Beşinci bölümde ise; değerlendirilmeler sonucunda araştırma sorusu yanıtlanarak hipotezlerin doğruluğu sorgulanmış ve öneri yöntem ve geliştirilen SKY araçları, mimari tasarım sürecine girdi oluşturması için sunulmuştur.



Şekil 1.4. Tez akış şeması

## 2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölüm, araştırmanın arka planını ve metodolojik yapısının oluşumunu desteklemektedir. Literatür taraması, sayısal tasarım ve performansa dayalı yapı kabuğu tasarımı ile performansa dayalı tasarımda güneş enerjisi ve güneş mimarisi olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

### 2.1. Sayısal Teknolojiler ve Performatif Mimarlık

Performatif tasarım amacıyla, yüksek performanslı yapıların etkin bir şekilde modellenmesi ve performanslarının doğru bir şekilde analiz edilmesi için sayısal teknikler geliştirilmiştir.

#### 2.1.1. Sayısal tasarım yaklaşımı

Ekolojik dengenin bozulmasına neden olan ve insan sağlığını büyük ölçüde tehdit eden fosil yakıt tüketimi sorununa çözüm bulmak için günümüz tasarımcıları, enerji odaklı tasarım yapmayı hedeflemişlerdir. Bu hedefe hizmet vermek üzere, daha az hammadde ile yüksek konfor sunan yüksek performanslı yapıların modellenmesi ve performanslarının doğru bir şekilde analiz edilmesi için sayısal teknikler geliştirilmektedir. Bu sayısal teknikler, uygulama biçimine göre parametrik, parametrik olmayan ve BİM (Yapı Bilgi Modelleme) şeklinde sınıflanabilmektedir. Yapıların performansını ölçen simülasyon ortamlarını sunan Ecotect, Design Building, EnergyPlus gibi diğer yazılımlar, dördüncü grup olarak sunulabilmektedir.

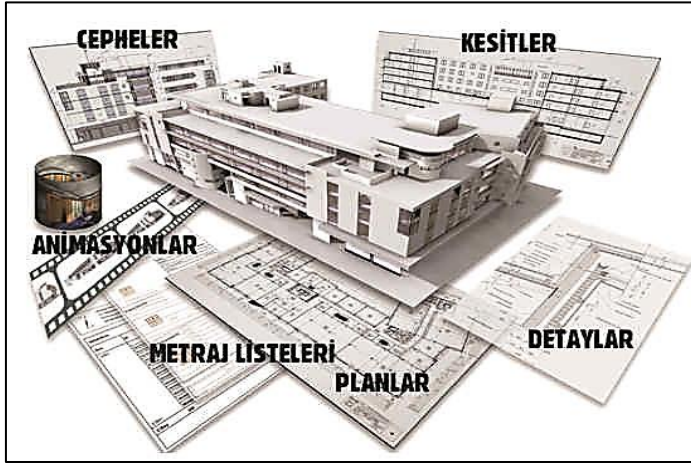
#### Parametrik olmayan bina modelleme

Kullanıcılar tarafından yıllardır tercih edilen olan çizim ve modelleme araçlarının büyük bir kısmı CAD tabanlıdır. Parametrik olmayan bu programlar, sadece 2 boyutlu çizim ve 3 boyutlu görsel fotoğraf verme özelliklerine sahip olduklarından geleneksel araçlar olarak kabul edilebilir. En çok kullanılan programlar SketchUp, AutoCAD, 3D Studio Max ve Maya'dır. Tüm dünyada genel olarak yaygın kullanılan araçlar Çizelge 2.1'de yer almaktadır [12].

Çizelge 1.1. Parametrik olmayan modelleme araçları [12]

| Parametrik olmayan modelleme araçları | Website                                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Autocad                               | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>              |
| Sketch-up                             | <a href="http://sketchup.google.com">http://sketchup.google.com</a> |
| Maya                                  | <a href="http://www.alias.com">http://www.alias.com</a>             |
| 3D Studio Max                         | <a href="http://www.discreet.com">www.discreet.com</a>              |
| Rhinoceros                            | <a href="http://www.Rhinoceros3d.com">www.Rhinoceros3d.com</a>      |
| Cinema4D                              | <a href="http://www.maxon-computer.com">www.maxon-computer.com</a>  |
| Lightwave                             | <a href="http://www.newtek.com">www.newtek.com</a>                  |
| Caligari Truespace                    | <a href="http://www.caligari.com">www.caligari.com</a>              |
| Softimage                             | <a href="http://www.softimage.com">www.softimage.com</a>            |

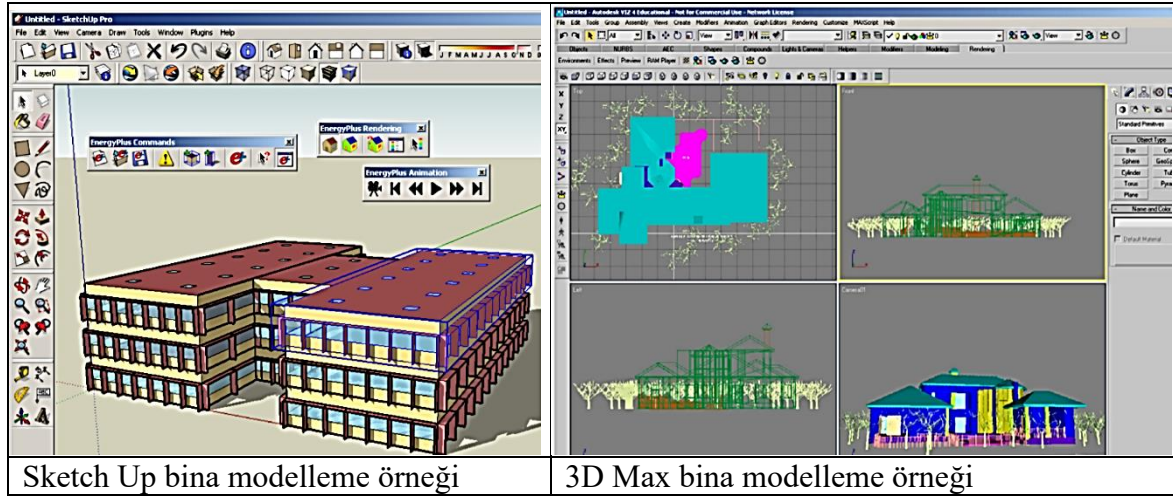
Bu programlar, kurgulandığı günden itibaren süreç içerisinde birtakım eklentilerle güncellenmektedirler. Örneğin, programların ilk çıkış zamanlarında üç boyutlu veri elde etme çok kaliteli olmadığı için tasarımcı sadece iki boyutlu planlar, kesitler, görünüşler, detaylar çizerken, günümüzde üç boyutlu modelleme ve animasyonlar yapılabilmektedir. Resim2.1’de parametrik olmayan modelleme araçlarının kullanım alanları olarak sanal bina ve bu modeli destekleyen plan, kesit, cephe gibi iki boyutlu temsiller görülmektedir [13].



Resim 1.1. Sanal bina, parametrik olmayan modelleme araçlarının kullanım alanları [13]

Bu programlar ile bina modelleme yapılarak genelde sunum amaçlı tasarımların gösterim şekillerini geliştirmeye odaklanılmıştır. Yapı kabuğu hangi biçimde tasarlanırsa, o şekilde görsel sahneleme alınması mümkündür. Çizelge 2.2’de 3D Max ve Sketch Up programlarında modellenmiş örnekler görülmektedir.

Çizelge 1.2. 3D Max ve Sketch Up bina modelleme örnekleri [14, 15]

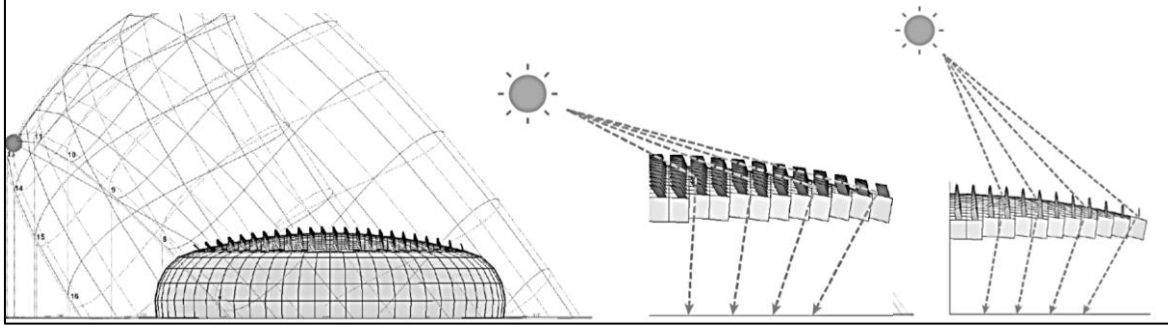


### Parametrik bina modelleme

Parametrik tasarım kavramının ortaya çıkışında öncü olan İtalyan mimar Luigi Moretti, parametrik tasarımı birbirinden farklı birçok parametreye bağlı olarak bir bağlantı kurma amacı olan tasarım çalışması olarak tanımlamaktadır [16, 17]. Parametre ise, bir durumun değiştirilebilir nicelikte bir ya da birden çok olabilmesi olarak ifade edilebilir. Bu özelliği ile parametrik tasarım, geleneksel tasarım yaklaşımından ayrılmakta ve sayısal tasarımın da temelini oluşturmaktadır. Parametrik modellemede tasarım süreci, tasarım konseptinin oluşumu, tasarımın yapılacağı alanın biçimlenmesi ve uygulama detaylarının çözülmesi gibi birçok aşamadan oluşmaktadır [18].

Parametrik olarak tasarım konsepti oluşturma aşamasında, çevre verileri ya da karar verilen diğer faktörler parametre olarak yorumlanarak etki – tepki yöntemiyle tasarım biçimi oluşturma yoluna gidilmektedir [18]. Değişebilir bir sistemde tasarım süreci gerçekleştiğinden, tasarımda değişkenlere bağlı olarak farklı alternatifler kolayca denenebilmektedir.

Şekil 2.1.’de güneş ışınlarının geliş açısına göre çatı elemanlarının parametrik olarak açılıp kapanması ile etki – tepki yöntemine göre parametrik bir tasarım gerçekleştiği görülmektedir [19].



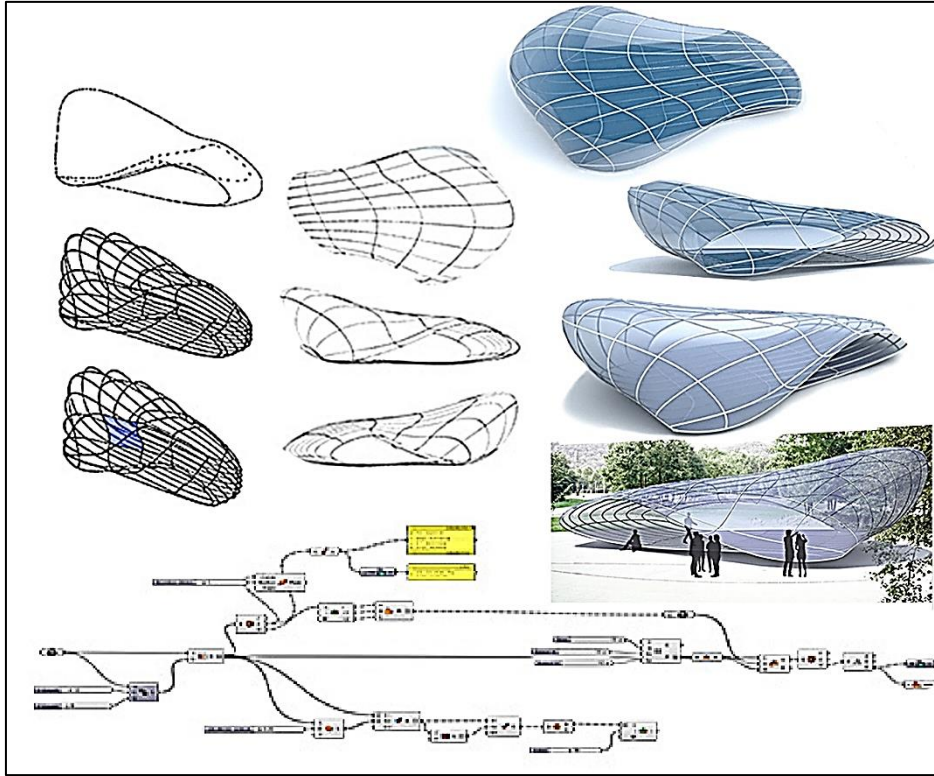
Şekil 1.5. Parametrik tasarım örneği [19]

Bir bilgisayar yazılımı aracılığı ile parametrik tasarım konsepti oluşturulacağından, tasarım süreci son derece planlı ve sistematik olmak zorundadır. En çok kullanılan parametrik tasarım programları; Autodesk Revit, Rhinoceros - Grasshopper, ParaCloud Modeler, Generative Components ve CATIA olarak sayılabilir (Çizelge 2.3), [12].

Çizelge 1.3. Parametrik modelleme araçları [12]

| Parametrik modelleme araçları | Website                                                        |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Autodesk Revit                | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>         |
| Generative Components         | <a href="http://www.bentley.com">www.bentley.com</a>           |
| Rhinoceros-Grasshopper        | <a href="http://www.grasshopper.com">www.grasshopper.com</a>   |
| ParaCloud Modeler             | <a href="http://www.paraclouding.com">www.paraclouding.com</a> |
| CATIA                         | <a href="http://www.3ds.com">www.3ds.com</a>                   |

Yapı kabuğu tasarım aşamasında karar verilecek olan değişkenler, yapıyı çevre verileri (mevcut binaların yönü, yüksekliği, tasarım alanına gelen güneş ışınları ve rüzgâr vb. etmenler), kat adet ve yükseklikleri, taban alanı olarak belirlenebilir. Bu faktörlere uygulanan herhangi bir değişiklik, tasarımı da anlık değiştirmekte ve sonuç modelin de anlık değişip güncellenmesini sağlamaktadır. Sonuç ürün, anlık değişimleri test edebilen ve istenilen teknik verilere ulaşılabilen görsel bir model olacaktır. Resim 2.2’de Rhinoceros - Grasshopper parametrik tasarım örnekleri yer almaktadır.



Resim 1.2. Rhinoceros - Grasshopper parametrik tasarım örnekleri [20]

### BİM (Building Information Modeling - Yapı Bilgi Modelleme)

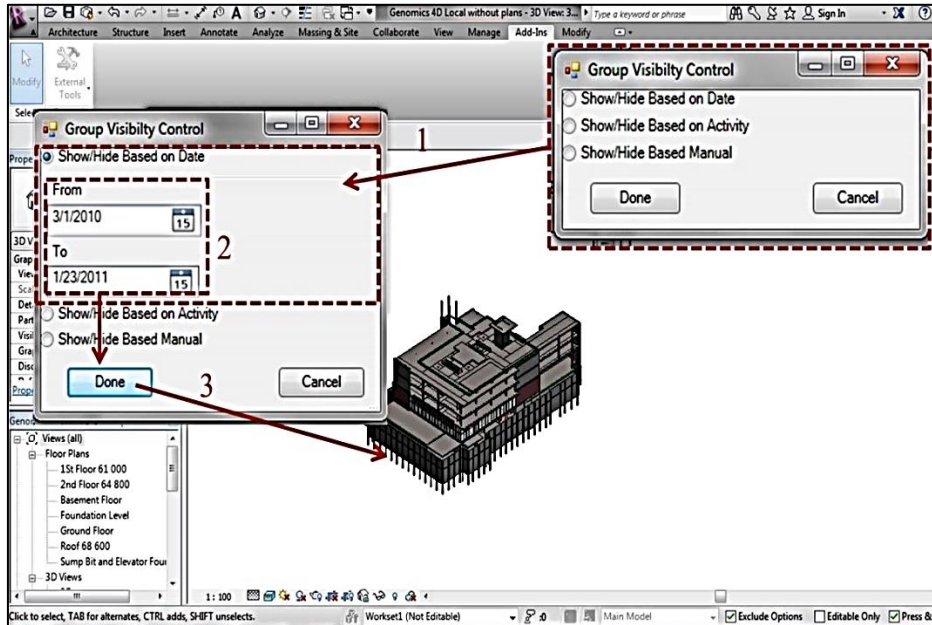
Yapı Bilgi Modelleme (BİM) yaklaşımı, tasarımın tüm biçimsel grafik verileri ile malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü gibi sayısal verilerini de göz önünde bulundurarak oluşturulan üç boyutlu (3D) modelin, proje sürecine katılan bileşenler aracılığı ile binanın yaşam döngüsü boyunca ortak kullanımını sağlayan bir yaklaşımdır. BİM süreci 5 adımdan oluşmaktadır:

1. 3D Modelleme ve görsel tasarım
2. Analiz etme süreci - simülasyon ve tasarım ilişkisi
3. Sonuç ürünü projelendirme ve ortaklık (BİM, farklı disiplinlerin bir arada çalışmasını ve iş birliği protokollerini desteklemektedir.)
4. Uygulama yönetimi
5. Bina Yaşam Döngüsü Desteği [21, 22].

BİM uygulamaları için tasarım modelleri, CAD tabanlı programlardan alındığı takdirde bir takım bağlantı problemleri oluşabilir. Bunlar;

- Yalnızca bina biçimi ya da geometrisi olarak verilen grafiksel bilgi
- İki boyutlu planlar, kesitler, görünüşler ve detaylar
- Proje revizyonu problemleri
- Cad tabanlı programların, DXF ve DWG uzantıları ile olan verilerin farklı formata dönüşümü sırasında oluşan eksiklikler ve hatalar olarak sayılabilmektedir [21, 22].

Bu bağlantı problemlerini çözmek için 3D modelleme ve görsel tasarım büyük önem arz etmektedir. 3D modelin doğru ve detaylı bir şekilde oluşturulmasıyla, tüm plan, kesit, görünüş, proje detayları ve metraj hesaplamaları bu modelden elde edilebilir. 3D modelden alınan bu verilerin kendine has bağımsız görselleri olsa da tasarım verileri ile etkileşimli olduğu için tasarımda yapılan herhangi bir değişiklik bu verileri eş zamanlı bir şekilde güncellemektedir. Böylece, tüm veriler arasında koordinasyon sağlanarak tutarlı bir yaklaşım içinde olmaktadır. Resim 2.3’de Revit programında 3D model örneği ve bu modelden veri elde etme tekniği görülmektedir.



Resim 1.3. 3D model örneği ve bu modelden veri elde etme [23]

Bilgisayar yazılımı tabanlı simülasyon programları ise, tasarlanan modelin enerji, görsel ve ısı konfor, akustik performansının analizini yaparak modelin öngörülen standartları sağlayıp sağlamadığını daha tasarıma başlamadan önce öğrenilmesini sağlamaktadır. Bu programlar erken tasarım evresinde kullanıldığı gibi, ileri tasarım evresinde ve hatta mevcut binaların analizlerini yapmakta da kullanılabilmektedir.

Günümüzde kullanılan bina simülasyon programlarının başlıcaları olarak; Ecotect, Green Building Studio, EnergyPlus, Hevacomp, IES, Radiance programları sayılabilir (Çizelge 2.4), [12].

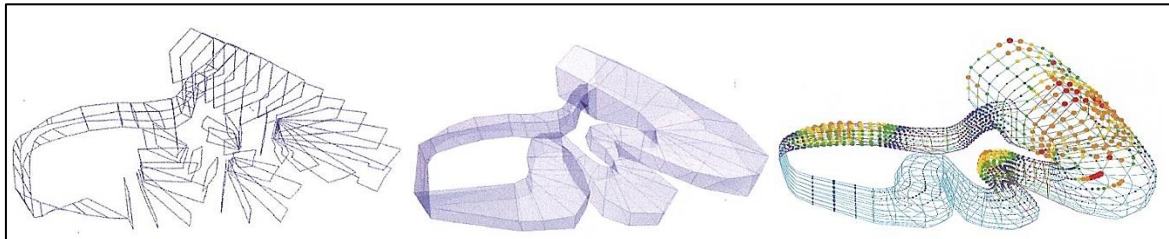
Çizelge 1.4. BİM modelleme araçları [12]

| Bina performans simülasyon araçları | Website                                                                                                |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IES                                 | <a href="http://www.iesve.com">www.iesve.com</a>                                                       |
| Radiance                            | <a href="http://wapedia.mobi/en/Radiance">http://wapedia.mobi/en/Radiance</a>                          |
| Ecotect                             | <a href="http://ecotect.com">http://ecotect.com</a>                                                    |
| Green Building Studio               | <a href="http://www.autodesk.com/greenbuildingstudio.com">www.autodesk.com/greenbuildingstudio.com</a> |
| Hevacomp                            | <a href="http://www.bentley.com">www.bentley.com</a>                                                   |
| EnergyPlus                          | <a href="http://app1.eere.energy.gov">http://app1.eere.energy.gov</a>                                  |

Tasarımın son ürünü mimari elemanlarla ilişkilendirilerek BİM modeline dönüştürülmektedir. BİM için tasarım üç ayrı yöntem ile geliştirilmektedir:

#### 1. Modelin biçimlenmesinde geometrik kütle oluşturma komutlarının kullanılması

Parametrik, parametrik olmayan ve simülasyon araçlarının hepsi geometrik kütle oluşturma komutları içermektedir. Şekil 2.2’de, Fransa’da Frac bölgesel Çağdaş Sanat Müze tasarımının bu araçlarla kütle oluşum süreçleri görülmektedir [24].

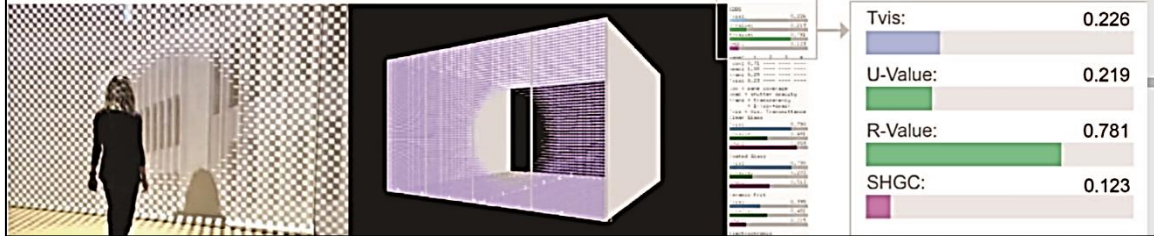


Şekil 1.6. Geometrik kütle oluşumu [24]

#### 2. Modelin biçimlenmesinde kod yazılımı ile parametrik tasarım ilkelerinin kullanılması

Sayısal tasarım çerçevesinde modellerde çoklu performans yeteneği için kod yazılımı gerçekleştirilmektedir. Kod yazımı ile yapı kabukları, günümüzde çevreye duyarlı, çevresel, sosyal ve mimari fırsatları değerlendiren bir araç haline gelmiştir. Resim 2.4’deki cephede, güneş kontrolü ve görünürlük, geçirgenlik barındıran algoritmalarla çevreye duyarlı elektro

aktif aydınlatmalı bir tasarım geliştirilmiştir. Cephe, enerji performansını sağlarken, aynı zamanda insanların önüne geçtiği alanı algılayarak, kısıtlı bakış açılarını artırıp kullanıcı memnuniyeti sağlamaktadır. Kısacası, çevresel performans ve insan etkileşimini dengede tutmaktadır [25].

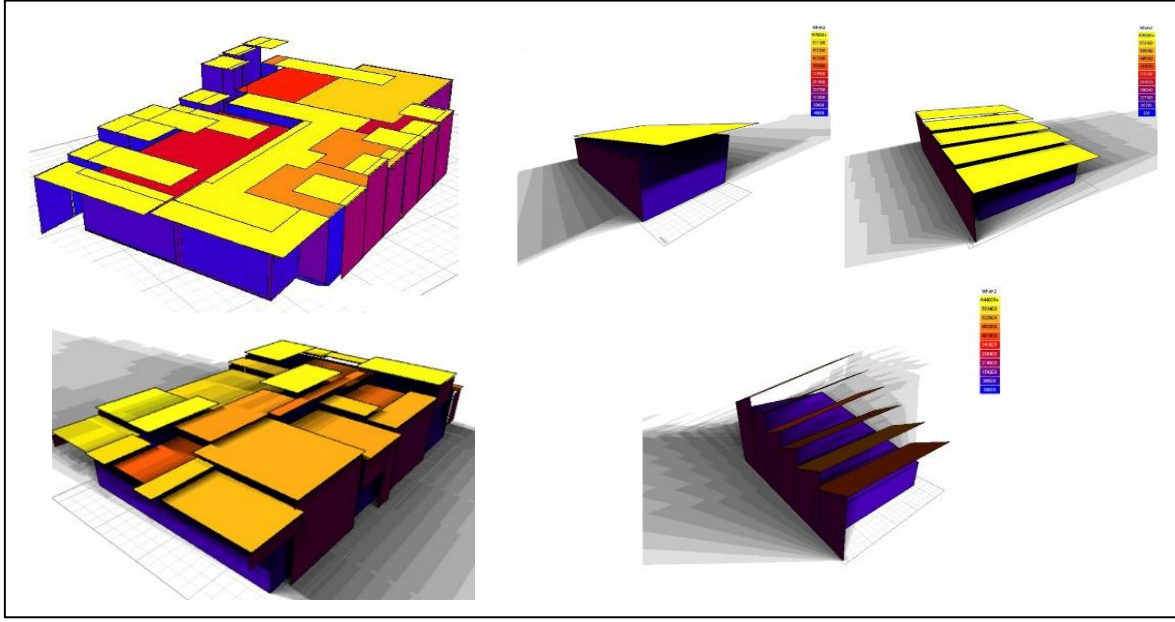


Resim 1.4. Kod yazılım dili ile yapı kabuğu tasarımı [25]

### 3. Modelin performans analizi yapılarak biçimlenmesi

Bu biçimlenme, erken tasarım aşamasında simülasyon araçları ile modelin enerji simülasyon protokollerini oluşturmakla mümkün olmaktadır. Bina verilerinden özel olarak hangi bölümün simüle edileceği ve ideal tasarım kararları almak için sonuçların nasıl analiz edilmesi gerektiği belirlenmektedir. Binanın yönelimi, formu, güneş ışıınım miktarı, enerji tüketimi ve doğal ve yapay aydınlatma gibi veriler, tasarım hedeflerini değerlendirmede kullanılan tasarım kararlarıdır.

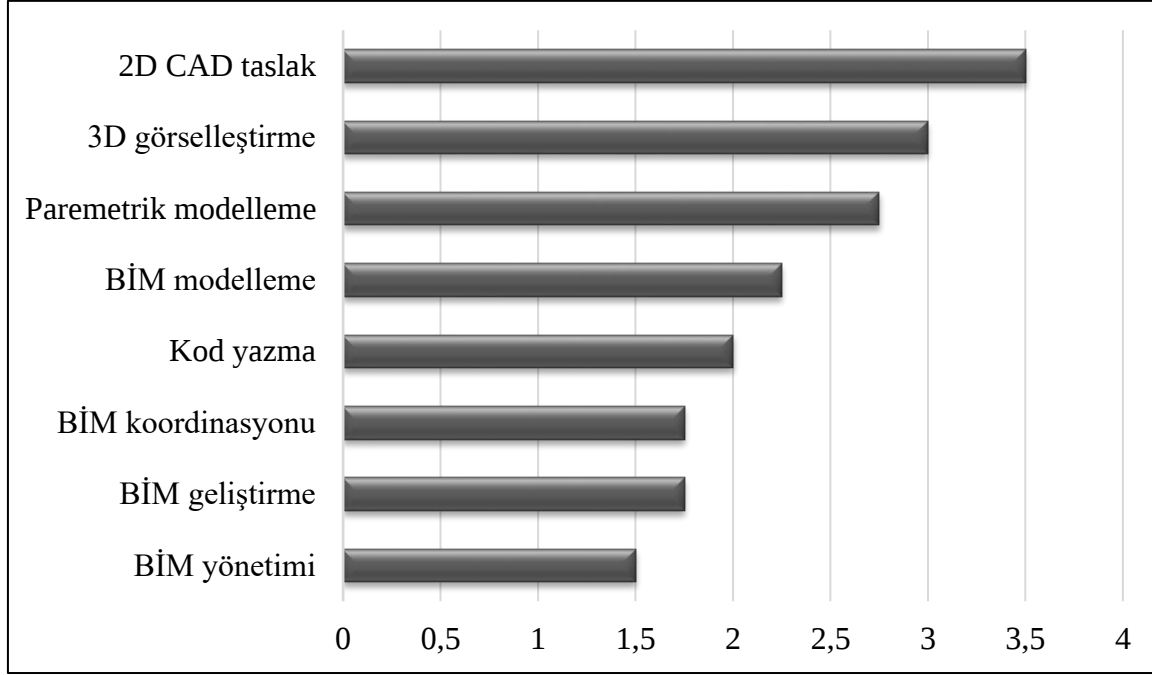
Resim 2.5’de, bir tasarımın simülasyon programında güneş ışıınım miktarları analiz edilmiş ve buna göre bina tasarımının bazı alanlarında çok yüksek seviyede ışıınım olduğu saptanmıştır. Bu alan etap etap parçalanarak kademeli bir biçime dönüştürülmüş ve optimum seviyede ışıınım miktarına ulaşılmıştır [26].



Resim 1.5. Güneş ışınlam analizi sonucu çatı biçimindeki değişim [26]

Alternatif simülasyon programlarında bina kütleleri, yapı kabuğundaki doluluk – boşluk ve kabuktaki bütünleşik elemanlar, malzemeler, iç mekanlar, dış etkenler gibi faktörlerin analizleri yapılabilmektedir. Neticelenen farklı analizler ile tasarım kararlarının gözden geçirilmesi ya da geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Alternatif bu simülasyon programlarının hangisinin kullanılacağına dair verilen kararlar BİM uygulama planında bulunmaktadır. Birbirleri arasında etkileşimli olan bu programları kullanırken, bir programdan başka bir arayüze transfer edilmek istenen model, analiz ortamından içeri aktarılarak sürece dahil edilmektedir. Bununla birlikte, simülasyon programlarına entegre olan eklenti programlar sayesinde modellerin aynı ortamda farklı simülasyonlarını yapmak da mümkündür.

Ancak kullanımdaki tüm bu kolaylıklara rağmen, BİM ve Parametrik tasarım yöntemleri kullanımına günümüzde gereken önem verilmemektedir. Bu durumun, çok disiplinli çalışmalarda bilgiyi yönetmenin, hızlı değişen ortamlara uyum sağlayarak BİM'i geliştirmenin ve kod yazımının getirdiği zorluklardan olduğu düşünülmektedir. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi, günümüzde en çok 2D çizimin ve 3D görselleştirme araçları kullanılmaktadır [2].



Şekil 1.7. Bilgisayar araçlarının kullanım yoğunluğu (1: Yetersiz, 4: Mükemmel) [2]

Bu tablonun aksine, tasarım aşamasında BİM kullanılarak performans değerlendirmenin öneminin farkında olan tasarımcılar da bulunmaktadır. Aşağıdaki örneklerde, gerekli yerlerde algoritmik kodlar yazılarak güneşe duyarlı optimum enerjide parametrik modeller tasarlanmıştır:

#### Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü (SAHMRI)

Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü Avustralya'da, bir laboratuvar binası için ilk olan LEED GOLD belgesi ile sertifikalandırılmıştır. Enstitü, Woods Bagot şirketi tarafından 675 araştırmacının hizmet vereceği, 9 araştırma modüllü ve 25.000 m<sup>2</sup>'lik bir laboratuvar binasıdır. (Resim 2.6), [27].



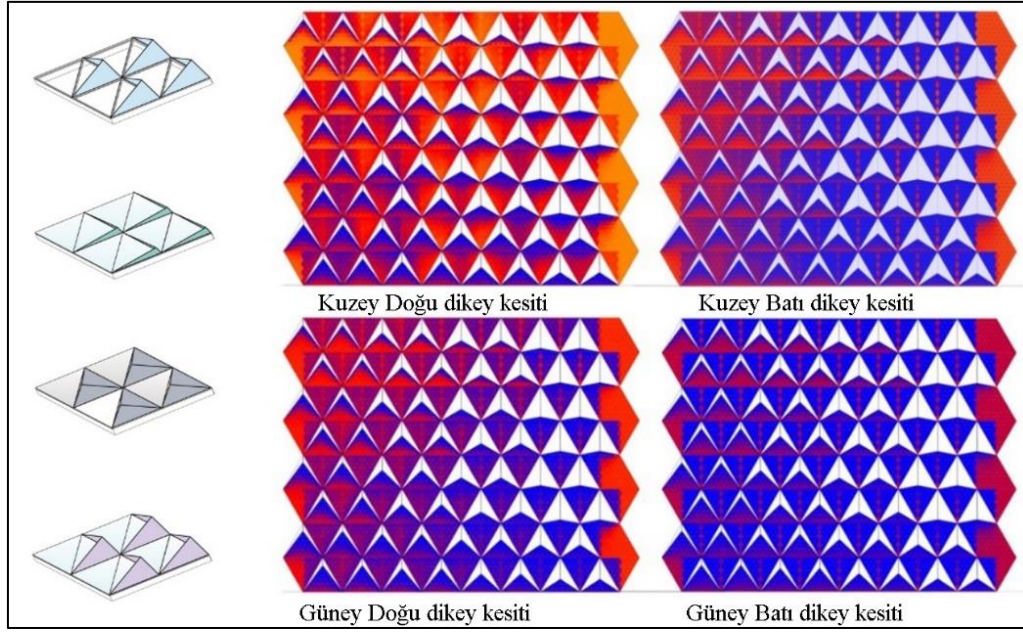
Resim 1.6. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitü Binası (SAHMRI) [27]

Bir çam kozalağından esinlenerek yapılan tasarımda, üçgenleştirilmiş, diyagonal ve şeffaf bir cephe kullanılmıştır. Tasarım aşamasında kullanılan algoritmik kodlar sayesinde, bina yaşayan bir organizma gibi çevredeki fiziki koşullara tepki vermektedir (Resim 2.7), [27].



Resim 1.7. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü cephe ve iç mekân detayı [27]

Fonksiyonel ve estetik cephe, gün ışığına erişimi iyileştirmek, ısıyı azaltmak ve sağlıklı bir iç ortam için tasarlanmıştır. Cephede bulunan modüller performans analiziyle verilen kararlar doğrultusunda parametrik olarak yön değiştirerek ihtiyaç duyulduğu mekanlara maksimum gün ışığı sağlamak ya da mekânı gün ışığından korumaktadır. Böylece, binanın doğusunda bulunan yazma mekanları maksimum gün ışığına izin verecek şekilde düzenlenirken, batıda bulunan kapalı laboratuvar destek alanları sert batı güneşinden koruma sağlamaktadır (Şekil 2.4), [27].



Şekil 1.8. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü cephesindeki modüller [27]

#### Q1 Headquarters binası

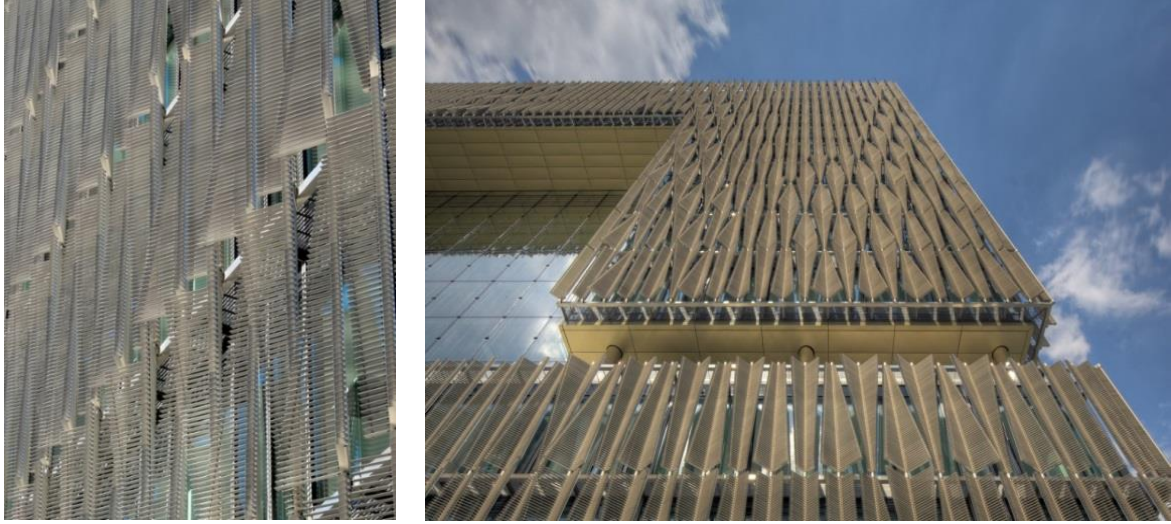
Q1 olarak bilinen Merkez Bina, JSWD Mimarlık ofisi tarafından 2010 yılında tasarlanmıştır. Bu bina, Alman Sürdürülebilir Binalar Derneği (DGNB) tarafından verilen bir altın sertifikaya sahiptir. Bununla birlikte, BDA Essen ödülünü, 2012 Alman Çelik yapı ödülünü ve LEAF ödülllerinden birini diğerlerine ek olarak almıştır.

Binanın lokasyonu kampüsün tam orta kısmında olup, yüksekliği yaklaşık 54 metredir. Yüksek etkili güneş koruma sisteminin binanın tüm görünüşünde önemli bir rolü bulunmaktadır (Resim 2.8), [28,29].



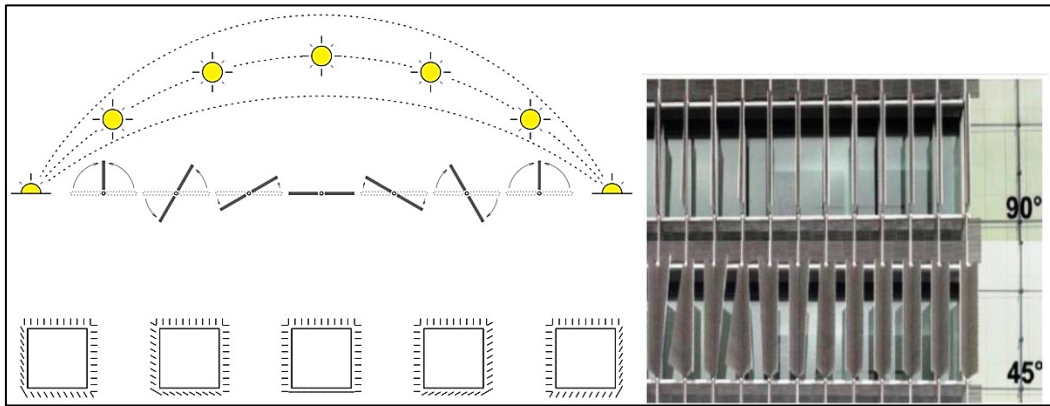
Resim 1.8. Q1 Merkez Binası ve kampüs içerisindeki konumu [28]

Cephesinde, yaklaşık 400.000 paslanmaz çelik lamel bulunmakta ve bu lameller performans analiziyle verilen kararlar doğrultusunda parametrik olarak yön değiştirerek güneşin bulunduğu yere doğru yönlendirilmekte ve ışığı etkinleştirmektedir (Resim 2.9), [28].



Resim 1.9. Q1 Merkez Binası cephesi [28]

Cephe, 3150 adet kinetik kuş tüyünün sahip olduğu güneşe duyarlı sensörler sayesinde açılıp kapanması ile gölgelenmektedir. Bu açılma ve kapanma hareketi güneşten az ya da çok gölgeleme sağlamak için 0 dereceden 90 dereceye kadar değişen varyasyonlarda olmaktadır (Resim 2.10), [28,29].



Resim 1.10. Cephedeki kinetik elemanların açılıp-kapanma açıları [28]

### 2.1.2. Performatif mimarlık

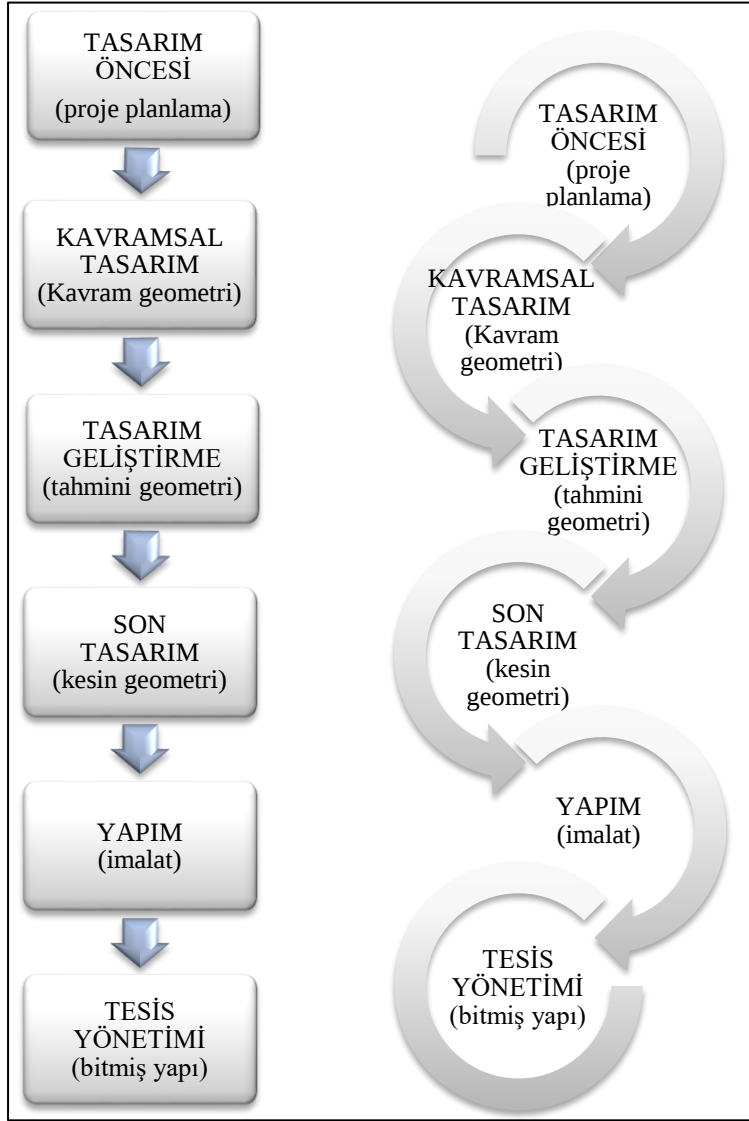
1900’lü yıllardan önce, mimarlık disiplininde, tasarımlardaki mekanların durumlarını ifade etmeye karşılık bir terim bulunmamaktadır [30]. Daha sonraki süreçte bu terimin karşılığı olarak, Performans kavramı literatüre girmiş ve hatta mimarlık alanında bir akım olarak da ifade edilmeye başlanmıştır [31]. Günümüzde ise yapılı çevredeki enerji odaklı sorunlarda ve çözüm önerilerinde daha çok kullanılmaktadır.

Tasarımların çevre ile olan ilişkilerindeki davranışlarının, performans olgusu içerisinde olduğu ön görülmektedir [32]. Performans olgusu, sayısal tasarımın getirdiği kodlama tekniği ile ölçülebilir ve deneyseldir [33]. Aynı zamanda, sayısal tasarım ile birlikte mekân algılama biçimini yeniden değiştirmektedir [34].

Performatif mimarlık aşağıdaki başlıkları kapsamaktadır:

- Sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirilme (Çevre ile uyumlu malzeme seçimi, enerji kazanımı ya da korunması, atık azaltımı)
- Çevre verilerinden optimum şekilde yararlanma (Güneş, rüzgâr gibi çevre verileri ile pasif iklimlendirme yapma)
- Sayısal, hesaplanabilir ve ölçülebilir olma (Amacına uygun kullanılan BİM programları ile modelleme ve nitelik tanımlama)
- Gerçek zamanlı test etme ve spiral geri dönüşüm yapabilme olanağı (Tasarım kararlarını gerçek zamanlı anlık test etme olanağı ve spiral bir tasarım süreci olduğu için istenilen aşamaya istenildiği anda geri dönüş yapabilme) [22].

Performatif tasarım süreci, yapılı çevre içerisindeki tasarımların fiziksel çevre koşullarını sayısal, ölçülebilir ve hesaplanabilir bir olgu olarak değerlendirerek, bu koşullarına bağlı olarak değişen bina performanslarını gerçek zamanlı olarak test eden ve çözüm üreten spiral bir tasarım yaklaşımıdır. Şekil 2.5’de, her iki süreçte de aynı etaplardan oluşan sırasıyla tasarım öncesi aşama, kavramsal tasarım, tasarım geliştirme, son tasarım, yapım ve tesis yönetimi aşamaları, performatif tasarım sürecinde eş zamanlı olarak hesaplanmakta ve sayısal değerlere ulaşılmaktadır [35].



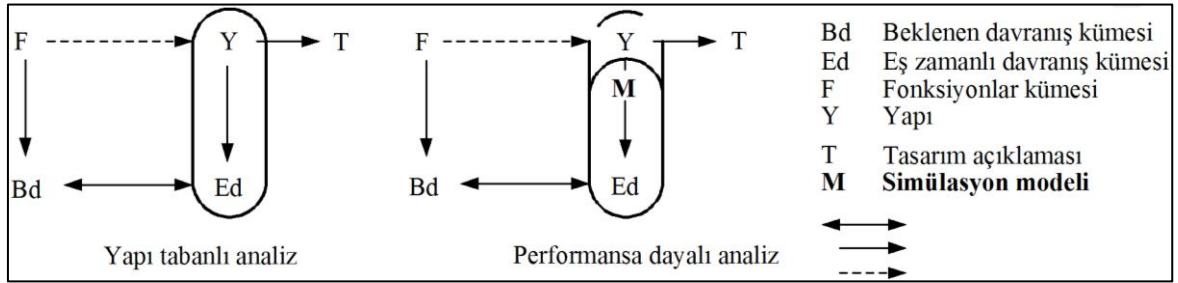
Şekil 1.9. Lineer (doğrusal) ve spiral tasarım süreci [35]

### Performansa dayalı tasarım

Performansa dayalı tasarım yaklaşımı, 1970’lerde kullanılmaya başlanmış ve bu yaklaşımın yaygınlaşmasından sonra terimsel olarak binalarda performans yaklaşımı / konsepti terimi yerine performans tabanlı bina/tasarım terimleri kullanılmaya başlanmıştır. Aslında, bu terimlerinin her birinin de amacı aynı olarak, hedeflenen performans ölçütlerine ulaşan yüksek performanslı binaların tasarlanması ve üretilmesidir [36]. Performansa dayalı tasarım, dijital tasarımın geometri oluşumu ve simülasyona göre performans değerlendirilmesi olmak üzere iki özelliğinin sentezi olarak tanımlanabilir. Performans, sürece dahil olarak entegre edilen biçim ve geometri oluşumu açısından belirleyici bir unsur

haline gelmektedir [37]. "Biçim oluşturma" işleminden "biçim bulma" işlemine bir geçiş söz konusudur. Bu geçişte bina performansı, kılavuzluk eden unsur durumundadır.

Modelin geometrik veya materyal özellikleri bu sürecin sonunda ön plana çıkmaktadır ve parametrik tasarım sistemleri esas sistemin merkezinde yer almaktadır. Sistemin davranışına yönelik öngörüler yalnızca analize değil, performans bilgisine ve simülasyon desteğiyle birlikte çevreyle olan etkileşime de dayanmaktadır. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere performansa dayalı tasarım sürecinde simülasyon unsuru, tasarımcı ve sayısal gösterim arasında dijital bir köprüdür [38].



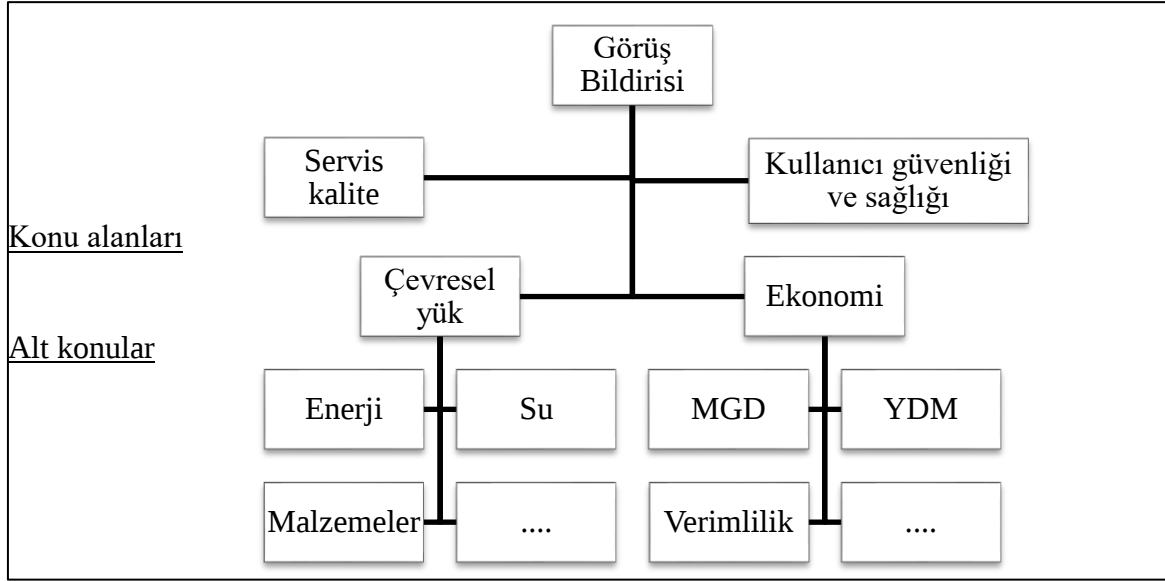
Şekil 1.10. Yapıya dayanan ve performansa dayalı tasarım süreçleri [39]

Kolarevic (2005), performansa dayalı tasarım analizleri için sonlu elemanlar yönteminden (finite element method) bahsetmektedir [39]. Bu yöntem, tasarım modelinin üçgensel alanlara bölünmesini ve modelin bu mesh (örüntü - ağ) parçalarının strüktürel akışkanlar dinamiği ile ve enerji optimizasyonu ile ilgili analizlerini kapsamaktadır. Özellikle, düzenli olmayan karmaşık biçimli mekanların analizlerinin, bu gibi yöntemler kullanılarak çok kolay bir şekilde grafiksel gelişmeleri sağlanmaktadır.

Deru ve Torcellini (2004)'e göre, performansa dayalı tasarım, altı adımdan oluşan bir süreçtir (Şekil 2.7), [40]:

1. Binaların tasarım, uygulama ve kullanım aşamaları için bir konseptin belirlenmesi
2. Konseptin detaylandırılması, alt konularda görüş bildirilmesi
3. Karar verilen her alt konu için amaçların belirlenmesi
4. Bu amaçların arasından açık, net ve hesaplanabilir olanlarının saptanması (tekrarlı bir süreç)
5. Amaçlara ulaşmak için yapılan modellemenin hesaplamalı analizlerini belirleyen performans ölçütlerinin saptanması

6. Binanın tasarım, uygulama ve kullanım aşamaları da dahil olmak üzere tüm adımları için bina performansını kontrol edecek bir planın geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi.



Şekil 1.11. Performans tabanlı tasarım süreci, MGD: Maliyetin geri dönüşümü ve YDM: Yaşam döngüsü maliyeti [40]

#### Sayısal tasarım ve performansa dayalı tasarım ilişkisi

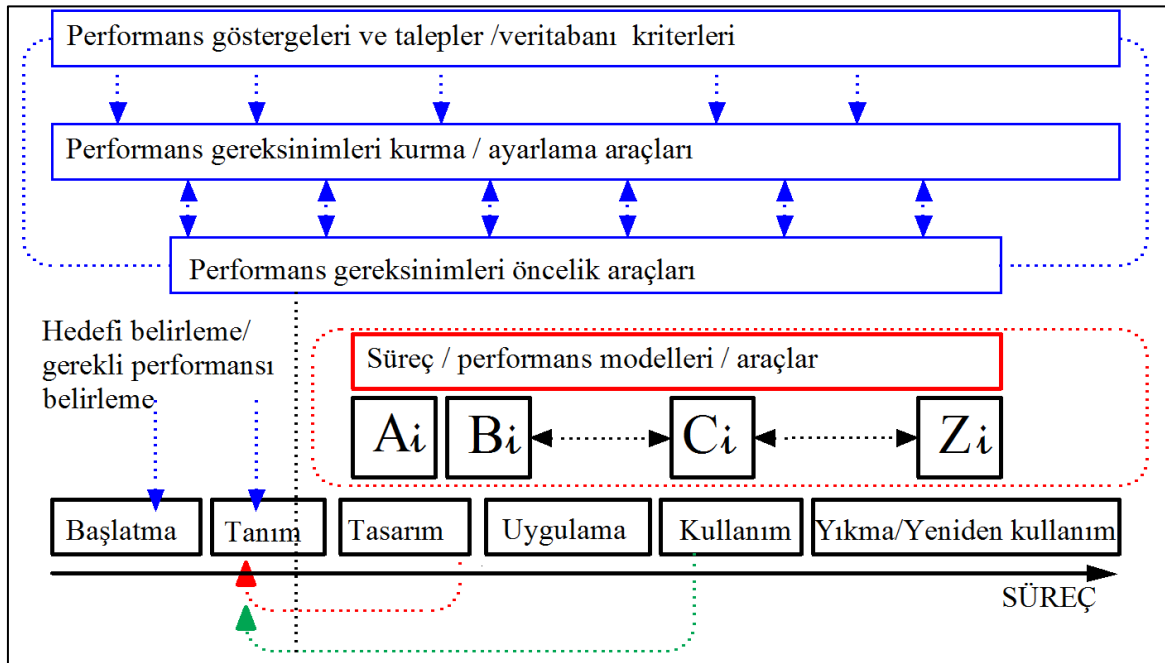
Performans analizlerini ve buna bağlı tasarım yöntemlerini kapsayan performansa dayalı tasarım teknikleri, tasarımın iklim, strüktürel, akustik verileri ve hatta tasarımdan beklenen çeşitli faktörler ile ilgili olabilmektedir. Örneğin, performansa dayalı tasarım olarak bina programı, mali değişkenler, mekânsal ilişkiler ve yaya-araç sirkülasyonu gibi kriterler belirlenebilir [41]. Bu kriterlerin bilgisayar yazılımlarında, simülasyon programlarında performans analizleri yapılması ile optimum beklenen performans sağlanmaktadır. Bununla birlikte performansa dayalı tasarım analizleri, çevresel verileri optimize eden entegre alıcılar ile yapı kabuğunun hareket etme özelliği ve ortamdaki ışık düzenini değiştirilmesi gibi faktörleri kapsayan etkileşimli hesaplamalardır. Dolayısıyla performansa dayalı tasarım için tasarımın performansını ölçmek amacıyla bir takım sayısal tasarımı oluşturan bir takım bilgisayar programlarından yararlanılmaktadır.

Yapı kabuğu biçiminin performansla ilişkisini değerlendirmek, dijital modelleme ile başlamaktadır. Tang (2014)'a göre sayısal tasarım, sadece 3D model oluşturmak değildir. Farklı alternatifteki tasarımları keşfetmek ve performansları simüle etmek için bir ortam

yaratmaktır [18]. Sayısal yaklaşım, açık uçlu tasarım döngüsünde hesaplanabilir ilişkiye dayalı eylemleri gerçekleştiren doğrusal olmayan bir süreçtir [42].

Sayısal tasarım, performans analizini veya birden fazla performans analizi yapabilen monolitik araçları oluşturmak için yaşam döngüsü boyunca bağımsız geliştirilmiş araçlar ve veri tabanına kesintisiz erişim ve çalışabilirlik sağlayan bir platformdur [43].

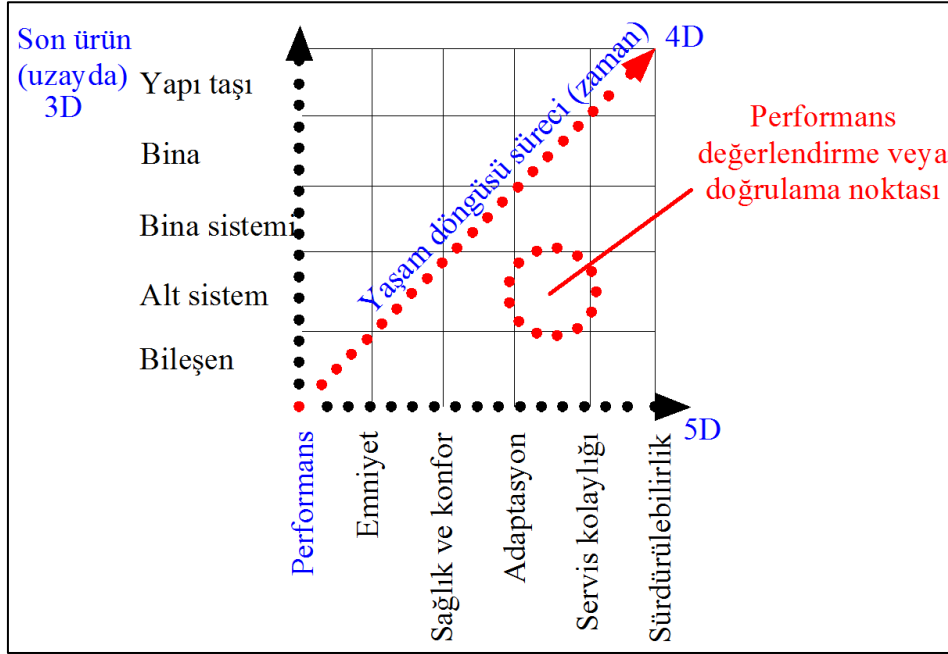
Performans değerlendirmesi bina sürecinin tüm aşamalarında geçerli olduğundan, ihtiyaçların belirlenmesinden ve bir projenin başlatılmasından bilgilendirme, tasarım, ürün geliştirme, üretim ve işletme, bakım, yıkım ve geri dönüşümüne kadar kesintisiz bir hizmet zinciri oluşturmak önemlidir (Şekil 2.8). Bir zamanlar yaratılan bilgilerin kaybolmaması ve yeniden üretilmemesi, bununla birlikte zenginleşmesi ve tamamlanması gerekmektedir. Sürecin herhangi bir aşamasında tasarlanan, inşa edilen ve muhafaza edilen performansın uygunluğunu doğrulanması önem arz etmektedir [44].



Şekil 1.12. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme için kullanılan araçların etkileşimleri [44]

Güçlü görselleştirme araçları dahil alternatif programlar ile tasarımcı arasındaki etkileşim ve geribildirim son derece yararlıdır. nD modelleri olarak adlandırılan 4D'nin ötesinde performans modelleri açık bit tabanlı performansa dayalı tasarım platformundan

geliştirilebilmektedir [45]. İdeal olarak, Şekil 2.9'daki n boyutlu matristeki her hücre, performans kriterleri ve değerlendirme yöntemleri ile doldurulmaktadır [44].



Şekil 1.13. Bina ve yapıların nD model hesaplamaları ve teknik çözümler [44]

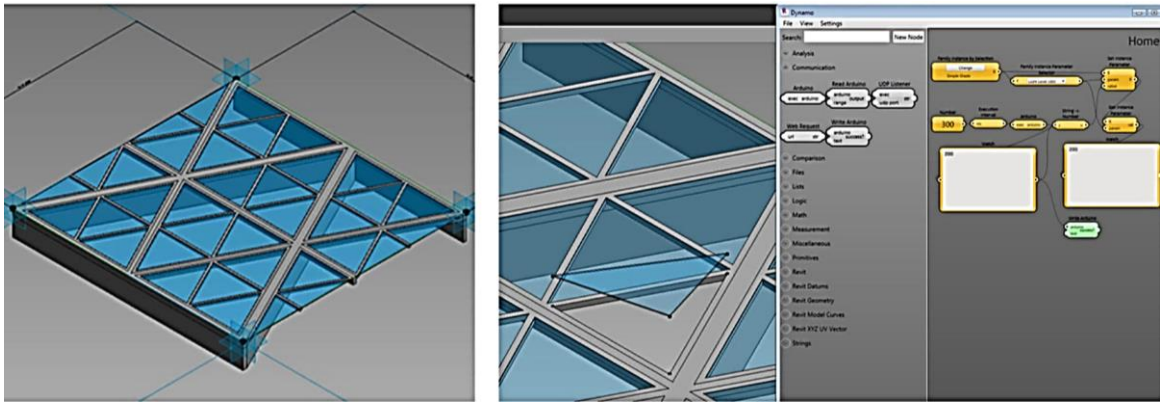
Erken tasarım evresinde performansa dayalı tasarım ile binalarda enerji etkinliğini sağlamak, enerji sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Performans analizlerinin, yapı kabuğuna yansıdığı örneklerde kullanılan programlardan öne çıkan ve en çok tercih edilenler, Generative Component, CATIA® eklenti programı Digital Project™, Rhinoceros eklenti programı Grasshopper ve GraphiSoft ArchiCAD eklenti programı Dynamo / Revit olarak sıralanabilir [46].

*Sayısal tasarım çerçevesinde algoritmik ve BİM bağlantılı performansa dayalı tasarım araçları*

Yukarıda anlatılan yazılımlar içerisinde günümüz mimarlık çevresinde en çok tercih edilen parametrik tasarım ve BİM alanlarında da kullanılan Revit - Dynamo ve Rhinoceros - Grasshopper programları detaylı olarak incelenmiştir:

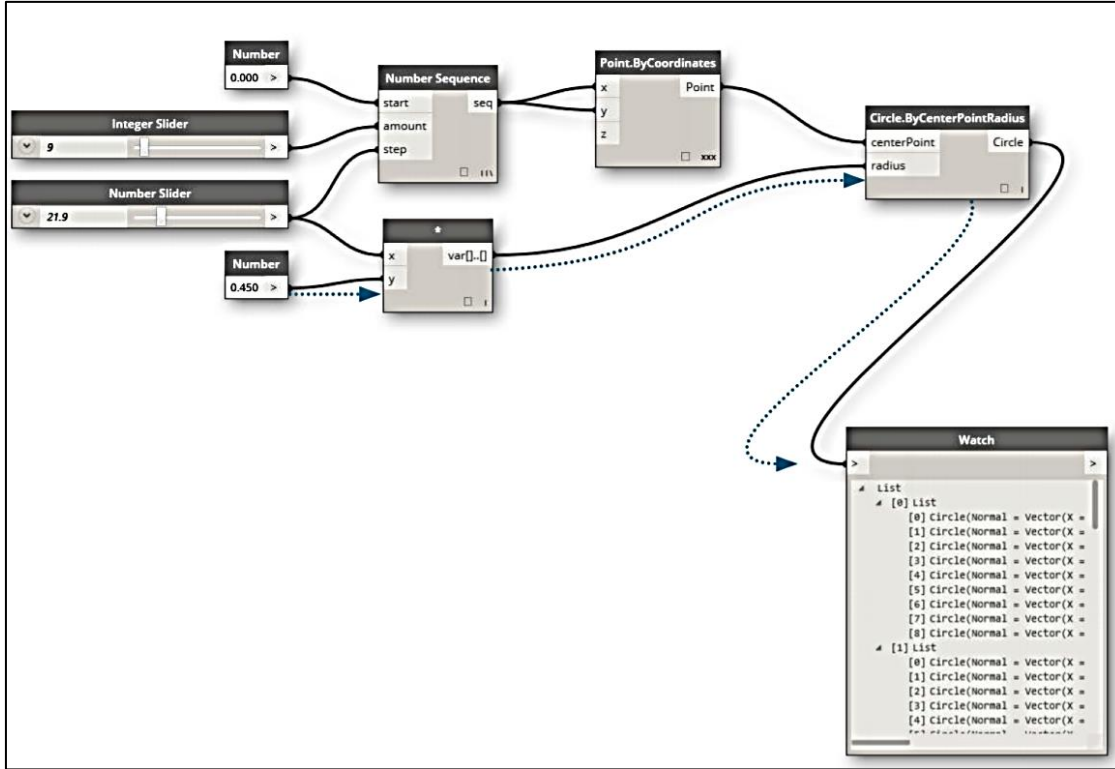
### Autodesk Revit ve Dynamo

BİM programları içerisinde algoritmik parametrelere bağlı olarak performansa dayalı tasarım için en çok ön planda olan yazılım Revit'tir. Revit ile çalışılan modellerde, tasarımın başından itibaren her süreçte bina üzerinden veri elde etmek mümkündür. Diğer CAD ve BİM programlarının aksine birden fazla kullanıcı ile çalışılabilmekte ve proje koordinasyonu ile süreç yönetilebilmektedir [47]. Resim 2.11'de, Revit programında yapılmış bir parametrik model örneği gösterilmektedir [48].



Resim 1.11. Revit parametrik modelleme örneği [48]

Dynamo ise, Dynamo Studio ismiyle tek başına program olarak kullanılabilirken, Revit programına eklenti yazılım olarak da hizmet vermektedir. Dynamo ile üretilen geometri ve veriler, family adı verilen dosyaların eş zamanlı olarak düğüm tabanlı diyagramlarla etkilenmesiyle oluşmaktadır. Veri girişi ve veri çıkışına sahip düğüm (node) adı verilen grafiksel öğeler, kod yazılımına gerek kalmadan kullanılabilir. Resim 2.12'de düğümlerin çıktı kısmından çıkan veriler, kablolar (wires) kullanılarak diğer bir düğümün girdi kısmına bağlanmakta ve sonuç ürüne bu vasıta ile ulaşılmaktadır [49].



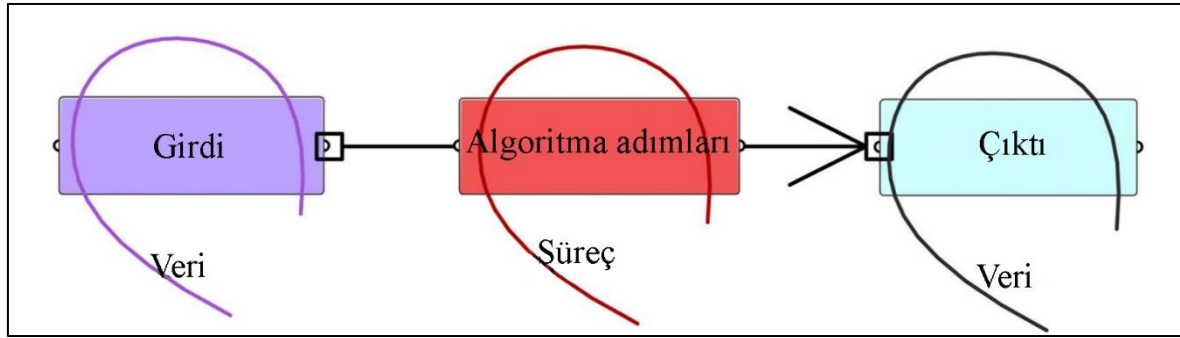
Resim 1.12. Dynamo'nun program akış örneği [49]

### Rhinoceros ve Grasshopper

Rhinoceros, Robert McNeel ve Ortakları tarafından geliştirilmiş, takı tasarımı, araba tasarımı, deniz araçları tasarımı, mekanik, seri üretim, mühendislik, multimedya ve grafik tasarım gibi oldukça geniş bir uygulama alanına sahip bir 3D modelleme programıdır. Rhinoceros programının önemli özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

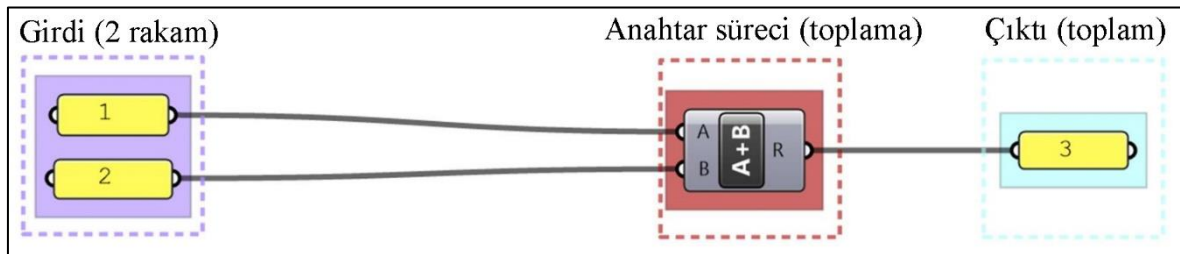
- Serbest ve istenilen özgürlükte biçimlenmeyi amaçlayan 3D modelleme tekniklerinin kullanıldığı araçlar bütünüdür.
- Tasarım, analiz, mühendislik, doküman ve üretim alanlarında hassas ölçülerde çalışılabilmektedir.
- Alanında profesyonel bir yazılım olduğu için son derece rahat bir şekilde büyük projelerde hatasız veri sağlanmaktadır.
- Analiz, animasyon, görselleştirme ve illüstrasyon programlarına uyumlu, bu programlara geçiş sağlayabilen bir formatı bulunmaktadır.
- 3D tarayıcıları, 3D yazıcıları ve 3D dijital araçlarını destekleyerek hatasız veri elde etmeyi sağlamaktadır [50].

Grasshopper ise, David Rutten tarafından geliştirilen ve Rhinoceros programına eklenti olarak kullanılan bir programlama yazılımıdır. İçerisinde bulundurduğu algoritmik bileşenler sayesinde oluşturulan tasarım özelliklerinin ve değişken değerlerinin gerçek zamanlı olarak ayarlanmasına imkan vermektedir [51]. Grasshopper, kullanıcılara bu imkanları sunarken, algoritmik bağlantılardan yararlanmaktadır. Bu bağlantıların düzgün bir şekilde yürütülmesi için çıktıların doğru tanımlanmış adımlarla elde edilmesi gerekmektedir. Karmaşıklığına bakılmaksızın, tüm algoritmik çözümlerin giriş, anahtar işleme ve çıkış olmak üzere üç yapı taşı bulunmaktadır. Giriş kısmına veriler girdi olarak girilirken, anahtar işlem kısmını tasarım sürecini tanımlayan algoritmik adımlardan oluşmakta, çıkış kısmından ise veri çıkışı sağlanmaktadır (Şekil 2.10), [52].



Şekil 1.14. Grasshopper'da algoritmik çözümlerin yapı taşları [52]

Algoritmik bağlantılarda çözümler soldan sağa doğru akmaktadır. Basit bir ekleme algoritması örneklenecek olursa, en soldaki 2 adet giriş değeri ve en sağdaki bu girişlerin toplam değeri olmak üzere ortada ekleme algoritması yer almaktadır (Şekil 2.11), [52].

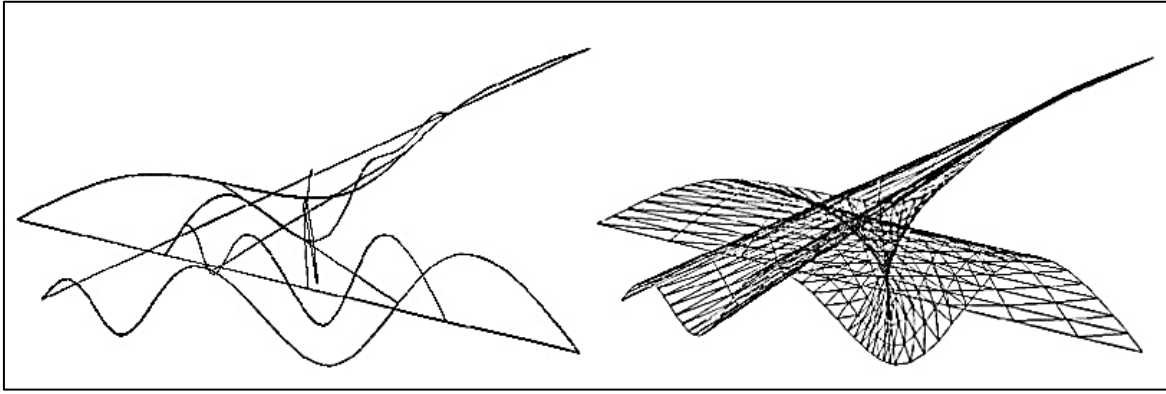


Şekil 1.15. Grasshopper'da bir ekleme algoritması örneği [52]

Ekleme algoritması kullanılarak oluşturulan basit algoritmik bağlantılarda da görüldüğü üzere, Grasshopper kullanım mantığı, tasarımın ve değişkenlerin ne olduğuna ve nasıl

olduğuna bağlı olarak anahtar işleme ek giriş ve işlemler yapılarak oldukça karışık hale gelebilmektedir.

Parametrik programlar içinde Rhinoceros programı diğerlerinden birtakım özellikleriyle ayrılmaktadır. Tasarımcılar bu programı karmaşık formların ve biçimlerin oluşumunda kullanmakta, Grasshopper eklenti programı ile de parametrelerini değiştirerek tasarımlarına rahat bir şekilde müdahale şansı yakalamaktadırlar. Son derece hassas ölçülerde çalışılan Rhinoceros programı, NURBS (Non Uniform B-Splines) tabanlı olması ile mesh (ağ-modellemede kafes) tabanlı olan 3D Max gibi programlardan ayrılmaktadır (şekil 2.12), [53].



şekil 1.16. Bir 3D yüzeyin NURBS ve mesh - tel kafes modeller ile temsili [53]

Aslında, sunum ve animasyon amaçlı kullanılan birçok parametrik olmayan ve parametrik tasarım programlarına “plug-in” denilen eklenti kod yazılımlarla istenilen analiz çalışmaları yapılabilmektedir. Bununla birlikte, bu programların birinde modelleme yapılp, diğer bir analiz programına aktarılarak istenilen verilerin elde edilmesi mümkündür. Ancak, bu aktarım aşamasında, format değişikliği sebebiyle bazı eksiklikler ve hatalar oluşabilmektedir.

Tüm bu sorunlarla karşılaşmamak üzere, bütün ihtiyaçlara cevap verebilen, özellikle bu alanda uzmanlaşmış Rhinoceros 3D programına eklenti olan Grasshopper yazılımı ile evre analizleri, strüktür, malzeme analizleri gibi istenilen tüm veriler elde edilebilmektedir [54], (izelge 2.5).

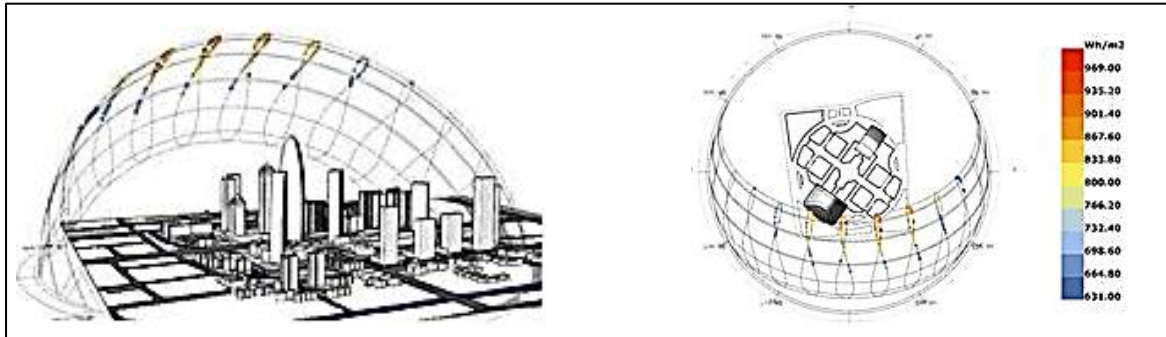
Çizelge 1.5. Rhinoceros - Grasshopper'da çevre, strüktür ve malzeme analizleri için kullanılan eklenti programlarından bazıları

| Program                                                                           | Rhinoceros eklenti programı                                                       | Grasshopper eklenti programlarından bazıları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rhinoceros                                                                        | Grasshopper                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|  |  | <div>Ladybug </div> <div>Kangaroo </div> <div>Honeybee </div> <div>Karamba </div> <div>Heliotrope </div> <div>BullAnt </div> <div>Geco </div> <div>Hummingbird </div> <div>Gerilla </div> <div>Mantis </div> <div>Diva </div> <div>ArhSim </div> |

Rhinoceros programında kullanılabilen tüm bu eklenti programları içerisinde, günümüzde çevresel analiz için en çok Ladybug, Honeybee, Heliotrope, Geco, Gerilla, Diva ve ArchSim olmak üzere yedi adet araç kullanılmaktadır.

### Ladybug

Ladybug yazılımı, Rhinoceros / Grasshopper içinde çevre analizini desteklemek için kullanılmaktadır. Ladybug, enerji hava durumu dosyalarını (\*.epw), Grasshopper 3D arayüzüne taşımakta ve çevresel çalışmalarda kullanarak tasarım biçimlerine göre 2D ve 3D analizlerini yapmaktadır [55], (Resim 2.13). Grasshopper 3D modellemesi üzerindeki hesaplamaları ve analizleri otomatik hale getirmektedir [56].

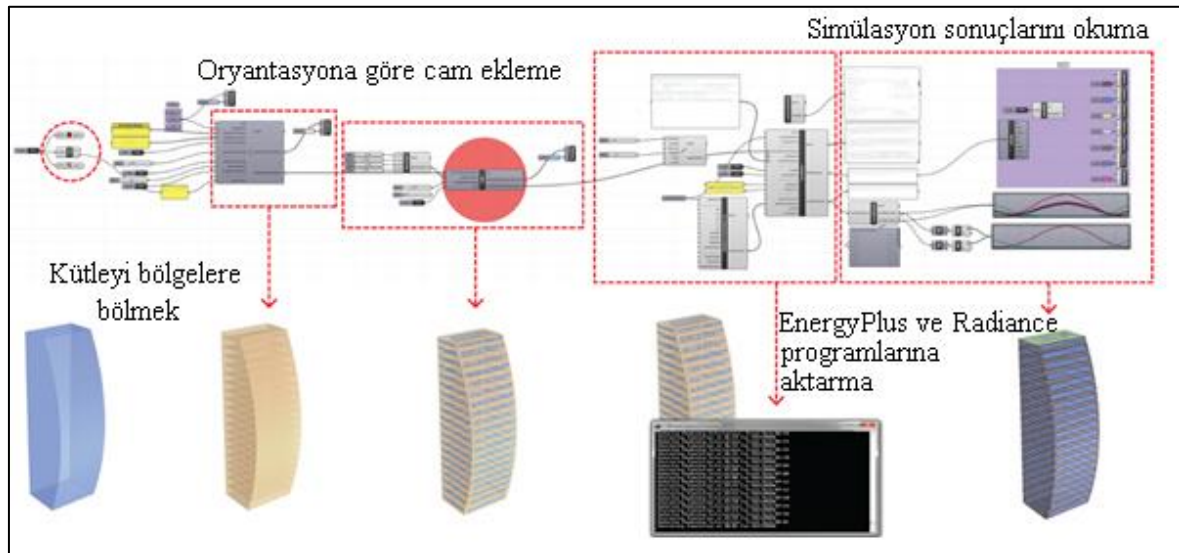


Resim 1.13. Grasshopper – Ladybug kullanım örneği [56]

### Honeybee

Grasshopper eklentisi içerisinde, EnergyPlus, Radiance, Daysim ve Open studio programları ile çalışarak tasarımların güneş ışınları ile malzeme bağlamında enerji analizlerini oluşturmaktadır [57].

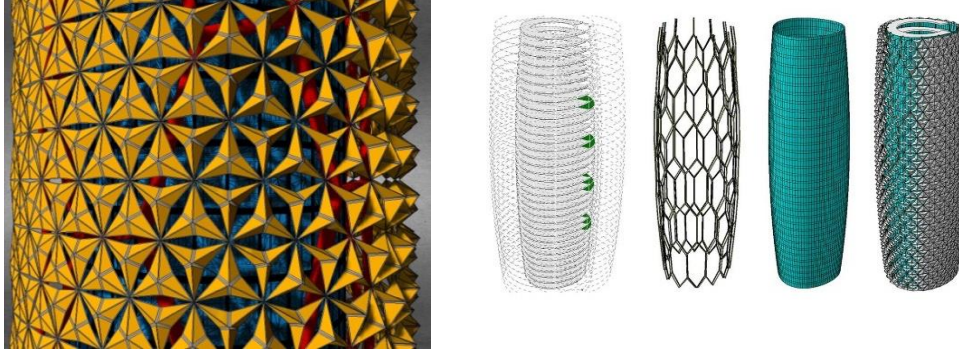
Şekil 2.13’de örnek tasarım üzerinden Honeybee kullanım akış şeması görülmektedir. İlk önce kütlenin her bir katı farklı olarak değerlendirmek için ayrılmakta ve kütlenin cam alanları tespit edilmektedir. Model, EnergyPlus ve Radiance ile birlikte simüle edilmekte ve analiz sonuçlarına varılmaktadır [58]. Bununla birlikte, bu yazılım ile HVAC, elektrik, PV, yansıma analizleri de yapılmaktadır.



Şekil 1.17. Honeybee örnek tasarım üzerinden kullanım akış şeması [58]

### Heliotrope

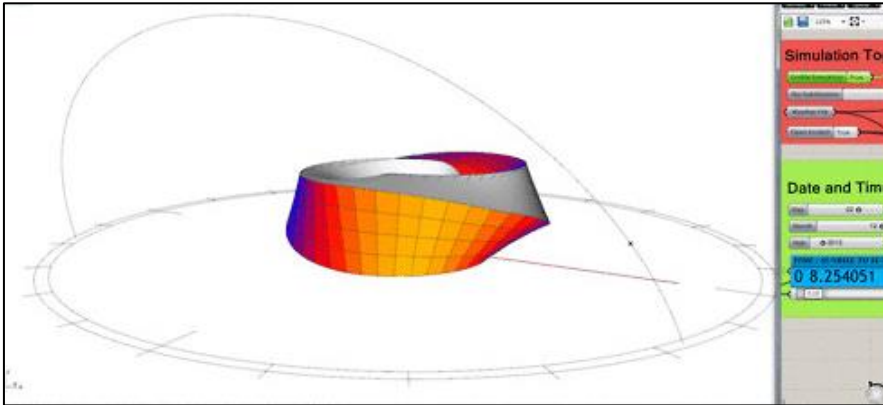
Heliotrope, güneşin bulunduğu konuma göre istenilen gün ve istenilen saatte güneş ışınlarını vektörel olarak hesaplamakta ve bu hesaplamalara göre tasarım değiştirilebilmektedir. Daha çok görsel sunum alma (render) aşamasında ışıkların bulunduğu lokasyonu anlamak için ve tasarımın gölgeleme araçlarını düzenlemek için kullanılmaktadır (Resim 2.14), [59].



Resim 1.14. Grasshopper – Ladybug kullanım örneği [56]

### Geco

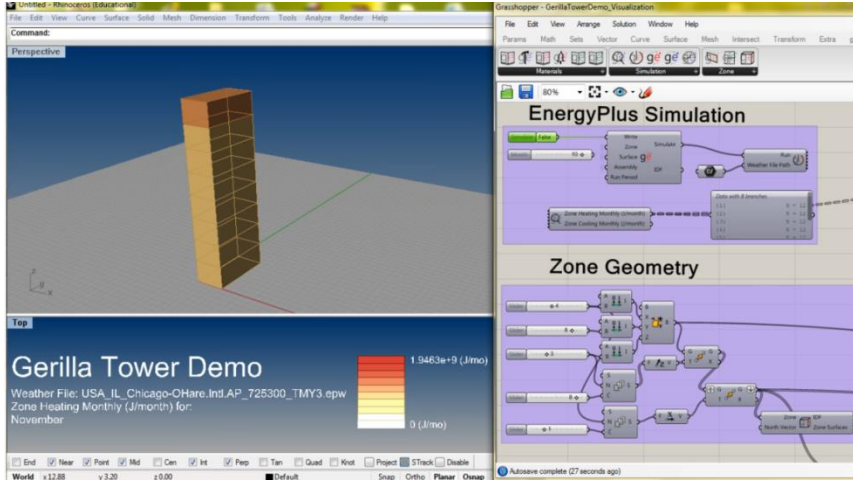
Geco programı, Grasshopper içinde başka bir yazılım olan Ecotect ile etkili işbirliği içinde kullanılmaktadır (Resim 2.15). Ecotect, tasarımların daha yeşil ve verimli olması için çeşitli çevre ve iklim koşullarına göre, çevresel performans sorunlarını test etmeye yarayan ve simüle sağlayan görsel yazılım içermektedir [57].



Resim 1.15. Grasshopper – Geco kullanım örneği [57]

### Gerilla

Gerilla programı, EnergyPlus simülasyon motorunu kullanmanın üzerinde tam bina enerji simülasyonları yapılmasına izin vermektedir [62], (Resim 2.16).

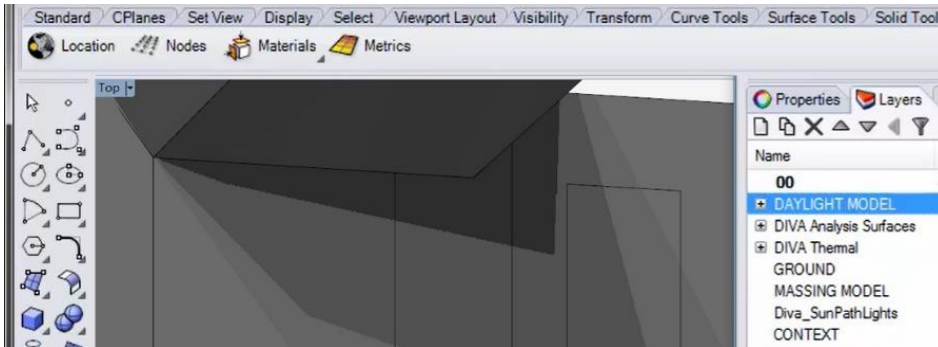


Resim 1.16. Grasshopper – Gerilla kullanım örneği [62]

### Diva

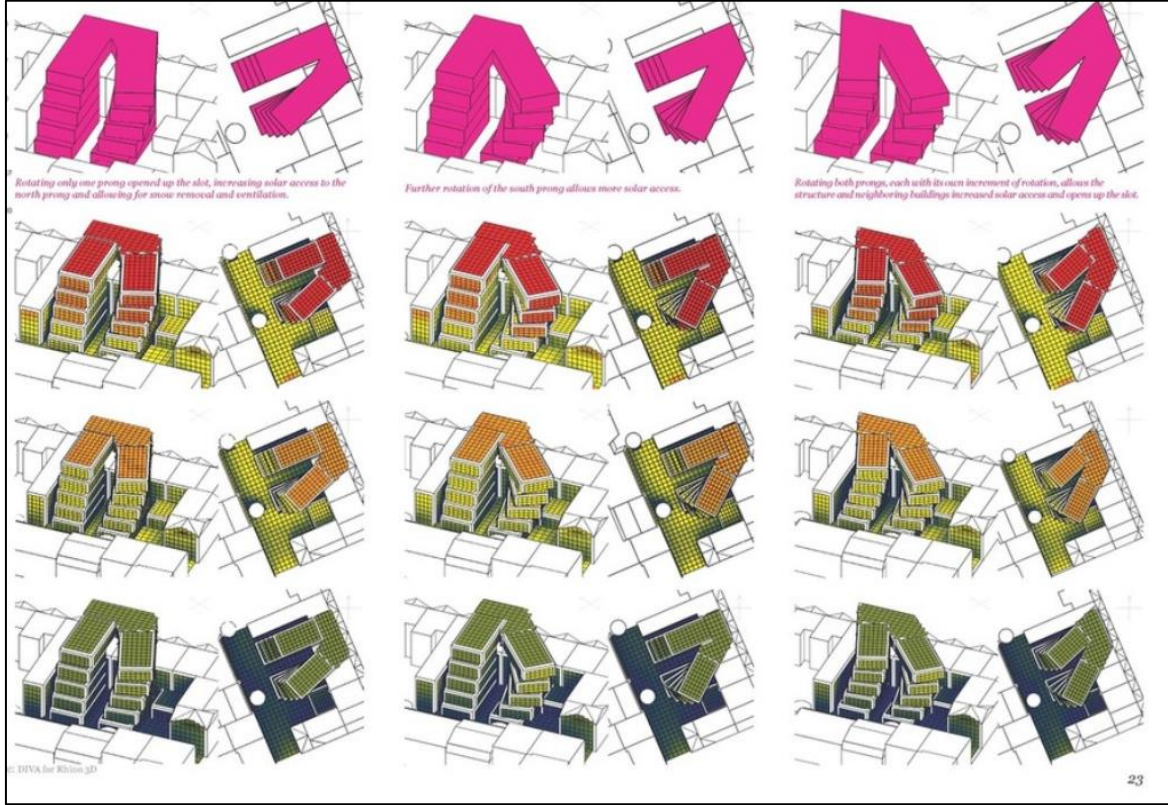
Diva programı, termal, gün ışığı, güneş ışıınımı ve parıltı simülasyonu yapabilen optimize edilmiş bir gün ışığı ve enerji modelleme eklentisidir. Bu yazılım, ışıınım haritaları, fotogerçekçi görseller, iklim tabanlı günışığı ölçümü, yıllık ve bireysel zaman adımı parlama analizi, LEED ve CHPS günışığı uyumluluğu, PV sistemler dahil olmak üzere, binaların ve kentsel alanların çevresel performans değerlendirmesini yapabilmelerini sağlamaktadır [63]. İklim analizi ve görselleştirme uygulamalarının, Ladybug yazılımına göre daha basit bir kullanımı bulunmaktadır.

Diva yazılımının, Rhinoceros programına yüklenmesiyle birlikte, Rhinoceros arayüzünde olmayan Resim 2.17’de görüldüğü gibi Location, Nodes, Materials ve Metric sekmeleri oluşmaktadır.



Resim 1.17. Diva yazılımının Rhinoceros arayüzünde oluşturduğu sekmeler

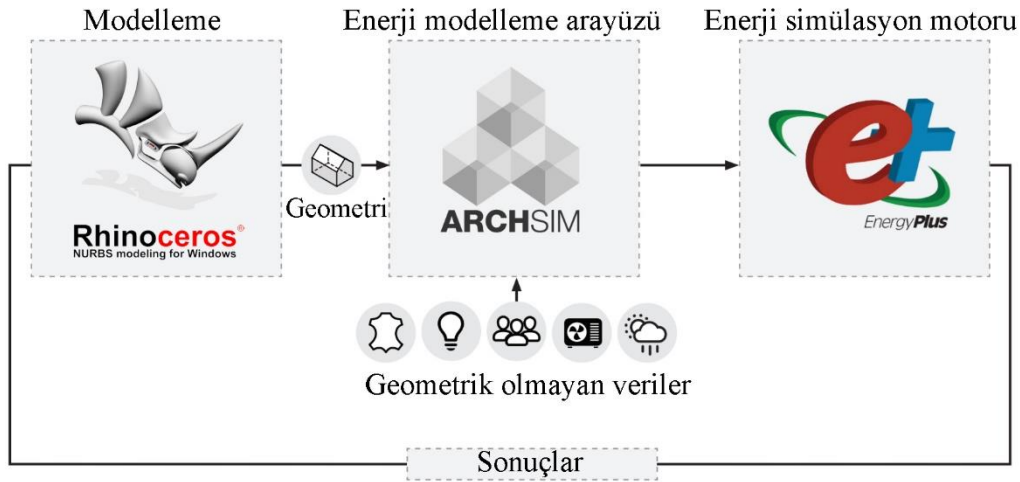
Tasarımcı, bu sekmeleri kullanarak tasarım alanının konumunu, kullandığı malzemeleri ve ölçü birimini tanımlamaktadır. Daha sonraki süreçte, istediği algoritmik bağlantıları kurarak binaların ve çevrenin performans değerlerini saptamaktadır. Resim 2.18’de Diva yazılımı kullanılarak analizleri yapılmış bir örnek görülmektedir [63].



Resim 1.18. Grasshopper – Diva kullanım örneği [63]

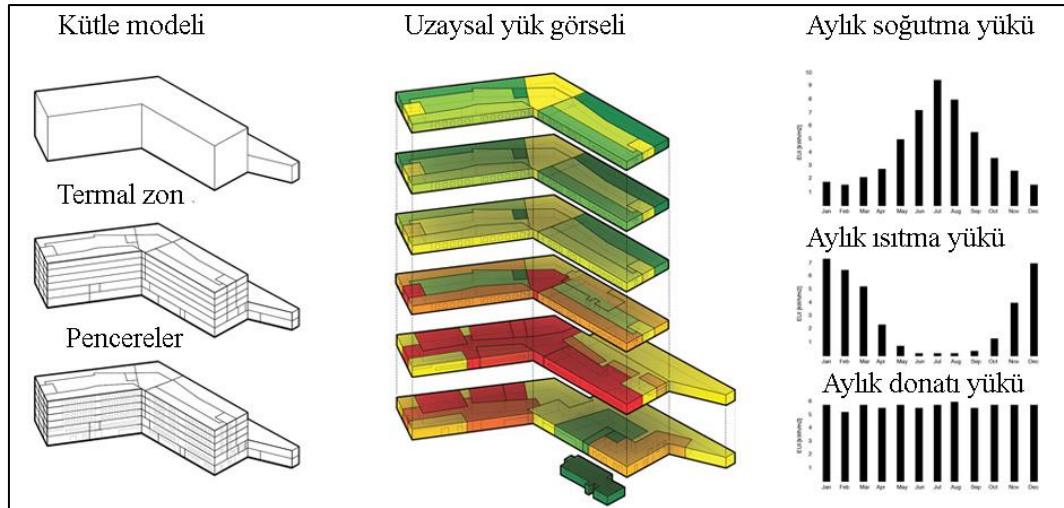
### ArchSim

ArchSim yazılımı, Grasshopper ile çalışan enerji simülasyonlarına hizmet veren çok kapsamlı bir yazılımdır. Rhinoceros programında analizi yapılacak olan model Grasshopper arayüzünde tanımlanıp (geometri), ArchSim yazılımı vasıtasıyla gerekli görülen aydınlatma, havalandırma, kullanıcı sayısı, iklim verileri gibi veriler girilerek EnergyPlus desteği ile modelin simülasyonları yapılmaktadır (Şekil 2.14), [64].



Şekil 1.18. ArchSim yazılımı kullanım süreci [64]

ArchSim yazılımı, karmaşık çok zonlu modeller oluşturulup simülasyonu yapıldıktan sonra başka programlara ihtiyaç duyulmadan Microsoft Excel aracılığı ile sonuçların görselleştirilmesine izin vermektedir. Rüzgâr, doğal havalandırma ve hava akımı ağları, HVAC sistemi, iklim verileri, gelişmiş aydınlatma ve gölgeleme elemanları, modelin fonksiyonu ve kullanıcı sayıları gibi verilerle simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Resim 2.19’da ArchSim yazılımı ile yapılan bir simülasyon örneği görülmektedir [65].



Resim 1.19. ArchSim yazılımı ile yapılan bir simülasyon örneği [65]

ArchSim yazılımı, tamamen parametrik ve Grasshopper programı içerisindeki optimizasyonu algoritmik bağlantılar ile sağlamaktadır. Bu bağlantılar ile simülasyon sonuçları sayısal olarak Excel dosyasına aktarılmakta ve böylece detaylı sonuçlara ulaşılmaktadır.

Yukarıda anlatılan bu programlar aracılığı ile performansa dayalı tasarımın yapı kabuğu biçimlenmesinde kullanımını gösteren uygulama örneklerinden bazıları aşağıda irdelenmiştir:

a) Tell El Daba – Mısır arkeolojik müze

Mısır’da, 2010 yılında Coop Himmelb(l)au Mimarlık tarafından tasarlanan ve 2500 m<sup>2</sup>’lik alana yayılan 20 m yüksekliğindeki bu müze, doğu Nil deltasında El-Daba Tell kazı alanı yakınında bulunmaktadır (Resim 2.20), [66].



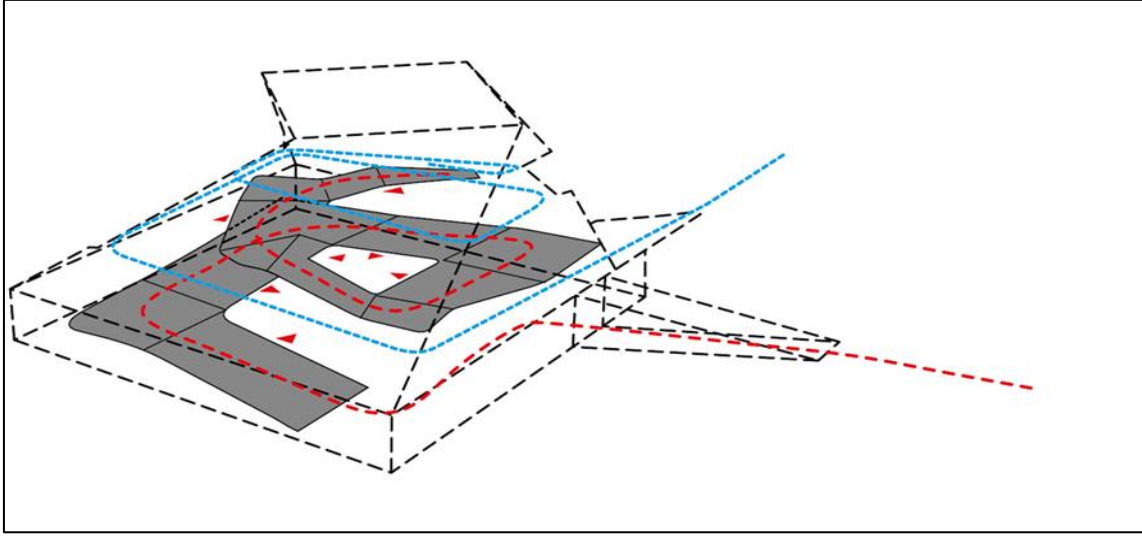
Resim 1.20. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi ön görünüşü [66]

Tasarım konsepti olarak bir parçası kesilmiş bir piramidin geometrisiyle oluşturulan bu müzeye (Resim 2.21), arkeolojik kalıntıların sergisi dışında kırtasiye, kütüphane, kafe gibi fonksiyonlar da yüklenmiştir [66].



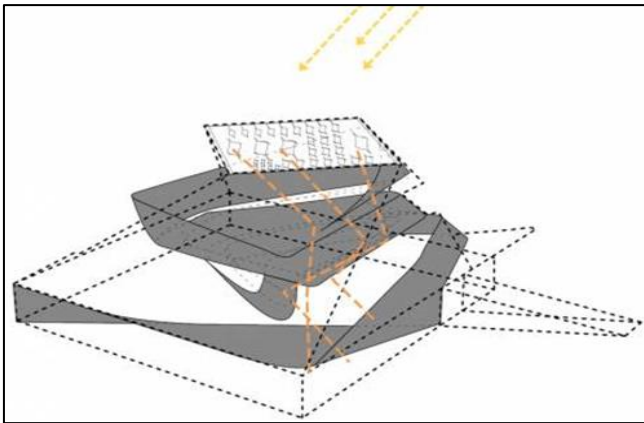
Resim 1.21. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi yan görünüşü [66]

Müzedeki mekanlar, kendi içlerinde akıcı bir yol izlerken sergileme alanı olarak yuvarlak sade bir alan düşünülmüş ve bu alana aydınlatma, malzeme, doku ve iklim algısı içinde sürekli değişebilen konfor koşulları sağlanmıştır. Böylece, ziyaretçilere bu alandaki kazı nesnelerini daha rahat bir şekilde deneyimleme şansı verilmiştir (Şekil 2.15), [66].



Şekil 1.19. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi sirkülasyonu [66]

Müzenin yapı kabuğu, rüzgâr ve güneş gibi çevresel değişkenlerin hesaplamaları sonucunda optimize edilerek oluşturulmuştur. Yapının kesilmiş piramit şeklinde oluşu doğrudan güneş ışığına maruz kalan yüzeyi maksimize ederken, bir yanda da klimalı ortam için dış havanın ısı kullanımına entegrasyonu sağlanmıştır. Müzenin cephesi, iç sıcaklığı ve nemi modüle eden bir termal hava akımı içermektedir. Böylece, tasarımda çevresel sürdürülebilirlik sağlanmıştır (Şekil 2.16), [66].



Şekil 1.20. Tell El Daba Arkeoloji Müzesiyapı kabuğunun güneş verilerine ilişkin biçimlenişi [66]

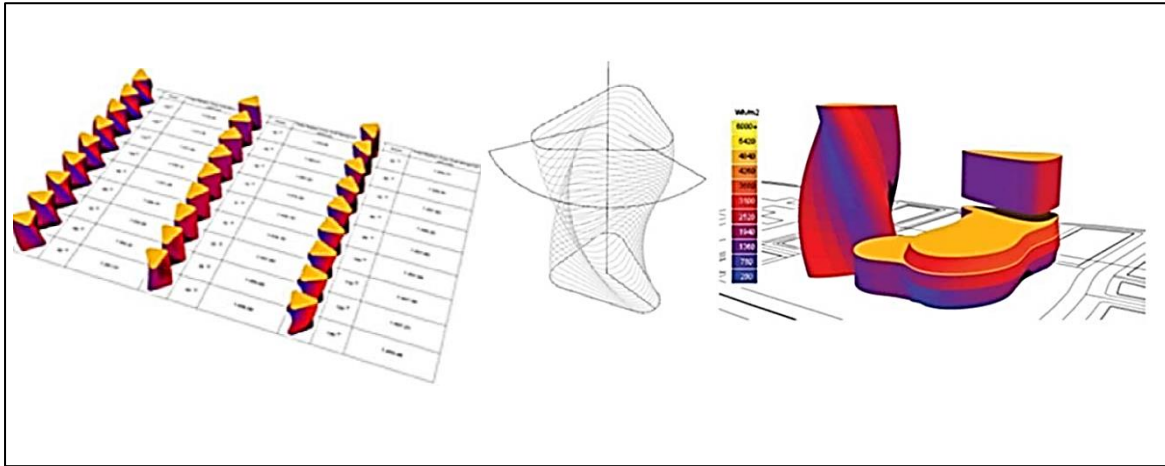
Bununla birlikte müze yapı kabuğu, parlayan güneş ışınlarını alt kotlara doğru filtrelemekte ve optimum şekilde aydınlatmanın olmasını sağlamaktadır (Resim 2.22) [66].



Resim 1.22. Tell El Daba Arkeoloji Müzesi sergi salonu [66]

#### b) Kebayoran Lama ofis kulesi

Kebayoran Lama ofis binası tasarımında ilk etapta, tasarım alanı ve içinde bulunduğu fiziksel çevrenin verileri parametrik bir program ile arayüze girilmiştir. Tasarım tekniği olarak yapısal bir kurgu deneme yanılma yöntemi ile seçilmiştir. Daha sonra, modellerin her birinin farklı açılarda döndürülmesiyle alternatif modeller oluşturulmuştur (Resim 2.23), [50].



Şekil 1.21. Kebayoran Lama ofis kulesi alternatif tasarımları ve enerji analizleri [50]

Karar verilen alternatif modellere güneş ışıınım analizleri yapılarak son modele karar verilmiştir (Resim 2.24).



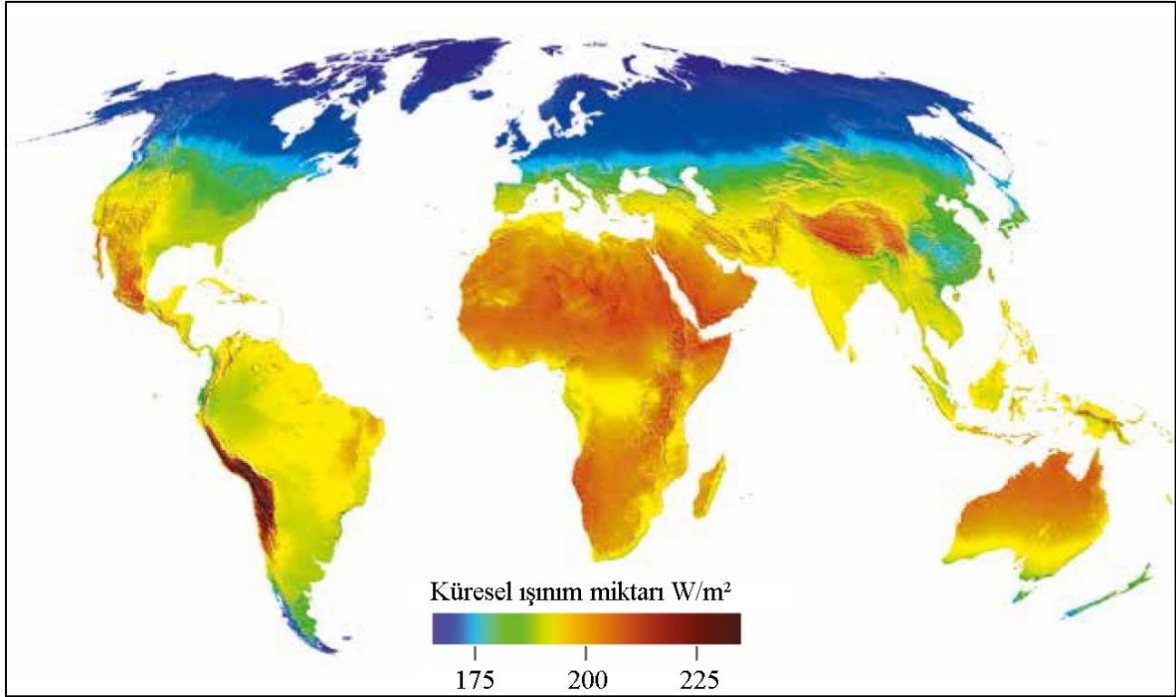
Resim 1.23. Enerji analizleri sonucu karar verilen model [50]

## 2.2. Güneş Enerjisi ve Performansa Dayalı Güneş Mimarisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, yaşam için gerekli sonsuz bir enerji türüdür. Güneş enerjisinin şiddeti  $1370 \text{ W/m}^2$  iken, atmosferden dolayı yeryüzüne  $0-1100 \text{ W/m}^2$  aralığındaki bir değerle dünyaya ulaşmakta ve bu oran insanların kullandığı toplam enerjinin binlerce katına tekabül etmektedir [67]. Bu hesaptan da anlaşılacağı gibi güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre en çok potansiyele sahip bir enerji türüdür.

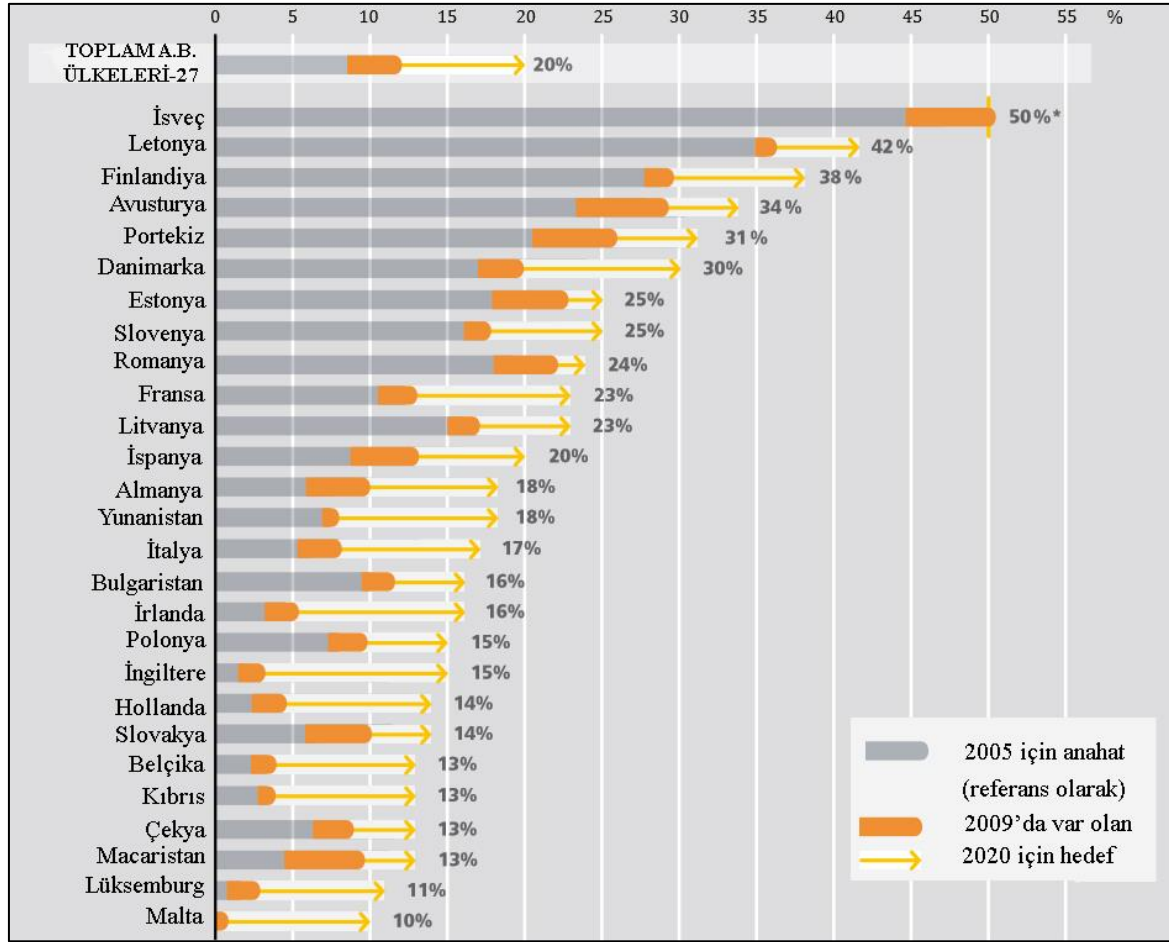
### 2.2.1. Dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi durumu

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin, Türkiye ve dünya açısından durumunu saptama hususunda, coğrafi konum büyük önem taşımaktadır. Harita 2.1’de görüldüğü üzere, Afrika, Asya ve Avustralya en yoğun olarak güneş ışıınım miktarını alan kıtalar olduğu halde, dünyada Amerika, Avrupa ülkeleri ve Çin güneş enerjisi kullanımında önde bulunmaktadır. Bu ülkelerden bazıları, bünyesinde bulundurduğu güneş enerjisi potansiyelini kullanmakla birlikte bazıları da gelişmiş teknolojileri ile bu enerjiden faydalanma fırsatı bulmaktadırlar [68].



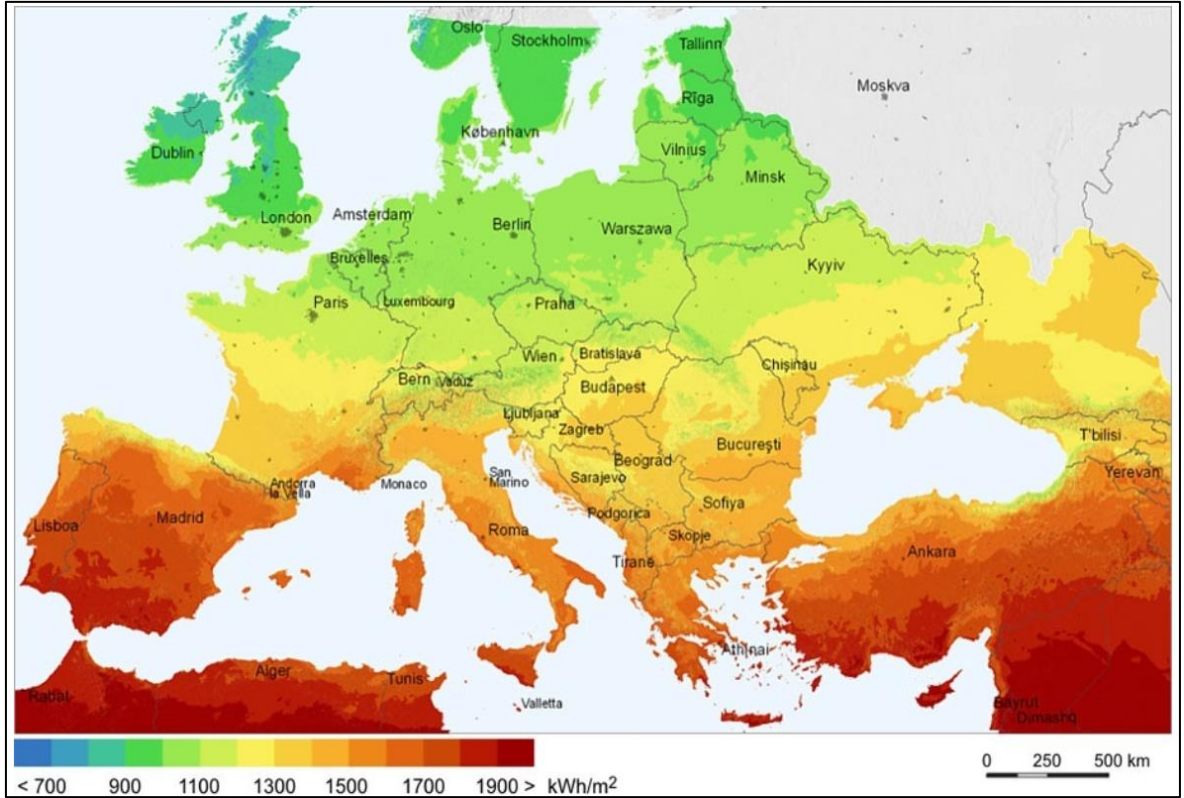
Harita 1.1. Küresel güneş enerjisi potansiyeli [69]

Dünya genelinde, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmada azalan maliyet, iklim değişikliği ve hava kirliliğinin önüne geçme ihtiyacı, teknolojik gelişmeler ve kamuoyu desteği çoğu ülkenin yenilenebilir enerji hedeflerini benimsemesini sağlamıştır. Avrupa topluluğu, 1991 yılında imzalanan Maastricht Antlaşması ile Avrupa Birliği adını almış ve ekonomik ve parasal birlik, ortak dış işleri ve güvenlik politikaları, adalet ve iç işlerinde işbirliği olmak üzere üç temel konuda hukuksal bir yapı düzenlemiştir [70]. Bu sözleşme ile Avrupa Birliği ülkeleri, ekonomik birliktelik sağlama amacıyla hedeflerini genişleterek, yetersiz olduğu enerji gibi bir stratejik alanda politikalar geliştirmiştir [71]. Çıkar çatışmaları, güç ve egemenlik güdüsü, enerji alanlarını denetim altına alma ve böylece kendisine direnme olasılığı olan odakların kontrol etme isteği, dünya üzerinde yaşanan çatışmalara, krizlere hatta savaflara neden olmaktadır. Özellikle ABD'nin dünya üzerindeki askeri birliklerinin bulunduğu konumlara bakıldığında, enerji politik davranışlarının temel yapısı anlaşılmaktadır [72]. Avrupa Birliği, yenilenebilir enerjiden yararlanma payını 2020 yılında %20 seviyelerine çıkarma kararı almıştır. Şekil 2.17'de Avrupa Birliği üyesi 27 ülkenin 2005 ve 2009 yıllarındaki enerji kullanım payları ve 2020 yılındaki hedefleri gösterilmektedir. Buna göre, sadece İsveç'in 2020 hedefine ulaştığı görülmektedir [73].



Şekil 1.22. Avrupa Birliği ülkelerinin 2005-2009 enerji kullanım payları ve 2020 yılı hedefleri [73]

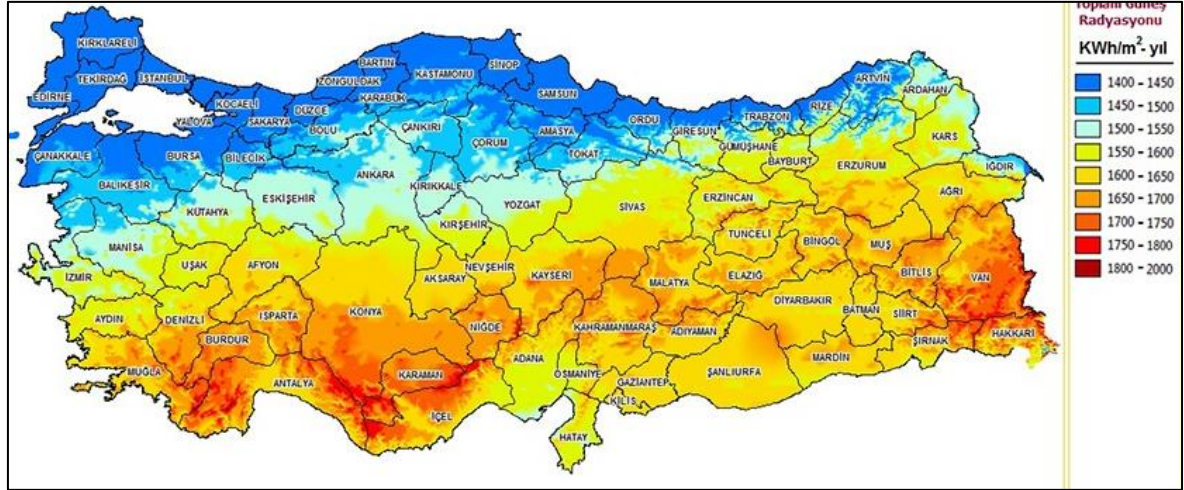
Türkiye, güneş ışınlam miktarı fazla olan güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli yüksek bir ülkedir. Avrupa ülkelerinden İtalya ve İspanya ile kısmen aynı ışınlam miktarına sahiptir (Harita 2.2), [74].



Harita 1.2. Avrupa ülkeleri içerisinde Türkiye'nin güneş ışıınım miktarı [74]

Türkiye güneş enerjisi haritası incelendiğinde, dünya üzerindeki lokasyonuna bağlı olarak en fazla güneş ışıınımı alan bölgesinin Güney Doğu Anadolu bölgesi olduğu saptanmıştır. Bölgenin sert ve soğuk bir iklimi olmasına karşın kışın en fazla ışıınım alan bölge olduğu tespit edilmiştir. Havadaki su buharı yoğunlaştığı için güneş ışıınımları berrak bir atmosferde kolayca bölgeye düşmektedir.

En çok güneş ışıınımı alan ikinci bölge ise Akdeniz Bölgesidir. En az güneş ışıınımı alan bölge ise enlem değerinin büyük ve ikliminin rutubetli olmasından dolayı Orta ve Doğu Karadeniz bölgesidir. Marmara ve Kuzey Ege ise nispeten daha iyi güneş ışıınımı almaktadır (Harita 2.3), [75].



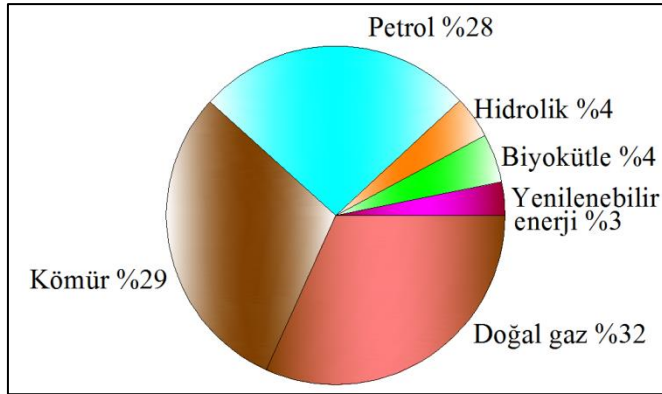
Harita 1.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli [75]

Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat) ve ortalama toplam ışıınım miktarı 1311 kWh/m<sup>2</sup>/yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m<sup>2</sup>) olarak saptanmıştır. Bununla birlikte, güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.6), [76]. Türkiye'nin en fazla güneş alanla en az güneş alan bölgelerdeki ışıınım miktarları arasındaki fark çok azdır. Ayrıca, en verimli güneşlenme saatleri çok uzundur. Türkiye'nin, bu değerler dikkate alınarak güneşten en verimli şekilde yararlanması gerekmektedir [77].

Çizelge 1.6. Türkiye'nin aylık güneş enerjisi potansiyeli [77]

| Aylar    | Aylık toplam güneş enerjisi   |                             | Güneşlenme süresi<br>(saat/ay) |
|----------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|          | kcal/cm <sup>2</sup> -ay      | kWh/m <sup>2</sup> -ay      |                                |
| Ocak     | 4,45                          | 51,75                       | 103,0                          |
| Şubat    | 5,44                          | 63,27                       | 115,0                          |
| Mart     | 8,31                          | 96,65                       | 165,0                          |
| Nisan    | 10,51                         | 122,23                      | 197,0                          |
| Mayıs    | 13,23                         | 153,86                      | 273,0                          |
| Haziran  | 14,51                         | 168,75                      | 325,0                          |
| Temmuz   | 15,08                         | 175,38                      | 365,0                          |
| Ağustos  | 13,62                         | 158,40                      | 343,0                          |
| Eylül    | 10,60                         | 123,28                      | 280,0                          |
| Ekim     | 7,73                          | 89,90                       | 214,0                          |
| Kasım    | 5,23                          | 60,82                       | 157,0                          |
| Aralık   | 4,03                          | 46,87                       | 103,0                          |
| Toplam   | 112,74                        | 1311,00                     | 2640                           |
| Ortalama | 308 kcal/cm <sup>2</sup> -gün | 3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün | 7,2 saat/gün                   |

Çizelge 2.6'dan da anlaşılacağı üzere, Türkiye güneş enerjisi bakımından birçok ülkeden daha avantajlı durumdadır. Ancak, bu potansiyeli henüz tam olarak kullanamamaktadır. Şekil 2.18'de görüldüğü üzere Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) 2017 verilerine göre, Türkiye'de enerji tüketim kaynaklarına bakıldığında zaman kömür, petrol ve doğalgazın ön planda olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, tüm enerji kaynakları içerisinde sadece %3'lük bir dilimi oluşturmaktadır [78].



Şekil 1.23. Türkiye'de enerji kullanımının kaynaklara göre dağılımı [78]

Türkiye'nin enerji kaynakları Avrupa'ya göre çok daha zengin olmasına rağmen, Avrupa Birliği üyesi ülkelerde dışa bağımlılık %50 oranında, Türkiye'de ise %70 oranındadır. Bu nedenle Türkiye, enerji politikasını küresel tehditlere karşı kararlı ve güçlü şekilde oluşturmak zorundadır. İleriki dönemlerde talep olacak enerji açığını karşılayacak şekilde yatırım yapılması gerekmektedir [79].

Ayrıca, Türkiye'nin enerji kullanımı ekonomik büyümeye etki etmektedir. Bu yüzden, enerji talebinin problemsiz bir şekilde karşılanması için istikrarlı enerji politikalarının geliştirilmesi ve enerji temini ile ilgili yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelilmesi gerekmektedir [80]. Zira dünya kömür rezervlerinin yaklaşık 114 yıl, doğalgaz rezervlerinin yaklaşık 53 yıl ve petrol rezervlerinin yaklaşık 51 yıl içinde tükenmesi ön görülmektedir. Bununla birlikte, artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, gelişen teknoloji, fosil yakıt tüketiminden dolayı oluşan küresel ısınma ve zararlı gazların atmosfere yayılması enerjiye olan talebin yükselmesine neden olmuş ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönelik bilinçlenmeyi sağlamıştır [81].

Türkiye’de tüketilen enerjinin 1/3’i yapılarda kullanılmakta ve bu 1/3’lik kısmın %15’i aydınlatma, sıcak su kullanımı, elektrikli araçların kullanımı sırasında tüketilmekte ve kalan enerjinin %85’lik kısmı ise binanın sadece ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamaktadır [82]. Bu yüzden, bina işletme maliyetlerinin büyük bir kısmını da kaplayan ısıtma ve soğutma enerjisini minimuma indirecek tasarımların yapılması önem arz etmektedir.

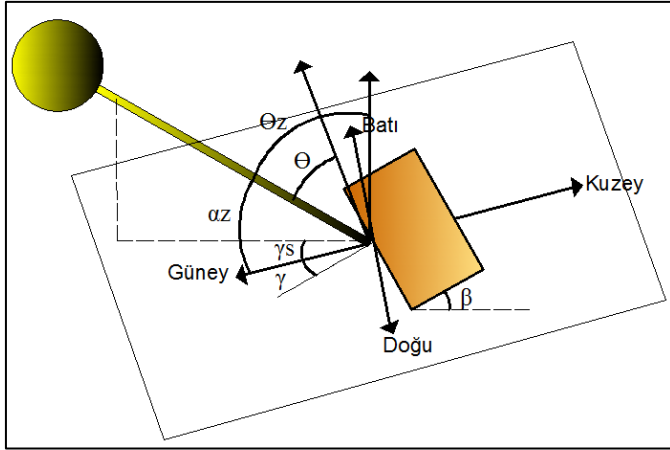
Binaların tasarım, yapım ve kullanım aşamasında ısıtma ve soğutma enerji maliyetleri, tasarıma etki eden iklimsel konfor şartlarının parametreleriyle ilişkilidir. Binanın kullanım aşamasında ortaya çıkan ısı kayıp ve kazançlarının iklimsel konfor çerçevesinde kontrol altına almak, binanın tasarım aşamasında ilk yatırım maliyetlerini gözetmekle gerçekleşmektedir. Bina enerji performans analizleriyle bina tasarım ve maliyet kontrolü yapılabilmektedir [83].

### **2.2.2. Tasarıma girdi oluşturan çevresel parametrelerden güneş**

Tasarımın lokasyonuna bağlı olarak meydana gelen havanın nem, sıcaklık ve hareketi, güneşin geliş açıları ve buna bağlı olarak oluşan ısı ve ışınım gibi çevresel parametreler tasarımı olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Erken tasarım aşamasında bu parametreler dikkate alınarak tasarımın yönlendirilmesi ve biçimlendirilmesi, yapıdaki enerji kazanımı / korunumunu ve yapı içi konfor koşullarını sağlamada önemli bir etkidir.

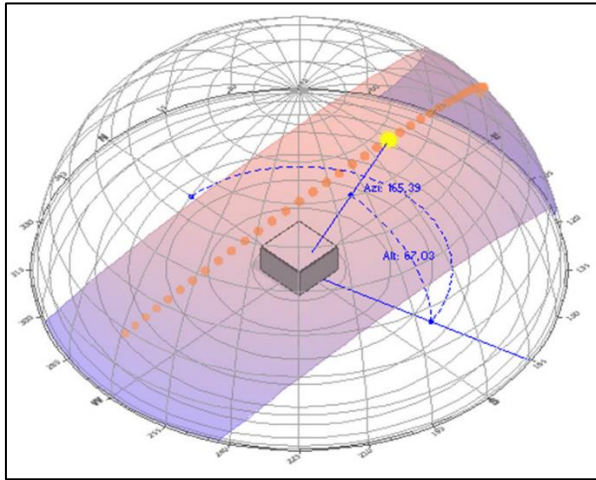
#### Güneş açıları

Dünyada herhangi bir lokasyondaki eğik bir yüzeye düşen güneş ışınlarının enerji miktarı, o lokasyona, konuma ve güneş ışınlarının geliş açısına göre değişmektedir. Buna bağlı olarak, güneşin enerji miktarını hesapla ya da ölçüm cihazları ile yapmak mümkündür [83]. Güneş geliş açısı, güneş ışınlarının vurduğu eğik yüzeyin normali ile güneş ışınımı arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır( $\theta$ ). Yatay yüzeye güneş ışınlarının dik gelmesinde  $\theta = 0^\circ$  olup, güneşin doğuşunda ve batışında ise  $\theta = 90^\circ$  olmaktadır (Şekil 2.19).



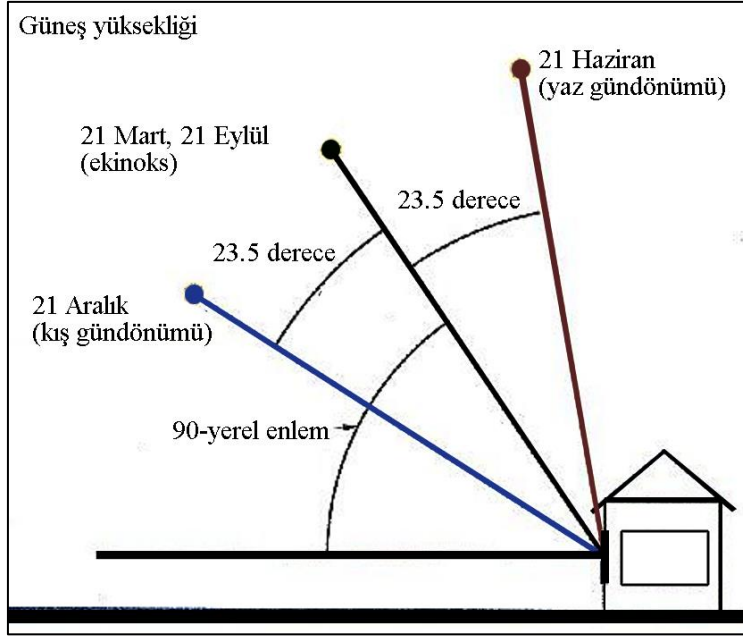
Şekil 1.24. Eğimli bir yüzey için güneş açıları [83]

Güneş yükseklik açısı (altitude); doğrudan güneş ışınlarının (güneş doğrultusu) yatayla yaptığı açıdır. Güneş azimut açısı (azimut); doğrudan güneş ışınlarının yatay yüzeydeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır (Şekil 2.20).



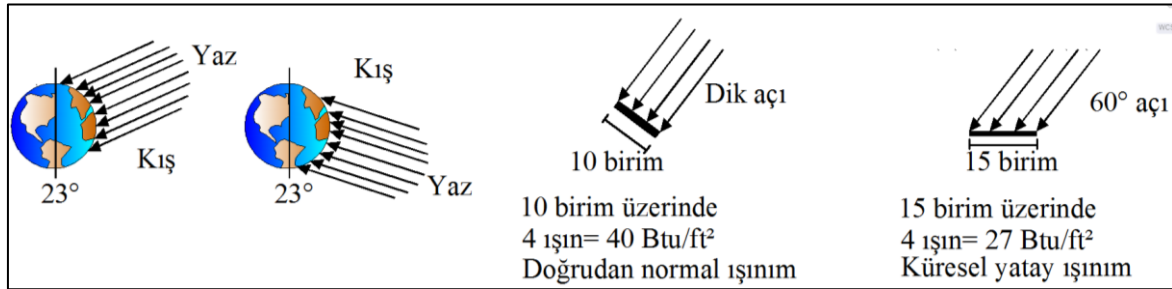
Şekil 1.25. Solar oryantasyon diyagramı [84]

Mevsimlerin başlangıcı olan dört önemli gün, eksen eğikliğine bağlı olarak dünyanın güneş etrafında dönmesiyle ortaya çıkmaktadır. 21 Aralık ve 21 Haziran tarihlerine gündönümü (solstis), 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerine ekinoks (gece - gündüz eşitliği) olarak adlandırılmaktadır. Güneş ışınlarının dünyaya en dik açıda geldiği tarih 21 Haziran olup, 21 Aralık'ta da en eğik açıda geldiği tarihtir (Şekil 2.21).



Şekil 1.26. Gündönüm-ekinoks açıları [85]

Güneş ışınlarının herhangi bir alana dik açıda düşmesiyle oluşan enerji miktarı 40 Btu/ft<sup>2</sup> iken, aynı alana aynı miktarda güneş ışınının 60 derece açıyla düşmesiyle oluşan enerji miktarı 27 Btu/ft<sup>2</sup>'dir (Şekil 2.22), [86].



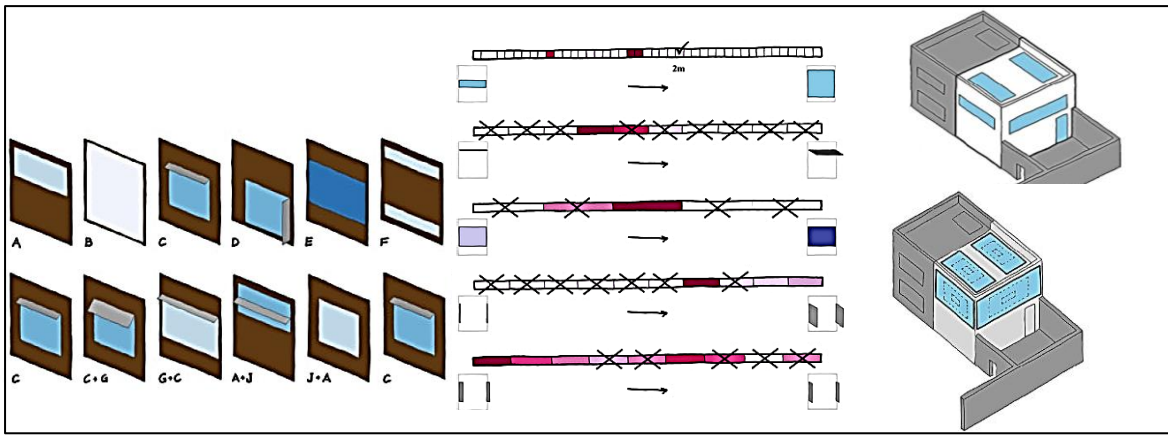
Şekil 1.27. Gün ışınlarının geliş açılarına göre oluşan enerji miktarı [86]

### Isı korunumu

Güneşten yararlanılarak doğal aydınlatmanın sağlanması, binanın aydınlatma odaklı elektrik kullanımının ve ısınma yükünün azaltılmasını sağlayarak sürdürülebilir çözümler sunmaktadır [87].

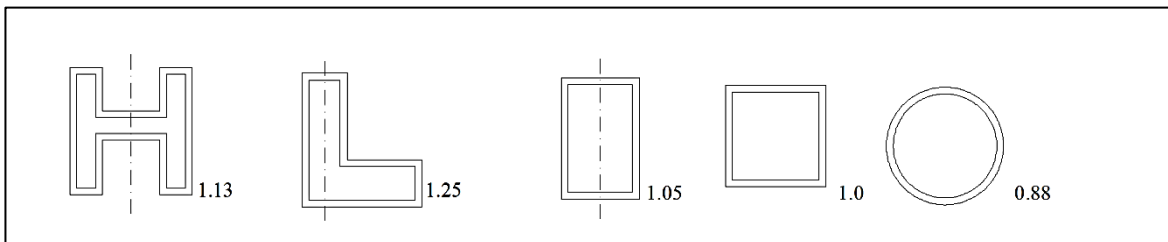
Enerji etkin tasarımlarda, ısı kayıplarını önlemek için yapı kabuğu yüzeyinde ve camlarında ısı yalıtımı önlemi alınırken, havalandırmanın olumsuz yönde etkilenmemesi için kirli hava

taahliyesini yapacak hava çıkışlarının düşünülmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, bina yapı kabuğu tasarlanırken kuzey cephesine mümkün olduğu kadar ebatları küçük ve az sayıda pencere, güney cephesine de ebatları geniş ve çok sayıda pencere kullanımı ve mekân organizasyonunun buna uygun olarak kurgulanması ısı korunumu açısından son derece önemlidir. Ancak, yapı kabuğundaki boşlukların %40 ile sınırlandırılması önerilmektedir [88]. Resim 2.25’de bir binanın güneş kazançları, ısı transferleri ve hava hareketliliği analiz edilerek enerji optimizasyonu sağlamak için pencere boyutları düzenlenmiştir. Buna göre, 2 metre yükseklik sabit tutularak en uygun sonuçlar saptanmıştır [89].



Resim 1.24. Optimum enerji için düzenlenen pencere boyutları [89]

Binanın enerjiden yararlanma veya korunma düzeyini etkileyen en önemli değişkenlerden biri yapı kabuğu formu ve cephe biçimlenmesidir. Şekil 2.23’de, farklı plan formları aynı alana sahip olabilmesine rağmen duvar alanlarının değişen oranlarda bulunduğu görülmektedir. Binanın ısı korunumu ya da kazanımı için binaların yüzey alanları ve hacimlerinin oranları önemli bir kriterdir. Isıyı korumak için kompakt formlar tasarlanarak, ısı değişimlerindeki alışverişlerin azaltılması mümkündür [90, 91].



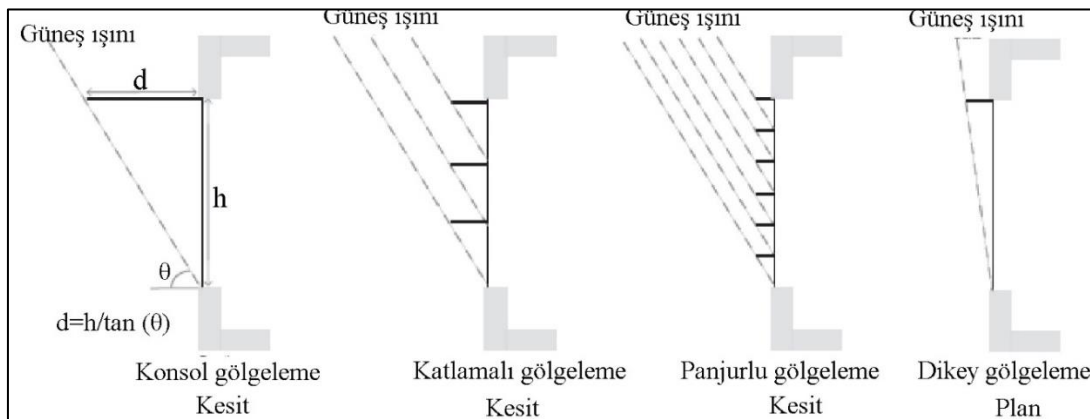
Şekil 1.28. Binaların çevre ve alan oranlarına göre değişen formları [90, 91].

Havanın soğuk olduğu iklimlerde enerji kaybını minimize etmek için kompakt formlar kullanılırken, sıcak ve kuru iklim bölgelerinde ısı kazançlarını minimize etmek için gölgeli ve serin yaşam alanı yaratmak amacıyla kompakt ve avlulu, sıcak ve nemli iklim bölgelerinde havalandırmayı maksimumda tutmak için uzun cephesinin hakim rüzgar yönünde olması koşuluyla ince uzun formlar ve ılıman iklim bölgelerinde soğuk iklim bölgelerine göre daha esnek ama yine kompakt çözümler enerji etkin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli kriterlerdir.

### Isı kazanımı ve gölgeleme

Güneşten doğal aydınlatma sağlamak üzere, kontrolsüzce hesaplanmadan tasarlanan geniş açıklıklar, binanın aşırı ısınmasına ve buna bağlı olarak soğutma yükünün artmasına neden olmaktadır [87]. Doğal aydınlatmanın insan psikolojisini olumlu yönde etkilediğinin bilincinde olunmasına rağmen, ısıl konfor ve enerji kullanımı açısından dengenin oluşturulması gerekmektedir [92].

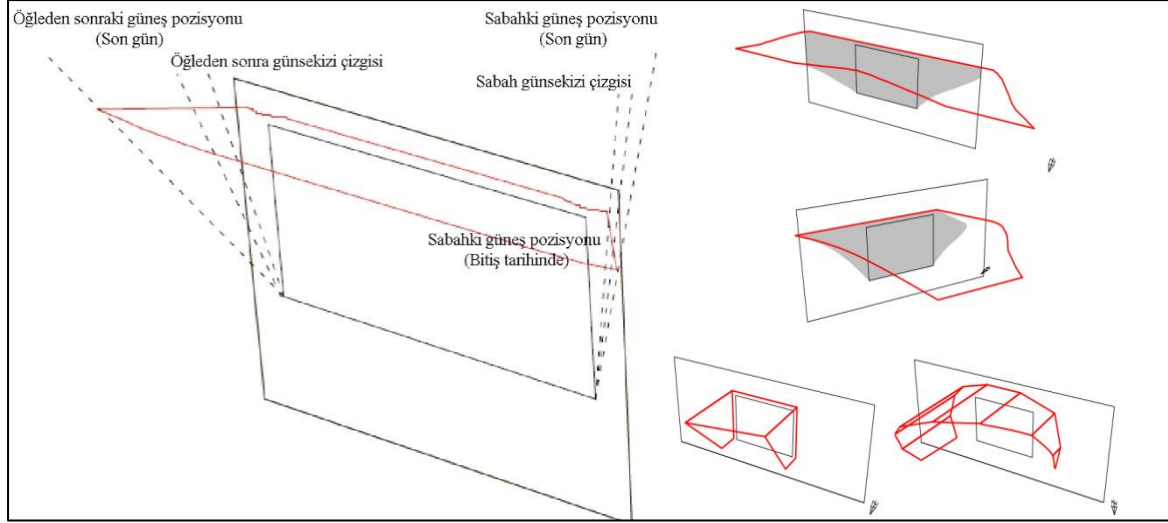
Gölge elemanları ısı kazançlarını engellemek için kullanılırken, bu elemanların aynı zamanda gün ışığını kesmeyecek şekilde tasarlanarak havalandırma esintisine ve manzaraya engel olmaması gerekmektedir [93]. Şekil 2.24’de güneş ışınlarına göre şekillenen konsol, katlamalı, panjurlu ve dikey olmak üzere alternatif gölgeleme elemanları görülmektedir [94].



Şekil 1.29. Güneş ışınlarına göre şekillenen farklı türdeki gölgeleme elemanları [94]

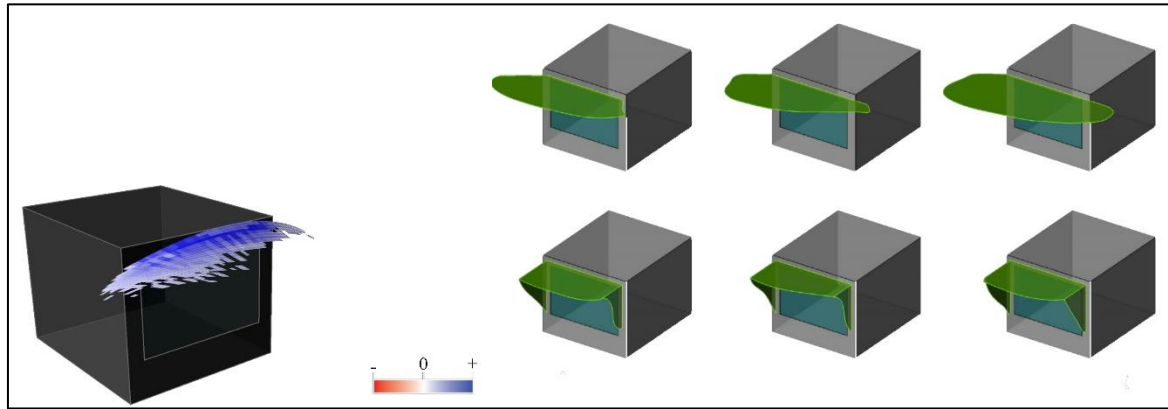
Bu alternatif gölgeleme elemanları yine güneş ışınlarına bağlı olarak farklı formlarda olabilmektedir. Bu formlar, günsekizi ve son gündeki güneş pozisyonlarından yola çıkılarak oluşturulmaktadır. Günsekizi, yaz gündönümü (güneş ışıklarının en dik açıyla geldiği

zaman) sekizin tepe noktasını, kış gündönümü (güneş ışıklarının en yatay geldiği zaman) sekizin en alt noktasını ifade etmektedir. Günsekizinin tepe ve dip noktaları arasındaki açı  $47^\circ$ 'dir (Şekil 2.25), [94].



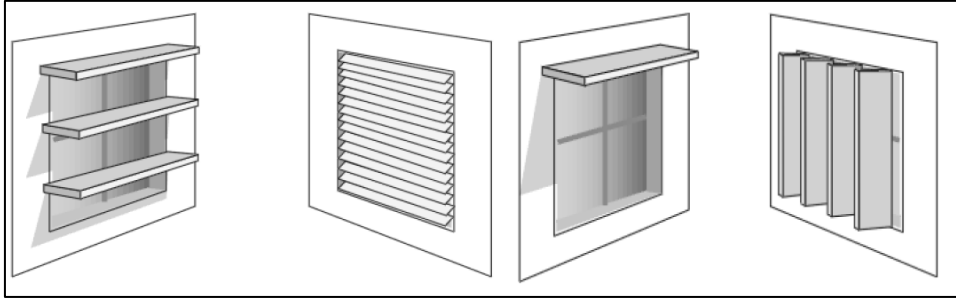
Şekil 1.30. Güneş ışınlarına göre şekillenen farklı formlardaki gölgeleme elemanları [93, 94]

Güneş ışınlarına göre oluşan gölge elemanı sınırları analiz edilerek negatif değerini taşıyan alanlar kırılmış ve daha verimli bir gölgeleme durumu sağlanmıştır. Optimize edilen gölgeleme elemanları ve biçimlenmesi Resim 2.26'da görülmektedir [94].



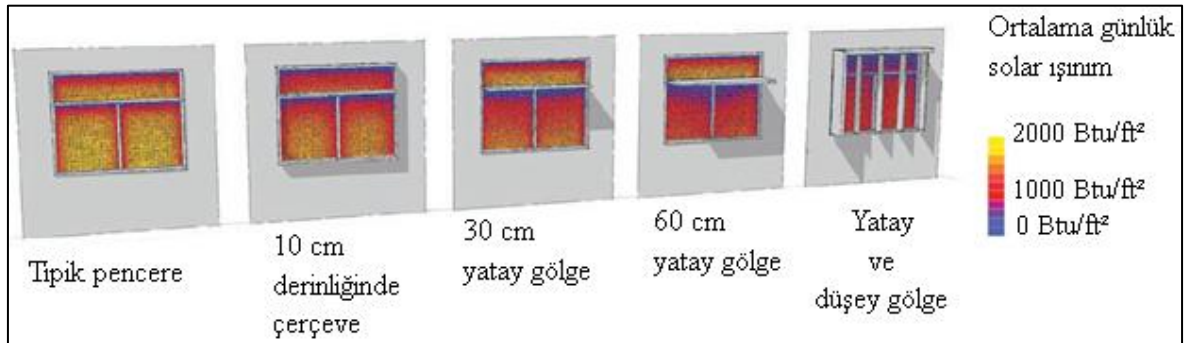
Resim 1.25. Gölge elemanlarının optimizasyonu ve oluşumu [94]

Hareketli gölgeleme elemanları ise, güneşe göre değişkenlik gösterdikleri için sabit olanlara göre doğal hava koşullarına daha iyi cevap vermektedir. Özellikle ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde bazen bir günün çok güneşli iken, diğer günün güneşsiz geçen günlerinde, ısı korunumu/kazanımı için yapı kabuğunda hareketli gölgeleme elemanı kullanımı faydalı olmaktadır [95], (Resim 2.27).



Resim 1.26. Yatay ve düşey hareketli gölgeleme elemanları [95]

Gölgeleme elemanı kullanılmayan korunaksız pencereler ile farklı ölçülerde ve farklı konumlarda gölgeleme elemanı kullanılan pencerelerin güneş ışıınım miktarları da farklı olmaktadır. Resim 2.28’de korunaksız pencere ile 10 cm, 30 cm, 60cm’lik derinliklerde gölgeleme elemanları olan pencerelerdeki güneş ışıınım miktarları görülmektedir. Örnekteki gölgeleme elemanlarının sayısı, kesiti ve yönü değıştikçe istenmeyen ısı kazançları da engellenmiştir.



Resim 1.27. Pencerelerin korunaklı oluşuna bağlı olarak enerji dağılımı [96]

### Güneş odaklı enerji verimliliği

Mimaride güneşten yararlanma fikri, modern zamanlardan önceki süreçte, elektriğe ulaşımın yetersiz olduğu durumlarda deneyimlenmiştir. Günümüzde ise bu fikir, enerji tasarrufu için stratejik bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır [97]. Tasarımda, güneşten kaynaklanan aydınlatma, ısı kazanımı, ısı korunumu gibi etmenlerin dengeli bir şekilde kullanılması ile tasarımda iç ortamda konfor sağlanabilmekte, işlevsel ihtiyaçlara cevap verilmekte ve enerji ve yapım maliyet seviyeleri en aza indirilmektedir [98].

Mimari tasarım analizinde önemli bir girdi olan güneş, fiziksel çevre konfor koşullarını sağlayarak enerji korunumu / kazanımı için yapı kabuğu biçimlenmesinde ve kimliğinin

oluşmasında önemli bir etkidir. Bu kimlik, yapının bulunduğu iklim koşullarına göre, yapının güneşe karşı nasıl bir üslup geliştirdiğinin belirlenmesi ile oluşmaktadır [84].

Bina yapı kabuğu, güneşin istenmeyen etkilerini engelleyen, ısı akımını geçiren, doğal havalandırmayı sağlayıp gerekli durumlarda çapraz havalandırmaya olanak veren, ayarlanabilen boşluklara sahip bir filtre durumundadır. Bünyesinde bulundurduğu opak ve saydam bileşenler ile iklim koşullarının olumsuz etkilerini minimum, olumlu etkilerini maksimum yönde değerlendirmektedir [99].

Enerji performansı üzerinde büyük etkisi olan yapı kabuğu biçimi, güneş ışınımı ve dış havaya açılmasından, binanın bulunduğu lokasyon ve iklim verilerine kadar birçok kritere bağlı olarak değiştiği gibi binanın hacmine göre de değişiklik göstermektedir [88]. Yapı iç mekanlarında konfor koşullarını sağlamak amacıyla, ısı kayıp ve kazançlarını saptamak için binanın formu ve yüzey alanlarının ısı tutuculuğunun belirlenmesi önem arz etmektedir. Çünkü yapının yüzey alanı büyüklüğü, bina formunu da etkilediği için ısı kayıplarıyla ya da kazanımlarıyla doğrudan ilişkilidir. Yapı kabuğundaki yüzey alanı arttıkça ısı kayıpları artmaktadır. Örneğin, aynı hacimdeki iki farklı tasarımdan birisinin basit ve dar yüzeyleri olan bir geometrik biçimleniş var ise bu yapı kabuğunun ısı kaybı azdır. Biçimdeki yüzey alanının azaltılmasıyla enerji kaybını azaltmak ve güney cephesine geniş pencereler açarak güneş enerjisinden yararlanmak optimum enerji kazanımı sağlamak için iyi bir çözümdür [100].

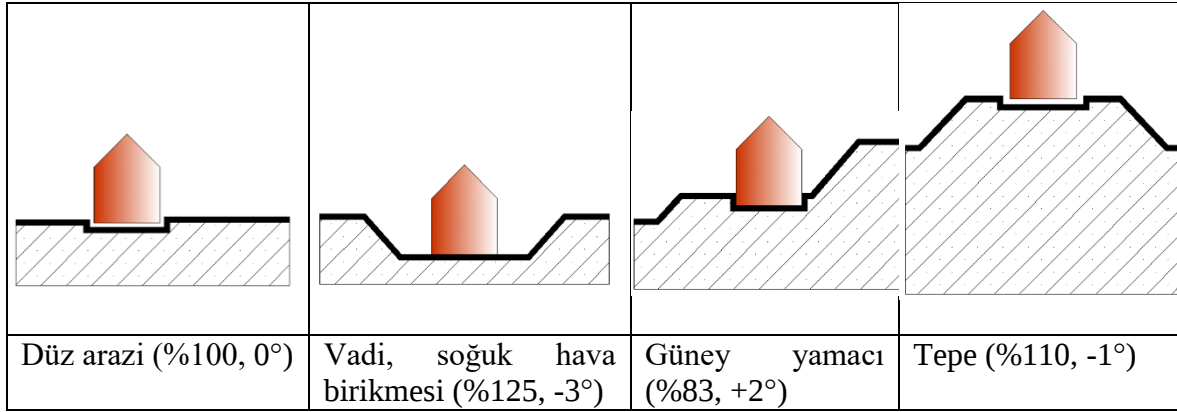
### Güneş – yapı kabuğu ilişkisi

Güneşin yapı kabuğuna olan güneş ışınım etkisi, tasarımın bulunduğu konuma, tasarım alanına nasıl konumlandığına, yapı kabuğu yüzeylerine ve kabuk özelliklerine göre değişmektedir.

### *Konum*

Konum, çevre kirliliğini önlemede ve iklim koşullarının kontrolünde etkin bir parametredir. Ayrıca konum, tasarım alanının yönü, eğimi, bitki örtüsü ve güneş ışınlarının geliş açıları gibi alt parametrelerin bütünü olarak da ifade edilebilir [101]. Farklı topoğrafik alanlar üzerinde konumlanan tasarımlarda, rüzgârdan yararlanma değerleri ile birlikte ısı kazançları

da değişmektedir. Şekil 2.26’da tasarımların farklı topoğrafik alanlarda konumlanmasıyla ısı enerjisi kazanımı ya da kaybetme durumu gösterilmiştir. Buna göre, vadi tabanına yerleşmiş binalar güneş ışınlarının yeterli gelmemesiyle soğuk hava birikimi neticesinde ısı enerjisini kaybederken, güney yamacı konumlanan binalar güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak daha az ısı enerjisi kaybetmektedir [102,103].

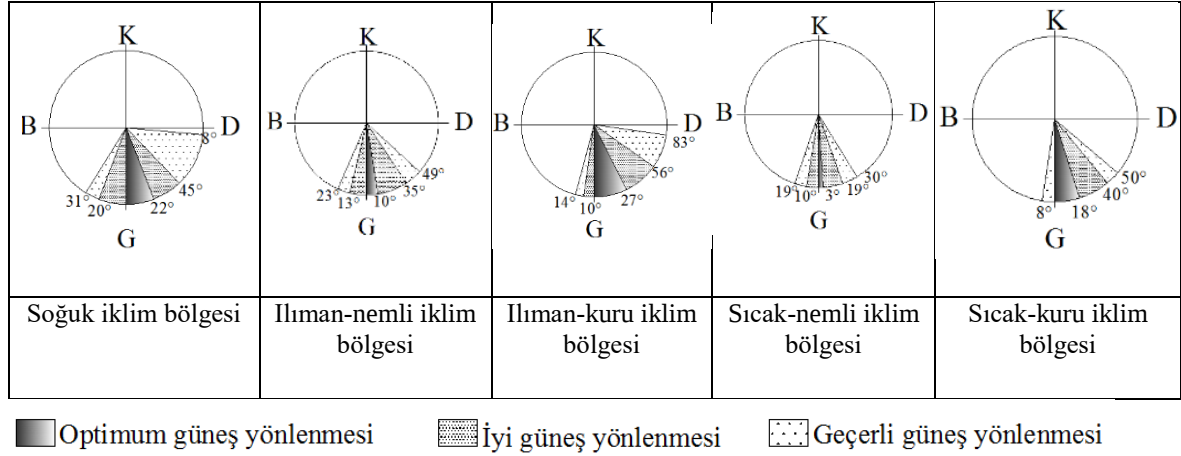


Şekil 1.31. Farklı topoğrafik yapılar içinde binanın konumuna göre ısı kayıpları ve sıcaklık farkları [102,103]

Yapı kabuğunun bulunduğu yapı çevre ve bu yapı çevre ile arasındaki ilişki güneş ışınım miktarının aşırısından kaçmak ya da iklimsel konfor koşullarını kullanmak için son derece önemlidir. Binalar arası mesafe ve yükseklikler, binaların birbirlerine göre konumları, binalar arasındaki açık mekanlar güneş ışınlarının geliş açılarını, rüzgârın yönünü ve şiddetini değiştirmektedir [101].

#### *Yönlendiriş durumu ve yapı kabuğu yüzey formları*

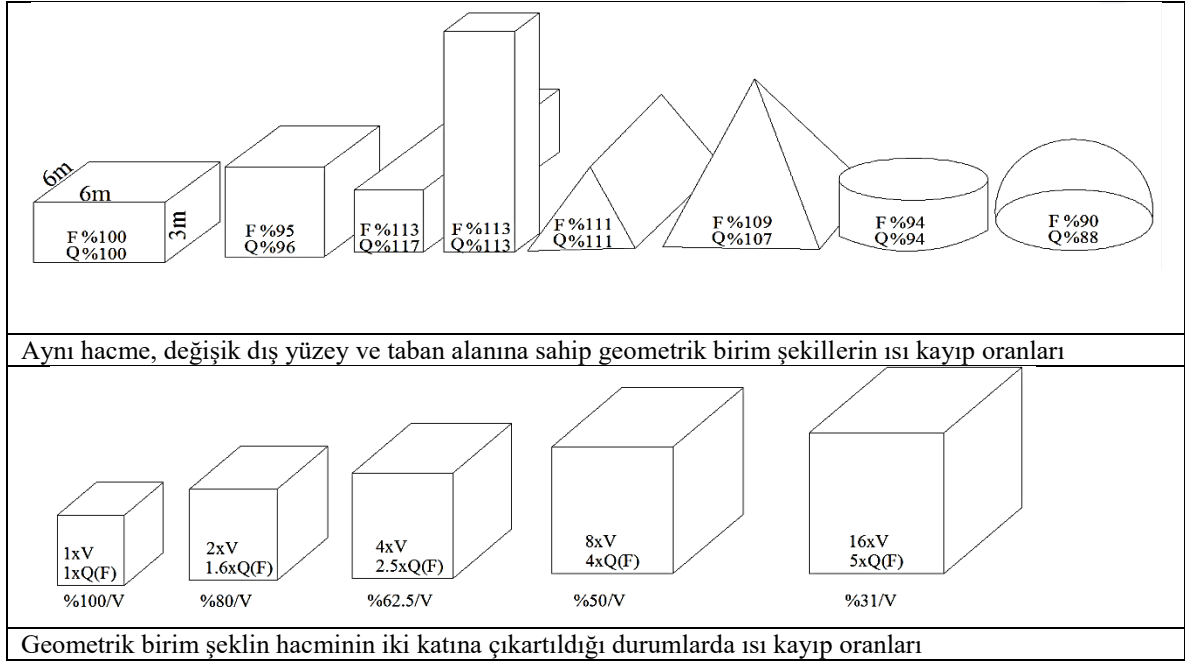
Yapı kabuğunun tasarım alanındaki doğru yönelişi ile konfor koşulları sağlanarak, iklim etkileri optimize edilebilmektedir. Bunun için, tasarımın bulunduğu bölgenin iklim özelliklerine göre, binanın ısı kazancını ya da ısı korunumunu sağlayan bir yönelme saptanmaktadır [102]. Şekil 2.27’de görüldüğü üzere binaların farklı iklim bölgelerindeki yöneliş durumları, optimum, iyi ve geçerli güneş yönelmeleri şeklinde üç kategoriye ayrılmıştır. Buna göre optimum güneş yönelme durumları güneyden doğu yönüne doğru olmak üzere, soğuk bölgelerde 22°, ılıman – nemli bölgelerde 10°, ılıman – kuru bölgelerde 27°, sıcak – nemli bölgelerde 3° ve sıcak kuru bölgelerde 18° olarak hesaplanmıştır [104].



Şekil 1.32. İklim bölgelerine göre bina yönlenmeleri [104]

Güneş ışınları, yapı kabuğu yüzeylerinin formu ve yüzey alanı ile birlikte, kabuğun dış yüzeyinin ısıtım şiddetini ve birim alanına düşen ısıtım miktarını ve şiddetini etkilemektedir ve buna bağlı olarak, iç mekanlardaki sıcaklık ve konfor koşulları da değişmektedir [102]. Şekil 2.28’de, aynı hacime sahip farklı geometrik biçimlerden küresel ve silindirik geometrilerin ısı kaybının, diğer biçimlere göre daha az olduğu görülmektedir. Örneğin, dış yüzey alanı %100 olan dikdörtgenler prizması şeklindeki tasarımın ısı kaybı, %100 olurken, aynı hacimde silindir şeklindeki tasarımın yüzey alanı %90’a düştüğü için, ısı kaybı da %88’e düşmektedir.

Ayrıca, binanın hacmi büyüdükçe dış yüzeylerden kaybedilen ısı miktarı hacime oranla azalmaktadır. Örneğin, V hacmindeki bir tasarımın ısı kaybı %100 / V olurken, bu hacmin 16 katı olan 16 x V hacmindeki bir tasarımın ısı kaybı %31 / V şeklinde hesaplanmıştır [102, 105].



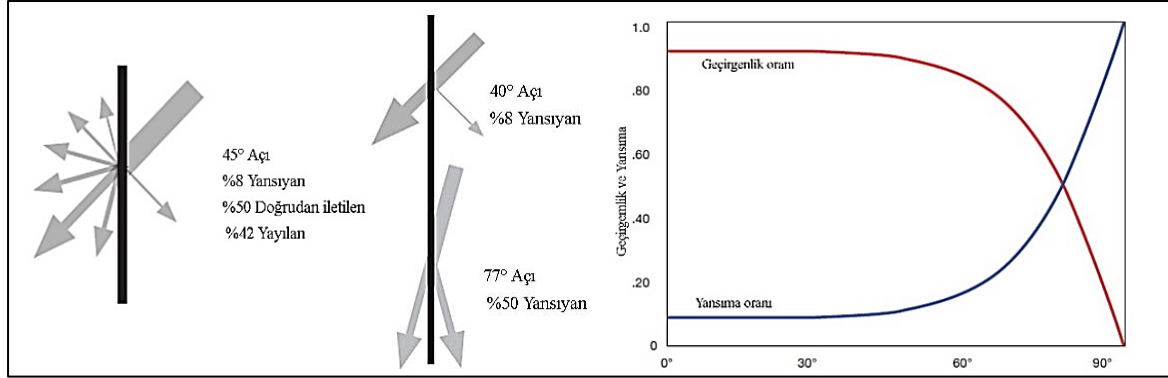
Şekil 1.33. Farklı geometrik biçimlerin hacimlerine göre değişen ısı kayıp oranları (F=dış yüzey alanı, Q=ısı kaybı) [102, 105]

#### Yapı kabuğu özellikleri ve güneş kontrolü

Yapı kabuğunda kullanılan opak ve saydam bileşenler, ısı geçişine ilişkin farklı özellikleri barındırmaktadır. Yapı kabuğundaki bileşenlerin, güneş ışınlarını tutuculuk, yansıtıcılık, geçirgenlik gibi ısı geçişine ilişkin özellikleri, güneş ışıınım etkisinde ve enerji yükleri miktarlarında belirleyici durumdadır [101].

Güneş kontrolü, tasarımın bulunduğu iklim koşullarına bağlı olarak gelen şiddetli güneş ışınlarına karşı ısı kazançlarını önlemek için kullanılan elemanlardır. Bu elemanlar, yapı kabuğuna sonradan entegre edildiği gibi tasarım aşamasında verilen kararlarla yapı kabuğunun kendisi de güneş kontrol araçları gibi davranabilir [101]. Güneş kontrolü araçlarının boyutları, yönü ve kullanım biçimi kararında, gün ışığı geçirgenliği, gün ışığını yansıtma özelliği ve güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri önemli bir rol oynamaktadır. Cam yüzeyine 90 derece açıyla düştüğü kabul edilen toplam güneş ışığının cam veya türevleri tarafından içe geçirilen yüzdesi gün ışığı geçirgenliği olarak tanımlanmaktadır. Gün ışığı yansıtması ise, yine aynı şekilde cam yüzeyine 90 derece açıyla düştüğü kabul edilen toplam güneş ışığının cam veya türevleri tarafından geriye yansıtılan bölümü olmaktadır. Cam yüzeyine gelen güneş ışınlarının bir bölümü hemen dışarıya yansıtılırken, bir bölümü içeriye girmekte ve bir bölümü de cam tarafından soğurulmaktadır. Güneş ışınlarının cam

yüzeyinden içeriye ısı olarak giren yüzdesi, güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri olarak ifade edilmektedir [86], (Şekil 2.29).

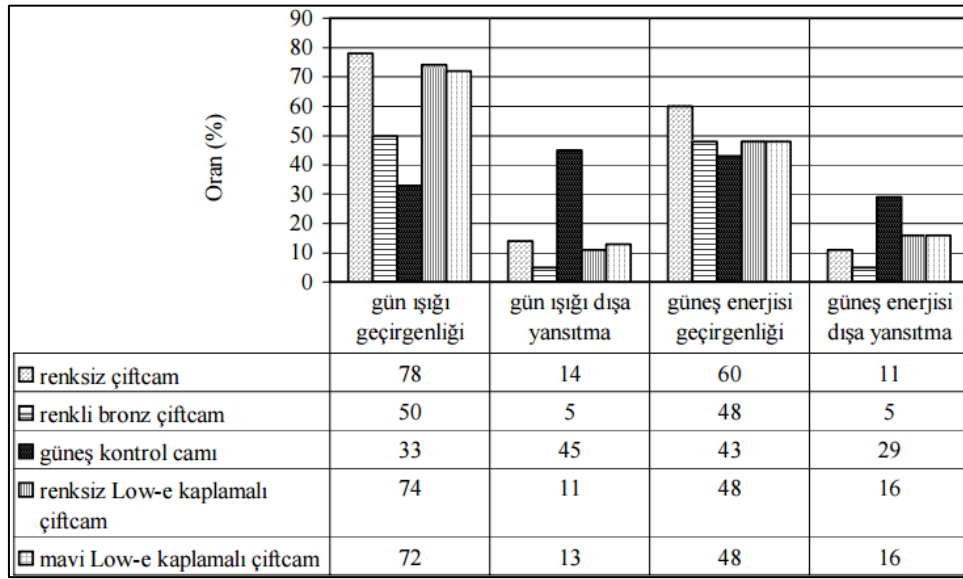


Şekil 1.34. Cama gelen rastlantısal (etkin) güneş açısı (geçirgen olan ve yansıyan) [86]

İklim koşulları, camın sahip olması istenen ışık geçirgenlik değerinin belirlenmesinde doğrudan etkilidir. Eğik gelen güneş ışınlarının bulunduğu, bulutlu gökyüzüne sahip genelde kuzey bölgelerinde camın maksimum seviyede ışık geçirmesi beklenirken, güney bölgelerde güneşin fazla parlamasını engellemek için camın ışık geçirgenliğinin minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Bu süreçte, ışık geçirgenliği ve enerji geçirgenliğinin farklı ifadeler olduğunun farkına varılmalıdır. Işık geçirgenliği, güneş ışınlarının görünen kısmının geçişini ifade ederken, enerji geçirgenliği ise güneş ışınlarının tümünün geçiş oranını anlatmaktadır [106].

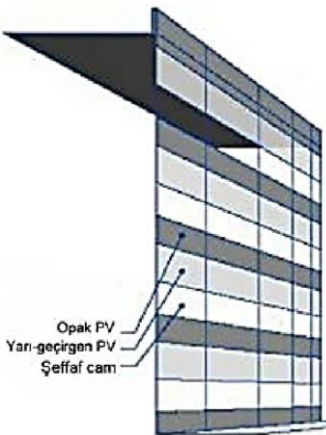
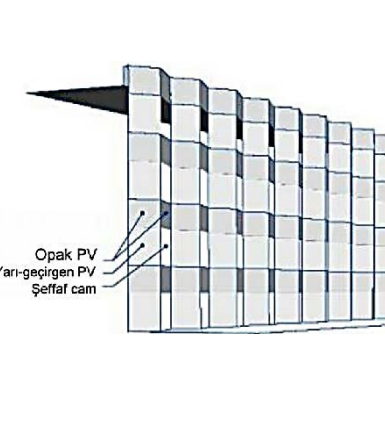
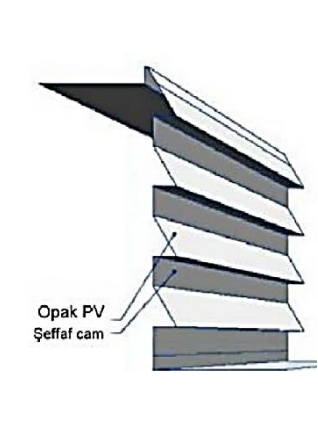
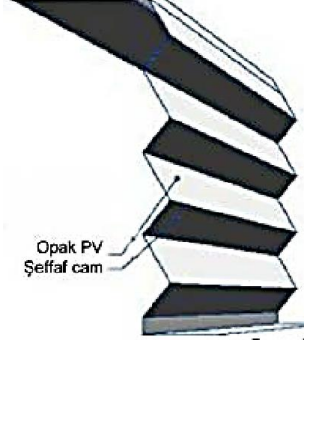
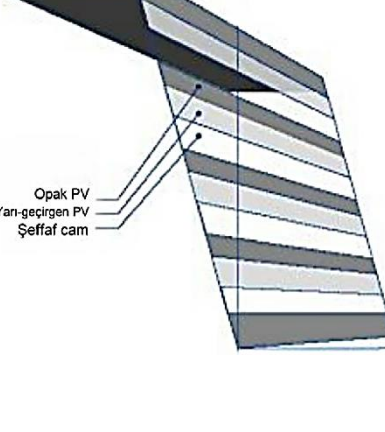
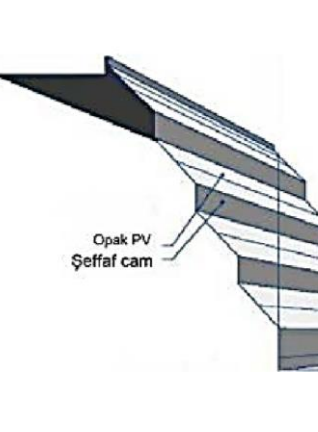
Aşırı ısı kazancını engellemede kullanılan güneş kontrol araçlarının (gölgeleme elemanlarının) biçimleri dışında malzeme özellikleri de büyük önem arz etmektedir. Çizelge 2.7’de farklı cam türlerinin güneş kontrolü bakımından performans değerleri yer almaktadır. Bu grafiğe göre, yansıtıcı cam olarak sınıflandırılan güneş kontrol cam türünün, iç mekânda gün ışığı kontrolü açısından en uygun cam türü olduğu saptanmıştır. Güneş ışınlarının ısısal ve ışımsal açıdan istenilen standartlara getirilmesi, iklimlendirme ve aydınlatma enerjisinin minimumda tutulması ve tasarımda iklimsel ve görsel konforun sağlanması bu camların kullanımıyla olanaklı hale gelmiştir [106].

Çizelge 1.7. Farklı cam malzemelerin güneş ışınları ile etkileşimi [106]



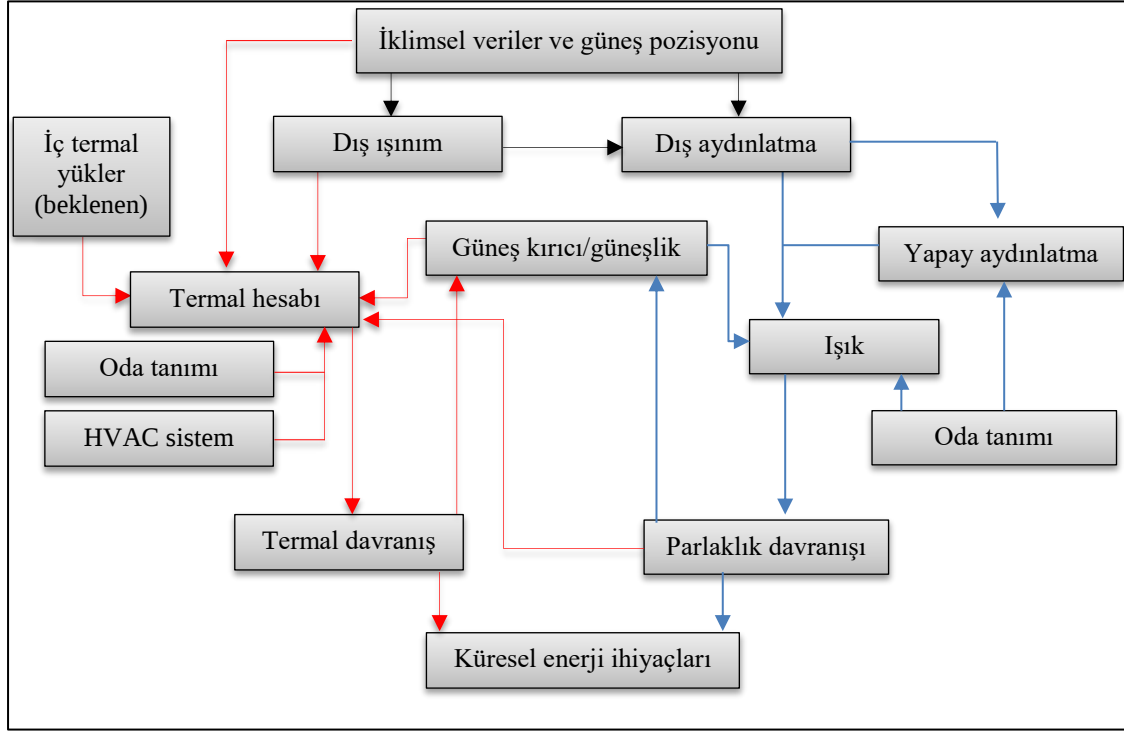
Mevzu olan güneş kontrol cam türlerinin dışında, fotovoltaik (PV) paneller de tasarımda yansıtıcı olarak kullanılmaktadır. Bu panellere düşen güneş ışınları, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu düzenekler düzlemsel, eğimli, kırıklı olarak farklı biçimlerde kullanılabilmekte ve modülleri doğrudan yapı kabuğuna taşıyıcı cephe elemanı olarak da uygulanabilmektedir (Çizelge 2.8), [107].

Çizelge 1.8. Cephe elemanı olarak PV kullanımı [107]

|                                                                                    |                                                                                    |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| Düzlemsel perde duvar                                                              | Düşeyde kırıklı perde duvar                                                        | Yatayda kırıklı perde duvar                                                          |
|  |  |  |
| Akordeon perde duvar                                                               | Eğimli düzlemsel perde duvar                                                       | Eğimli kırıklı perde duvar                                                           |

### Isı ve ışık davranışları arasındaki etkileşim

Belirli bir yüzeye dik ve yatık gelen güneş ışınlarının getirdikleri enerji miktarları arasında belirgin bir fark bulunmaktadır. Bir ışın demeti dik geldiğinde daha dar bir yüzeyi aydınlatırken, aynı ışın demeti yatık geldiğinde daha geniş bir yüzeyi aydınlatmaktadır. Ancak, ışınların yere değme açısı daraldığı için etkisi azalmaktadır. Bu nedenle güneş ışınlarının yere değme açısı büyüdükçe yeryüzünü ısıtma gücü de artmaktadır. Şekil 2.30'da görüldüğü üzere ısı ve ışık davranışları arasında bir etkileşim bulunmaktadır [108].

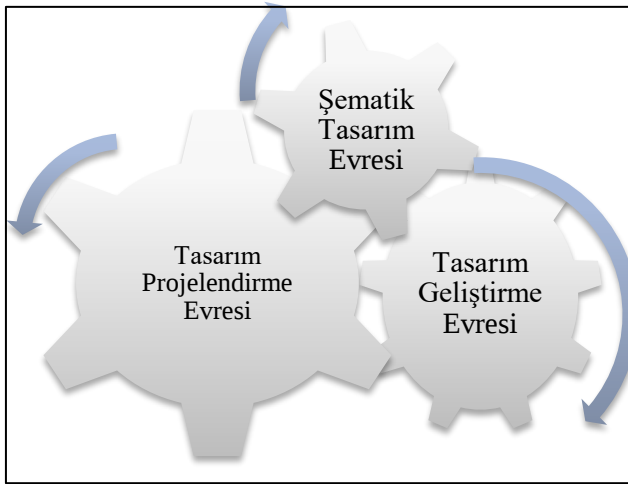


Şekil 1.35. Isı ve ışık davranışları arasındaki etkileşim [108]

### 2.2.3. Performansa dayalı güneş odaklı tasarım yöntemleri

Yapı kabuğu tasarım yöntemlerinden performansa dayalı tasarımın gerçekleşmesinde en etkin rolü, kolay ulaşılabilmesi, enerji etkisinin yüksek olması ve yapıya uygulanabilirliği açısından güneş enerjisi almaktadır.

Güneş verilerine bağlı ve performansa dayalı tasarım yöntemini kullanarak optimum yapı kabuğu elde etmek için ideal tasarım sürecini yürütmek için bazı tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Projenin her aşamasında tasarıma geri dönülerek revize edilebilme olanağını sağlayan ideal tasarım süreci döngüsel bir süreçtir (Şekil 2.31) [109].

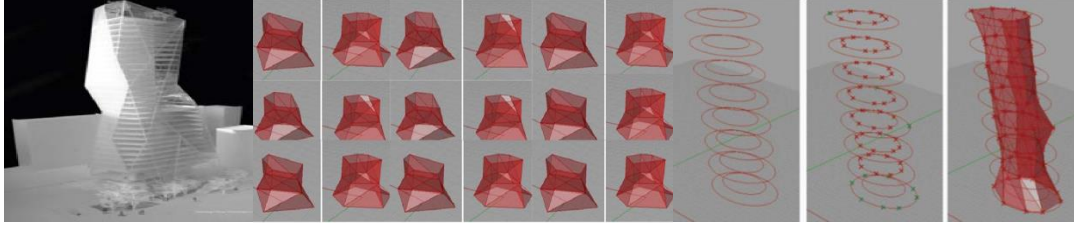


Şekil 1.36. Döngüsel tasarım süreci [109]

Bu ideal döngüsel tasarım sürecinde, değişkenlere bağlı olarak istenilen zaman aralığında, anlık sayısal veriler elde etmek mümkün olduğu için bu süreç, tasarım kararlarını gerçek zamanlı olarak test etme olanağı sunmaktadır. Bu yüzden, erken tasarım aşamasında göz önünde bulundurulacak olan değişkenler tasarım sürecine ilk ya da son etapta entegre edilebilmektedir. Güneş verilerine bağlı enerji etkin yapı kabuğu optimizasyonu parametrik değişkenlere bağlı bir analiz gerektirdiğinden, ideal ve döngüsel tasarım süreci içerisinde anında test etme şansı yakalanıp elde edilen verilerin güncellenmesi sağlanmaktadır. İdeal ve döngüsel tasarım sürecinde güneş mimarisinde en çok karşılaşılan yöntemler, Algoritma yöntemi, origami yöntemi, biyomimetik yöntem, katlama yöntemi ve güneş kabuğu yöntemi olarak sayılabilmektedir:

#### Algoritma yöntemi

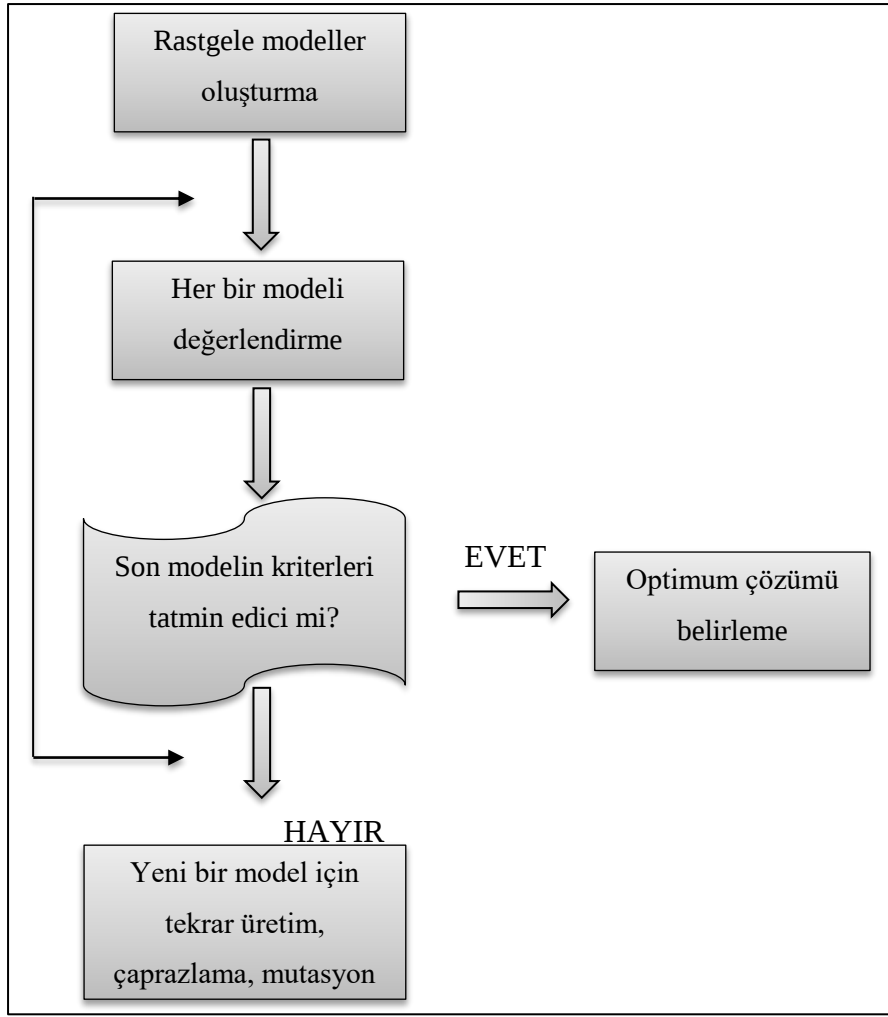
Algoritma, sistemli ve akılcı fikirler çerçevesinde bir problemin sınırlı alternatif çözümlerini ifade etmektedir [110]. Mimari tasarım süreci, alternatif çözümlerin değerlendirilmesi ve karar verme aşaması olduğu için algoritmik düşünce yapısıyla örtüşmektedir. Bu yüzden, algoritma mimari tasarım sürecine dahil edilebilir. Algoritmik tasarım sürecinin geleneksel tasarım sürecinden farkı, tasarım problemlerine hesaplamalarla sayısal çözümler üretme özelliğinin bulunmasıdır [111]. Resim 2.29'da, Grasshopper programında algoritma kullanılarak Arizona'da tasarlanan bir model örneklenmiştir. Algoritmik kodlar ile bulunduğu lokasyonun fiziksel özelliklerine göre birbirinden farklı 18 adet model oluşturulmuştur. Doğrudan güneş kazanımı amacıyla tasarlanan modelin algoritmalarla hangi formda olacağı analiz edilmiş ve optimum sonuca ulaşılmıştır [112].



Resim 1.28. Arizona’da genetik algoritma kullanılarak tasarlanan bir model [112]

Bilgisayar destekli tasarım araçları, algoritmik kurgu içerisinde çalışmakta olduğu için tasarım problemlerine alternatif çözüm yollarını belirli nesne ve fonksiyon olarak hazır bir şekilde tasarımcıya sunmaktadırlar. Tasarımcı ise sunulan bu nesne ve fonksiyonları bir araya getirerek soruna en uygun çözümü üretmektedir [111]. Bu açıdan, performansa dayalı tasarım optimizasyonunda tasarımcılar birçok senaryoyu test ederek en optimum çözümü bulmaya çalışmaktadırlar. Bu süreçte, enerji verimliliği kapsamında yapı kabuğu en önemli nokta olarak ön plana çıkmaktadır. Yapı kabuğuna ait parametrelerde yapılacak herhangi bir değişiklik binanın enerji talebini değiştirerek ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerini etkileyecektir [110].

Performansa dayalı tasarım için algoritmanın kullanılmasında ilk aşama olarak, ilgili programa lokasyon ve yön bilgileri girildikten sonra, modelin ısıtma-soğutma, havalandırma ya da enerji verimlilik değerleri tanımlanmaktadır. Girilen veriler ışığında modelin yıllık, aylık ve günlük enerji tüketim değerlerine ulaşmakta ve  $m^2$  başına düşen ısıtma ve soğutma yükleri belirlenmektedir. Böylece, erken tasarım aşamasında modelin performansıyla ilgili bir fikir alınabilmekte ve optimum çözüm için hangi modelin seçileceğine karar verilmektedir [113]. Bu süreçte, bilgisayarların çalışma sistemi ise doğal tasarım sürecini taklit eder niteliktedir. Rastgele modeller oluşturulduktan sonra, program her bir modeli değerlendirme sürecine girmekte ve seçilen modelin tatmin edici olup olmadığını sorgulamaktadır. Sonuç olumsuz (hayır) ise, tekrar yeni bir model için alternatif çözümler yapılarak çaprazlama ve mutasyon ile değerlendirme aşamasına geçilmektedir (Şekil 2.32), [114].



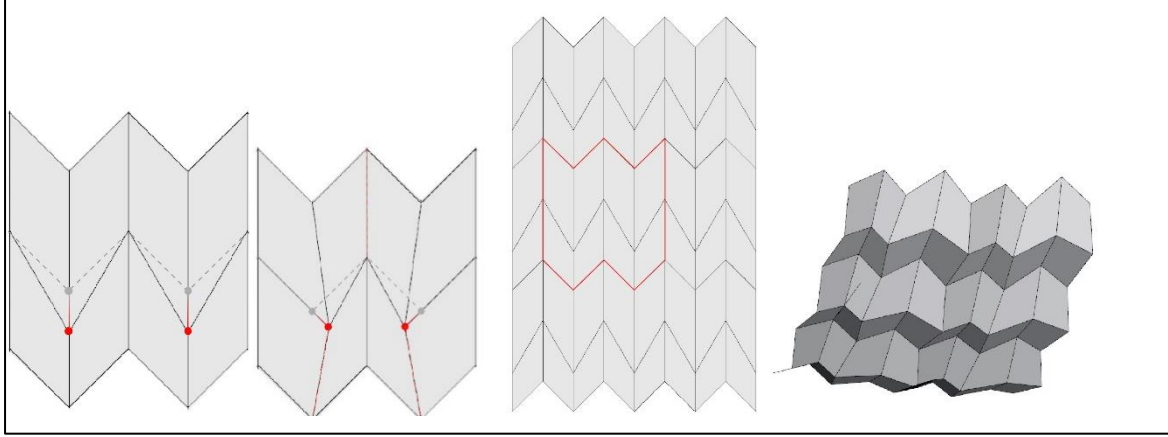
Şekil 1.37. Algoritma akış şeması [114]

Karmaşık fonksiyonlu, komplike mimari proje tasarımlarında parametre sayıları artırılarak optimizasyon değerleri değiştirilmektedir. Genetik algoritmalar, tüm bu olasılık ve permütasyonları hesaplayarak en kısa sürede optimum çözüme ulaşabilen yöntemlerdir [111].

### Origami yöntemi

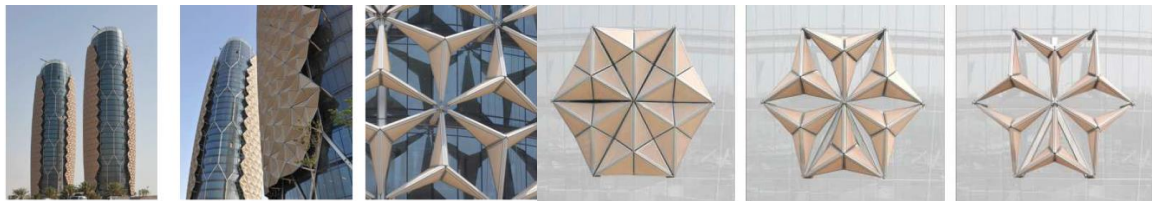
Origami, genelde Japon kâğıt katlama sanatı olarak ifade edilmektedir. Mimaride ise origami, matematiksel bir bakış açısıyla geometrilerin sürekli ve düzenli bir şekilde biçimlenmesiyle kullanılmaktadır. Böylece hem mimaride görsel estetiği tamamlamakta hem de kullanılan malzemenin burkulma dayanımını artırmaktadır. Mimaride çok çeşitli origami kalıpları kullanılmakta olup, en basit ve klasikleşmiş katlama kalıp tipi Miuro-ori

kalıbıdır. Bu kalıp tipi daha çok, güneş panellerinde hafif çekirdek malzemesi olarak kullanılmaktadır [115], (Resim 2.30).



Resim 1.29. Miuro-ori kalıbı örnekleri [116]

Modüler yapıdaki origami biçimleri birbirine geçerek birleştirilmektedir. Abu Dhabi’de Aedas tarafından, 2012 yılında tasarlanan Al Bahar Towers tasarım konsepti bu modüler yapıli origamiye örnek gösterilebilir (Resim2.31). Kulenin yapı kabuğundan 2 metre dış kısmında bulunan bir bağımsız çerçeve üzerinde, cam lifi (fiberglass) kaplamalı üçgen biçimli katlanıp açılabilen gölgeleme elemanları bulunmaktadır. Bu gölge elemanları ile binada aşırı ısı kazançları engellenerek iç mekânda optimum aydınlatma sağlanmaktadır [117].



Resim 1.30. Al Bahar Towers katlanıp açılan gölgeleme eleman detayı [117]

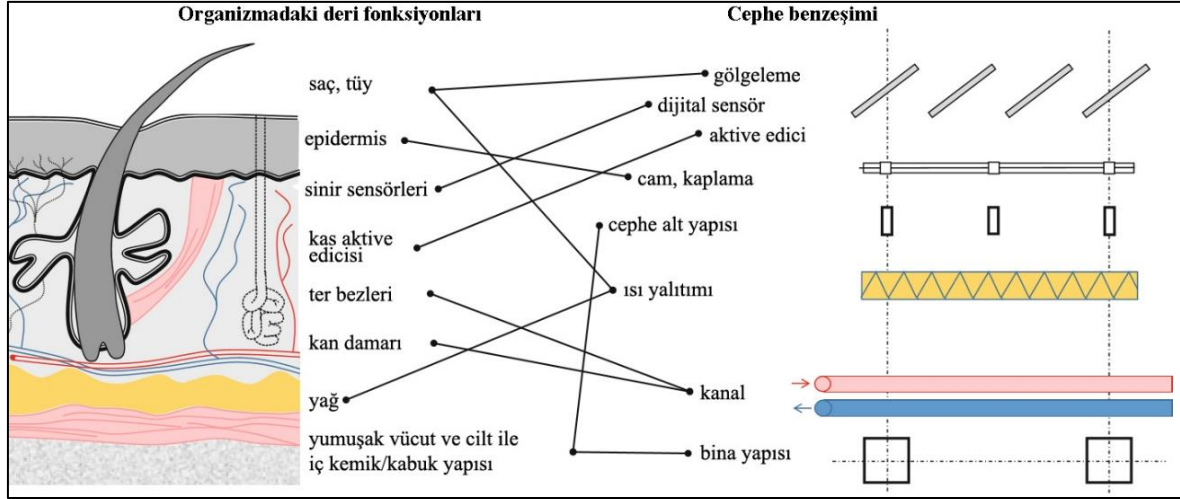
Bu tasarım yöntemine diğeri bir örnek olarak Bahriye Üçok Anaokulu, tasarım konseptinin origami olması sebebiyle gösterilebilir. Yapının dış yüzeyindeki 3D hareketler, güney yönünden gelen güneş ışınlarını engellemektedir. Sınıfların önündeki güneş kırıcılar ise, güneşin geliş açılarına kullanıcılar tarafından rahatlıkla yönleri değiştirilmektedir. Işığın daha az olduğu kış dönemlerinde daha geçirgen hale getirilebilmekte, güneşin etkin geldiği yaz zamanlarında kapatılarak kullanılabilmektedir (Resim 2.32), [118].



Resim 1.31. Kozyatağı Bahriye Üçok Anaokulu Tasarımı, Origami etkisi [118]

### Biyomimetik yöntem

Tasarım yönünden kusursuz olan doğada, enerji tasarrufu, sağlamlık, işlevsellik ve estetik anlayış gibi birçok yön bulunmaktadır [119]. Biyomimetik yöntem, doğada bulunan canlı, cansız tüm oluşumları inceleyip, bu oluşumların sistemlerini analiz ederek mimaride yeni fikirler üretmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir [120]. Örneğin, Şekil 2.33'de görüldüğü gibi, organizmalarda deri, koruyucu bir tabaka olup, mimarideki cephe fonksiyonlarıyla benzeşmektedir. Deri, vücudu dış etkenlerden koruyan en büyük organdır. Ayrıca, vücudun sağlığı için koruma, kontrol etme, emme, duyuşal olarak hissetme, gizleme gibi çeşitli işlevleri yerine getirme zorunluluğu bulunmaktadır. Binaların yapım aşamasından itibaren organizmalardaki deri fonksiyonları gibi, cephelerde de dış ve iç ortam ayrılmaktadır. Bununla birlikte cephelerin, UV, nem ve termal savunmanın yanı sıra kir, mikro organizmalar ve radyasyondan korunma gibi çoklu işlev görevleri mevcuttur. Bina cephe sistemleri organizmadaki deri fonksiyonlarıyla karşılaştırılacak olunursa, saç, tüy ve yağ fonksiyonu organizmanın ısı ihtiyacını gidermesinden dolayı ısı yalıtımı ile, epidermis organizmanın en üst tabakası olduğu için cam / kaplama ile, dürtülere yol açan sinir sensörleri dijital sensörler ile, kas hareketini sağlayan kas aktive edici, cephedeki aktif sistemler ile ve ter bezleri ve damarlar cephedeki kanallar ile benzeşmektedir [121].



Şekil 1.38. Organizmadaki deri fonksiyonları ile cephe arasındaki benzeşim [121]

Mimaride biyomimetik yöntem kullanımı, doğadaki şekilleri, biçimleri ve çözümleri doğrudan kopyalamak değildir. Bu yöntemdeki amaç, doğadan fikirler alarak, analiz edilen en doğru ve hatasız çalışan sistemleri mimari sorunlar içerisinde sorgulamaktır [122]. Bu sorgulama ile doğa tasarımcılara tasarım kabiliyeti, sürdürülebilir mekanlar ve dönüşebilen malzemeler konusunda yol gösterici olacaktır. Resim 2.33’de gösterildiği üzere, doğada bulunan hayvanların analizi ile yapılan mimari tasarımlar görülmektedir.

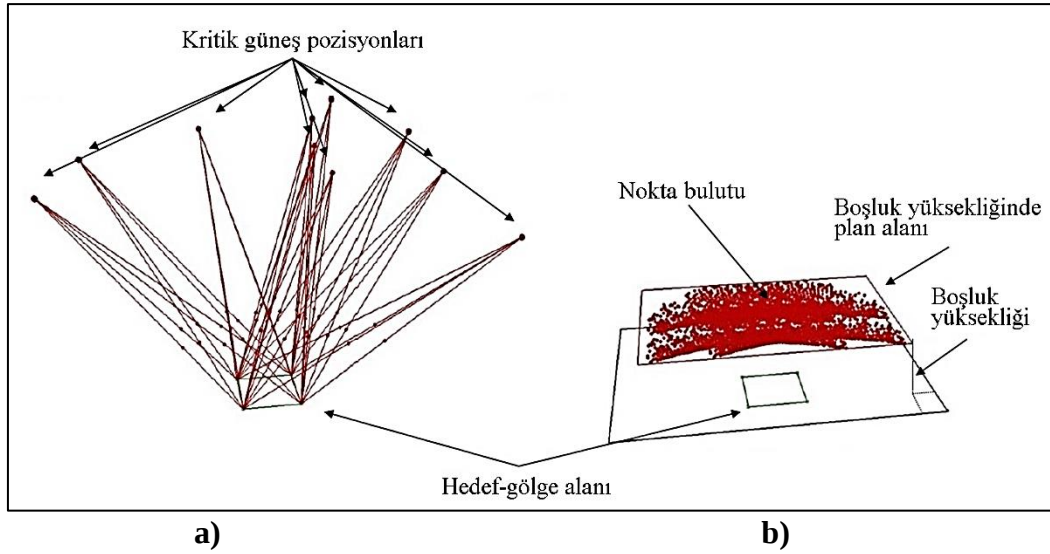


Resim 1.32. Biyomimetik tasarım örnekleri [123,124]

#### Katlama yöntemi (Louvered grid shell)

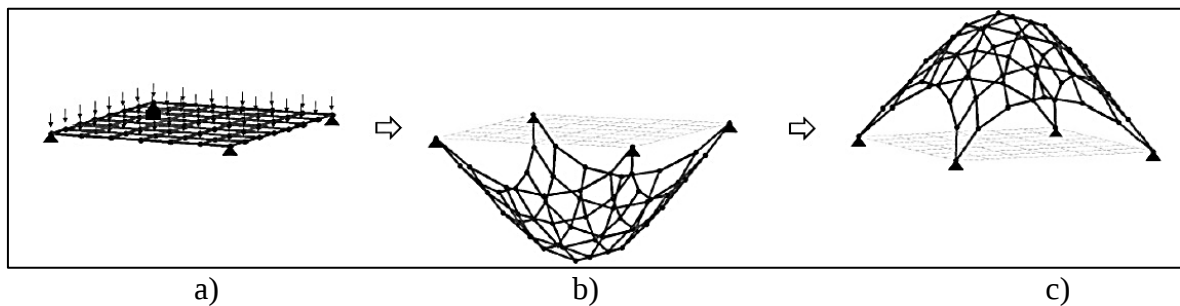
Katlama yöntemi, güneş ışınımına maruz kalan yüzeylerde uygulanan bir yöntemdir ve yapıyı güneşin olumsuz etkilerine karşı korumaktadır. Güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak, güneş (doruk) açısı ve dünyanın güneşe olan uzaklığı hesaplamalarıyla gerektiğinde kapanarak gölge oluşumu sağlanılmakta ya da açılarak güneşten maksimum kazanç elde edilmektedir. Şekil 2.34’de bir gölgelendirme analizi örneği yer almaktadır. Bu örneğe göre, güneş ışınım indeksi 2.5 veya üssü bir değerdedir. Şekil 2.34a’da kritik güneş

pozisyonundan hedef gölge alanına doğru (yeşil ile gösterilmiş kare) seçili sayıda vektörler gösterilmektedir. Bu vektörler üzerinde duran ve belirtilen yatay boşluk düzlemini kesen noktalar, hedef-gölge alanı tarafından tanımlanan düzlemle paralel konumlandırılmış ve bir nokta bulutu oluşturmuştur. Bu tam nokta bulutu ve boşluk düzlemi Şekil 2.34b'de gösterilmiştir. Bu nokta kümesi, aralık yüksekliğinde ve yer seviyesine paralel şekilde kritik güneş vektörleri ile düzlem arasında uzanmaktadır [125].



Şekil 1.39. Örnek gölgelendirme analizi [125]

Şekil 2.35a'da form bulma süreci için grid ağ bağlantısında yer alan ve 4 köşeden destek alan yay geometrisi bulunmaktadır. Şekil 2.35b'de yay ile ilişkili düzlem uygulaması amacıyla tek bir eğrisel alan içerisinde rahat ağ bağlantısı yer almaktadır. Şekil 2.31c'de ise, ters olduğunda, ağ sıkıştırılarak yapısal olarak verimli bir form oluşturulmuştur [125].



Şekil 1.40. Form bulma süreci [125]

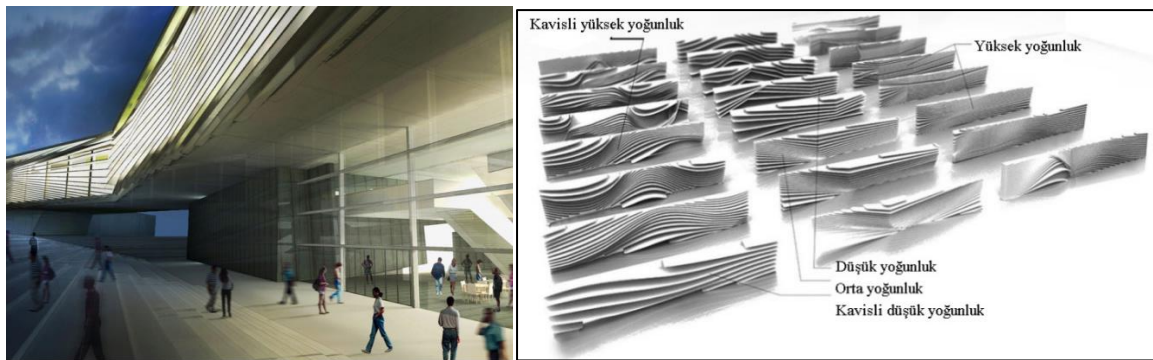
Resim 2.34'de ise katlama yöntemi ile yapılmış bir uygulama görülmektedir. Başlangıçta dikdörtgen bir geometri seçilmiş ve dört köşesinde desteklenen bir yay ağı olarak simüle

edilmiştir. Formu bulma yaklaşımı, bu ağın yerçekimi yükleri altında rahatlamasını sağlama odaklıdır. Resim 2.34a’da yaylı bağlantılar uygulanmıştır. Resim 2.34b’de yaylar vasıtasıyla ızgara içeren bir askı formu ortaya çıkmaktadır. Bu formu döndürerek ve tersine çevirerek bir sıkıştırılmış ızgara kabuk geometrisi elde edilmiştir. Resim 2.34c’de uygulanan prototipin iç görüntüsü gösterilmiştir [125].



Resim 1.33. Katlama yöntemi ile tasarlanmış prototip [125]

Katlama yöntemi kullanılarak yapılan tasarımlardan bir diğer örnek Amerika Bowling Green Eyalet Üniversitesi Arenasıdır. Güneş ışınlarının en yoğun gelen kısımlarında katlama yöntemi kullanılarak bina biçimlenmiş ve fonksiyonlarına göre bu katlama oranı düzenlenmiştir. Sınıflara bakan cephe yüzeylerinde yüksek yoğunluk, salonlara bakan yüzeylerde manzarayı engellemek için düşük yoğunlukta kavisli katlama oranları ayarlanmıştır (Resim 2.35), [126].



Resim 1.34. Katlama yöntemi ile tasarlanmış üniversite cephesi [126]

Her dört yöntemin kullanım kolaylığı açısından seçimi, yapılacak olan tasarıma göre değişmektedir. Algoritma, origami ve biyomimetik yöntemler tasarım aşamasından önce, tasarıma yön verecek çıkış noktalarıdır. Katlama yönteminde ise tasarımdan önceki aşamada

herhangi bir veri bulunmamaktadır. Yöntem, tasarım aşamasında kullanılan güneş ile tasarımın biçimlenmesi esasına dayanmaktadır.

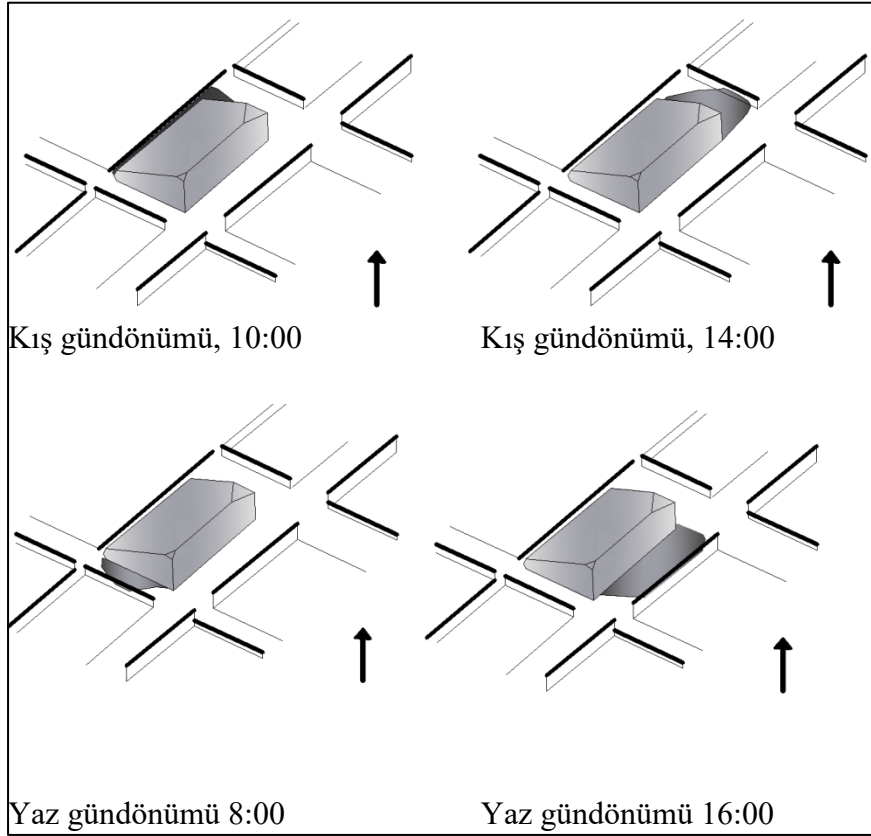
### Güneş Kabuğu yöntemi (Solar envelope)

Güneş Kabuğu yöntemi, yapıli çevre içerisinde bulunan binalarda ve kent dokularında güneşlenmenin sağlanmasına yönelik kullanılan ve uluslararası akademik ortamda da teorik olarak bilinen bir yöntemdir [127]. Hopper (2003)'e göre [128], “güneş kabuğu”, yapıli çevre içerisinde belirli zaman aralığında ilişkili olduğu binalara gölge oluşturmeyen maksimum potansiyeldeki hacimdir [129]. Yöntem, tasarımın ısı kazancı sağlaması odaklıdır.

Güneş Kabuğu yöntemini tasarım alanına uygularken, tasarım alanının hangi koordinatlarda bulunduğu, yararlı güneş ışınlamı, tasarım alanının eğimli olup olmaması, tasarımın yapıli çevredeki yöneliş durumu ve hangi zaman aralığında hesaplamanın yapılacağı gibi değişkenler güneş kabuğu sınırını doğrudan etkileyen etmenlerdir. Çünkü bu faktörlere bağılı olarak, güneş ışınlarının azimut ve yükseklik açıları değişmektedir [130,131].

### *Zaman değişkeni*

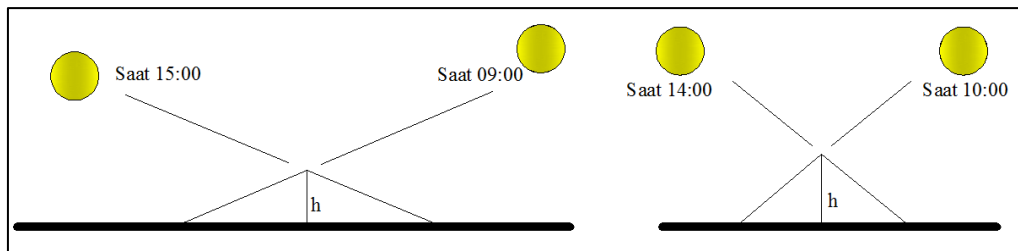
Güneş Kabuğu yönteminin kullanımında ilk aşama, güneş ışınlarından verimli olarak faydalanmak için belirli bir zaman aralığının belirlenmesidir. Bu saatler yaz ve kış mevsimlerinden saptanmakta ve güneşe doğrudan erişimin başlangıç ve bitiş zamanlarını tanımlamaktadır. Zaman olarak tasarımcı tarafından istenilen periyot belirlenebilir. Şekil 2.36'da örnek Güneş Kabuğu yöntemini uygulamak için bir zaman değişkeni belirlenmiştir. Gölgenin şekli ve boyutu, belirli zamanlarda komşu binalardan düşen gölge alanı ile belirlenmektedir. Şekilde, tüm zaman aralıklarından ayrı olarak sadece yaz gündönümü, 16:00 saati kritik noktada bulunmaktadır [132].



Şekil 1.41. Güneş kabuğu zaman sınırlaması [132]

#### *Yararlı güneş ışıınım tespiti*

Azimet ve güneş açıları göz önünde bulundurularak, güneşten faydalanmanın en iyi olduğu zaman aralıklarını (ay ve saat olarak) tespit etmek gerekmektedir. (Şekil 2.37), [129].

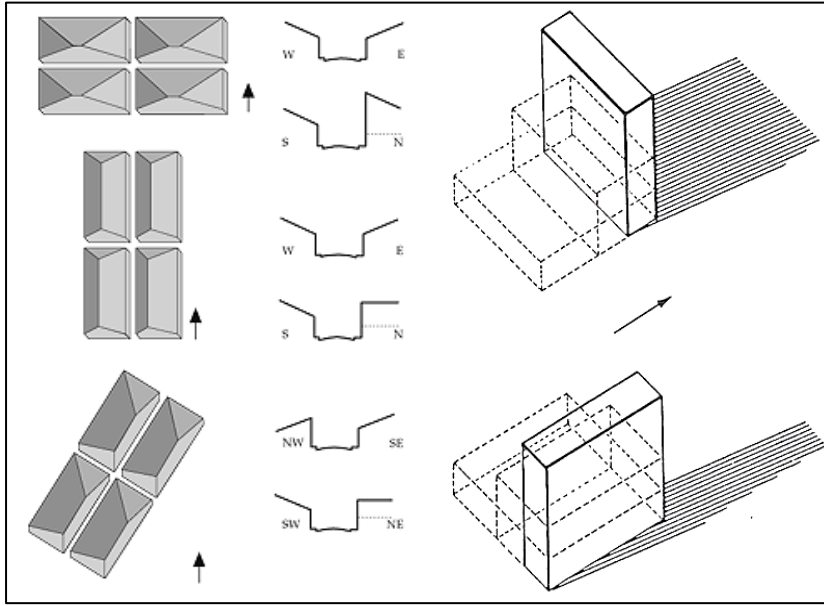


Şekil 1.42. Saat 9.00 - 15:00 ve 10:00 - 14:00 zaman aralıklarındaki güneş kabuğu kesiti [129]

#### *Tasarım alanının konumu*

Zaman aralığı tespitinde, bölgenin enlem - boylam gibi lokasyon koordinatları, güneş ışınlarının geliş açılarını etkilediği için önem arz etmektedir. Bununla birlikte, tasarım alanının içinde bulunduğu arazinin eğimi ve yönlenmesi, güneş kabuğu sınırının yükseklik

ve hacmini etkilemektedir. Şekil 2.38’de üç farklı yönde bulunan bloğun güneş kabuğu sınırı ve kesiti görülmektedir. Batı (W) - Doğu (E) yönündeki bloklar güneş kabuğu en yüksek hacime (üst) sahip olurken, Güney (S) - Kuzey (N) yönündeki bloklar daha düşük hacime sahip (orta) ve Kuzeybatı (NW) - Güneydoğu (SE) yönündeki diyagonal bloklar ise en az hacimdedir [131]. Tüm bu faktörler ve açısal veriler, Güneş Kabuğu yöntemi sonucu oluşan sınırın eğimini ve yönlenmesini belirlemektedir.



Şekil 1.43. Farklı yönlerdeki üç bloğun güneş kabuğu sınırları [131,132]

#### *Tasarım alanının eğimi*

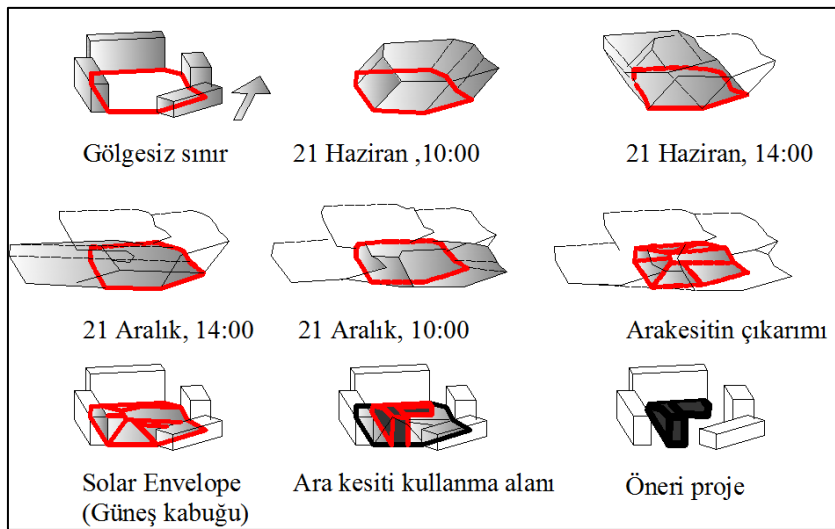
Tasarım alanında bulunan eğim, yöntem sonucu oluşan kabuğun yüksekliğini ve şeklini etkilemektedir. Güneş kabuğunun, güney yönüne doğru eğimi fazlalaşan yerlerde, kuzey yönündekine göre daha fazla hacim ve yükseklikte olduğu tespit edilmiştir. Doğu ve batı yönlerinde ise hacim ve yükseklikler düşük seviyede görülmektedir [129].

#### *Tasarımın yapıli çevredeki yönleniş durumu*

Tasarımın yapıli çevre içerisindeki yönlenmesi, güneş kabuğunun yükseklik, hacim ve biçimsel durumunu etkilemektedir. Örneğin, aynı özelliklerde bulunan tasarım, kuzey yönüne doğru farklı açılarda yönlendirildiğinde oluşan güneş kabuklarının biçimsel yapısı değişmektedir [129].

### Yöntemin kullanım süreci

Güneş Kabuğu yöntemi uygulama aşamasında ilk önce belirli bir lokasyondaki tasarım alanı belirlenmektedir. Belirlenen tarihlerdeki güneşin yükseklik ve azimut açılarına göre gelen güneş ışınları bir sınır oluşturmaktadır. Bu kesişim sırasında üçgen biçimli düşey yüzeylerde yükseklik farklılıkları çıkabilmektedir. Bu durumda, güneş kabuğu sınırını belirleyen yükseklik olarak kısa olan yükseklik tercih edilmelidir. Güneş Kabuğu yöntemi sonucu ortaya çıkan, yaz dönemi güneş kabuğu ile kış dönemi güneş kabuğunun kesişiminden, birbirine gölge düşürmeyen maksimum kütle hacimleri ortaya çıkmaktadır [129]. Bu yöntem, manuel hesap ile yapılabildiği gibi günümüz teknolojilerinden yararlanarak da uygulanabilmektedir. Rhinoceros - Grasshopper programının içinde parametrik bir kod yazım aracı olarak Güneş Kabuğu bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşen ile Güneş Kabuğu yöntemi uygulanırken, sabit bir lokasyonda yapı çevre tanımlanarak tasarım alanının yönü de dikkate alınıp, güneş ışınlarının geliş açılarını hesap etmek için bir zaman aralığı belirlenmektedir. Şekil 2.39’da 38 derece enlem konumundaki tasarım alanına, Grasshopper programıyla haziran ve aralık aylarında, 10:00 - 14:00 saat aralığında Güneş Kabuğu yöntemi uygulanmıştır. Bu dönem ve saat aralığında dört ayrı kütleyle gelen güneş ışınları günlük ve mevsimlik sınırlamalara göre üçgen biçimli farklı düşey yüksekliklerde bir kabuk oluşturmuştur. Aralık dönemi güneş kabuğu ve haziran dönemi güneş kabuğunun kesişiminden, birbirine gölge düşürmeyen maksimum kütle hacmi ortaya çıkmıştır.

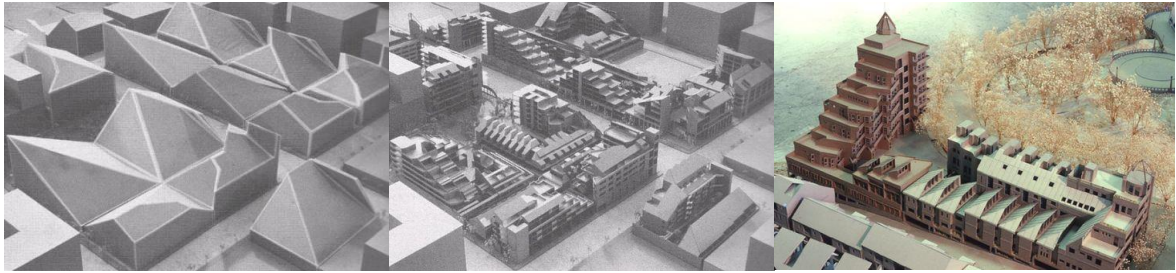


Şekil 1.44. Rhinoceros – Grasshopper programındaki Güneş Kabuğu aracı uygulama örneği [133]

Güneş Kabuğu yöntemi uygulamalarından örnek tasarımlar aşağıda belirtilmiştir:

İspanyol Caddesi şehir blokları - Güneş Kabuğu uygulaması, Los Angeles

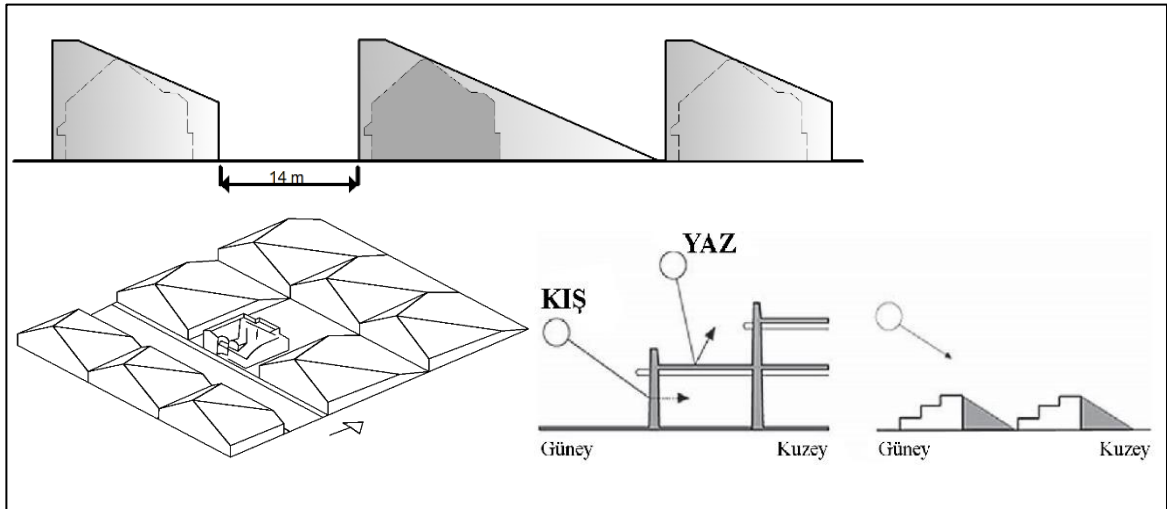
Los Angeles’da İspanyol caddesindeki gridal aksta yer alan şehir blokları, Güneş Kabuğu yöntemi uygulanarak tasarlanmıştır. Bu yöntemle bloklar, hesaplanan hacim içerisinde kalmak suretiyle tasarlandığı için güneşten maksimum yararlanırken, gerektiğinde de güneşten korunmaları mümkün olmaktadır (Resim 2.36), [134].



Resim 1.35. Şehir blokları için uygulanan Güneş Kabuğu yöntemiyle hesaplanan hacim ve tasarımı alanı [134]

Canadian Centre for Housing Technology (CCHT) konutu, USA

CCHT konutu, Kuzey Amerika’da Kanada Konut Teknoloji Merkezi tarafından Güneş Kabuğu yöntemiyle yapılan konut örnekleridir. Bu konutlar, Güneş Kabuğu yöntemiyle oluşturulan hacmin içerisine maksimum yoğunlukta oluşturulmuştur (Şekil 2.40).



Şekil 1.45. CCHT konutu ve tasarım yöntemi [134]

Performansa dayalı tasarım amacıyla kullanılan tüm bu yöntemlerin dışında, tasarım sürecinin aşamalarına göre kullanılan yöntemler kategorize edilmiştir. Bu yöntemler aşağıda irdelenmiştir:

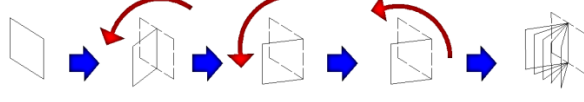
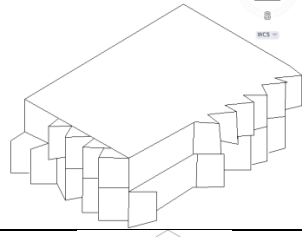
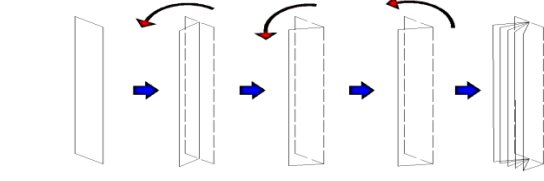
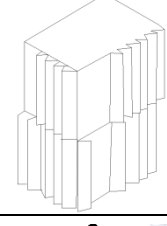
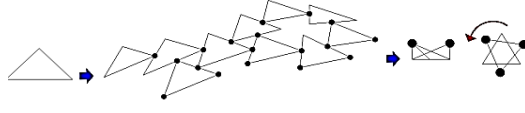
#### Tasarım sürecinin aşamalarına göre yöntemler

Tasarım sürecinin aşamalarına göre kullanılan yöntemlerin başlıcaları, düzenli modüler form ve düzensiz modüler form yöntemleridir. Bu yöntemlere ek olarak doğduran güneş ışınları kullanılarak oluşturulan güneş ışınları yöntemi az da olsa tasarımcılar tarafından tercih edilen diğer bir yöntemdir.

##### *Tasarım yöntemi 1 - Düzenli modüler form yöntemi*

Güneş ışığının toplama yüzeylerini genişletmek ya da güneş ışığından korunmak amacıyla düzenli modüler formları, belli açılarda döndürmesiyle yapı kabuğu yüzeylerinin biçimlendirilmesidir. Mevsimine göre optimum ısı kazancı ve ısı korunumu sağlamak için modelin her cephesine, her mevsim ve belirli saat aralığında gelen güneş ışınları saptanarak, en uygun olan açılar bilgisayar programında eş zamanlı analizler ile tespit edilmekte ve bu açılara göre cephede uygulanacak olan modüler form döndürülmektedir. Düzenli modüler formlar hareketli olmayıp, formların açıları mevsimsel olarak güneş ışınlarına olan talebe yada güneşten korunuma bağlı olarak değişmemektedir. Tasarıma başlangıç noktası kare, dikdörtgen, üçgen, çokgen gibi düzenli bir formdur ve bu formların döndürülmesiyle oluşturulan varyasyonlar belli kalıplar içerisinde olmaktadır. Farklı formların tasarım süreçleri Çizelge 2.9'da görülmektedir.

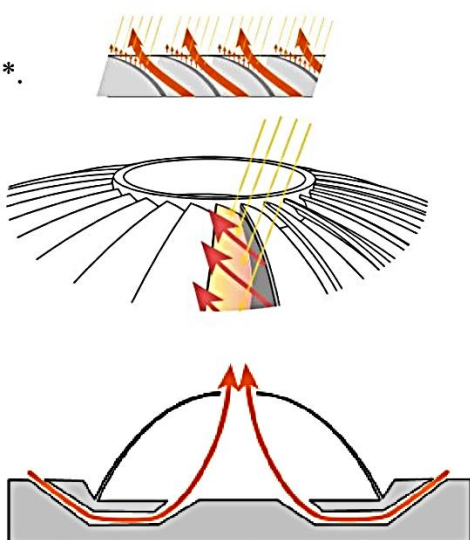
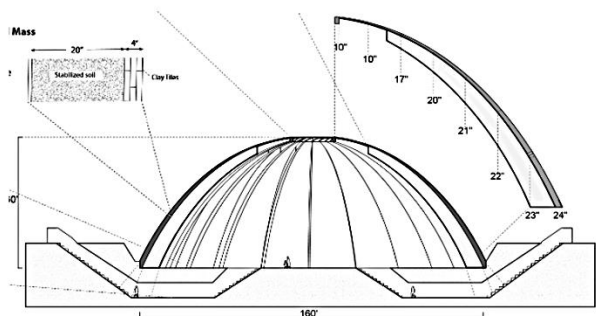
Çizelge 1.9. Düzenli modüler form ile farklı geometriler için tasarım süreçleri

| Formlar    | Tasarım Süreçleri                                                                 | Tasarım                                                                             |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kare       |  |  |
| Dikdörtgen |  |  |
| Üçgen      |  |  |

Optimum sonuca ulaşmaya çalışırken düzenli formları kullanmak, analiz aşamasında olası varyasyonların sayısını artırmaktadır. Aynı formların tekrar etmesi sebebiyle, bu yöntemle tasarlanan yapı kabuklarının monoton olma olasılığı bulunmaktadır. Aynı zamanda, yapı çevre içerisinde bu yöntem kullanılmak istenildiğinde, tasarım alanına çevre binalardan gölge düşmesi söz konusudur. Bu durumda, yöntemin yapı çevre kullanımında, uzun algoritmik bağlantılarla enerji analizleri yapılması gerekmektedir.

Algoritma, origami ve biyomimetik tasarım yöntemlerinin kullanımıyla bu tasarım yöntemi oluşturulabilmektedir. Sesen-Aten tapınağı tasarımı planlamasında ve yapı kabuğunda sabit boyuttaki bir çemberin eşit dilimlerinin belirli açılarla döndürülmesiyle, biçimlendiği için düzenli modüler form ile tasarım yönteminin en bariz modellerindendir. Os üniversite binası, Samba Headquarters binası, Q1 - ThyssenKrupp AG Merkez Binası ve Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü (SAHMRI) aynı yöntemin kullanıldığı diğer örneklerdendir (Çizelge 2.10, Çizelge 2.11, Çizelge 2.12, Çizelge 2.13, Çizelge 2.14).

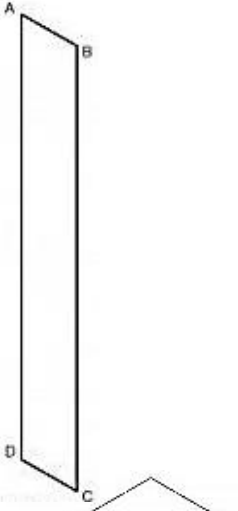
Çizelge 1.10. Sesen-Aden Tapınağı analizi [135]

| Sesen – Aden Tapınağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Örnek 1                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Kahire/Mısır                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| Tasarımcıları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Aurimas Bukauskas, Philip Hu- MIT                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2014                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | İnce donatısız ve iki kat kavisli beton kabuktan oluşan tonoz                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Yaz mevsiminde oluşan aşırı ısı kazançlarından korunma                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Düzenli modüler form; bir merkezden çıkan ışınlar doğrultusunda oluşan üçgensel kanat kullanımı (**)                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Çöl iklimi; yıllık ortalama sıcaklığı: 21,3°C, en yüksek sıcaklık Temmuz ayında: 36 °C [136]                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Radyal bir güneş bacası; yer altı tüneller aracılığıyla binaya serin hava çekilmesi ve açılan radyal kanatların arasındaki açıklıklardan dışarı çıkartılması (*)                                                                                                                                                               |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kanatların, optimum oryantasyon konfigürasyonu ile gölgelemeye ve pasif ısınmaya olanak sağlaması                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Belirli açılarda bulunan ve arası açık olan radyal kanatların, gelen güneş ışınları ile çevresindeki havayı ısıtarak ışınlı emmesi ve yukarı doğru uzanarak güneş bacası görevi görmesi, ayrıca bu kanatların, gece ve gündüz arası sıcaklık farklarını azaltmak için yeterli termal kütle ve termal direnç bulundurması (***) |                                                                                    |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>*,</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>**,</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>***,</p> <p>Güneş bacası Güneş bacası gibi davranan Kanatların açık alanı</p>  </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                    |

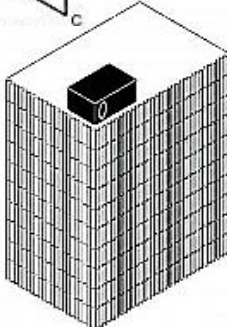
Çizelge 1.11. Os Üniversite Binası analizi [137]

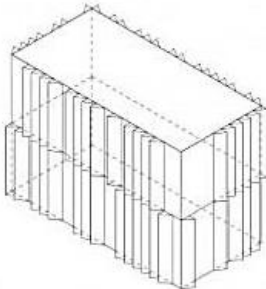
|                                                              |                                                                                                                                                               |                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Os Üniversite Binası                                         |                                                                                                                                                               | Örnek 2                                                                            |
| Yeri                                                         | Gandia Valensiya/İspanya                                                                                                                                      |  |
| Tasarımcıları                                                | Daniele Fiore-IAAC                                                                                                                                            |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                 | 2017                                                                                                                                                          |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                            | Betonarme – panel kaplama                                                                                                                                     |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                        | Binada güneş ışınlarından fayda sağlamanın aksine, yaz mevsiminde aşırı ısı kazançlarını engellemek                                                           |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                               | Düzenli modüler form; sabit boyuttaki dikdörtgen formların belirli açılarla döndürülmesiyle yapı kabuğunun oluşumu                                            |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                            | Ilıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 8-15 °C, en yüksek sıcaklık yaz aylarında: 30 °C                                                                     |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                            | Rhinceros-Grasshopper                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri | Dikdörtgen formun, güneş ışınlarına göre farklı varyasyonlarda açılarla döndürülerek alternatif konumlar oluşturması ve böylece optimum çözüme ulaşılması (*) |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                       | Optimum yapı kabuğu biçimiyle 408.375m <sup>2</sup> 'lik 10 katlı binanın, %21,3 oranında enerji verimliliğine ve 1576858.16 kWh güneş ışınımına sahip olması |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                           | Güneş ışınlarına göre belirli açılarda döndürülen panellerde farklı kombinasyon dizimleri oluşturularak PV kullanılması (**)                                  |                                                                                    |

\*

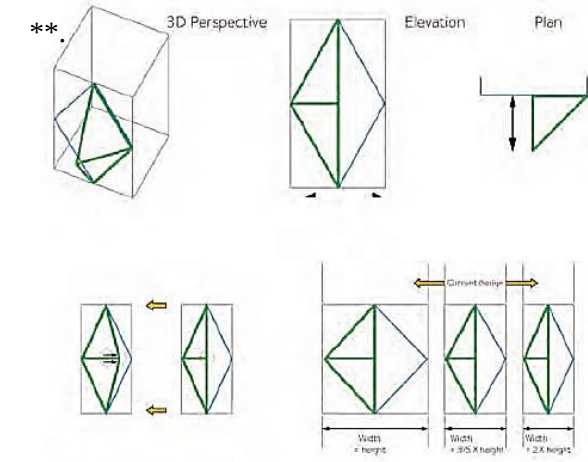
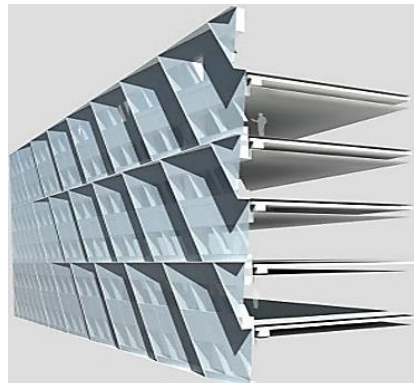


\*\*

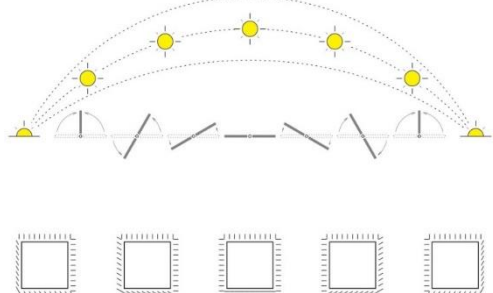




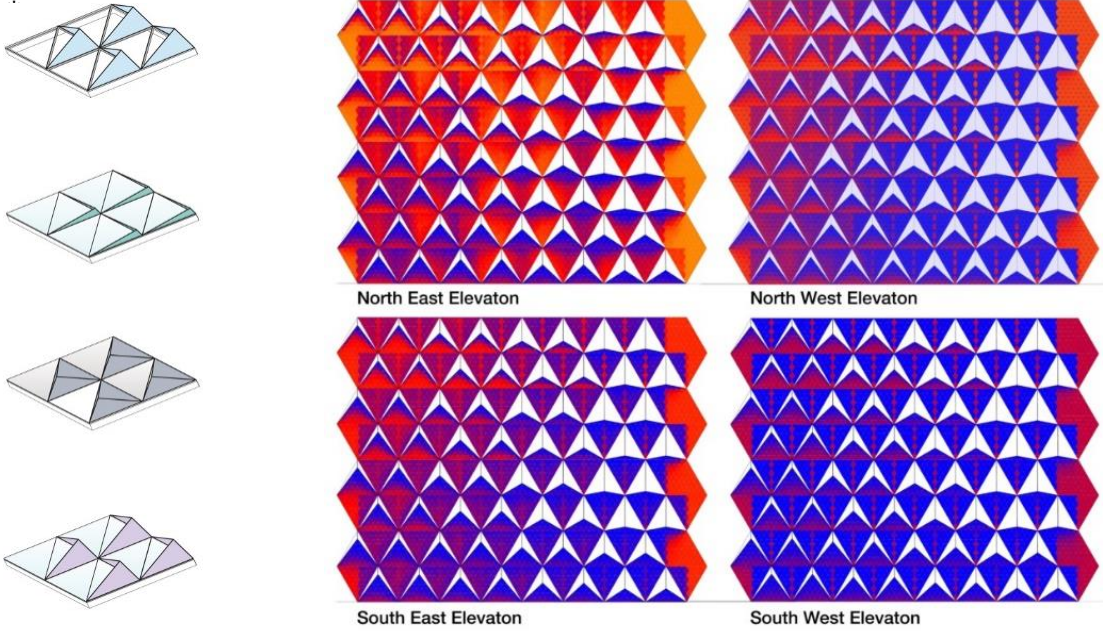
Çizelge 1.12. Samba Headquarters Binası analizi [138, 139]

| Samba Headquarters Binası                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                            | Örnek 3                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                                                                                                                          | Riyad/Suudi Arabistan                                                                                                                                                      |  |
| Tasarımcıları                                                                                                                                                                                 | Burohappold, Foster Partners                                                                                                                                               |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                                                                                                                                  | 2018                                                                                                                                                                       |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                                                                                                                             | Tasarlanan panellerden her birinin, opak gölgeleme elemanlarının ve yüksek performansa ve yansıtıcı özelliğe sahip iki farklı türde cam yüzeylerin birleşimiyle üretilmesi |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                                                                                                                         | Kış mevsiminde enerji korunumu sağlanırken, aşırı ve kuru sıcaklara sahip yaz mevsiminde aşırı ısı kazançlarını engelleme                                                  |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                                                                                                                                | Düzenli modüler form; sabit boyuttaki üçgen formların belirli açılarla döndürülmesiyle yapı kabuğunun oluşumu (*)                                                          |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                                                                                                                             | Çöl iklimi; yıllık ortalama sıcaklığı: 25,4 °C, en yüksek sıcaklık Temmuz ayında: 34,7 °C                                                                                  |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                                                                                                                             | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                                                     |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı / Tasarım konsepti ve özellikleri                                                                                                                                | Geliştirilen araç ile güneşışığından en üst seviyede yararlanılması ve buna bağlı enerji performansının artırılması (**)                                                   |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                                                                                                                                        | Optimum ısı kazanımı ve ısı korunumu                                                                                                                                       |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                                                                                                                            | Üç boyutlu kabuk tasarımının, binanın enerji kullanım oranını azaltması ve yapıyı çevredeki diğer yüksek binalar içerisinde özgün bir mimarisinin olması                   |                                                                                    |
| <p>*.</p> <p>**.</p>   |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |

Çizelge 1.13. Q1- ThyssenKrupp AG Merkez Binası analizi [27, 140]

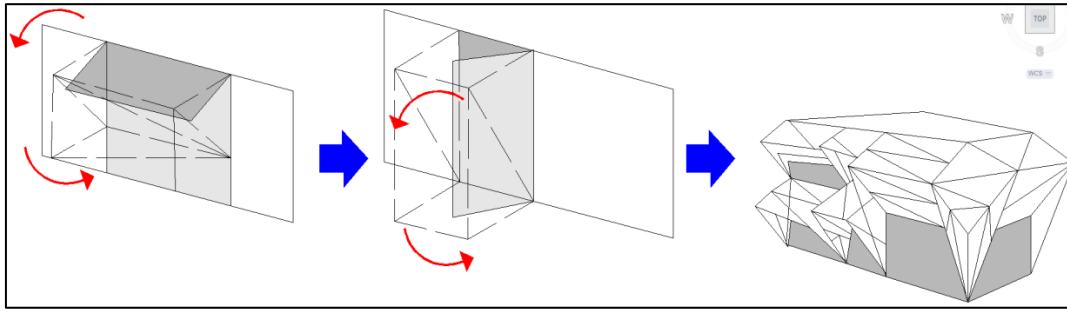
| Q1 - ThyssenKrupp AG Merkez Binası                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                      |  | Örnek 4                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                                                                                                                                   | Essen/Almanya                                                                                                                                        |  |  |
| Tasarımcıları                                                                                                                                                                                          | JSWD Architekten                                                                                                                                     |  |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                                                                                                                                           | 2010                                                                                                                                                 |  |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                                                                                                                                      | 400.000 paslanmaz çelik lamel                                                                                                                        |  |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                                                                                                                                  | Yüksek etkili güneşten korunulması                                                                                                                   |  |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                                                                                                                                         | Düzenli modüler form; sabit boyuttaki tüy şeklindeki formların güneşe göre belirli açılarla döndürülmesiyle yapı kabuğunun oluşumu (*)               |  |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                                                                                                                                      | Ilıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 9,9°C, her mevsim yağış ve en yüksek sıcaklık Temmuz ayında: 18°C                                           |  |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                                                                                                                                      | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                               |  |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                                                                                                                                           | Tüy şeklindeki cephe elemanlarının 0°'den başlayıp kademeli bir şekilde 90°'e ulaşması ve böylece güneşten az ya da çok gölgeleme elde edilmesi (*)  |  |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                                                                                                                                                 | Kullanılan lamellerin gün ışığından optimum yararlanma ve güneşten istenilen oranda korunma için güneşin bulunduğu yere doğru yönlendirilmesi        |  |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                                                                                                                                     | Yapı kabuğunda bulunan 3150 adet kinetik kuş tüyünün sahip olduğu güneşe duyarlı sensörler sayesinde açılıp kapanması ile kademeli gölgeleme oluşumu |  |                                                                                    |
| <div><p>*,</p><div></div></div> |                                                                                                                                                      |  |                                                                                    |

Çizelge 1.14. Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü (SAHMRI) analizi [27]

| Güney Avustralya Sağlık ve Tıbbi Araştırma Enstitüsü (SAHMRI)                        |                                                                                                                                                                                                                                                           | Örnek 5                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                 | Adelaide /Avustralya                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| Tasarımcıları                                                                        | Woods Bagot                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                         | 2013                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                    | Üçgen çelik çerçeve üzerine diyagonal ızgara ve Low-E Cam                                                                                                                                                                                                 |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                | Güneş parlamasının ve enerji kullanımının en aza indirilmesi ve doğal gün ışığını en üst düzeye çıkarılması                                                                                                                                               |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                       | Düzenli modüler form; sabit boyuttaki modüler çam konisi şeklindeki formların, güneşe göre belirli açılarla yön değiştirerek yapı kabuğunun oluşturması (*)                                                                                               |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                    | Sıcak ve ılıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 16,4 °C, en yüksek sıcaklık Ocak ayında: 22,1°C                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                    | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                         | Konik modüllerin, güneş ışınlarına göre yön değiştirerek ihtiyaç duyulduğu anda mekanlara maksimum gün ışığı sağlarken, istenilen zamanlarda da mekanı gün ışığından koruması (*)                                                                         |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                               | Fonksiyonel ve estetik yapı kabuğunun, gün ışığına erişimini iyileştirerek, ısıyı azaltması ve sağlıklı bir iç ortam koşulu hazırlaması                                                                                                                   |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                   | Binanın organik elmas şeklindeki iki atriumlu planının ikonik form oluşturması, binadaki yazma mekanlarının, maksimum gün ışığına izin verecek şekilde düzenlenirken, batıda bulunan kapalı laboratuvar destek alanlarının sert batı güneşinden korunması |                                                                                    |
|  |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |

### *Tasarım yöntemi 2 - Düzensiz modüler form yöntemi*

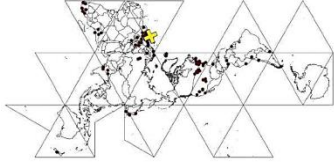
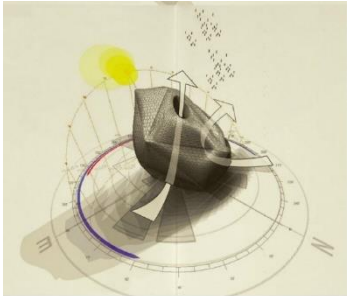
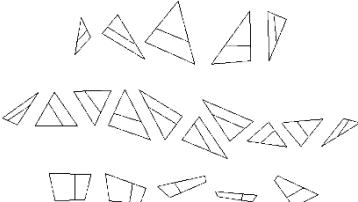
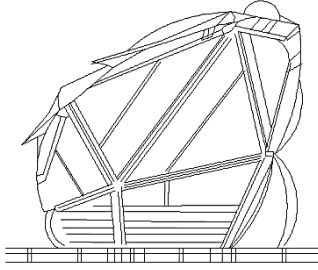
Düzensiz Modüler Form yöntemi, bir dizi tasarım kriterini nicel ve geometrik konsept ile tanımlamak için parametrik modelin özgürce kullanımıdır. Modele ulaşmak için düzenli modüler formlardan yararlanılmaktadır. Bu formlar kendi aralarında benzer bileşenler olsa da açısal ve boyutsal olarak farklı biçimlerde olmaktadır. Düzenli modüler form yönteminde olduğu gibi, yine mevsimine göre optimum ısı kazancı ve ısı korunumu sağlamak için biçimlere her mevsim ve belirli saat aralığında gelen en uygun açılar tespit edilmektedir ve biçimler bu açılara göre döndürülmektedir. Açısal biçimlenmeye belirli güneş verilerine göre karar verilmektedir. Şekil 2.41’de dikdörtgen formundan yola çıkarak, bu formun güneş verilerine göre farklı açılarda döndürülmesi ile düzensiz form oluşturulmuş ve sonuç ürün yapı kabuğunu şekillendirmiştir.



Şekil 1.46. Düzensiz modüler form (dikdörtgen) tasarım yöntemi süreci

Tasarıma başlangıç noktası bir düzenli form olduğu için tasarım öncesinde düzenli form arayışına gidilmektedir. Düzenli modüler tasarım yönteminde olduğu gibi bu yöntemin, yapıyı çevre içerisinde kullanılması söz konusu olduğunda, çevre binalardan tasarım alanına düşen gölge nedeniyle yine uzun algoritmik bağlantılardan yararlanılarak enerji analizlerinin yapılması gerekmektedir. Sonuç ürünler güneş verilerine göre şekillenen her biri farklı boyutlarda olmak üzere prototip elemanlar olduğu için yapı kabuğu tasarımı daha esnek olmaktadır. Algoritma, origami ve biyomimetik tasarım yöntemlerinin kullanımıyla bu tasarım yöntemi oluşturulabilmektedir. Dünya Kondansör (World Fab Condenser) binası ve Teksas Üniversitesi Termal Laboratuvar binası yapı kabuğu farklı boyutlarda ve açılardaki biçimlerin belirli açılarla döndürülmesiyle tasarlandığı için düzensiz modüler form ile tasarım yönteminin örneklerindendir. Grove Towers, Karle Town Centre – HUB 1 Ofis Binası ve Pan-am (Metlife) Ofis Binası aynı yöntemin kullanıldığı diğer örneklerdir (Çizelge 2.15, Çizelge 2.16, Çizelge 2.17, Çizelge 2.18 ve Çizelge 2.19).

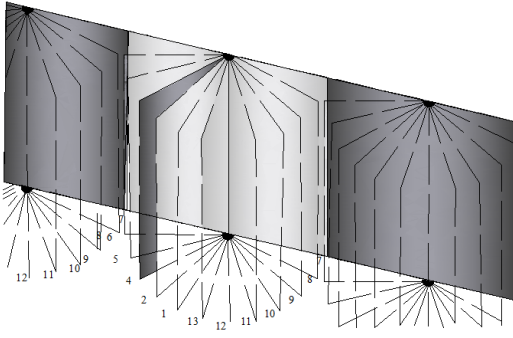
Çizelge 1.15. Dünya Kondansör binası (World Fab Condenser) analizi [141, 142, 143]

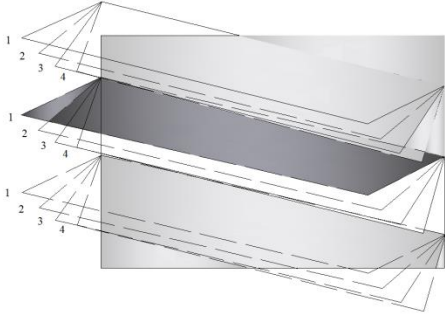
| Dünya Kondansör binası (World Fab Condenser)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                           | Örnek 1                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Barselona/İspanya                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
| Tasarımcıları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Daniel Ibáñez, Rodrigo Rubio-IAAC                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                      |
| Yapım Tarihi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2014                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                      |
| Yapım teknolojisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Termodinamik ve biyoklimatik, yenilenebilir ve organik kökenli ahşap ve keten kubbe                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |
| Performans beklentisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Yaz mevsimindeki aşırı ısı kazançlarının engellenmesi, dağ ve deniz rüzgârlarını kullanarak doğal – yapay havalandırma sağlanması                                                                                                                                         |                                                                                      |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Düzenli modüler form olarak üçgen form seçilmesi ve bu formun farklı açılarda deforme edilmesiyle düzensiz modüler formlara ulaşılması(*)                                                                                                                                 |                                                                                      |
| İklim özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Ilıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 8-15 °C, en yüksek sıcaklık yaz aylarında: 30 °C                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| Kullanılan parametrik programları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                      |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Tasarım konsepti olarak dünya haritasının kullanımı ve bu üçgensel formların güneş ışınlarına göre biçimlenmesi                                                                                                                                                           |  |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Güneş ışıının yazın en aza indirilmesi, kışın en üst düzeye çıkarılmasını sağlayan yapı kabuğu biçimi                                                                                                                                                                     |                                                                                      |
| Mimari özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Dışa doğru yelken şeklinde çıkışların, rüzgârın hızını artırmak ve rüzgârın kullanımını kolaylaştırmak için çapraz olarak bağlanması. Kabukta, dağ – deniz rüzgâr yöneliminden dolayı doğal hava sirkülasyonunu sağlamak için Kuzey – Güney açıklıklarının bulunması (**) |                                                                                      |
| <p>*,</p>  <p>**,</p>    |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                      |

Çizelge 1.16. Austin, Teksas Üniversitesi Termal Laboratuvarı analizi [144]

| Austin, Teksas Üniversitesi Termal Laboratuvarı              |                                                                                                                                                                                                                              | Örnek 2                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                         | Teksas/Amerika                                                                                                                                                                                                               |  |
| Tasarımcıları                                                | Michael Leighton Beaman, Stefan Bader                                                                                                                                                                                        |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                 | 2010                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                            | Polipropilen levha                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                        | Gün boyu gölgelendirme, güneş ışınımının yüksek derecede izole edilmesi                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                               | Düzensiz modüler form; farklı boyutlarda ve açılardaki biçimlerin belirli açılarla döndürülmesiyle tasarlanması (*)                                                                                                          |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                            | Sıcak ve ılıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 20,1 °C, en yüksek sıcaklık Temmuz ayında: 29,3 °C                                                                                                                         |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                            | Rhinoceros-Grasshopper ve Visual Basic kod yazılımı                                                                                                                                                                          |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri | Açısal biçimlenmenin spesifik güneş verilerine, bileşen boyutlarının ise görüngüsel (phenomenological) <sup>1</sup> koşula göre belirlenmesi ve buna göre, bileşen boyutlarının tasarımcının algısına göre şekillenmesi (**) |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                       | Yüksek ısı kazançlı mevsimlerde etkili gün boyu gölgelendirme oluşturulmasıyla %95-100 oranında gölgeleme sağlanması                                                                                                         |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                           | Güneş verilerine göre her biri farklı ebatlarda olmak üzere prototip gölgeleme elemanları                                                                                                                                    |                                                                                    |

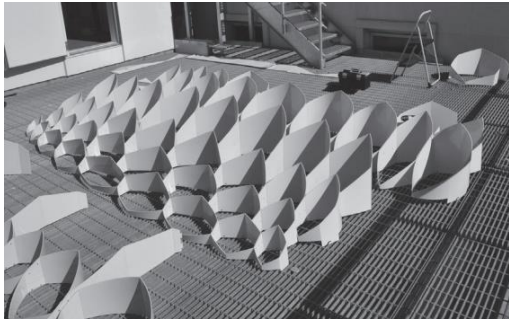
\*





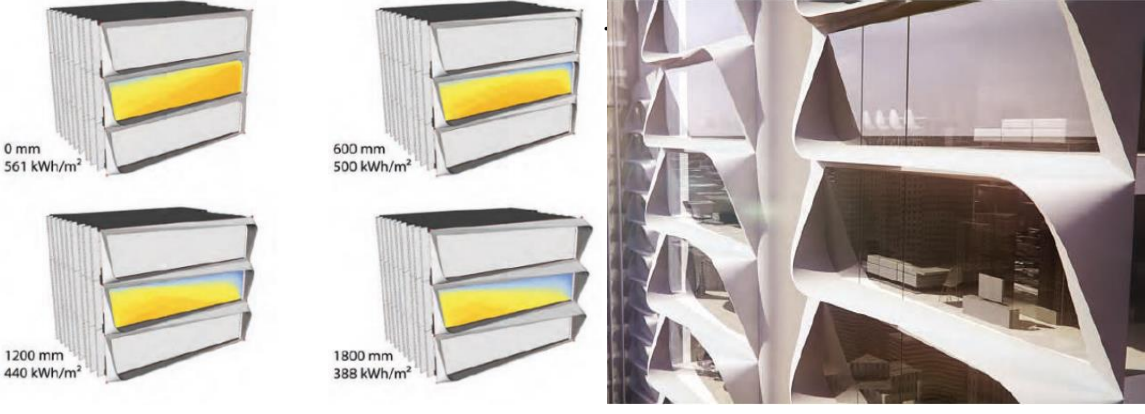
\*\*



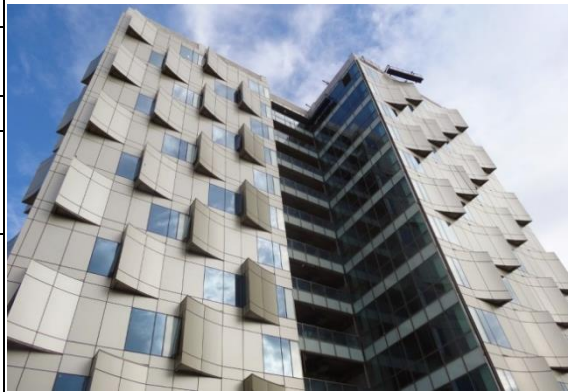


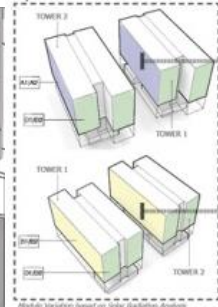
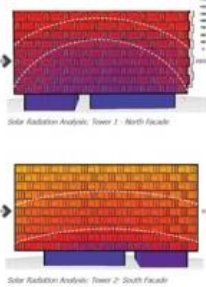
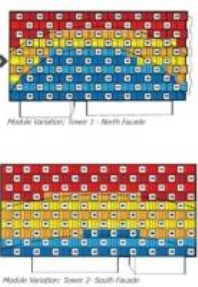
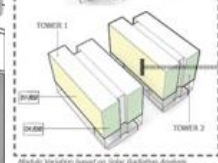
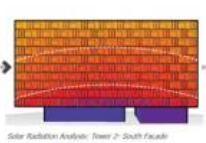
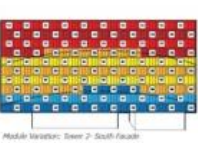
<sup>1</sup> Bu koşul, her bireyin dış dünyayı kendisine özgü bir biçimde algılamasına dayanmaktadır. Birey dış gerçekliği değil, dış gerçekliğin kendisinde oluşturduğu algıyı anlamaktadır.

Çizelge 1.17. Grove Towers analizi [145]

| Grove Towers                                                                         |                                                                                                                                                                                                      | Örnek 3                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                 | Mumbai/Hindistan                                                                                                                                                                                     |  |
| Tasarımcıları                                                                        | 3XN firması -Sandeep Shikre ve Associates                                                                                                                                                            |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                         | 2013                                                                                                                                                                                                 |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                    | Betonarme plak                                                                                                                                                                                       |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                | Güneş ışınlarına göre istenilen yerlerde gölgelendirme, istenilen yerlerde de güneşten yararlanma                                                                                                    |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                       | Düzensiz modüler form; her bir pencerenin güneş ışınlarını doğrudan içeri almamaya yönelik, gerektiğinde de güneşten yararlanma odaklı farklı boyut ve açıklıklarda tasarlanması (*)                 |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                    | Tropik iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 26,8 °C, en yüksek sıcaklık Mayıs ayında: 29,7 °C                                                                                                           |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                    | Rhinoceros-Grasshopper ve Visual Basic kod yazılımı                                                                                                                                                  |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                         | Yapı kabuğu elemanlarının formunun, gerektiğinde güneşten en üst seviyede yarar sağlanacak şekilde, gerektiğinde de güneşten korunacak şekilde tasarlanması                                          |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                               | Isı korunumu ve kazanımı ile birlikte, kütlelerde oluşturulan çok sayıda köşeli formlar ile doğal çapraz havalandırma imkanının sağlanması ve mekanik havalandırmaya olan ihtiyacın azaltılması (**) |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                   | Mimarideki kulelerin, enerji talebini azaltarak gerektiğinde kendi kendini gölgelendirecek şekilde bir heykel gibi tasarlanması                                                                      |                                                                                    |
|  |                                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |

Çizelge 1.18. Karle Town Centre – HUB 1 Ofis Binası analizi [146]

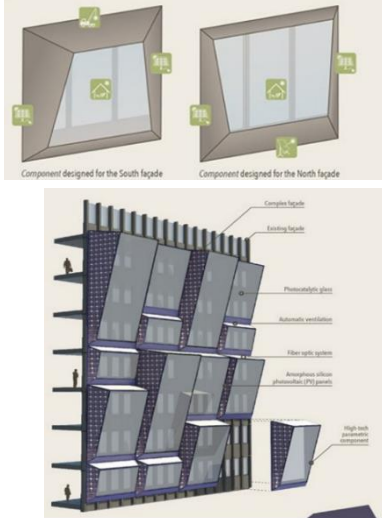
| Karle Town Centre – HUB 1 Ofis Binası                        |                                                                                                                                                                                                                  | Örnek 4                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                         | Bangalore/Hindistan                                                                                                                                                                                              |  |
| Tasarımcıları                                                | Merge Studio Mimarlık grubu                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                 | 2012                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                            | Alüminyum kompozit panel ve yüksek performanslı cam                                                                                                                                                              |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                        | Yapı kabuğundaki aşırı ısı kazançlarının önlenmesi ve optimum gün ışığının sağlanması                                                                                                                            |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                               | Düzensiz modüler form; her biri dalga biçimindeki cephe elemanlarının güneş ışınlarını doğrudan içeri almamaya yönelik, gerektiğinde de güneşten yararlanma odaklı farklı boyut ve açıklıklarda tasarlanması (*) |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                            | Tropik iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 26,8 °C, en yüksek sıcaklık Mayıs ayında: 29,7 °C                                                                                                                       |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                            | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri | Güneş ışınının açısına göre yapı kabuğunda, çok fazla parlayan, çok fazla gölgeleme olan ve optimum gölgeleme olan noktalar tespit edilerek cephe elemanlarının boyutlarının ve açıklıklarının tespiti           |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                       | Sadece yapı kabuğundaki elemanların hareketiyle yapıda %15-16 enerji tasarrufunun sağlanması                                                                                                                     |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                           | Güneş ışınım analizine göre cephedeki düzensiz modüler formların farklı açılarda çeşitli ve varyasyonlarda yerleştirilmesi                                                                                       |                                                                                    |

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |                                                                                       |
|                                                                                     |  |  |  |                                                                                       |
|                                                                                     |  |   |   |  |
|                                                                                     |  |   |   |  |

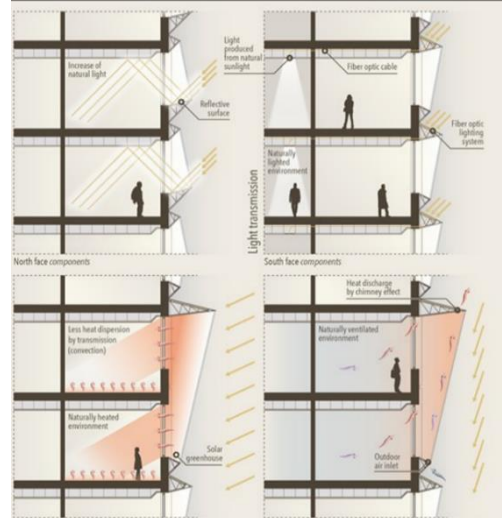
Çizelge 1.19. Pan-am (Metlife) ofis binası analizi [147]

| Pan-am (Metlife) Ofis Binası                                 |                                                                                                                                                                                                                                 | Örnek 5                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                         | Newyork/Amerika                                                                                                                                                                                                                 |  |
| Tasarımcıları                                                | Carlo Coppola, Rosa Buonanno, Vincenzo Nigro, Giuseppe de Matteo Manzo, Adriano Brancaccio, Vidaris, Inc.                                                                                                                       |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                 | 2016                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                            | Perde duvar sistemi-fiber optik sistem ve PV panel                                                                                                                                                                              |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                        | Gölgeleme ve güneşlenme odaklı optimum enerji beklentisi, doğal aydınlatma ve PV ile elektrik üretimi                                                                                                                           |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                               | Düzensiz modüler form; her biri güneş ışınlarına göre şekillenen cephe elemanlarının güneş ışınlarını doğrudan içeri almamaya yönelik, gerektiğinde de güneşten yararlanma odaklı farklı boyut ve açıklıklarda tasarlanması (*) |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                            | Ilıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 12,1 °C, en yüksek sıcaklık Temmuz ayında: 24,5 °C                                                                                                                                     |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                            | Rhinoceros-Grasshopper                                                                                                                                                                                                          |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri | Su[n]stainable sistem adı verilen, geleneksel ve gelişmiş pasif sistemlerinin (sera etkisi, ışık amplifikasyonu ve ışık iletimi) aktif sistemlerle (PV) parametrik olarak birleşimi                                             |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                       | Mevcut binanın enerji kullanımı 403,346 kWh/yıl iken, yenilenmiş cephe ile 282,140 kWh/yıl olması, enerji kullanımında toplamda %30 düşüşün bulunması                                                                           |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                           | Geniş cam yüzey kullanımı ile sera etkisinin yaratılması, ışık amplifikasyonu ile doğal ışığın gerekli alanlarda binanın içerisine yansıtılması, elektrik için PV aktif güneş sisteminin kullanılması                           |                                                                                    |

\*



\*\*

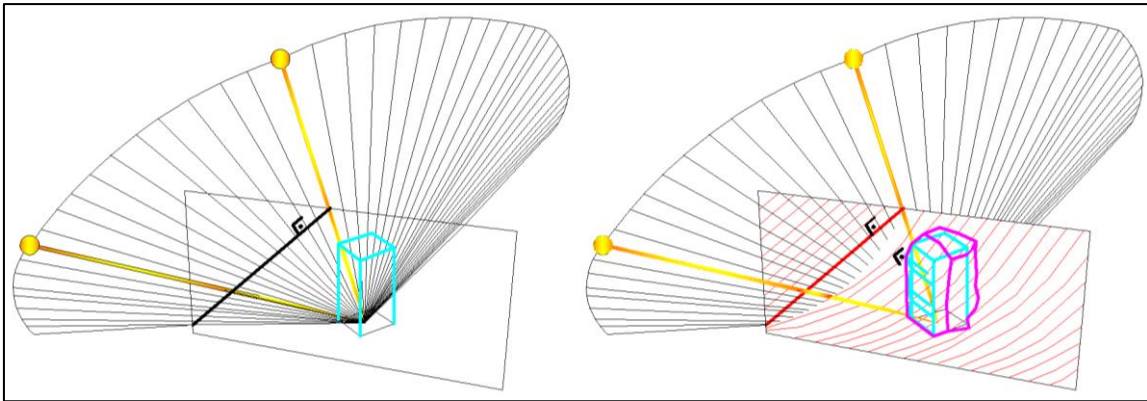


### Tasarım yöntemi 3 - Güneş ışınları yöntemi

Tasarım sürecinin aşamalarına göre kullanılan yöntemlerden bir diğeri Güneş Işınları Yöntemi'dir. Doğrudan güneş ışınları kullanılarak oluşturulan bu yöntem, tasarımcılar tarafından yoğun algoritmik bağlantılar oluşumu yüzünden diğer yöntemlere göre daha az tercih edildiği düşünülmektedir.

Güneş Işınları Yöntemi, diğer yöntemlerden farklı olarak bir modüler biçim tasarlanmadan, hazırlanan solid üzerinden doğrudan güneş ışınları dikkate alınarak tasarım biçimi oluşturma esasına dayanmaktadır. Tasarım öncesinde bir form arayışına girilmediği için diğer yöntemlere göre istenilen tasarımlara daha hızlı ve kolay ulaşılabilceği düşünülmektedir.

Tasarım aşamasında ilk etapta Şekil 2.42'de de görüldüğü üzere, tasarlanacak olan kütlenin  $m^2$  ve yükseklik bazında kaba bir kütlesi oluşturulmaktadır. Daha sonra, Solar Oryantasyon Diyagramından kış - sonbahar ve yaz - ilkbahar mevsimlerine göre alınan güneş ışınlarından minimum ve maksimum açılar yapı kabuğunda belirtilmektedir (sarı renkteki güneş ışınları). Kütleye belirli saatlerde düşen güneş ışınlarına dik olan kesişim çizgileri saptanmaktadır (kırmızı renkteki güneş ışınlarına dik çizgiler). Bu kesişim noktalarında, güneş ışınım miktarları maksimum seviyeye gelmektedir. Güneş ışınım miktarının en fazla olduğu bu noktalar kırılarak güneşten korunma esaslı bir yol izlenmektedir. Böylece, saptanan bu rehber çizgilerle, güneş ışınlarına dik açıda bulunan bir kılavuz kabuk oluşturulmaktadır (pembe renkte kabuk). Son olarak bu kılavuz tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde yapı kabuğu istenildiği şekilde biçimlenmektedir [148].



Şekil 1.47. Güneş Işınları Yöntemi tasarım süreci

Diğer yöntemler içinde sadece bu yöntemin tasarım sürecinin, tamamen Grasshopper programında analiz yapılarak gerçekleşmesiyle, optimum çözüme daha hızlı ve kolay ulaşıldığı düşünülmektedir. Ancak, diğer iki yöntem de olduğu gibi bu yöntemde de yapı çevre içerisinde tasarım söz konusu olduğunda, tasarım alanına çevre binalardan gölge düşmesi söz konusudur. Bu yüzden, bu yöntemi kullanırken de uzun algoritmik bağlantılarla enerji analizleri yapılması gerekmektedir.

Katlama yönteminin kullanımıyla bu tasarım yöntemi oluşturulabilmektedir. Bu yöntemde, tasarımın olduğu lokasyondaki güneş (doruk) açısı ve dünyanın güneşe olan uzaklığı gibi güneş verilerine göre, yapı kabuğunun gerektiğinde kapanarak gölge ya da açılarak güneşten maksimum yararlanma sağlaması söz konusudur [125].

Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins) tasarımı ve Amsterdam kalesi etrafında tasarlanan ek yapı Güneş Işınlari Yöntemi kullanılarak tasarlanmış iki örnektir. Bu yöntemin tüm aşamaları detaylarıyla aşağıda örnekler üzerinden açıkça belirtilmiştir:

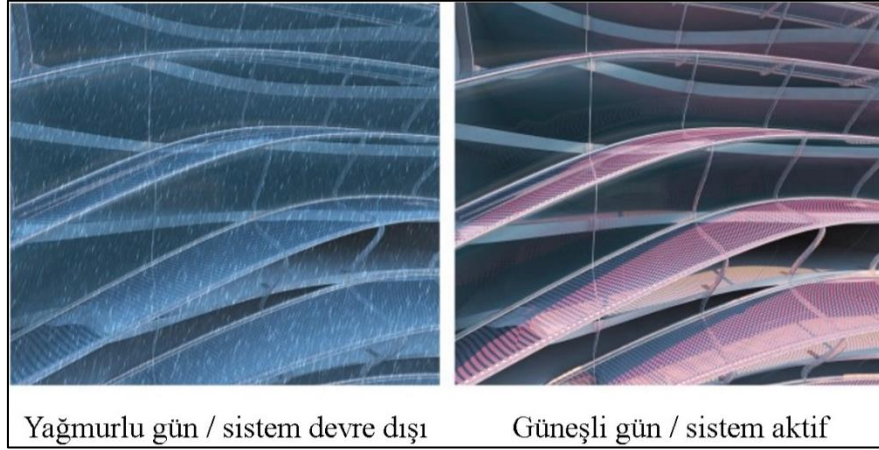
“Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins)” tasarımı, 2014 yılında Sidney’de IAAC Enstitüsü’nde bir araştırma projesi olarak Bashir, Martinez ve Kovachev (2013-2014) takımının oluşturduğu ve bu yöntemin kullanıldığı örneklerden biridir. Bu tasarım, rengi değişen materyal fotokromik toz (photochromic powders) adı verilen sistemle birlikte güneşe duyarlı mimari uygulamalar sunmaktadır (Resim 2.37), [149].



Resim 1.36. Binanın lokasyonu ve fotokromik yapı kabuğu [149]

Tasarımda kullanılan yüksek kaliteli akıllı malzeme ile bina, değişen çevre koşullarına cevap verebilen dinamik bir yapı kabuğuna sahiptir. Binanın bulunduğu lokasyona bağlı olarak iklim ve çevre verileri analizleri sonucu hem ısı kazanımı hem de ısı korunumu odaklı

olmasına karar verilmiştir. Tasarım aşamasında Grasshopper yazılımında yapılan algoritmik bağlantılar ile yapı kabuğu, yağmurlu havalarda yeşile dönerken, güneşli havalarda pembe renk olmakta, kısacası değişen hava koşuluna göre eş zamanlı olarak cevap vermektedir (Resim 2.38), [149].



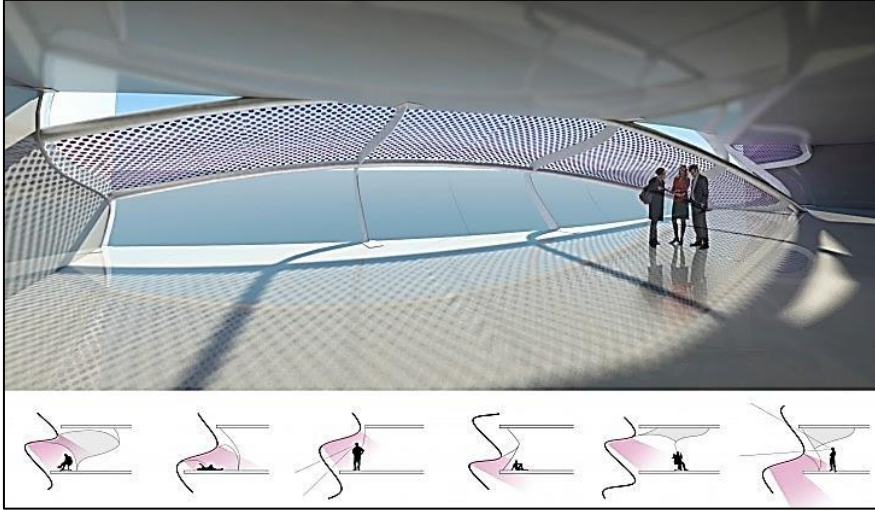
Resim 1.37. Sistemin aktif ve deaktif olmasıyla değişen renk skalası [149]

Çizelge 2.20’de görüldüğü üzere, Güneş Işınlari Yöntemini uygulama aşamasına geçmeden ilk etapta, tasarıma m<sup>2</sup> ve yükseklik verilerek 3D kütle oluşturulmuştur. Daha sonra, Solar Oryantasyon Diyagramındaki kış, yaz ve ilkbahar mevsimlerine göre alınan güneş verilerinden minimum ve maksimum ışınlar, yapı kabuğunda belirlenmiştir (1.aşama). Tasarım alanına belirli saatlerde düşen güneş ışınlarına dik olan bir kesişim çizgisi saptanmıştır (2.aşama-a). Bu kesişim çizgisini, düşen her bir ışın üzerinde uygulayarak ortalama güneş yolu çizgileri meydana getirilmiştir (2.aşama-b). Böylece, saptanan bu rehber çizgilerle, güneşe dik açıda bulunan bir kılavuz kabuk oluşturulmuştur (2.aşama-c). Karar verilen katlanmış kabuğa güneş analizleri yapılarak (3.aşama-a) en çok ısınan alana (güneş ışınlarının dik geldiği alana) malzeme ataması yapılmıştır (3.aşama-b). Böylece, güneşin nokta şeklindeki renk pigmentlerini aktive etmesi sağlanmıştır (3.aşama-c) [149].

Çizelge 1.20. Güneş Işınlari Yöntemi tasarım süreci, Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins) [149]

|                                                                           |                                                                                                  |                                             |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <p>Kış</p>                                                                | <p>İlkbahar</p>                                                                                  | <p>Yaz</p>                                  |
| 1.Aşama-Tasarıma gelen mevsimlere göre maksimum ve minimum güneş ışınları |                                                                                                  |                                             |
| <p>a) Kesişim çizgisi</p>                                                 | <p>b)Ortalama solar yol çizgileri</p>                                                            | <p>c)Güneşe dik katlamalı klavuz kabuk</p>  |
| 2.Aşama-Gelen güneş ışınlarını dik keserek oluşan tasarım                 |                                                                                                  |                                             |
| <p>a) Güneş ışınlarına maruz kalma analizi</p>                            | <p>b) Malzemenin en fazla ısınan alanlara atanması (Güneş ışınlarına dik açıda olan alanlar)</p> | <p>c) Güneşin pigmentleri aktive etmesi</p> |
| 3.Aşama-Nokta desenli sistem ve malzemenin atanması                       |                                                                                                  |                                             |

Tasarımda gereken durumlarda pasif gölgeleme sistemi aktive olarak iç mekânda konfor koşulunu sağlamaktadır (Resim2.39). Tasarım sürecinde yapılan algoritmik bağlantılar ile mimaride fotokromik uygulamasının pasif gölgeleme ve optimum ışık ve ısı için en uygun malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.



Resim 1.38. Pasif gölgeleme sistemi ile iç mekânda konfor koşulu [149]

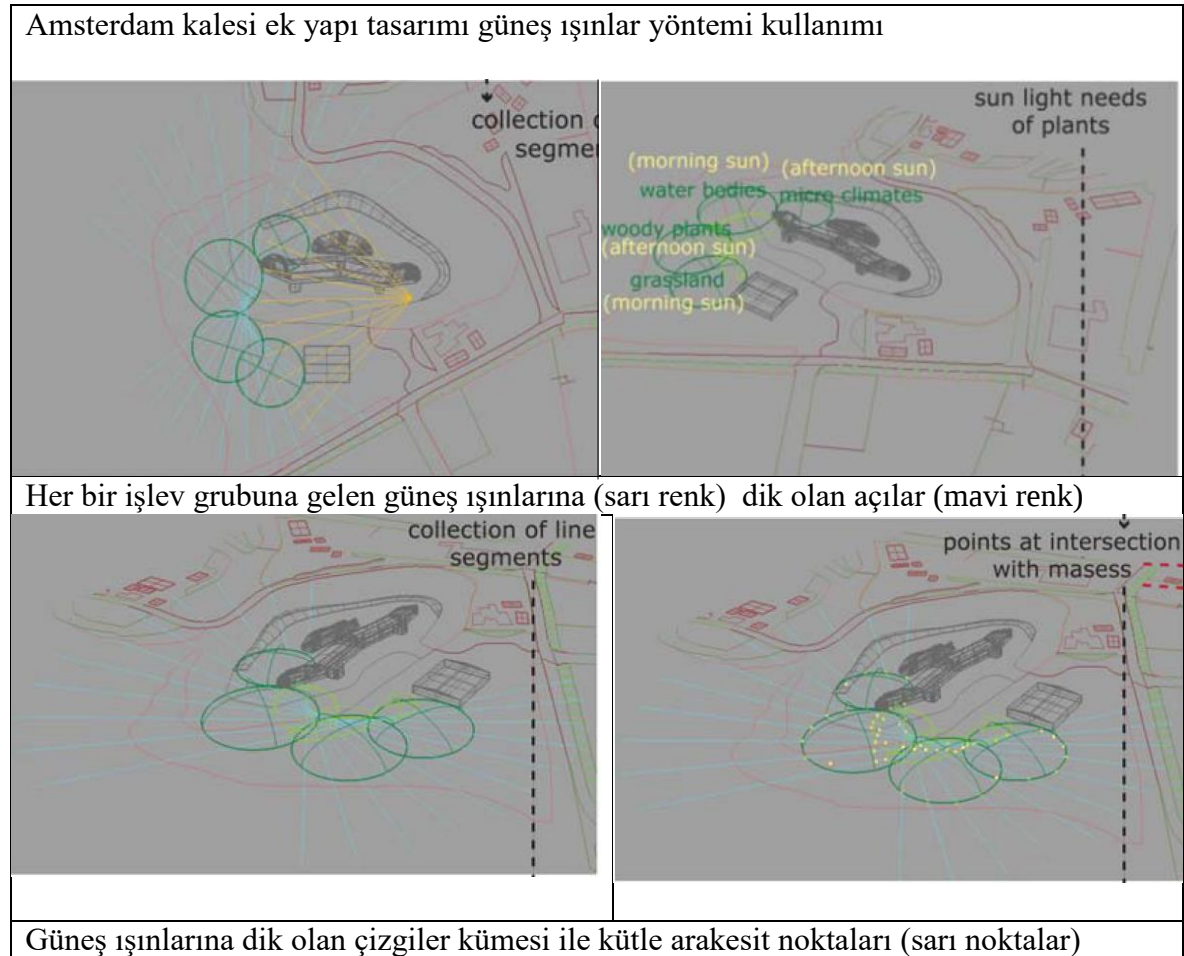
Güneş Işınları Yönteminin kullanıldığı bir diğer örnek de Colaço tarafından 2011 yılında yapılan “Performative Architecture as a Guideline for Transformation of the Defence Line of Amsterdam” isimli yüksek lisans tezi kapsamında, Amsterdam’da 1900’lerden kalma kalelere ek olarak yapılan yeni tasarımlardır. Bu tasarımın fonksiyonları idari birim, kafe ve botanik bahçesidir (Resim 2.40), [150].



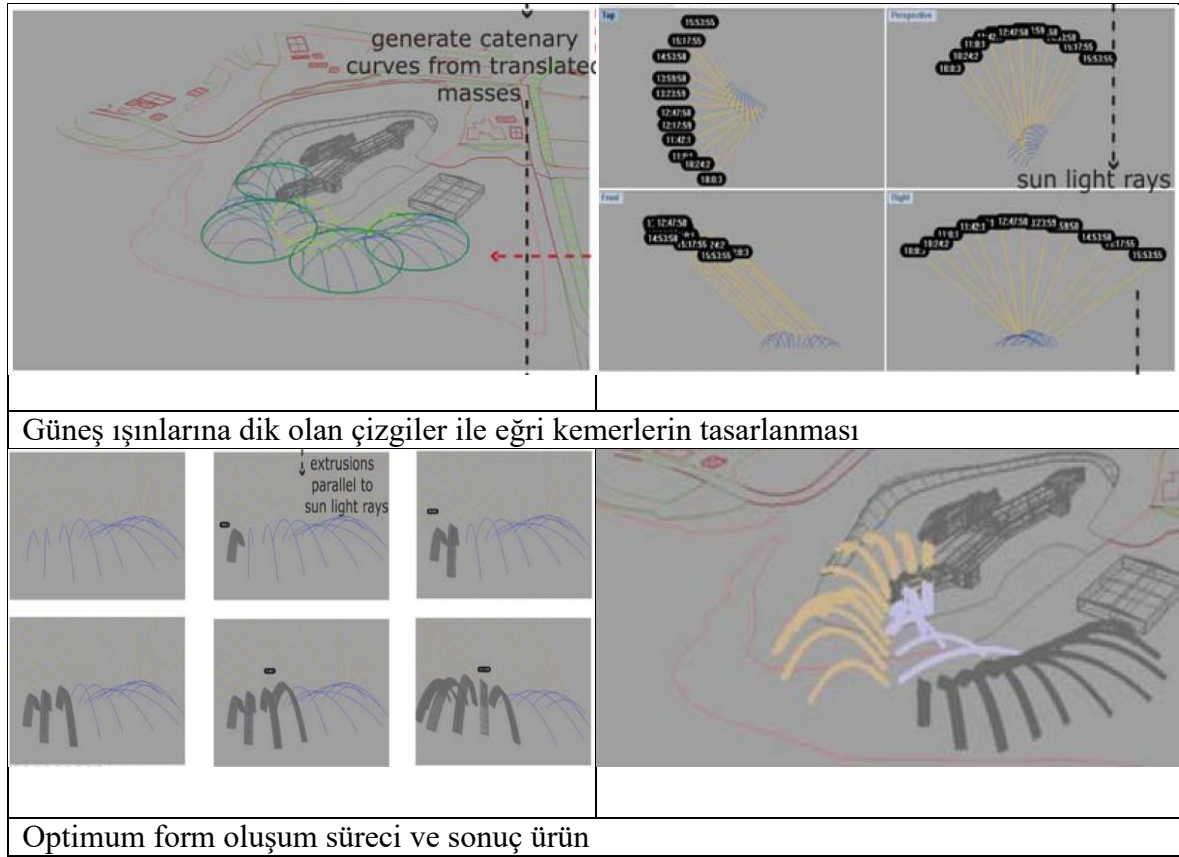
Resim 1.39. Amsterdam kalesine ek yapı tasarımı [150]

Tasarımın ilk aşamasında, çevre analiz verileri doğrultusunda leke etüdü yapılarak hangi fonksiyonun nerede konumlanacağı tespit edilmiştir. Daha sonra, Güneş Işınlari Yönteminin ilk aşaması olarak, kale çevresinde konumları belli olan 3D kütleli işlev gruplarının sabah ve öğleden sonra güneş ışınları açısı hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesabı yaparken botanik bahçesi için gerekli olan güneş ışınları göz önünde bulundurulmuştur. Tasarım alanındaki her bir işlev grubuna gelen güneş ışınlarına dik olan açılar hesaplanmıştır. Tasarıma yön vermek adına, güneş ışınlarını dik kesen çizgi kümesi ile kütle arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir. Kütlede oluşan bu noktalar dikkate alınarak yeni bir tasarım arayışına gidilmiş ve bu noktalar doğrultusunda eğri kemerler oluşturulmuştur. Bununla birlikte, botanik bahçesinin gün ışığından yararlanması gerekçesiyle tasarımın bu kısımlarında yeterli boşluklar yaratılmıştır. Sonuç olarak, güneş ışınlarını dik olarak kesen yardımcı çizgiler ile aşırı ısı kazancını engelleyen ve güneşten maksimum fayda sağlayan yapı kabuğu formuna ulaşılmıştır (Çizelge 2.21), [150].

Çizelge 1.21. Güneş Işınlari Yöntemi kullanım aşamaları, Amsterdam kalesi ek yapı [150]



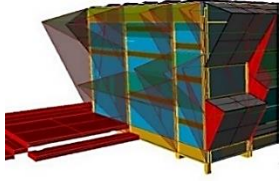
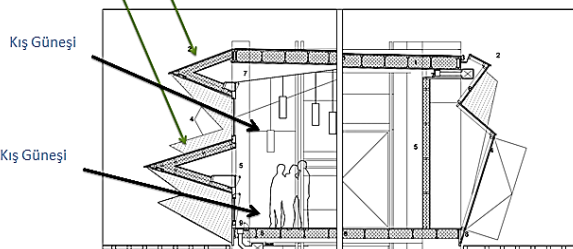
Çizelge 2.21. Güneş Işınları Yöntemi kullanım aşamaları, Amsterdam kalesi ek yapı (Devamı) [150]



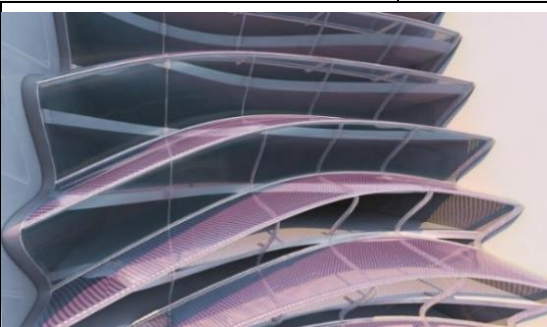
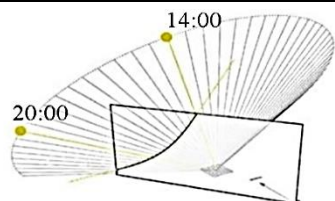
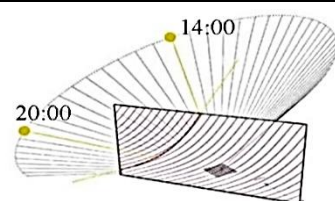
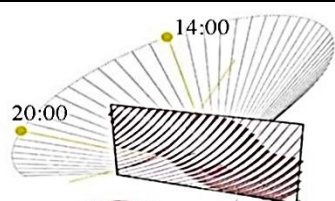
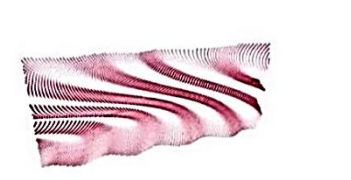
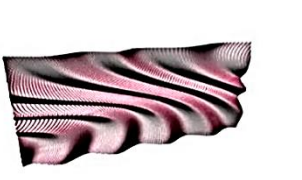
Tez çalışması ve araştırma projesi olmak üzere bu iki örnekte kullanılan Güneş Işınları yönteminin geçerliliği ve güvenilirliği bilimsel olarak kanıtlanmış olup, dikkat gerektiren algoritmik bağlantıların yoğunluğundan dolayı tasarımcılar tarafından çok fazla tercih edilmediği düşünülmektedir.

Güneş ışınlarına göre uygulanan katlama tasarım yönteminin (louvered grid shell) kullanımıyla, bu tasarım yöntemi geliştirilebilir. Yukarıda irdelenen renklere duyarlı yapı kabuğu tasarımı (Chromatic Responsive Skins) ve Amsterdam kalesine ek yapı tasarımı bu yöntemi ortaya koyan en çarpıcı örneklerdir. Bu örneklerin yanında, IAAC üniversitesinin araştırma projesi olarak tasarladığı Endesa pavilyonu yöntemin kullanıldığı nadir örnekler arasındadır. Çizelge 2.22, Çizelge 2.23 ve Çizelge 2.24’de Güneş Işınları Yöntemi ile tasarlanan bu örnek yapıların analizleri yapılmıştır.

Çizelge 1.22. Endesa Pavilyonu analizi [151,152,153]

| Endesa Pavilyonu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Örnek 1                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Barselona / İspanya                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
| Tasarımcıları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Smart City Expo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kontrplak – güneş panelleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Aşırı ısı kazancının engellenmesi, PV paneller ile elektrik üretimi                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Belirli formdan yola çıkılmaması, tüm biçimlenmenin güneş ışınlarına göre Ladybug programında yapılması (*)                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Akdeniz iklimi; yıllık ortalama sıcaklığı: 8-15 °C, en yüksek sıcaklık yaz aylarında: 30 °C                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Rhinoceros-Grasshopper, Ladybug                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Maksimum PV üretimi elde etmek üzere binanın biçimlenmesi, körüklerin her birinde fotovoltaik kaplı bir yüzeyin ve pencere boşluğu ayrılmış en az bir yüzeyin bulunması, güneş ışınlarına bağlı olarak çeşitlilik gösteren yüzey alanlarının ve açıların hem PV hem de pasif güneş etkisini tüm mevsimlerde optimize etmesi (**) |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bileşenlerin kendi enerjilerini üretmesi ve aynı zamanda gölgelenmeyi, hava dolaşımını ve ışığı da kontrol ederek bir mikro iklim oluşturmaları                                                                                                                                                                                  |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Güneş açısının her değişim noktasında maksimum verim almak için cephenin o yönde hareketinin sağlanması ve her biri körüğü andıran bileşenlere göre özelleştirilmiş parçalı cephe modellemesinin yapılması (***)                                                                                                                 |                                                                                    |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>*.</p>  <p>** Yaz Güneşi</p>  <p>Kış Güneşi</p> <p>Kış Güneşi</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>***.</p>   </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                    |

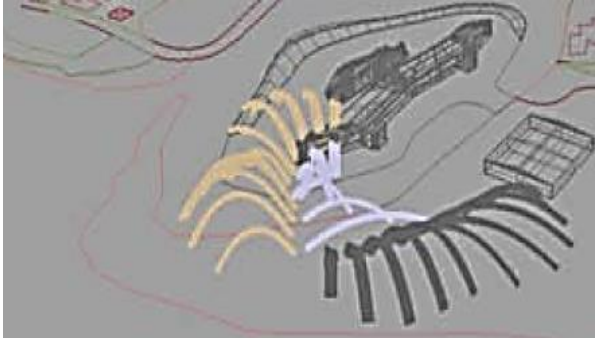
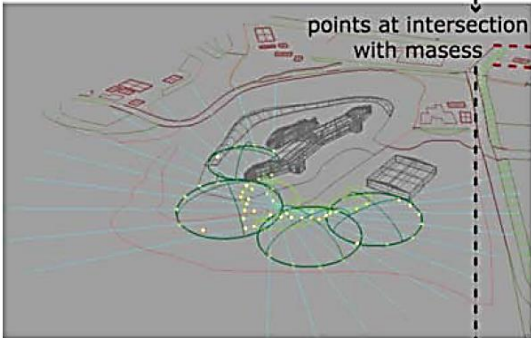
Çizelge 1.23. Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins) analizi [149]

| Renklere duyarlı yapı kabuğu (Chromatic Responsive Skins)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                               | Örnek 2                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Sidney/Avustralya                                                                                                                                                                                                                                             |  |
| Tasarımcıları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Stephanie Bashir, Carlos Bausa Martinez, Hristo Kovachev                                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2014                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Fotokromik toz -yüksek kaliteli akıllı malzeme                                                                                                                                                                                                                |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Hem ısı kazanımı hem de ısı korunumu odaklı olması                                                                                                                                                                                                            |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Güneş ışınları yöntemi; tasarım alanına belirli saatlerde düşen güneş ışınlarına dik olan kesişim çizgilerinin saptanması, bu kesişim çizgilerinden ortalama güneş yol çizgilerinin oluşumuyla kabuğun meydana getirilmesi (*)                                |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Sıcak ve ılıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 17,6 °C, en yüksek sıcaklık Şubat ayında: 22,3 °C                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Rhinoceros-Grasshopper ve Visual Basic kod yazılımı                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Fotokromik uygulamasının pasif gölgeleme, optimum ışık ve rengi değişen güneşe duyarlı mimari uygulama olması                                                                                                                                                 |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kabuğun en çok ısınan alana (güneş ışınlarının dik geldiği alana) malzeme atanması, güneşin nokta şeklindeki renk pigmentlerini aktive etmesi, tasarımda gereken durumlarda pasif gölgeleme sistemi aktive olarak iç mekânda konfor koşulunun sağlanması (**) |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Yağmurlu havalarda binanın yeşile dönmesi ve güneşli havalarda pembe renk alması, binanın değişen hava koşuluna göre eş zamanlı olarak cevap vermesi                                                                                                          |                                                                                    |
| <div><div><p>a) Kesişim çizgisi</p></div><div><p>b) Ortalama solar yol çizgileri</p></div><div><p>c) Güneşe dik katlamalı klavuz kabuk</p></div></div> <div><div><p>a) Güneş ışınlarına maruz kalma analizi</p></div><div><p>b) Malzemenin en fazla ısınan alanlara atanması (Güneş ışınlarına dik açıda olan alanlar)</p></div><div><p>c) Güneşin pigmentleri aktive etmesi</p></div></div> |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                    |

Çizelge 1.24. Amsterdam kalesine ek yapı tasarımı analizi [150]

| Amsterdam kalesine ek yapı tasarımı                          |                                                                                                                                                                                                                        | Örnek 3                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Yeri                                                         | Amsterdam/Hollanda                                                                                                                                                                                                     |  |
| Tasarımcıları                                                | Canan Coloça                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
| Yapım Tarihi                                                 | 2011                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                    |
| Yapım teknolojisi                                            | Duyarlı akıllı çerçeve prototip                                                                                                                                                                                        |                                                                                    |
| Performans beklentisi                                        | Aşırı ısı kazançlarından kurtularak botanik bahçenin güneşlenmesinin sağlanması                                                                                                                                        |                                                                                    |
| Tasarım yöntemi ve özellikleri                               | Güneş ışınları yöntemi; kütleye belirli saatlerde düşen güneş ışınlarına dik olan kesişim çizgilerinin saptanması, bu kesişim çizgilerinden ortalama güneş yol çizgilerinin oluşumuyla kabuğun meydana getirilmesi (*) |                                                                                    |
| İklim özellikleri                                            | Sıcak ve ılıman iklim; yıllık ortalama sıcaklığı: 12,8 °C, en yüksek sıcaklık Temmuz ayında: 26,1 °C                                                                                                                   |                                                                                    |
| Kullanılan parametrik programları                            | Rhinoceros-Grasshopper ve Ladybug                                                                                                                                                                                      |                                                                                    |
| Enerji etkin tasarım elemanı/Tasarım konsepti ve özellikleri | Optimum enerji için güneş ışınlarına göre kabuğun yüzey alanlarının ve açılarının belirlenmesi, pasif güneş etkisi alması için botanik bahçesine gelen ayaklar arasındaki boşluğun artırılması                         |                                                                                    |
| Enerji verimliliği bağlamındaki etkisi                       | Kabuğun ayaklarının güneşten korunmaya yönelik olarak alanlarının ve açılarının belirlenmesi ve gölgelenmeyi, hava dolaşımını ve ışığı da kontrol ederek bir mikro iklim oluşturmaları                                 |                                                                                    |
| Mimari özellikleri                                           | Güneş ışınlarının fonksiyonlara göre, her değişim noktasında maksimum verim almak için kabuğun o yönde hareketinin sağlanması                                                                                          |                                                                                    |

\*



Analiz edilen örneklerdeki tasarım yönteminde izlenen yol, yapı kabuğunun güneş ışınlarının doğrudan bina üzerine düşmesi ile şekillenmesidir. Diğer örneklerden farklı olarak yapı kabuğunun gölgeleme elemanı gibi kullanma durumu söz konusudur.

2. Bölümde güneş teknolojileri ve güneş odaklı performansa dayalı tasarım yöntemleri hakkında bilgi verilmiş olup, bu bilgiler ışığında mevcut yöntemlerin analiz edilip değerlendirilmesi ve yeni yöntemin önerilmesi 3. Bölümde anlatılmıştır.

### 3. MATERİYAL VE METOT

Bu bölümde, tez çalışması arka planını oluşturacak gerekli literatür taramalarıyla elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve bu değerlendirme neticesinde kurgulanan alan çalışması için materyal ve metot sunulmuştur.

Güneş verilerine bağlı yapı kabuğu tasarım yöntemleri; düzenli modüler form, düzensiz modüler form ve güneş ışınları yöntemi olarak sınıflandırılmıştır. Her birinin kendi içinde avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Öte yandan, kent içi yapılı çevrede tasarım yapmak üzere, düzenli - düzensiz modüler tasarım yöntemlerini ve güneş ışınlar yöntemini kullanırken yapılı çevredeki binaları da göz önünde bulundurmak için uzun ve karmaşık algoritmik bağlantıların kullanılarak enerji analizlerinin yapıldığı görülmüştür.

Bu bağlamda, yapılı çevre içerisinde en doğru verilere en kısa sürede ulaşarak esnek bir tasarım ortamı sağlayabilmek amacıyla “Güneş Kabuğu” ve “Güneş Işınları” yöntemlerinin birlikte kullanımını öngören ve yapılı çevredeki binalardan dolayı oluşabilecek gölge potansiyelini dikkate alarak güneşten maksimum faydalanma ya da korunma sağlayan optimum yapı kabuğu için yeni bir yöntem önerilmiştir.

Güneş Kabuğu yöntemi, yapılı çevre içerisinde bulunan binalarda ve kentsel alanlarda güneşlenmenin sağlanmasına yönelik kullanılan bir yöntemdir. Komşu binalara düşen güneş ışınları günlük ve mevsimlik sınırlamalara göre farklı düşey yüksekliklerde bir ışın kabuğu oluşturmakta ve aralık dönemi güneş kabuğu ile haziran dönemi güneş kabuğunun kesişmesinden, birbirine gölge düşürmeyen maksimum ideal tasarım sınırı ortaya çıkmaktadır. Ancak, özellikle sıcak iklim bölgelerinde ve mevsime bağlı olarak tüm bölgelerde kent içerisinde yapılacak olan tasarımların güneşlenmeyi sağlamasının yanı sıra, istenilen alanlarda aşırı ısı kazançlarından korunması da söz konusudur. Bu bağlamda optimum tasarım sınırına ulaşabilmek amacıyla, güneşlenmenin sağlanmasına yönelik olan Güneş Kabuğu yönteminden oluşan tasarım sınırı ile güneşten korunulmasına yönelik olan ve güneşin maksimum ışıınının bulunduğu güneş açılarını dik kesen noktalardan oluşan Güneş Işınları yönteminin tasarım sınırının kesişmesiyle optimum ısı kazancı ve ısı korunumu hedefli tasarım sınırını belirlemek üzere bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntem Ankara ili iklim şartları göz önünde bulundurularak yapılı çevre içerisinde seçilen bir tasarım alanında test edilmiş ve bu yöntemin önerdiği tasarım sınırı içerisinde kalmak

koşuluyla istenilen tasarım yapıldığında enerji verimliliği açısından optimum sonuca ulaşıldığı ispat edilmiştir. Mevcut yöntemlerin kent içerisinde kullanılmasının artırılması enerji etkinlik bağlamında yapılara çok büyük fayda sağlayacaktır. Bu yöntemleri kullanmada maksimum fayda sağlamak için mevcut yöntemler tüm potansiyelleri ile araştırılmış ve birlikte kullanılabilirlikleri geliştirilerek sunulmuştur. Bu bağlamda, mevcut yöntemlerden hangisinin öneri yöntem için daha kullanışlı olduğunu saptayabilmek amacıyla, yöntemler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile değerlendirilmiştir.

### **3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Tasarım Yöntemlerinin Değerlendirilmesi**

Öneri tasarım yöntemi, Rhinoceros - Grasshopper programında gerçekleşeceği için, Güneş Kabuğu yöntemi yanında kullanılacak olan yöntemin, ilk aşamadan itibaren Rhinoceros - Grasshopper programında tasarım sürecine girmesi ve dolayısıyla tasarım sürecine güneş ışınlarından yola çıkarak devam etmesi gerekmektedir. Kısacası, öneri tasarım yönteminin ölçütleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Tasarım sürecinin bütün aşamalarının Grasshopper programında analiz yapılarak gerçekleşmesi, optimum çözüme daha hızlı ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu yüzden, seçilecek yöntemin tasarım sürecinin ilk aşamasından itibaren Rhinoceros-Grasshopper programında uygulanması gerekmektedir.
- Tasarım öncesinde bir form arayışına girilmeden doğrudan güneş ışınlarına göre tasarımın yapılması seçilecek yöntemde aranması gereken bir diğer ölçüttür. Böylece, istenilen tasarıma en kolay şekilde ulaşılabilecektir.
- Seçilen yöntem ile yapılan tasarımların enerji performansının yüksek olması gerekmektedir.

Seçilecek yöntem için aranan bu üç ölçüt bağlamında ve yapıyı çevrede kullanım durumlarına göre tasarım yöntemlerinin kullanım süreçlerinin karşılaştırılması, Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Değerlendirilen mevcut yöntemlerin hepsi enerji etkin yapı tasarımı amaçlıdır. Düzenli ve Düzensiz Form yöntemlerinde, tasarıma başlamadan önce kullanılacak bir forma karar verilmekte ve daha sonra bu formları güneş ışınlarına göre belli açılarda döndürerek tasarım sürecine devam edilmektedir. Güneş Işınları yönteminde ise tasarıma başlangıç noktası, doğrudan belli zaman aralığında gelen güneş ışınlarıdır. Tasarım

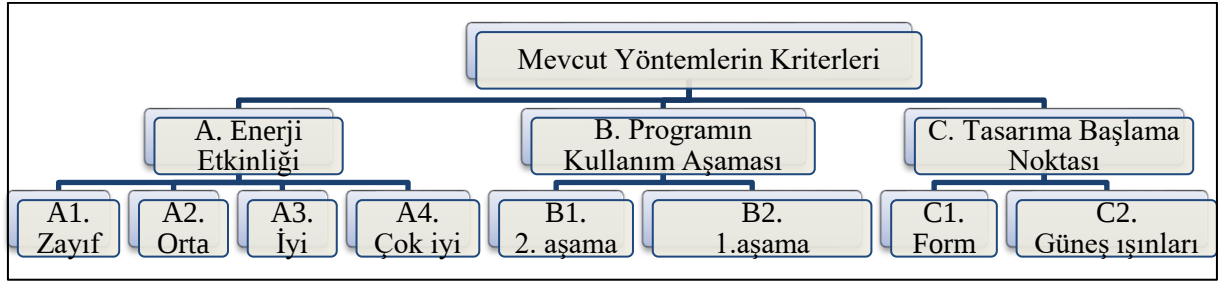
yapılırken kullanılan Grasshopper programı, Düzenli ve Düzensiz Form yöntemlerinde, ikinci aşama olan form ve formu belli açılarda döndürmeden sonra gerçekleşmektedir. Güneş Işınlari yönteminde ise tasarım, doğrudan Grasshopper programı içerisinde analiz ile başlamaktadır. Her üç yöntemin yapıli çevrede kullanımında, çevreden gelen gölgeleme etkilerini dikkate almak için uzun ve karmaşık algoritmik bağlantılara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Çizelge 3.1. Mevcut yöntemlerin kullanım süreçlerinin karşılaştırılması

| Yöntemler<br>Ölçütler                   | Tasarım Yöntemi 1-<br>Düzenli Modüler Form               | Tasarım Yöntemi 2-<br>Düzensiz Modüler<br>Form           | Tasarım Yöntemi<br>3- Güneş Işınlari<br>Yöntemi             |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Enerji Etkinliği                        | Mevcut                                                   | Mevcut                                                   | Mevcut                                                      |
| Tasarıma başlama<br>noktası             | Form                                                     | Form                                                     | Güneş ışınlari<br>verileri                                  |
| Parametrik programı<br>kullanma aşaması | 2.aşama: Formdan yola<br>çıkarak tasarım sonrası         | 2.aşama: Formdan yola<br>çıkarak tasarım sonrası         | 1.aşama: Güneş<br>ışınlari göre                             |
| Yapılı çevrede<br>kullanma durumu       | Uzun ve karmaşık<br>algoritmik bağlantılari<br>kullanımı | Uzun ve karmaşık<br>algoritmik bağlantılari<br>kullanımı | Uzun ve karmaşık<br>algoritmik<br>bağlantılari<br>kullanımı |

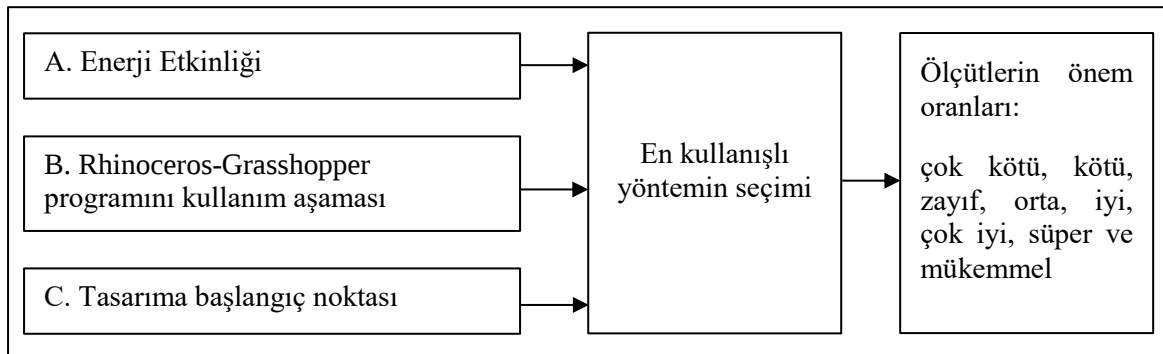
Tasarımcı, yapmak istediği tasarıma göre istediği yöntemi seçmekte özgürdür. Ancak, mevcut yöntemlerin kent içerisinde, yoğun yapılaşmanın olduğu bölgede kullanılması halinde çevre binalardan oluşacak gölgeleme etkileri göz önünde bulundurulmadığından güneşten optimum şekilde yararlanılamamaktadır. Bu sorunu çözmek için yeni bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Öneri tasarım yönteminde mevcut yöntemlerden hangisinin kullanılması gerektiğini tespit etmek amacıyla karar verme yöntemlerinden birisi olan Analitik Hiyerarşı Süreci (AHS) ile Bulanık Mantık yönteminden yararlanılmıştır.

Bulanık mantık ile öneri tasarım yönteminde kullanılmak üzere karar verilmesi gereken yöntemlerin ölçütleri analiz edilmiştir. Analiz edilen ölçütlerin sözel ifadeleri sayısal verilere dönüştürülmüştür. Bu durum, sözel verilerin belirli oranlara karşılık gelmesini ve bir sistematığe oturtularak yöntem hakkında daha objektif verilerin elde edilmesini sağlamıştır. Öneri tasarım modelinde hangi yöntemin kullanılacağı problemini çözmek için ölçütlerin hiyerarşik yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



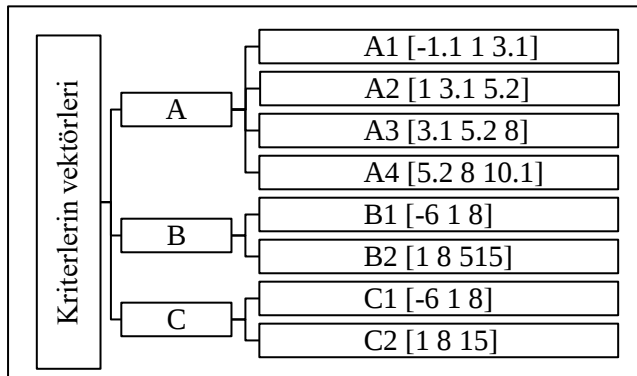
Şekil 3.1. Yöntemin seçim probleminin hiyerarşik yapısı

Mevcut yöntemlerin bu hiyerarşik yapısı, Matlab üzerinde Fuzzy aracılığıyla geliştirilen tasarım işlem modeline girdi (input) oluşturmuştur. Programın çıkış (output) alanına ise sırasıyla 1-8 aralığında değerleri belirlenen çok kötü, kötü, zayıf, orta, iyi, çok iyi, süper ve mükemmel fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Yapılan işlemler ağırlık merkezi (centroid) yöntemine göre hesaplanmıştır (Şekil 3.2). Ek -1’de Matlab programından alınan bulanık sistemin kurulumu bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Bulanık sistem girdileri ve çıktıları

Değerlendirmede kullanılan sözel değişkenlerin üçgen bulanık sayı cinsinden karşılıkları Şekil 3.3’de belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Sözel değişkenlerin üçgen bulanık sayı cinsinden karşılıkları

Programın girdi kısmına enerji etkinliği, programı kullanma aşaması ve tasarıma başlama noktası adı altında her bir ölçütün bulanık sayı cinsinden karşılıkları oluşturulmuştur. Enerji etkinliği; zayıf, orta, iyi, çok iyi, programa başlama aşaması; 1. ve 2. aşama ve tasarıma başlangıç noktası; form ve güneş ışınları üyelik fonksiyonları ile ifade edilmektedir (Çizelge 3.2). Ek-1’de Matlab programında girdi kısmını oluşturan sözel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Girdi kısmını oluşturan sözel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri

| Enerji etkinliği bulanık değerlerinin girilmesi | Programı kullanma aşaması bulanık değerlerinin girilmesi | Tasarıma başlama noktası bulanık değerlerinin girilmesi |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                 |                                                          |                                                         |

Yöntemlerin mevcut ölçütlerinin önem oranı, çıktılar doğrultusunda 1 ve 8 değerleri arasında değişmesi üzerine hesaplanmıştır. Sisteme tanımlanan eğer-ise (if-then) kural tanımları genel anlamda öneri yöntem modeli için gerekli olan özelliklerden enerji etkinliği maksimum oranda, tasarıma başlangıç noktası güneş ışınları olan ve program kullanmaya ilk aşamada başlayan yöntemlerin mükemmel olması şeklinde oluşturulmuştur. Kurallar “and veya or” bağlaçları yardımıyla yazılmaktadır. Kuralların yazılım penceresi ve ölçütlerin önem oranını gösteren bulanık mantık çıktıları Ek-1’de gösterilmiştir.

Kural tanımları doğrultusunda kullanılan ölçütler Çizelge 3.3’deki gibi bir matris oluşturmaktadır.

Çizelge 3.3. Kullanılan ölçütlerin oluşturduğu matris

| Enerji Etkinliği | Grasshopper kullanım aşaması |          | Tasarıma başlangıç noktası |                |
|------------------|------------------------------|----------|----------------------------|----------------|
|                  | 1. Aşama                     | 2. Aşama | Form                       | Güneş Işınları |
| Çok iyi          | Mükemmel                     | Süper    | Süper                      | Mükemmel       |
| İyi              | Çok iyi                      | İyi      | İyi                        | Çok iyi        |
| Orta             | Orta                         | Zayıf    | Zayıf                      | Orta           |
| Zayıf            | Kötü                         | Çok kötü | Çok kötü                   | Kötü           |

Matlab programında hesaplanan üyelik fonksiyonları, her birinin karşılığı olan başka bir değerde çıktı oluşturmaktadır (Çizelge 3.4). Enerji etkinliği çok kötü olan, tasarıma belirli bir formdan başlayan ve tasarım sürecinin 2. aşamasında bilgisayar programında analiz

yapılan yöntem, 1.33 oranıyla çok kötü olarak ifade edilmektedir. Öte yandan, enerji etkinliği çok iyi olan ve bilgisayar programı kullanmaya ilk adımda güneş ışınları ile başlayan tasarım yöntemi, 7.67 oranıyla mükemmel çıktısına karşılık gelmektedir.

Çizelge 3.4. Çıktı oluşturan ölçütlerin önemlilik oranları

| Çıktıyı oluşturan sözel değerlerin sayısal karşılıkları |      |          |      |
|---------------------------------------------------------|------|----------|------|
| Çok kötü                                                | 1.33 | İyi      | 4.55 |
| Kötü                                                    | 1.63 | Çok iyi  | 5.19 |
| Zayıf                                                   | 2.9  | Süper    | 6.24 |
| Orta                                                    | 3.49 | Mükemmel | 7.67 |

Bu sonuçlara göre, 7.67 oranıyla mükemmel fonksiyonu olarak ifade edilen ölçütlerin hepsi Tasarım Yöntemi 3-Güneş Işınları yönteminde bulunmaktadır. Bu yüzden, öneri tasarım modeli geliştirilirken mevcut yöntemler içerisinde seçilen yöntem Güneş Işınları yöntemi olarak belirlenmiştir.

Geliştirilen bulanık çok kriterli karar verme modeli, öneri yöntem modeli için gerekli olan en uygun ölçütleri tespit etmek amaçlı değerlendirilmesinde, çalışma kapsamında başarılı bulunmuştur. Bulanık mantık algoritması kullanımında, üyelik fonksiyonları kurgulanırken verilen dikkat ve özen verimli sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

Bulanık mantık çerçevesinde, önem sırasında mükemmel oranına karşılık gelen Güneş Işınları yönteminin, diğer yöntemler gibi yapıli çevrede kullanıldığında çevreden gelecek gölgeleme etkilerini dikkate almak için uzun ve karmaşık algoritmaların kullanımı sorunu bulunmaktadır. Öneri tasarım yöntemi geliştirme aşamasında, Güneş Kabuğu yönteminin kullanılması ve kısa ve kolay bağlantıları olan algoritmik araçların geliştirilmesiyle bu sorunun çözüleceği öngörülmektedir.

### 3.2. Optimum Yapı Kabuğu Tasarımında Performansa Dayalı Öneri Tasarım Yöntemi Oluşturma Süreci - SKY Araçları

Öneri yöntem, enerji verimliliği bağlamında güneşten maksimum düzeyde yararlanma ve gerektiği zaman güneşten korunma amaçlı tasarım yaklaşımlarının tasarım sürecine kolaylıkla aktarılabilmesi, bu süreç içerisinde kullanılacak programların karmaşık süreçlerini ortadan kaldırarak kullanılabilirliğinin artırılması ve harcanması olası zamanın

kısaltılabilmesi için sıkıştırılmış kısa yol araçlarının oluşturulmasını kapsamaktadır. Enerji verimliliği odaklı tasarım yaklaşımları hayata geçirilirken, tasarımcıların performans bağlamında bir takım beklenti ve ölçütleri vardır. Bu ölçütler, tasarımın bulunduğu koordinatlara bağlı olarak güneş ve tasarım alanı etkileşimiyle her tasarım alanı için değişmektedir. Her lokasyona uygun tasarımlar yapabilmek için tasarım alanına ve yapının bulunduğu çevreye bağlı olarak çevresel parametrelerle ilişkili teknolojik araçlar vasıtasıyla algoritmik bağlantıların kurulması gerekmektedir. Bu araçlar içerisinde, öneri tasarım sürecini gerçekleştirme aşamasında, Rhinoceros eklenti programı Grasshopper ve bu programın altında çalışan Ladybug yazılımı en temel program olarak seçilmiştir.

Grasshopper programı, diğer programlarda çok gelişmiş olmayan NURBS (Non Uniform B-Splines) yüzey mantığı ile çalışmaktadır. Diğer programlarda, karmaşık geometri üretimi sınırlıdır. Oysa tez çalışmasında, tasarım sınırı oluşturulurken güneş ışınları dikkate alındığı için kabuğun karmaşık geometrilerde olması olasıdır.

Aynı zamanda program, hassas ve kesin değerler ile çalışmakta ve parametreler değiştirilerek tasarımlara rahat bir şekilde müdahale edebilme fırsatı bulunmaktadır. Tasarım ve simülasyon için birden fazla programın kullanılması sadece süreci yavaşlatmakla kalmamakta, aynı zamanda model ve farklı arayüzlerin birlikte çalışmasıyla veri kaybı gibi bazı problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Grasshopper programında ise, modelleme ve enerji hesapları aynı ara yüzde yapılabilmektedir. Bu kriterler, çalışma için en uygun programın Grasshopper olarak seçilmesinde etkili olmuştur.

Tez çalışmasında gerekli olan çevre analizi için, Grasshopper programının altında çalışan ve günümüzde en çok çevresel analiz için kullanılan Ladybug, Honeybee, Heliotrope, Geco, Gerilla ve Diva olmak üzere alternatif programlar bulunmaktadır. Bu programlar, performansa dayalı tasarımda çevresel analizler yapma amaçlı yazılımlar olsa da her birinin kendi içinde ayrılan özellikleri vardır. Çizelge 3.5’de performansa dayalı tasarım sürecinde farklı aşamalarda sağladıkları olanaklara göre analiz programları karşılaştırılmaktadır. Buna göre, Ladybug dışındaki diğer eklenti yazılımların hiçbirisinde, çevresel çalışmalar tam kapsamlı olarak sağlanamamakta ve hava durumu veri analizi için neredeyse hiçbir desteği bulunmamaktadır [154]. Bu yüzden, tez çalışmasında tabloda karşılaştırmalı analiz sonucu en uygun program olarak tespit edilen Ladybug eklenti programı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Grasshopper yazılımında kullanılan çevre analizi eklenti programlarının karşılaştırılması [154]

| Süreç                                       |                | Analiz için eklenti yazılımlar |            |      |         |       |
|---------------------------------------------|----------------|--------------------------------|------------|------|---------|-------|
|                                             |                | Ladybug                        | Heliotrope | Geco | Gerilla | Diva  |
| İklim Analizi                               | Analiz         | √                              |            |      |         |       |
|                                             | Görselleştirme | √                              | √*         |      |         |       |
| Kütle/Yönelim Çalışması                     |                | √                              |            | √    |         | √     |
| Günlüğü Çalışması                           |                | √                              |            | √    |         | √     |
| Enerji Modelleme                            |                | √                              |            |      | √       | √ * * |
| * Sadece günlük güneş oryantasyon diyagramı |                |                                |            |      |         |       |
| **Termal bölge sınırlaması                  |                |                                |            |      |         |       |

Ladybug yazılımı, EnergyPlus programı ile koordineli bir şekilde tasarım alanının bulunduğu lokasyona ait hava durumu dosyalarını (\*.epw) Grasshopper arayüzüne taşıyarak iki ya da üç boyutlu çevresel analizler yapmakta kullanılmaktadır. Analiz sürecini kolaylaştırarak hesaplamaları hızlandırmakta ve 3D modelleme arayüzü ile grafikleri görselleştirme hususunda kolaylıklar sağlamaktadır. Güneş oryantasyon diyagramı, ısıtım analizi gibi temel analizlerin yanı sıra, EnergyPlus, Radiance ve Daysim gibi aydınlatma ve ışık davranışları programları ile çalışmakta olduğundan gündüz ve gece aydınlatma simülasyonu ve enerji simülasyonları gibi analizler aşamasında neredeyse anlık geri bildirimler oluşturmaktadır. Ayrıca, kullanıcılar ihtiyaçlarına göre kod yazımı ile kaynak yazılıma katkı sağlayabilmekte ve programı özelleştirebilmektedirler.

Ladybug, bu özellikleri ile tez çalışmasının ısıtım ve gölge analizleri aşamasında tercih edilmesine olanak sağlamaktadır. Enerji simülasyonları için Grasshopper yazılımı üzerinden EnergyPlus simülasyon motoru kullanılmıştır.

Mevcut tasarım yöntemleri yapısal çevre içerisinde kullanıldığı zaman, çevreden gelebilecek gölgeleme etkileri dikkate alınırken uzun ve karmaşık algoritmik bağlantılardan yararlanılmaktadır. Bu sorunu çözmek için öneri yöntemin kısa ve kolay kullanımını sağlayan algoritmik bağlantı araçları geliştirilmiştir. Öneri yöntemde kullanılan Güneş Kabuğu yöntemiyle, maksimum ısı kazanımı verebilecek ideal tasarım sınırına bir kabuk şeklinde ulaşılmaktadır. Ancak, bu yöntemin sıcak iklim bölgelerinde kullanılması

durumunda ihtiyaç olan durumlarda tasarımın istenilen bölgelerinde veya mevsime bağlı olarak tüm bölgelerde güneşten korunma sağlanamamaktadır. Bu yüzden, bu yöntem ek olarak mevcut yöntemler içerisinde ikinci bir yöntem bulanık mantık yöntemiyle seçilmiştir. Literatür ve Kavramsal Çerçeve bölümünde anlatılan Güneş Işımları yöntemi ile Rhino-Grasshopper programı içerisinde gölgeleme ihtiyacı olan alanlara dair ikinci bir tasarım sınırı yapılabilmektedir. Bu iki tasarım sınırının birbiriyle birleştirilmesiyle oluşan kesişim noktası yıl boyu güneşlenmeden en etkin biçimde yararlanabilmek ve gerektiğinde güneşten korunmak için en uygun optimum tasarım alanını vermektedir.

Her iki yöntemin adım adım uygulanması, Rhinoceros-Grasshopper programında belli bir algoritmik düzen çerçevesinde aşama aşama algoritmalar kurarak gerçekleştirilmektedir. Ancak, tasarımcının tezde verilen yöntem akışını tek tek yaparak optimum sonuca ulaşabilmesi yerine, tüm bu algoritmik kodları kullanmadan daha kısa sürede ve daha kolay optimum sonuca ulaşmasını sağlamak için bu çalışma kapsamında Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) araçları geliştirilmiştir. Her bir adım için, ayrı ayrı SKY araçları oluşturulmuş, tüm algoritmalar tek bir araca dönüştürülmüştür. Güneş Işınım Analizleri (GIA) çalışmanın yapıldığı çevreye ve tasarıma uygulanmak üzere, adımların ilk ve son etaplarında farklı algoritmik düzende gerçekleştirilmektedir. Güneş Işınım Analizleri (GIA-çevre ve GIA-tasarım), Solar Oryantasyon Diyagramı (SOD), Güneş Kabuğu Yöntemi (GKY) ve Güneş Işımları Yöntemi (GIY) olmak üzere toplamda 5 araçla optimum tasarım sınırına ulaşılmaktadır. Bu öneri, karmaşık süreçleri ortadan kaldırarak tasarımcıya kolaylık ve hız sağlamak ve mimari tasarım sürecine önemli bir girdi oluşturmaktadır.

Öneri yöntemin oluşturulmasında bağımlı ve bağımsız birtakım değişkenler mevcuttur. Her bir adımın kendi içerisinde kullanılan programları ve eklenti yazılımları değişiklik göstermektedir. Öneri yöntemin adımları aşağıda gibi toplam 5 adımda tamamlanmaktadır:

#### ➤ 1. ADIM - Güneş Işınım Analizleri - Çevre (GIA-Ç)

- Amaç : Farklı yönlerden gelen ışınım miktarının bulunması
- Kullanılan programlar : Rhinoceros – Grasshopper
- Kullanılan eklenti programlar : Ladybug
  - Radiation Rose – Tasarımın arsanın hangi noktasında konumlanacağı
  - Radiation Dome – Yüzeydeki ışınım miktarı

- Değişkenler : Tasarım alanı koordinatları  
Arazi verileri (eğim)
- Veriler : Yapı kabuğu ile ilgili veriler
  - Yapı kabuğunda opak ve saydam olması gereken yüzey alanları ve oranları (yönlere bağlı)
  - Yapı kabuğunda gölgeleme ihtiyacı olan yüzey alanları (yönlere bağlı)
  - Güneş kolektörleri ve PV paneller için en uygun konumlar (yönlere bağlı)

➤ 2. ADIM – Solar Oryantasyon Diyagramı (SOD)

- Amaç : Güneş hareketlerinin alanının ve etkinliğinin bulunması
- Kullanılan programlar : Rhinoceros – Grasshopper
- Kullanılan eklenti programlar : Ladybug
  - Sunpath – epw formatında iklim verileri
  - Srf aracı – Tasarım alanı verileri
- Değişkenler : Tasarım alanı doğal çevre verileri  
Tasarım alanının bulunduğu yapıyı çevre zaman aralığı

➤ 3. ADIM – Güneş Kabuğu Yöntemi (GKY), İdeal tasarım sınırı oluşumu

- Amaç : Isı kazanımı odaklı yapı kabuğu tasarım alanı sınırlarının belirlenmesi
- Kullanılan programlar : Rhinoceros – Grasshopper
- Kullanılan eklenti programlar : Ladybug ve Honeybee
  - Ladybug, Solar Envelope –Parametrik kod yazılım bileşeni
  - Honeybee, Separate By Normal – Parametrik kod yazılım bileşeni
- Değişkenler : Arazi verileri (Tasarım alanı koordinatları ve eğim)  
Zaman aralığı (Optimum çözüm içim yıl boyu)  
Yönlenme
- Veriler : Tasarım alanındaki azimut ve yükseliş açılarına bağlı

güneş ışınlarının sınırları (Solar Oryantasyon)

- Yaz dönemi güneş ışınları diyagramı
- Kış dönemi güneş ışınları diyagramı
- Belirlenen dönemsel ışınların oluşturduğu sınırların kesişimi (Birbirine gölge düşürmeyen maksimum kütle hacmi)
- Kesişimde oluşan üçgen düşey yüzeylerde ortaya çıkan yükseklik farklılıkları durumunda, kısa olan yüksekliğin seçimi

- Alt algoritmalar

*Güneş Işınları Algoritma Bağlantıları (GIAB)*

*(Solar rights)*

: Yapılı çevre içerisinde gelen güneş ışınlarının uygulanmasıyla (her bir güneş ışını ile) tasarlanacak hacmin maksimum yüksekliğini veren 3 boyutlu kabuk sınırının belirlenmesi

*Güneş Işınlarını Toplama Algoritma Bağlantıları (GITAB)*

*(Solar collection)*

: Güneş ışınlarını dikkate alarak en düşük yükseklik seviyesinin belirlenmesiyle güneş ışınlarına erişim sağlayan hacmi ortaya koyan 3 boyutlu kabuk sınırının belirlenmesi

*İdeal Güneş Tasarım Sınırı (İGTS) bulunması, Yaz Dönemi (YD) ve Kış Dönemi (KD) değerlendirilmesi*

: İlk iki kabuğun çakıştırılmasıyla ortaya çıkan ara kesitin tanımladığı optimum tasarım alanını veren güneş kabuğunun (solar envelope) elde edilmesi

➤ 4. ADIM – Güneş Işınları Yöntemi (GIY), Optimum kılavuz tasarım sınırı oluşumu

- Amaç

: Güneş ışınlarını kesen dik aç noktalarını bularak en çok güneş ışınlarına maruz kalan tasarım alanının sınırlarını belirlemek

- Kullanılan programlar : Rhinoceros – Grasshopper
- Kullanılan eklenti programlar : Ladybug
- Değişkenler : Tasarım alanı verileri (lokasyon ve hava durumu)  
Zaman aralığı
- Veriler : Toplam Güneş Işınları (TGI), Yaz Dönemi (YD) ve  
Kış Dönemi (KD) değerlendirilmesi
  - Tasarım alanındaki azimut ve yükseliş açılarına bağlı güneş ışınlarının geliş açıları
  - Güneş ışınlarını dik kesecek şekilde gelen ışınların oluşturduğu kabuk
  - Optimum kılavuz tasarım sınırı - Güneş kabuğu ile Güneş Işınları tasarım alanlarının çakıştırılması ve kesişim alanlarından optimum kılavuz tasarım sınırına ulaşılması

##### 5. ADIM - Güneş Işınım Analizleri - Tasarım (GIA-T)

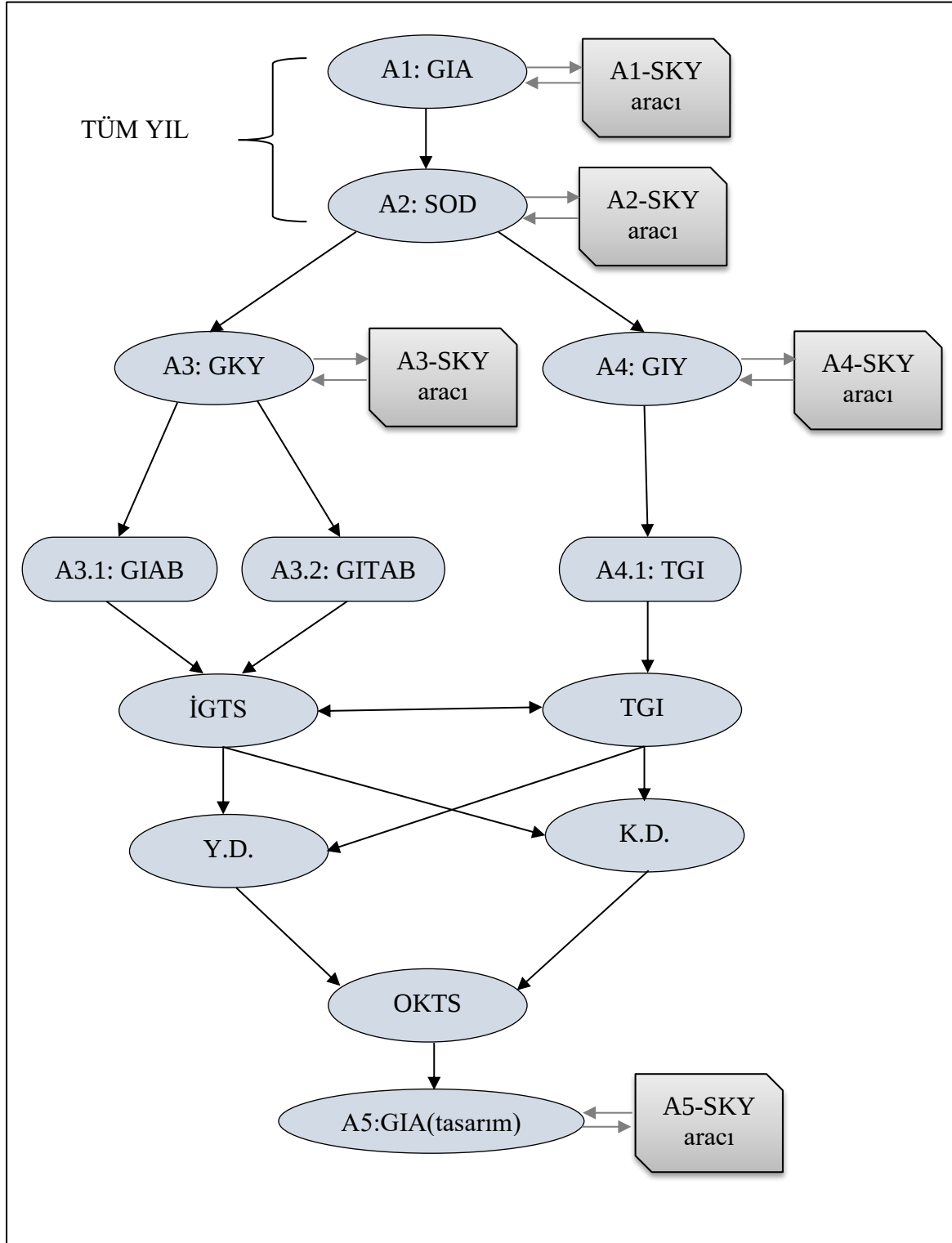
- Amaç : Tasarım üzerine farklı yönlerden gelen ışınım miktarının bulunması
- Kullanılan programlar : Rhinoceros – Grasshopper
- Kullanılan eklenti programlar : Ladybug
  - Gen Cumulative Sky Mtx– İklim bilgileri hesaplanarak toplam gökyüzü verilerine ulaşılması
  - Select Sky Mtx – İklim verilerinin analize hazır hale getirilmesi
  - Ladybug Radiation Analysis – Tasarımın her yüzeyindeki ışınım miktarı
- Değişkenler : Tasarım alanı koordinatları  
Arazi verileri (eğim)  
Tasarım modelinin konumu  
Yapılı çevre
- Veriler : Yapı ile ilgili analizler
  - Yapının yüzeylerindeki ışınım miktarlarının hesaplanmasıyla ısı kazanımı/korunum tespiti ve termal konfor

- Yapı kabuğunda opak ve saydam olması gereken yüzey alanları ve oranları (yönlere bağlı)
- Yapı kabuğunda gölgeleme ihtiyacı olan yüzey alanları (yönlere bağlı)

*Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) araçları geliştirme*

- Amaç : Optimum kılavuz tasarım sınırına ulaşmak amacıyla yapılan tüm kod yazılımları ve algoritmik bağlantılar yerine sıkıştırılmış kısa yol aracı geliştirilmesi
- Kullanılan programlar : Rhinoceros – Grasshopper
- Kullanılan eklenti programlar : Grasshopper
  - Cluster – algoritmik bağlantıların tek bir bileşen haline getirilmesi ve kilitlenmesi
- Değişkenler : Hazırlanmış algoritmik bağlantılar
- Veriler : Tüm algoritmik bağlantılar yerine aynı veriyi elde eden tek bir bileşenin (SKY aracı) oluşumu

Öneri yöntemin adımları şematik olarak Şekil 3.4’de gösterilmiştir:

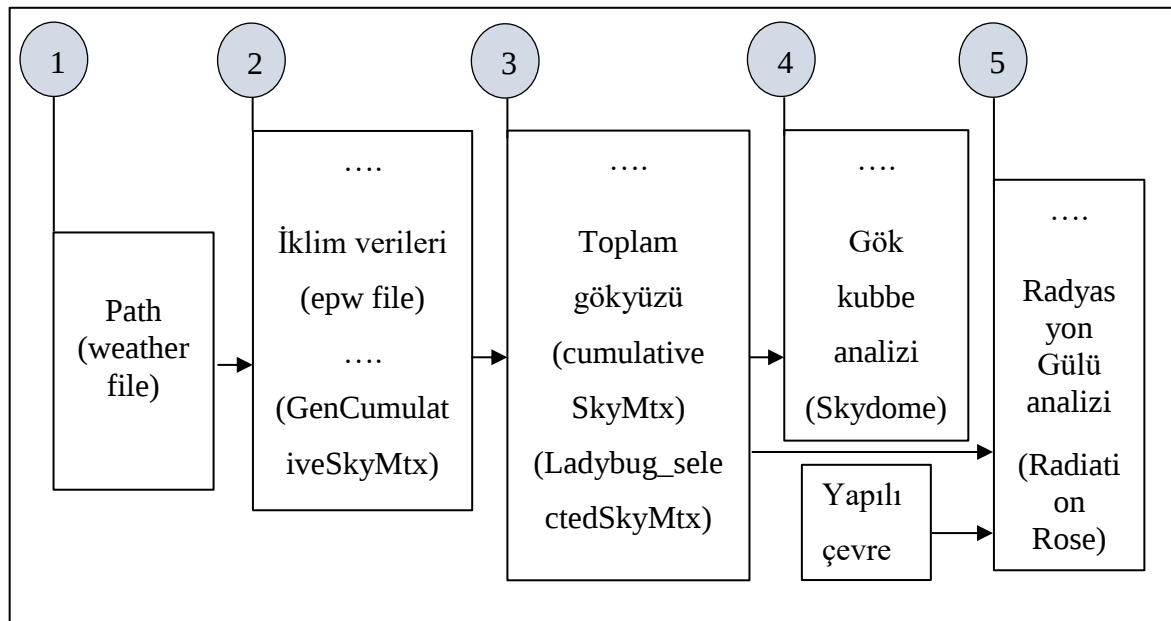


Şekil 3.4. Öneri yöntemin adımları

Öneri yöntemin tüm adımlarının şematik olarak algoritmik bağlantıları aşağıdaki gibidir:

### 1. Adım - Güneş Işınım Analizleri – Çevre (GIA- Ç)

Grasshopper Ladybug’da bulunana Radyasyon Gülü (Radiation Rose) ve Gök kubbe (Sky Dome) bileşenleri (component) ile grafikler oluşturularak güneş ışıınım analizleri gerçekleştirilmektedir. Böylece, tasarımın arsanın hangi konumunda uygulanması gerektiği, tasarımda opak ve saydam olması gereken yüzey alanları ve bu alanların oranları saptanmaktadır. Şekil 3.5’de, bu analiz için Grasshopper – Ladybug programında hazırlanan algoritma bağlantıları görülmektedir. Ek-2’de ise GIA - Ç için hazırlanan tüm algoritmalar bulunmaktadır.



Şekil 3.5. GIA – Ç için oluşturulan algoritmik bağlantılar

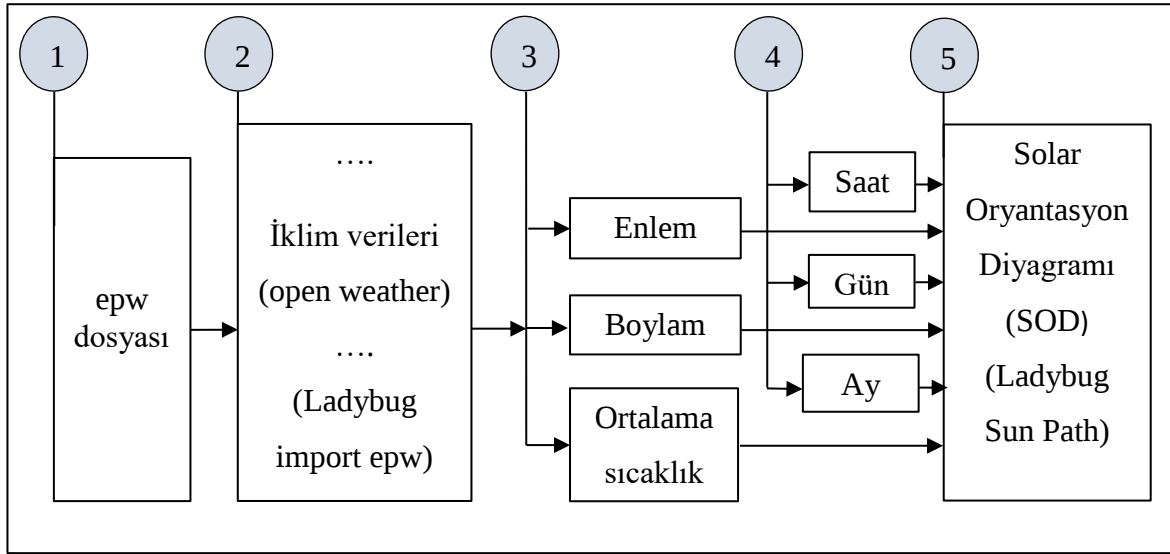
1. Epw dosyası, Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmaktadır.<sup>2</sup>
2. Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx kod yazılım bileşeni ile ilgili siteden alınan iklim bilgileri hesaplanarak toplam gökyüzü verilerine ulaşılmaktadır.
3. Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx bileşeninden toplam gökyüzü verileri Gök Kubbe (Sky Dome) ve Radyasyon Gülü (Radiation Rose) bileşenine bağlanmaktadır.
4. Tasarımcı Gök Kubbe analizine ulaşmaktadır.

<sup>2</sup> EnergyPlus programının ana sayfası olan <https://energyplus.net/weather> sitesinde, Türkiye’den sadece Ankara, İstanbul ve İzmir kentleri için hava durumu bilgileri mevcuttur. Bu yüzden sadece bu kentlerde olan tasarımlar için ilgili hesaplamalar yapılabilmektedir.

5. Tasarımcı Radyasyon Gücü analizine ulaşmaktadır. Bu analiz sırasında girdi kısmına yapılı çevre tanımlanmaktadır. Böylece, analizi yapılacak olan bina yüzeylerinin güneş ışınım miktarları saptanmaktadır.

## 2. Adım – Solar Oryantasyon Diyagramı (SOD)

Solar Oryantasyon Diyagramı (SOD), Güneş Kabuğu Yöntemi (GKY) ve Güneş Işınları Yöntemi (GIY) için ortak bir tasarım sürecidir. Tasarımın bulunduğu lokasyona göre güneş verilerini alarak güneş yükseliş ve azimut açılarına göre 3D bir diyagram oluşturulmaktadır. Tüm analizler bu diyagramın verilerine göre gerçekleşmektedir. Şekil 3.6’da bu diyagramı oluşturmak için Grasshopper – Ladybug programında yapılan algoritmik bağlantılar görülmektedir. Ek-2’de SOD için hazırlanan algoritmik bağlantılar detaylı bir şekilde verilmiştir.



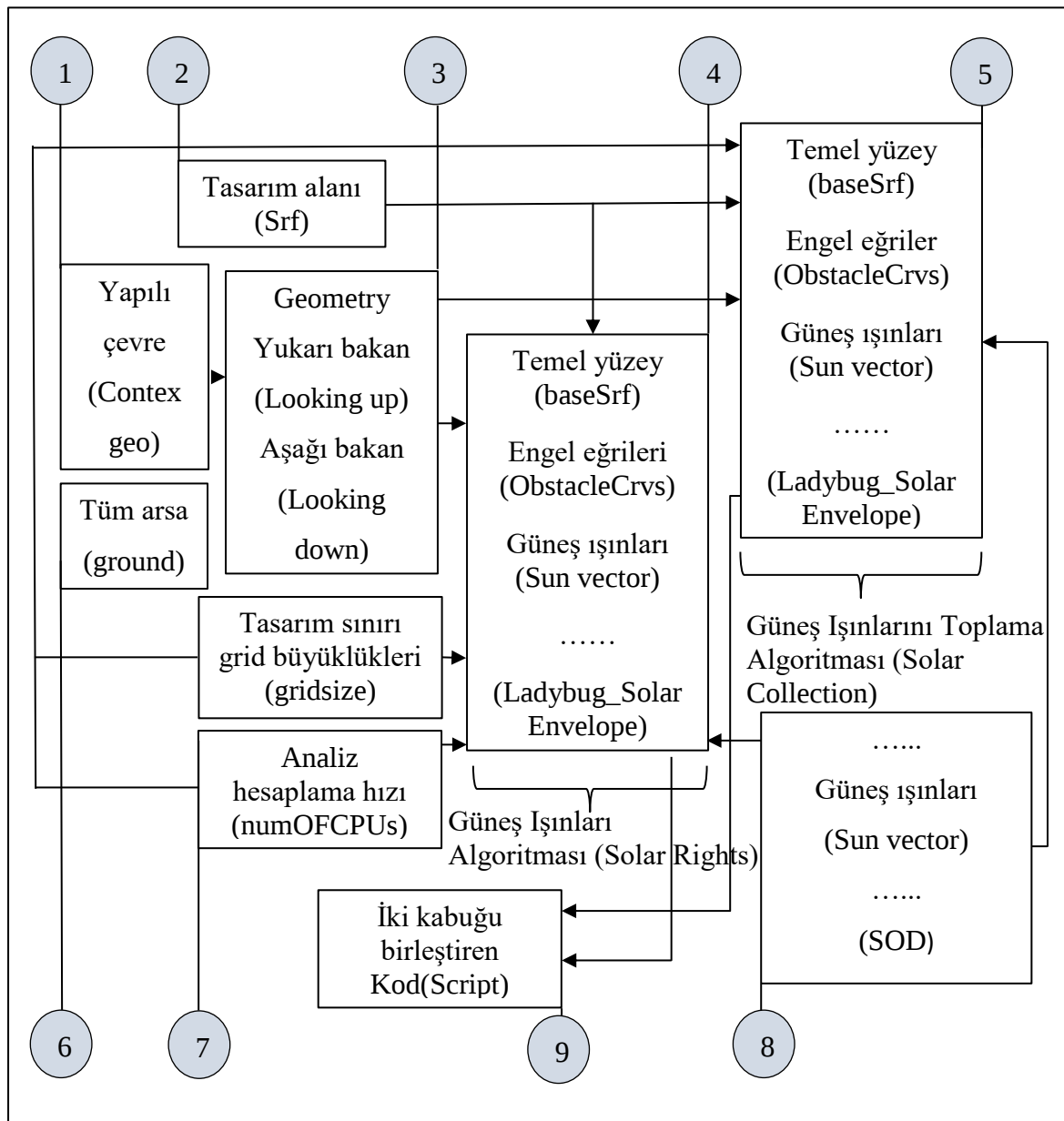
Şekil 3.6. SOD için oluşturulan algoritmik bağlantılar

1. Epw dosyası, Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmaktadır.
2. Ladybug import epw kod yazılım bileşeni ile ilgili siteden alınan iklim bilgileri hesaplanılarak sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve yönü gibi verilere ulaşılmaktadır.
3. Ladybug import epw bileşeninden enlem, boylam ve ortalama sıcaklık bilgileri Ladybug Sun Path bileşenine bağlanmaktadır.
4. Tasarımcı tarafından saat, gün ve ay verileri Ladybug Sun Path bileşenine tanımlanmaktadır.

5. SOD'a ulaşılmaktadır.

### 3. Adım – Güneş Kabuğu Yöntemi (GKY) ile ideal tasarım sınırı oluşumu

Güneş Kabuğu Yöntemi (GKY) ile güneşten maksimum yararlanılan ideal tasarım sınırına ulaşılmaktadır. Bu sınır, tasarım için maksimum ve minimum yükseklik veren 3 boyutlu iki adet kabuğun ara kesiti alınarak meydana gelmektedir. Bundan dolayı, sınır için iki adet alt algoritma oluşturulmakta, bu algoritmaları ayırmak için Honeybee bileşeni kullanılmaktadır (Şekil 3.7). Ek-2'de GKY tüm algoritma ve bağlantıları bulunmaktadır.

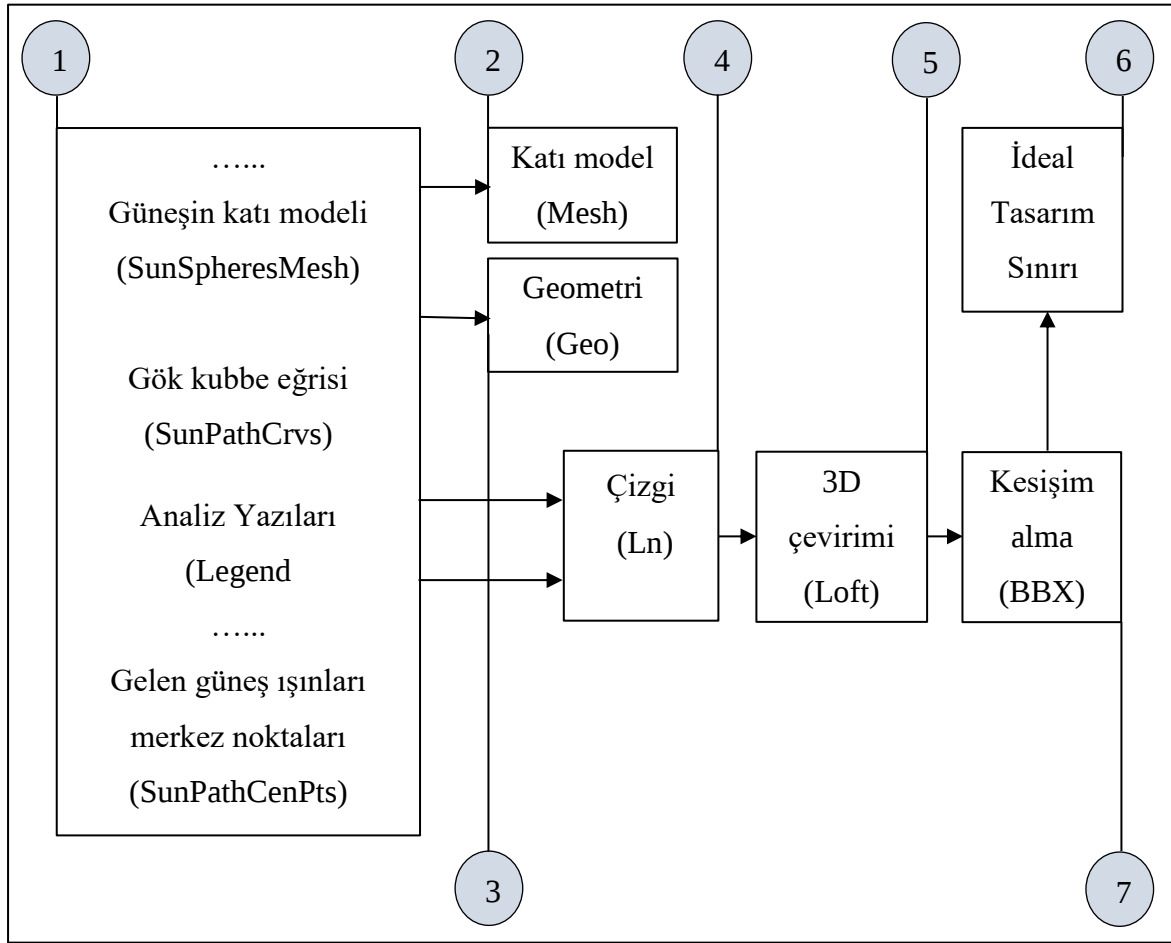


Şekil 3.7. GKY için oluşturulan algoritmik bağlantılar

1. Tasarım alanı etrafındaki yapılı çevre, coğrafik bağlam (context geo) bileşeni ile tanımlanmaktadır. Daha sonra bu bileşen, Honeybee separate by normal bileşenindeki geometri (geometry) kısmı ile algoritmik bağ kurmaktadır.
2. Tasarım alanı, yüzey (srf) aracı ile tanımlanmaktadır. Daha sonra, Güneş Işınlari Toplama ve Güneş Işınlari algoritmasındaki temel yüzey (baseSrf) ile bağ kurmaktadır.
3. Honeybee, separate by normal bileşeninin çıktı kısmındaki yukarı bakan (Looking up) çıktısı ve Güneş Işınlari Toplama algoritmasına, aşağı bakan (Looking down) çıktısı, Güneş Işınlari algoritmasındaki engel eğrileri (obstacleCrv) girdisine bağlanmaktadır.
4. Güneş Işınlari algoritması (Solar Rights), aldığı tüm veriler doğrultusunda hesaplar yaparak tasarım için maksimum yükseklik veren 3 boyutlu kabuk sınırını belirlemektedir.
5. Güneş Işınlari Toplama algoritması (Solar Collection), aldığı tüm veriler doğrultusunda hesaplar yaparak tasarım için minimum yükseklik veren 3 boyutlu kabuk sınırını belirlemektedir.
6. Tasarım ve yapılı çevrenin bulunduğu tüm arazi zemin (ground) aracı ile tanımlanmaktadır.
7. Tasarım sınırı grid büyüklükleri (gridsize) ve analiz hesaplama hızı (numOFCPUs) verileri tanımlanıp, bu veriler Güneş Işınlari Toplama ve Güneş Işınlari algoritmasına bağlanmaktadır.
8. 2. Adımda bulunan SOD güneş ışınlari, her iki Güneş Kabuğu (Solar Envelope) bileşenine girdi olarak bağlanmaktadır.
9. Grasshopper programında mevcut olmadığı için kod (skript) yazılarak yeni bir algoritma oluşturulup, 4 ve 5 nolu tasarım süreçlerinden ortaya çıkan minimum ve maksimum kabuk sınırları birleştirilerek ideal tasarım sınırına ulaşılmaktadır.

#### 4. Adım – Güneş Işınlari Yöntemi (GIY) ile optimum kılavuz tasarım sınırı oluşumu

Güneş Işınlari Yöntemi (GIY) yöntemi, güneşten korunma ve aşırı ısı kazançlarını önleme odaklı bir tasarım yöntemidir. Bu yöntem ile ideal tasarım sınırına gelen, güneş ışınlari maksimum miktarda olduğu güneş ışınlari dik kesen noktalardan oluşan kabuk optimum kılavuz tasarım sınırını vermektedir (Şekil 3.8). Ek-2’de GIY algoritmalarının detaylı tüm bağlantıları gösterilmiştir.



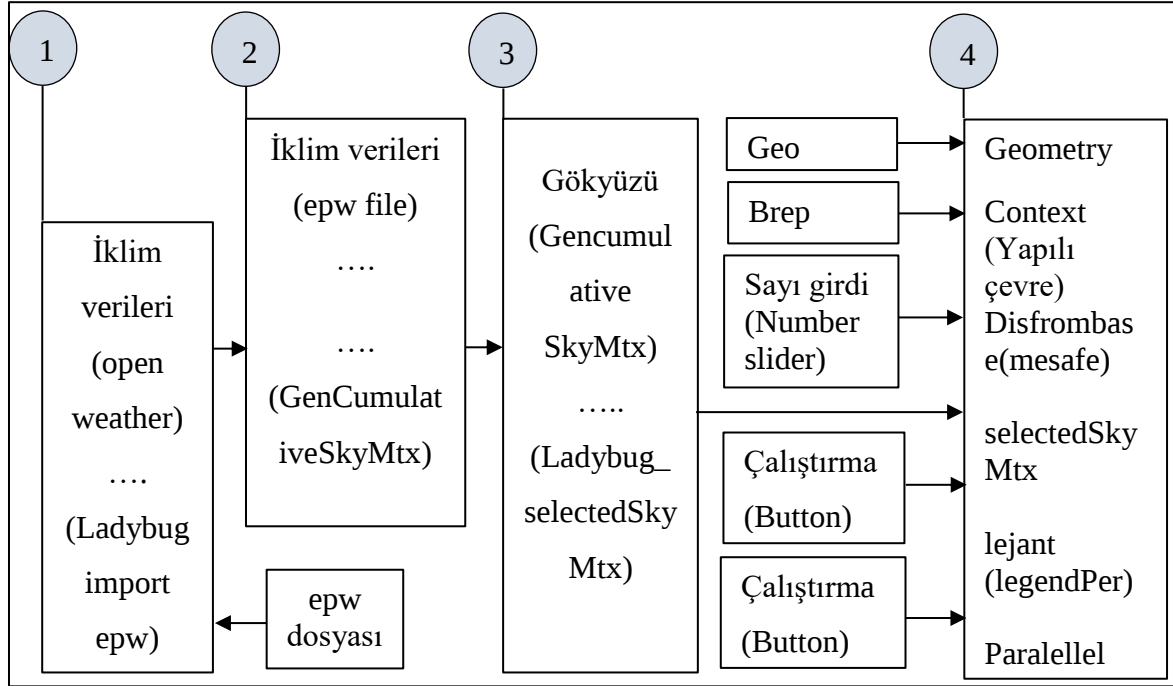
Şekil 3.8. GIY için oluşturulan algoritmik bağlantılar

1. 2. Adımda oluşturulan SOD algoritmasında SunPath bileşeni ile güneş verileri hesaplanarak değerlendirilmektedir.
2. Katı model (mesh) bileşeni ile güneşin katı modeli (SunSpheresMesh) çıktısı bağlanarak güneşin bulunduğu konuma göre katı modeline ulaşılmaktadır.
3. Gelen güneş ışınlarının merkez noktaları SunPathCrvs bileşeni ile geometri (Geo) bileşeni bağlanarak güneş ışınları somutlaştırılmaktadır. Geometri bileşeni aynı zamanda analiz yazıları (Legend) çıktısıyla da birleşerek güneşin konumuna göre olan tarih ve saat yazılarına ulaşılmaktadır.
4. Çizgi (line) bileşeni ile gelen güneş ışınları merkez noktaları SunPathCenPts bileşeninin çıktısına bağlanarak, güneş ışınları çizgi haline getirilmektedir.
5. Loft bileşeni, güneş ışınları çizgilerini, ideal tasarım sınırına dik düşen noktalarla birleştirerek 3 boyutlu bir kabuk oluşturmaktadır.
6. 3. Adımda oluşan İdeal Tasarım Sınırıdır.

7. Kesişim alma BBX bileşeni, 3 boyut haline getirilen toplam güneş ışınları ile ideal tasarım sınırı arasındaki kesişim kümesini vererek optimum tasarım sınırına ulaşılmasını sağlamaktadır.

### 3. Adım – Güneş Işınım Analizi – Tasarım (GIA-T)

4. Adımda GIY ile oluşturulan kılavuz tasarım sınırının optimum olup olmadığını test etmek için Güneş Işınım Analizi (GIA-T) kullanılmaktadır. Ayrıca, kılavuz tasarım sınırı göz önünde bulundurularak tasarlanan modellerin de GIA-T analizleri yapılarak her cepheye düşen güneş ışınım miktarları analiz edilebilmektedir. Bunun için, Şekil 3.9'daki algoritmik bağlantılar kullanılmaktadır. Ek-2'de GIA-T için tüm algoritmik bağlantılar gösterilmektedir.



Şekil 3.9. GIA-T için oluşturulan algoritmik bağlantılar

1. Epw dosyası, Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmaktadır.
2. Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx kod yazılım bileşeni ile ilgili siteden alınan iklim bilgileri hesaplanarak gökyüzü verilerine ulaşılmaktadır.
3. Ladybug\_selectedSkyMtx bileşenindeki Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx girdisi, gökyüzü verileri için \_Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx çıktısına bağlanmaktadır.

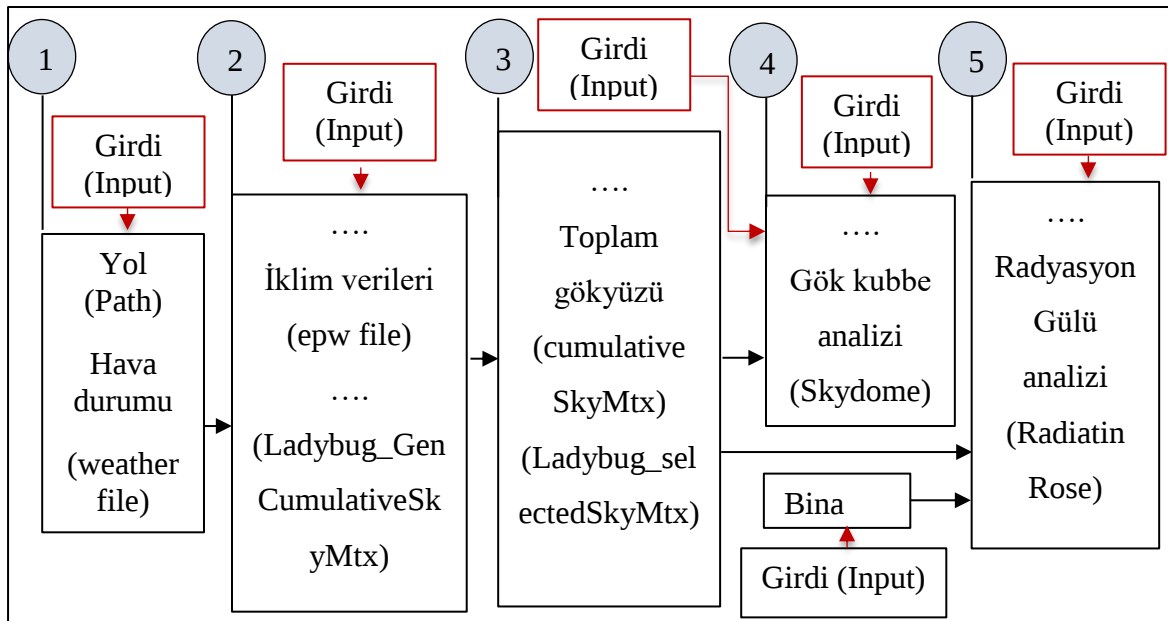
4. Ladybug\_RadiationAnalysis bileşenine, analizi yapılacak model geo bileşeni ve yapı çevre brep bileşeni algoritmik olarak bağlanmaktadır. Disfrombase girdisine number slider bileşeni bağlanarak tasarımcı istediği sayıyı girip, analiz grafiklerinin modelden ne kadar uzaklıkta olduğunu saptamaktadır. Daha sonra legendPer ve paralel girdilerine, boolean toggle çalıştırma butonu bağlanarak analizde kullanılan lejand ve yazıların ara yüzdeki konumu saptanmaktadır.

#### Tasarım yöntemleri algoritmalarından Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) aracı oluşturma

Tüm bu adımlar, Grasshopper programı içerisindeki parametrik kod yazılımları ile yoğun bir şekilde düşünülerek kurulan algoritmalarından oluşmaktadır. Bu algoritmaları tamamlamaya gerek kalmadan, tasarımcılar tarafından daha kolay ve hızlı kullanılabilmesi için Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) araçları geliştirilmiştir.

#### ▪ Güneş Işınım Analizleri – Çevre (GIA-Ç) Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) aracı oluşumu

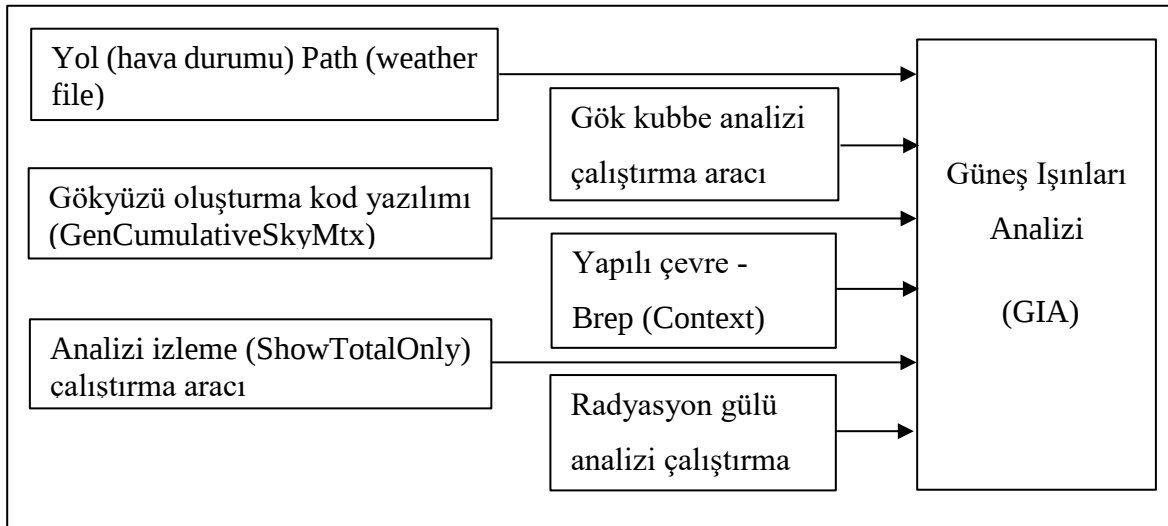
GIA-Ç algoritmik bağlantılarda, tasarımcının seçimine göre değişen kriterlerin her birine girdi (input cluster) ve çıktı (output cluster) bileşenleri bağlanarak SKY aracında girdi ve çıktıların oluşumu sağlanmıştır. Şekil 3.10'da GIA-Ç algoritmasının tek bir araca sıkıştırılma süreçleri gösterilmiştir.



Şekil 3.10. GIA için SKY bağlantıları

1. Path (weather file) bileşenine istenilen bölgenin hava durumu verilerini girmek üzere girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
2. Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx kod yazılım bileşenini çalıştırma (runIt) kısmına girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
3. Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx bileşenindeki bağlantılar değiştirilmemektedir.
4. Gök Kubbe (SkyDome) analizini çalıştırma (runIt) ve analizi izleme (ShowTotalOnly) kısmına (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
5. Radyasyon gülü (RadiationRose) analiz aracında bulunan yapılı çevrenin tanımlandığı bağlam (context) kısmına, istenilen kütlelerin tanımlanması için girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır. Çalışma (runIt) kısmıyla aracın çalışması için yine girdi (cluster input) bileşeni ile algoritmik bağ kurulmaktadır.

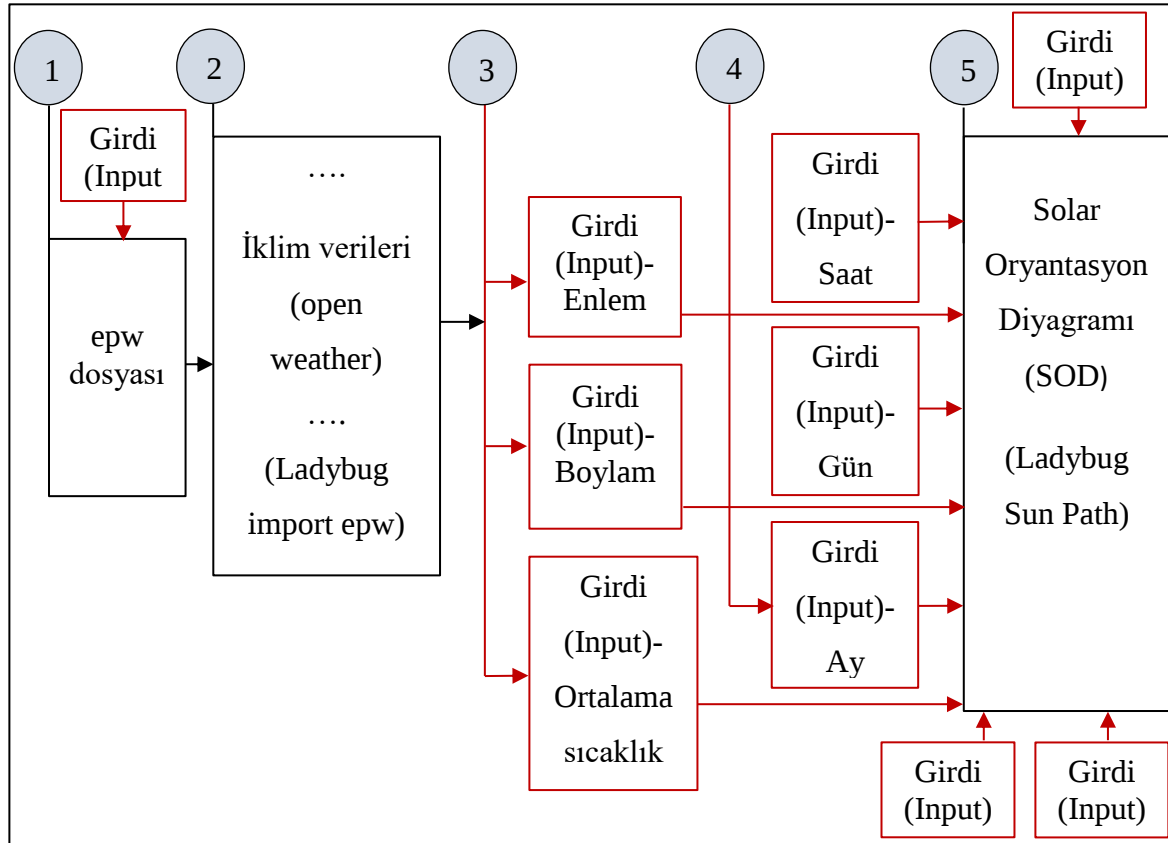
Bu işlemler sonucunda tüm algoritma seçilerek sıkıştırma (cluster) işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece, tasarımcıların tüm bu algoritmik bağlantıları kullanmaya gerek kalmadan tek bir bileşenle aynı analizi gerçekleştirmeleri sağlanmıştır. Şekil 3.11’de GIA için SKY aracının girdileri görülmektedir. Ek-2’de GIA-Ç SKY aracı ve bağlantıları bulunmaktadır.



Şekil 3.11. GIA-Ç SKY girdileri

▪ *Solar Oryantasyon Diyagramı (SOD) Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) aracı oluşumu*

SOD, hem GKY hem de GIY için kullanılan bir algoritmadır. Bu yüzden, her iki yöntem için gerekli olan kriterleri gözeterek girdi ve çıktı oluşumuna gidilmiştir. Şekil 3.12’de SOD algoritmasının sıkıştırılması için yapılan girdi ve çıktı bileşenleri belirtilmiştir.



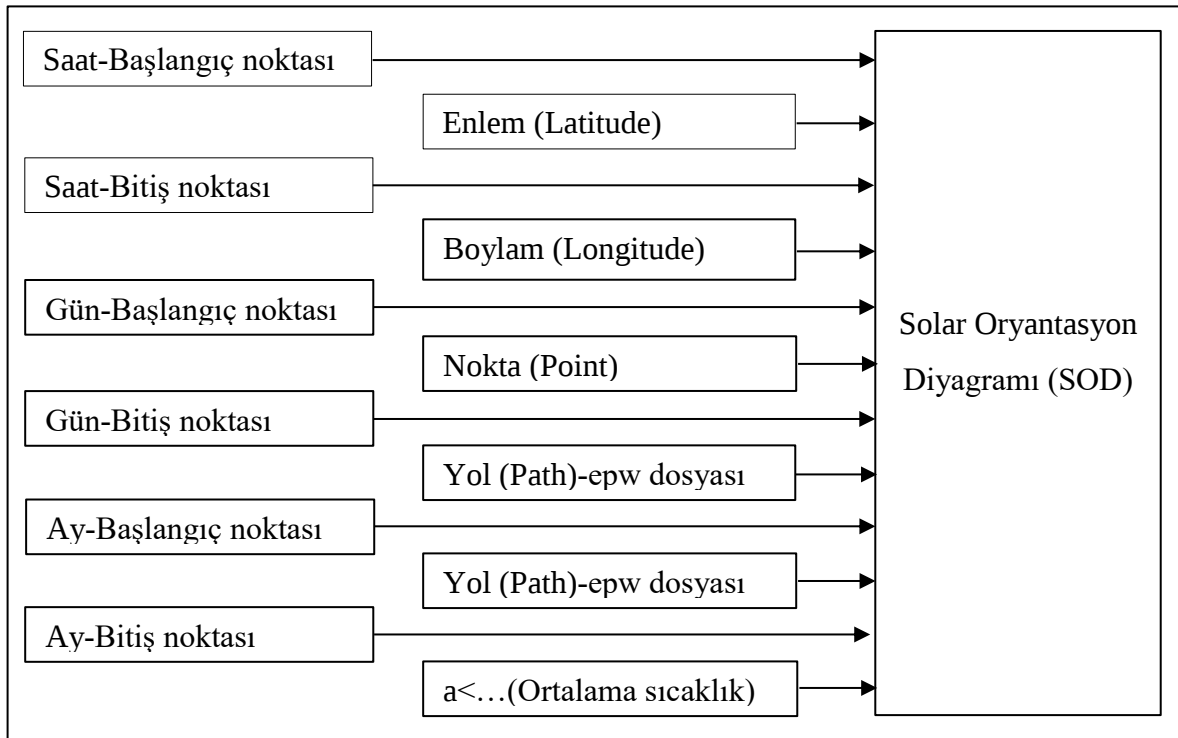
Şekil 3.12. SOD için SKY bağlantıları

1. Path (weather file) bileşenine istenilen bölgenin hava durumu verilerini girmek üzere girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
2. İklim verilerinin oluşturulmasında kullanılan Ladybug\_import epw kod yazılım bileşenindeki bağlantılar değiştirilmemektedir.
3. Enlem, boylam ve ortalama sıcaklık bilgileri Ladybug Sun Path bileşenine, istenilen bölgenin verilerini girmek için girdi (cluster input) bileşeni olarak bağlanmaktadır.
4. Saat, gün ve ay bilgileri Ladybug Sun Path bileşenine istenilen bölgenin verilerini girmek üzere girdi (cluster input) bileşeni olarak bağlanmaktadır.
5. Diyagramın büyüklüğü (SunPathScale), iklim durumuna müdahale (conditionalStatament) ve tasarım alanının merkezi (centerPoint) kısımlarına girdi

(cluster input) bileşeni bağlanarak gerek görüldüğünde bu girdilerin kullanılması sağlanmıştır.

Yapılan girdi ve çıktı bileşenlerinin bağlanmasından sonra tüm algoritma seçilerek sıkıştırma (cluster) işlemi yapılmıştır. Böylece, tasarımcıların yoğun uğraşlar sonucu tasarım sürecinde yaptıkları algoritmaları tek bir bileşen halinde kullanımına sunarak, tasarım süreci önemli derecede hızlandırılmıştır.

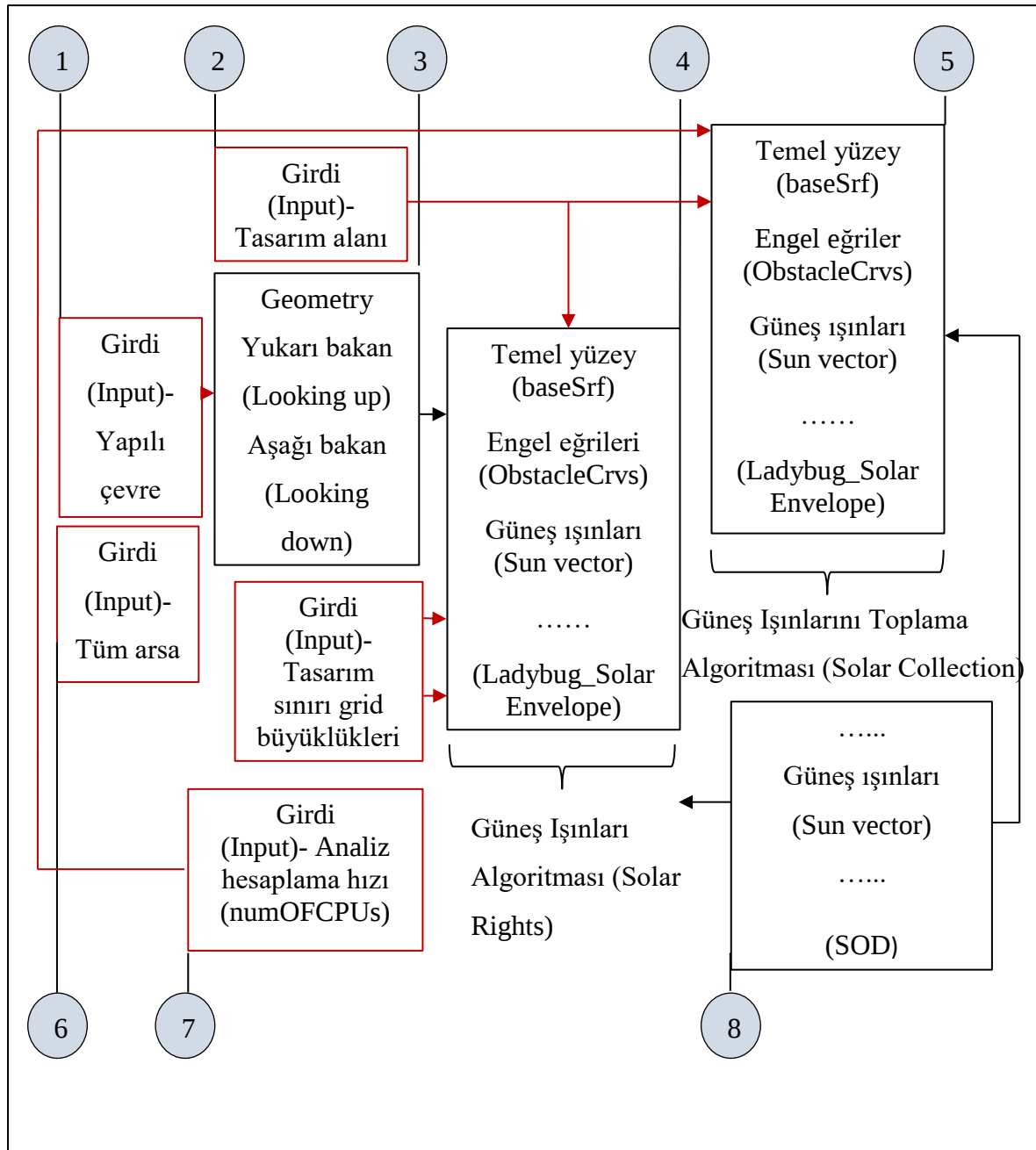
Bununla birlikte, güneş ışınları (sun vectors), güneşin katı modeli (SunSpheresMesh), gelen güneş ışınlarının merkez noktaları (SunPathCrvs), analiz yazıları (Legend), gelen güneş ışınları merkez noktaları (SunPathCenPts) ve güneşin pozisyonları (SunPositions) gibi çıktılara çıktı (cluster output) bağlanarak SKY aracı diğer adımların kullanımına açılmıştır. Şekil 3.13'de SOD için SKY aracı girdileri gösterilmiştir. Ek-2'de SOD-SKY aracı ve bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.13. SOD - SKY girdileri

■ *Güneş Kabuğu Yöntemi (GKY), Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) aracı oluşumu*

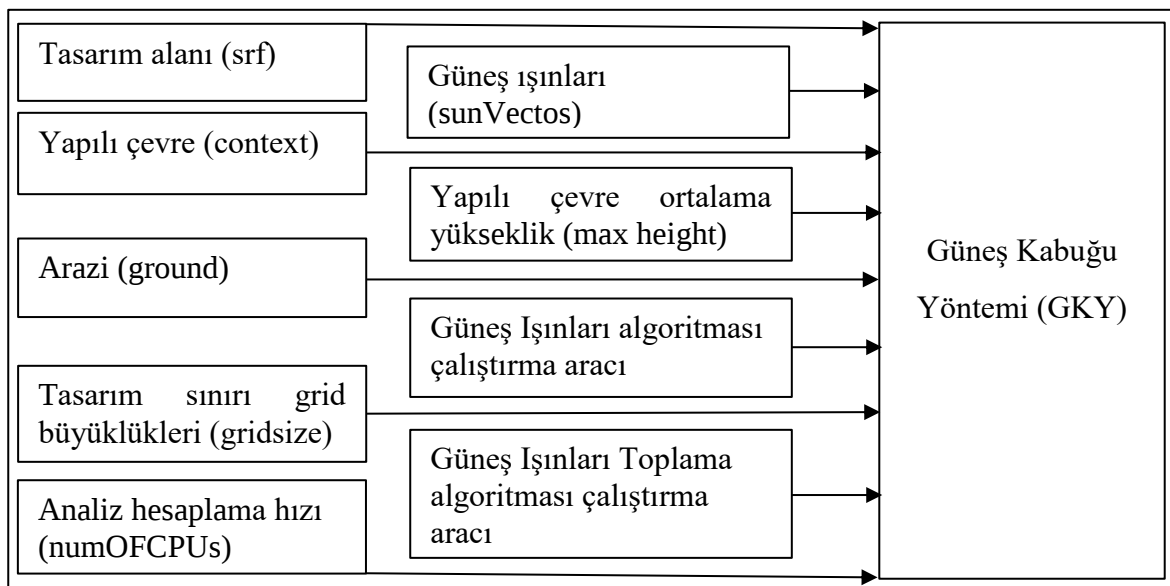
GKY algoritmasındaki girdilerin ne olduğu Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Alt algoritmalar olan Güneş Işınları Algoritması ve Güneş Işınlarnı Toplama Algoritması parametrik kod yazılımları olduğu için bağlantıları değiştirilmeden sıkıştırma sürecine girmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. GKY için SKY bağlantıları

1. Tasarım alanı etrafındaki yapılı çevre coğrafik bağlam (context geo) bileşeni yerine istenilen yapılı çevre seçimini gerçekleştirmek için girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
2. Tasarım alanı, yüzey (srf) aracı yerine istenilen tasarım alanı seçimini gerçekleştirmek için girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
3. Honeybee, seperate by normal kod yazılım bileşenindeki bağlantılar değiştirilmeden sürece dahil edilmektedir.
4. Güneş Işınları algoritmasındaki (Solar Rights) bağlantılar değiştirilmemektedir.
5. Güneş Işınları Toplama algoritmasındaki (Solar Collection), bağlantılar değiştirilmeden sürece dahil edilmektedir.
6. Tasarım ve yapılı çevrenin bulunduğu tüm arazi zemin (ground) aracı yerine istenilen arazi seçimini gerçekleştirmek için girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
7. Tasarım sınırı grid büyüklükleri (gridsize) ve analiz hesaplama hızı (numOFCPU's) verileri yerine istenilen değerleri vermek için girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
8. 2. Adımda bulunan SOD SKY aracındaki güneş ışınları çıktısı için Güneş Işınları ve Toplama algoritmalarına iki adet girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.

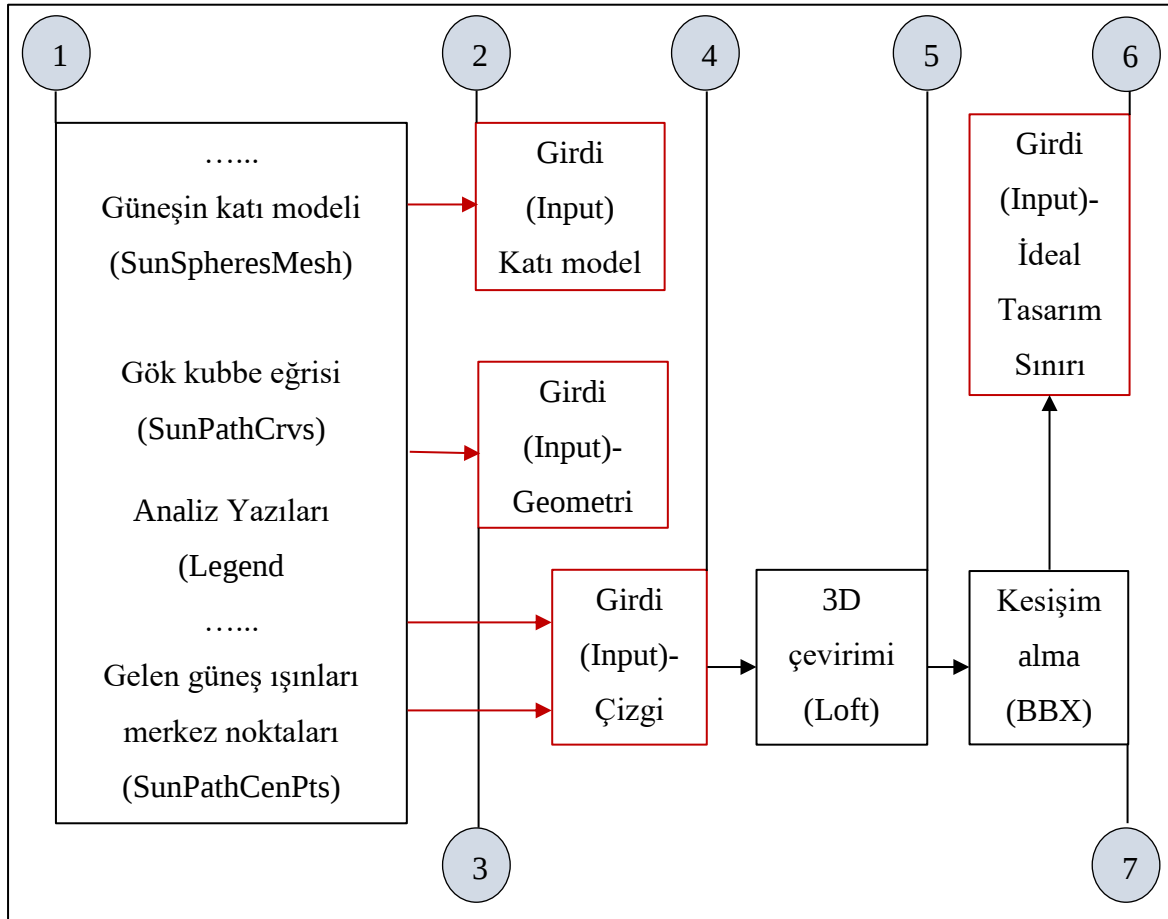
Tüm bu girdi ve çıktı bileşenleri bağlandıktan sonra tüm algoritmalar seçilerek sıkıştırma (cluster) sürecine geçilmiştir. Şekil 3.15'de bir GKY algoritması için SKY aracı gösterilmiştir. Ek-2'de GKY - SKY aracı bağlantıları verilmiştir.



Şekil 3.15. GKY - SKY girdileri

▪ *Güneş Işınları Yöntemi (GIY) Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) aracı oluşumu*

Optimum sonuca ulaşılan bu aşamada sıkıştırma işlemi yapılırken diğer yöntemler için hazırlanan SKY araçlarını kullanmak mümkündür. GIY algoritmasında oluşturulan girdi ve çıktılar Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

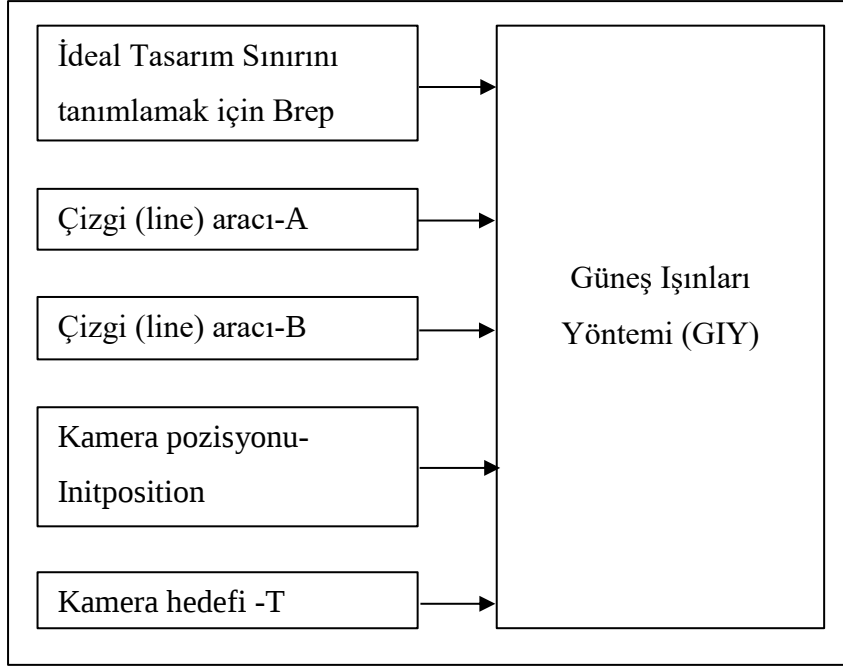


Şekil 3.16. GIY için SKY aracı bağlantıları

1. 2. Adımda oluşturulan SOD algoritması (SunPath) için önceden geliştirilen SKY aracı ve bu aracın çıktı (output) kısmı oluşturulmuştur.
2. Katı model (mesh) bileşeni yerine girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
3. Geometri (Geo) bileşeni yerine girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.
4. Çizgi (line) bileşeni ile gelen güneş ışınlarını çizgi haline getirmek için line aracının A ve B noktalarına çıktı (cluster ioutput) bileşeni bağlanmaktadır.
5. 3D'e çevirme (Loft) bileşeni bağlantıları aynı şekilde sürece dahil edilmektedir.
6. 3. Adımda oluşan ideal tasarım sınırını tanımlamak için girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır.

7. Kesişim alma (BBX) bileşeni 3 boyut haline getirilen toplam güneş ışınları ile ideal tasarım sınırı arasındaki kesişim kütlesi bağlantıları aynı şekilde değerlendirilmektedir.

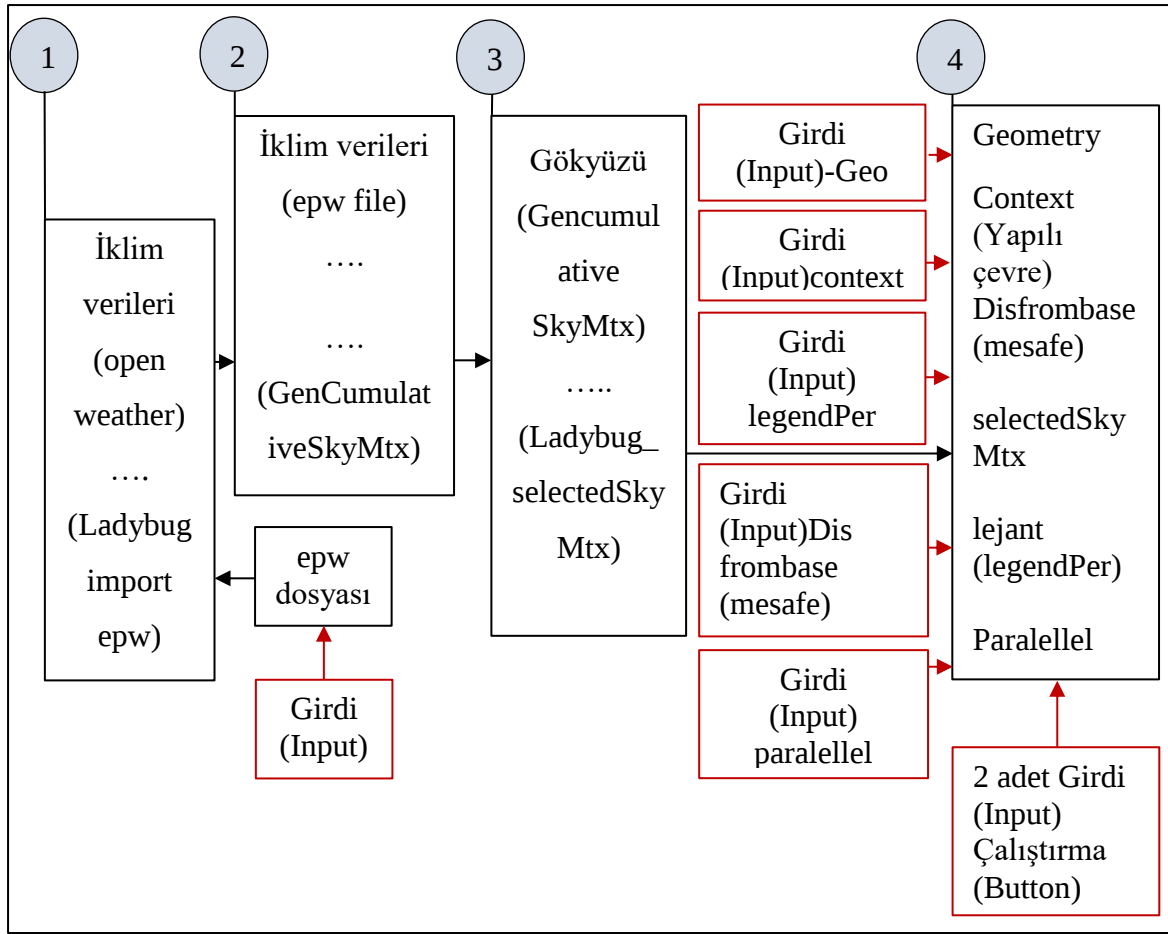
Tüm algoritmaları seçip sıkıştırma (cluster) işlemi yapıldıktan sonra ulaşılan SKY aracının girdileri Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Ek-2’de GIY-SKY aracı bağlantıları bulunmaktadır.



Şekil 3.17. GIY için SKY aracı bağlantıları

▪ *Güneş Işınım Analizi - Tasarım (GIA-T) Sıkıştırılmış Kısa Yol (SKY) aracı oluşumu*

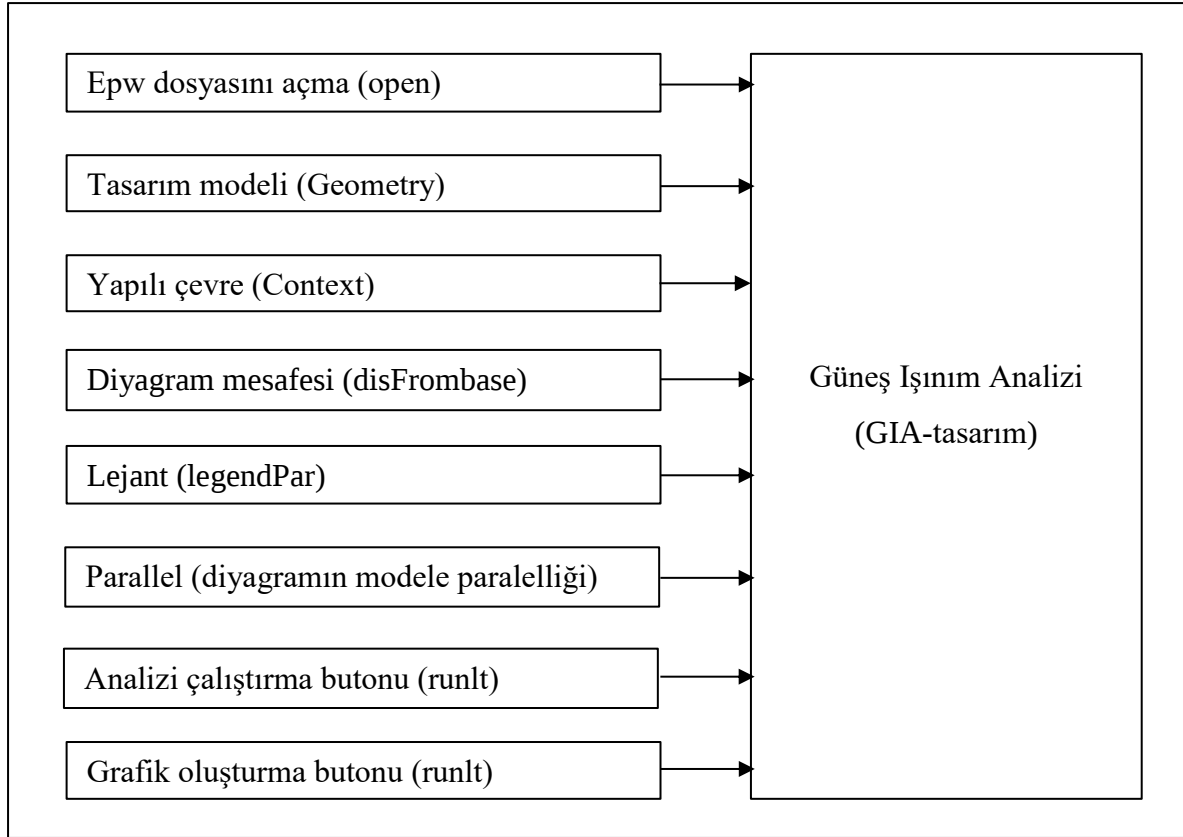
GIA-T tasarım yönteminin son adımını oluşturmaktadır. GIY sonucunda ulaşılan kılavuz tasarım sınırının optimum olup olmadığını test etmekte bu araçtan yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kılavuz tasarım sınırı göz önünde bulundurularak yapılan tasarımların güneş ışınlam miktarını ölçmek için de bu araçtan yararlanılmaktadır. Bu yüzden, GIA-T algoritmasında oluşturulan girdi ve çıktılar, aracın her iki durumda kullanılabileceği düşünülerek eklenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. GIA-T için SKY bağlantıları

1. İklim verilerinin oluşturulmasında kullanılan Ladybug\_open weather file bileşenine, epw formatındaki dosya, Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınarak, girdi (cluster input) bileşeni aracılığı ile bağlanmaktadır.
2. Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx kod yazılım bileşeni bağlantıları aynı şekilde değerlendirilmektedir.
3. Ladybug\_selectedSkyMtx ve Ladybug\_GenCumulativeSkyMtx bileşenlerinin bağlantıları aynı şekilde sürece dahil edilmektedir.
4. Ladybug\_RadiationAnalysis kod yazılımına, analizi yapılacak model geo bileşeni ve yapılı çevre brep bileşeni yerine girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır. Bununla birlikte, grafikte ilgili istenilen ayarların yapılması için Disfrombase, paralel ve legendPer bileşenlerine girdi (cluster input) bileşeni bağlanmaktadır. Daha sonra analizin çalıştırılması için boolean toggle çalıştırma butonu yerine girdi (cluster input) bileşeni ile algoritmik bağlantı kurulmaktadır.

Tüm algoritmaları seçip sıkıştırma (cluster) işlemi yapıldıktan sonra ulaşılan tek bir aracın girdileri Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Ek-2’de GIA-T SKY aracı bağlantıları gösterilmektedir.



Şekil 3.19. GIA-T SKY aracı girdileri

Hazırlanmış olan SKY araçlarının kullanımı ile tasarım sürecine getirmiş olduğu katkıları test edebilmek amacıyla bir sonraki bölümde mevcut bir bina üzerinden uygulaması yapılmıştır.

#### 4. TASARIM SÜRECİNDE SKY ARACI KULLANIMININ ÖRNEK ÇALIŞMA ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

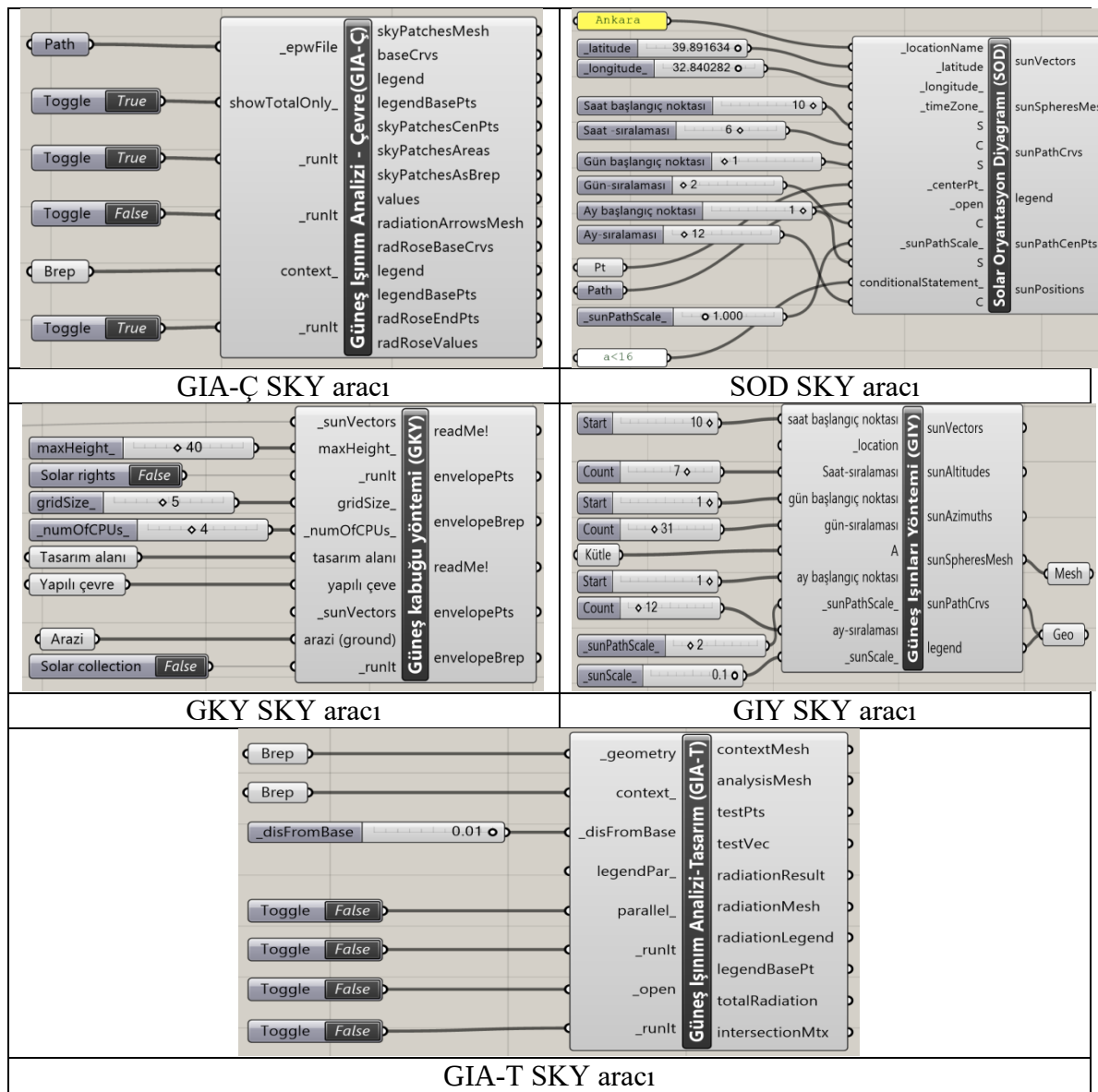
Bu tez kapsamında alan çalışması olarak, 4. Bölümde geliştirilerek önerilen SKY aracının uygulayabilirliğini test etmek için konut binaları içerisinde en çok tercih edilen türlerden biri olan apartman binası uygun görülmüştür. Bununla birlikte, SKY araçlarının kullanımının doğruluğunu en iyi şekilde saptamak için mümkün olan en kötü senaryonun oluşması gerekmektedir. Bu senaryoyu oluşturan kriterler; binanın, üzerine maksimum derecede gölge düşürecek yüksek bir yapıyla çevre içerisinde bulunması ve enerji yönünden çok zayıf durumda bulunmasıdır. Bu kriterler ışığında Ankara Büyükşehir Belediyesi'nden elde edilen beş adet konut binası örneği üzerinden, Ankara'nın Çankaya ilçesine bağlı Harbiye semtinde bulunan ve 1980'li yıllarında yapımı tamamlanmış olan bir konut binası tüm kriterleri en iyi şekilde sağladığı için alan çalışması için uygun görülmüştür. Seçilen bina 5 katlı olup, yapıyla çevrede 17 katlı binalar bulunmaktadır. Bununla birlikte yapım yılı eski tarihli olduğu için kullanılan malzemelerden dolayı da enerji etkinliği açısından sıkıntılı bir durumda olduğu düşünülmüştür.

Mevcut konut binasının simetrik bir plana sahip olması ve simülasyon zamanının azaltılabilmesi için konut binasında sadece bir dairenin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu seçim için yıl içerisinde en az güneş ışıınının gerçekleştiği ve tüm daireler içerisinde enerji etkinliğinin en düşük olduğu, 17 katlı bloğun hemen yanında güneybatı yönünde konumlandırılan üçüncü kattaki daire uygun görülmüştür.

Bölümde, çalışma yapılacak alan ile ilgili genel bilgiler verilip, konutun mevcut durumunun yapı kabuğu analizi ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma odaklı elektrik kullanım oranı analizleri bu daire üzerinden gerçekleştirilmiştir. Seçilen dairenin yapı kabuğu verileri, tasarım alanının lokasyonu, iklimi, topoğrafyası ve yapıyla çevre gibi değişkenlere bağlı olarak Rhinoceros programında modellenmiş ve Grasshopper eklenti programının ara yüzüne tanımlanmıştır. Grasshopper eklenti programında çalışan Ladybug yazılımı ile geliştirilen SKY araçları kullanılarak, konut binasının bulunduğu çevre ortamına ve tasarıma uygulanmak üzere GIA ve SOD yapılmıştır. ArchSim eklenti programı ile de ısıtma, soğutma ve aydınlatma odaklı elektrik enerjisi kullanma miktarları analiz edilmiştir. Enerji performansını değerlendirmek için Ladybug ve ArchSim programları üzerinden OpenStudio ve EnergyPlus simülasyon motorlarından yararlanılmıştır.

Mevcut konut binasının bulunduğu parselde, aynı çevre koşulları ve iklim şartları göz önünde bulundurularak bir tasarım önerilmiştir. Mevcut programların adım adım kullanımı ile uzun zaman ve emekler sonucu gerçekleştirilebilecek süreç için tez kapsamında SKY araçları geliştirilmiş ve enerji odaklı tasarıma en kısa ve kolay şekilde ulaşılmıştır. Kullanılan yöntemin adımları, Grasshopper eklenti programında, Ladybug yazılımında GIA (çevre ve tasarım için), SOD, GKY ve GIY SKY araçları olmak üzere toplamda 5 bileşenle gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1).

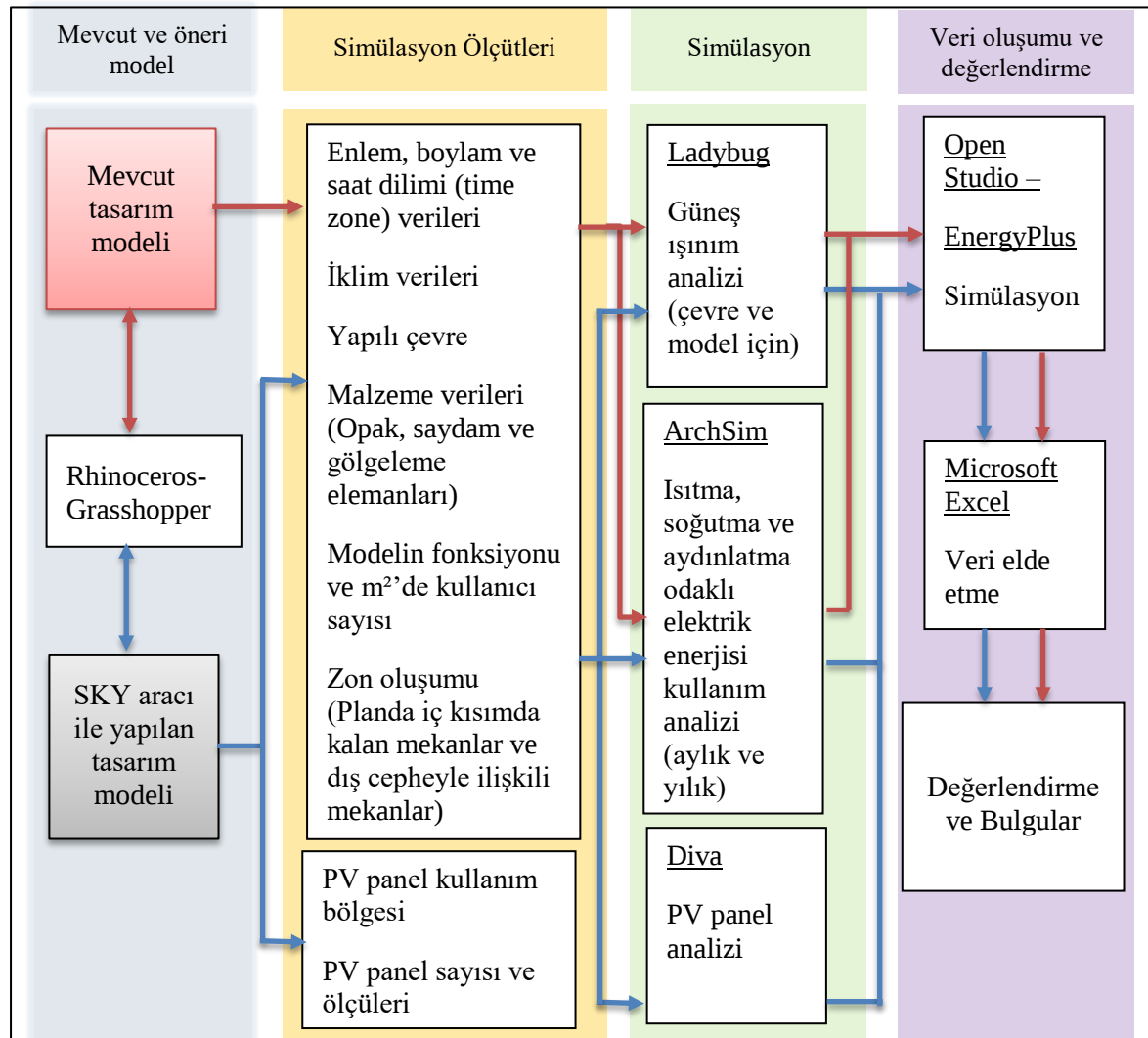
Çizelge 4.1. Yöntem için geliştirilen SKY araçları



SKY araçları aracılığı ile yöntem kapsamında ulaşılan kılavuz tasarım sınırı içerisinde kalmak koşuluyla yüksek performansa sahip alternatif parametrik yapı kabuğu tasarımı

geliştirilmiştir. Bu tasarımın optimum enerjide olup olmadığını öğrenmek için GIA (tasarım) SKY aracı kullanılmış ve enerjide optimum sonuca ulaşıldığı ispat edilmiştir. Öneri parametrik yapı kabuklarından bir model seçilerek, detaylı bir şekilde geliştirilip analiz edilmiştir. Seçilen parametrik yapı kabuğunun, güneş ışıınım miktarını tespit etmek için Ladybug yazılımında SKY aracı ile GIA (tasarım) gerçekleştirilmiştir. ArchSim eklenti programı ile ısıtma, soğutma ve aydınlatma odaklı elektrik enerjisi kullanma miktarları analiz edilirken, Diva eklenti programı ile de tasarımda kullanılan PV panellerin ışıınım miktarları saptanmıştır. Öneri model için SKY aracının tasarım sürecinde kullanımına yönelik oluşturulan strateji (mavi ok) ve mevcut modelin simülasyonuna yönelik oluşturulan strateji (kırmızı ok) Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. SKY aracının tasarım sürecinde kullanımına yönelik oluşturulan strateji



#### 4.1. Genel Bilgiler

Ankara ilinin Çankaya ilçesine bağlı Harbiye semtinde yer alan konut binası, uygulanacak olan SKY tasarım aracı parametrelerini belirlemek üzere Rhinoceros programı aracılığıyla çevresi ile birlikte modellenmiş ve iklim analizleri için Grasshopper yazılımı üzerinde tanımlı hale getirilmiştir. Bu analizler için gerekli olan tasarım alanının lokasyonu ve imar durumu, iklimi, topoğrafyası ve konut binası ile binayı kuşatan yapılı çevresine dair ilgili veriler aşağıda belirtilmiştir:

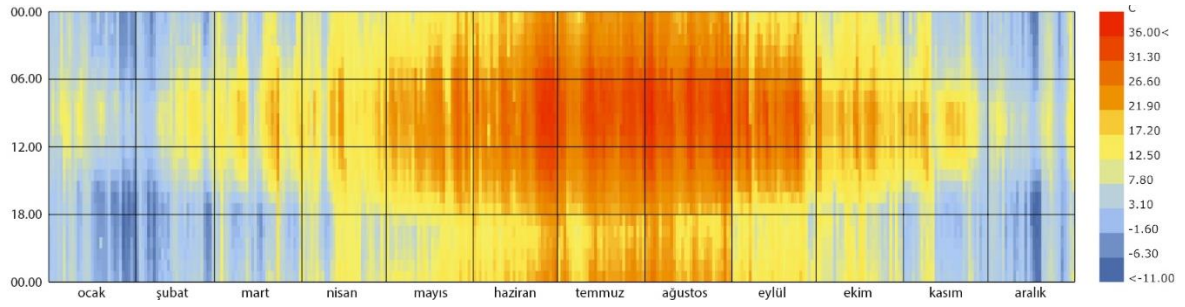
- Tasarım alanının lokasyonu ve imar durumu:

Tasarım alanı Ankara'nın Çankaya ilçesinde, Harbiye semtinde, 39, 891634 enlem ve 32, 840282 boylamda yer almaktadır. 914,3m<sup>2</sup> alanı olan ve dikdörtgen biçiminde bir parselde bulunan konut binasının imar yoğunluğu imar yönetmeliğindeki 29. Madde'ye tabi tutulmuştur. Bu maddeye göre, imar planlarında ölçü ve emsal belirtilmemiş parsellerin Taban Alanı Kat Sayısı (TAKS) %40 olarak belirlenmiştir. Yönetmeliğe göre, 914,3 m<sup>2</sup> olan arsanın %40 TAKS oranıyla 548,8 m<sup>2</sup> taban alanına sahip bir tasarıma izin verilmektedir. Mevcut konut binası, 512,2 m<sup>2</sup> bir tasarıma sahiptir. Ayrıca, çekme mesafeleri, ön bahçeden 5 metre, yan bahçelerden 3'er metre ve arka bahçeden h/2 metre kadar olmaktadır. Kat Alanı Kat Sayısı (KAKS) verilmediği için bölgede çekme mesafelerini de dikkate alarak açık ya da kapalı çıkma yapılabilir.

- Tasarım alanının iklimi:

Grasshopper yazılımı üzerinde tanımlanan yapının tasarım alanının, Ladybug eklentisi aracılığıyla iklimsel analizi yapılmıştır. Ankara kentinin hava durumu verileri epw uzantılı dosya şeklinde US Department of Energy sitesinden elde edilmiş ve yazılıma yüklenmiştir. Bu veriler ışığında, Ankara kentindeki yıllık ortalama sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.1'deki grafiğe göre, Ankara'da yaz mevsiminde yaşanan ortalama sıcaklık 31.3 °C – 36 °C arasında değişirken, kış mevsiminde yaşanan ortalama sıcaklık değerleri ise -1,6 °C – 12,50 °C arasındadır.

Kentte yaşanan en yüksek sıcaklık 40,8 °C iken, en düşük sıcaklık -24,9 °C olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık ise 11,7 °C'dir [155].



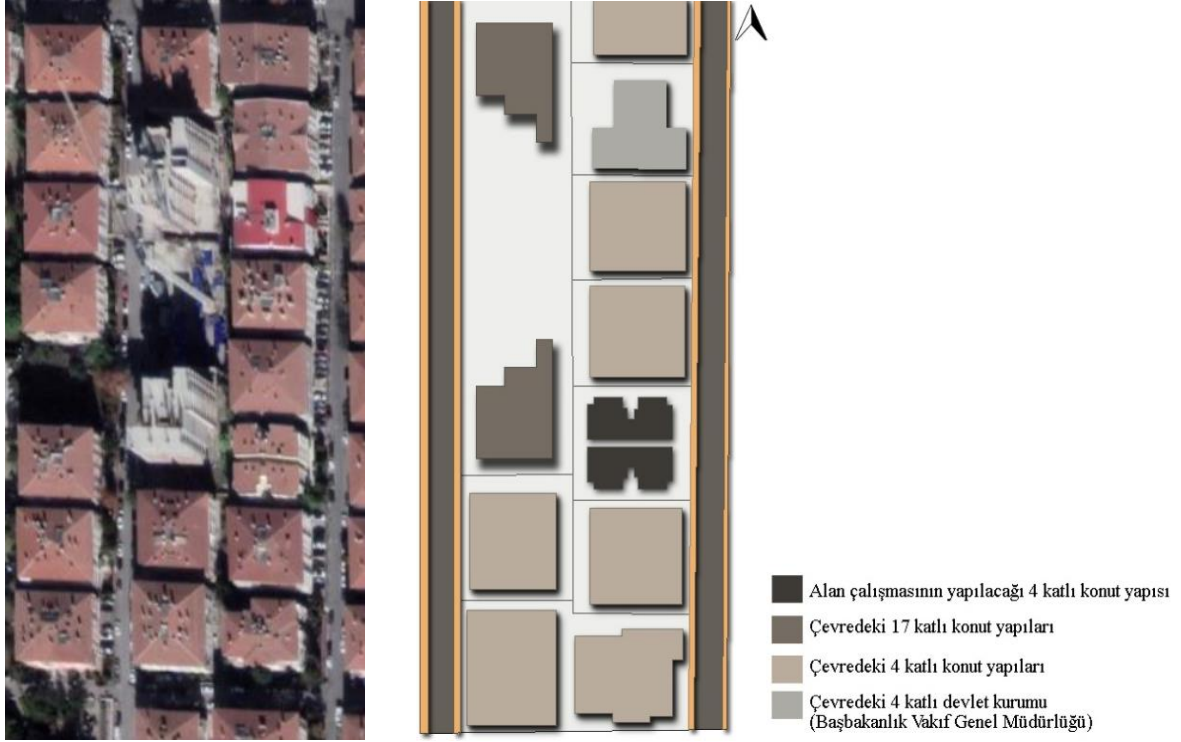
Şekil 4.1. Ankara kentinin ortalama yıllık sıcaklık değerleri

- Tasarım alanının topoğrafyası:

Mevcut konut binasının bulunduğu parselin, plankote verileri incelendiğinde arazinin göz önünde bulundurulmayacak kadar az eğimde olduğu görülmüştür [156].

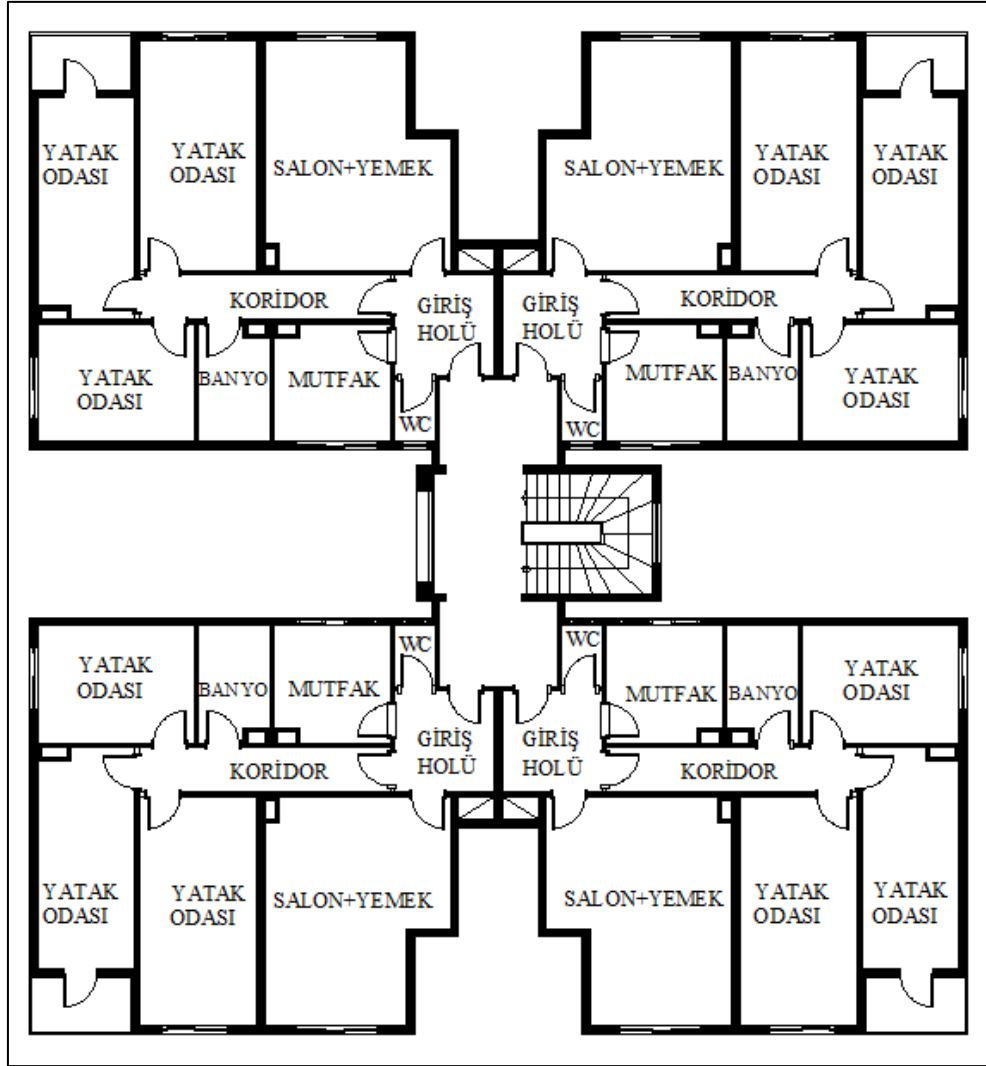
- Konut yapısı ve yapıli çevre:

Seçilen konut yapısının, yakın çevresine bakıldığında 4 katlı başka konut yapıları ve bir adet yine 4 katlı olan devlet kurumu yapısı ile çevrelendiği gözükmemektedir. Öte yandan, analizi yapılacak konut yapısının hemen arka parselinde 17 katlı bir konut bloğu bulunmaktadır (Harita4.1).



Harita 4.1. Tasarım alanının bulunduğu yapı çevre vaziyet planı

Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi, seçilen konut yapısı, 4 kattan oluşmakta, her bir katta birbirinin simetriği olan dörder daire bulunmaktadır. Yapı, bulunduğu arsanın kısıtlı verilerinden dolayı hem Kuzey-Güney hem de Doğu-Batı doğrultularında kare formunda biçimlenmiştir. Konut yapısının her bir dairesinde, mutfak, salon, üç adet yatak odası, giriş holü, koridor ve iki adet ıslak hacim (WC ve banyo) bulunmaktadır.



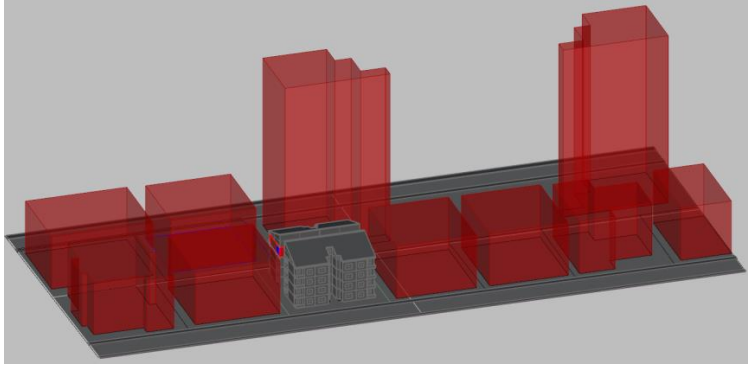
Şekil 4.2. Seçilen konut yapısı normal kat planı

#### 4.2. SKY Aracının Kullanım Adımları ve Mevcut Binanın Analizleri

Öneri yöntemdeki SKY aracını kullanmak için ilk etapta Ladybug eklenti programı aracılığıyla tasarım alanının ışınlam analizi yapılmıştır.

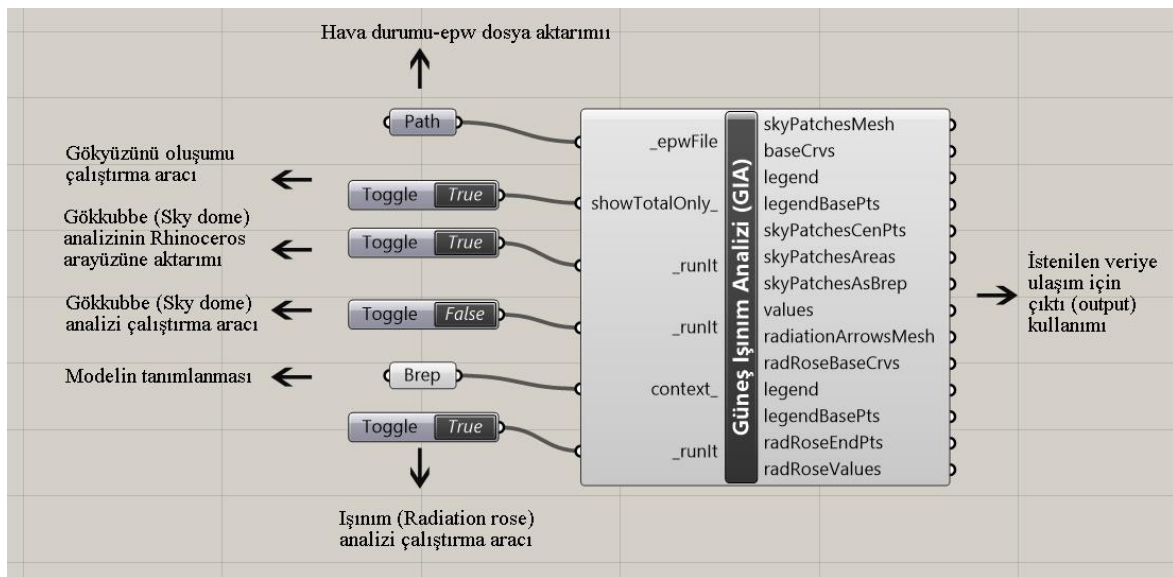
##### Tasarım alanının güneş ışınlam analizi (A1:GIA-Ç)

Ankara ilinin Harbiye semtinde yer alan konut binası üzerinde uygulanacak olan SKY aracı için ilk etapta, alan çevresiyle birlikte Rhinoceros programı aracılığıyla modellenmiş ve Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere Grasshopper yazılımı üzerinde ışınlam analizi için tanımlı hale getirilmiştir.



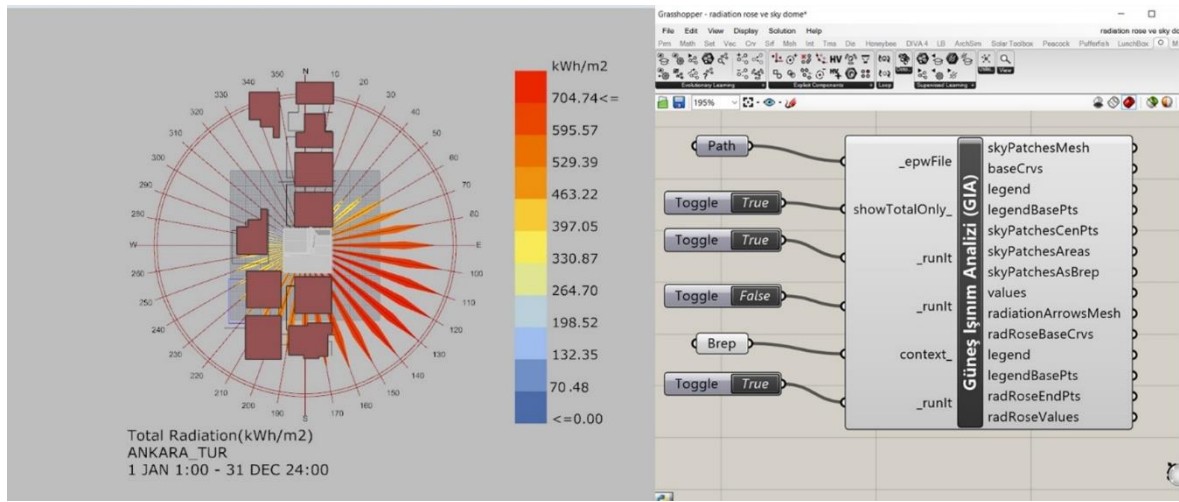
Şekil 4.3. Grasshopper yazılımı üzerinde tanımlanan konut yapısı ve çevresi

Mevcut konut binasının Grasshopper programında tanımlı hale gelmesiyle birlikte, Ladybug eklentisi ile Radyasyon gülü (radiation rose) ve gök kubbe (sky dome) analizleri yapılmıştır. Bu analizler için, Bölüm 4’de anlatılan kod bağlantıları yerine, geliştirilen bir adet SKY aracı kullanılmıştır. Aracın Path girdisine alan çalışmasının bulunduğu lokasyon olarak Ankara’nın hava durumu dosyası (epw formatı), Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmıştır. Daha sonra Brep girdisine modellenen mevcut konut binası tanımlanmıştır. Boolean Toggle girdilerini Doğru (True) haline getirerek istenilen tüm güneş ışınım analizlerinin hesaplanması sağlanmıştır (Şekil 4.4).



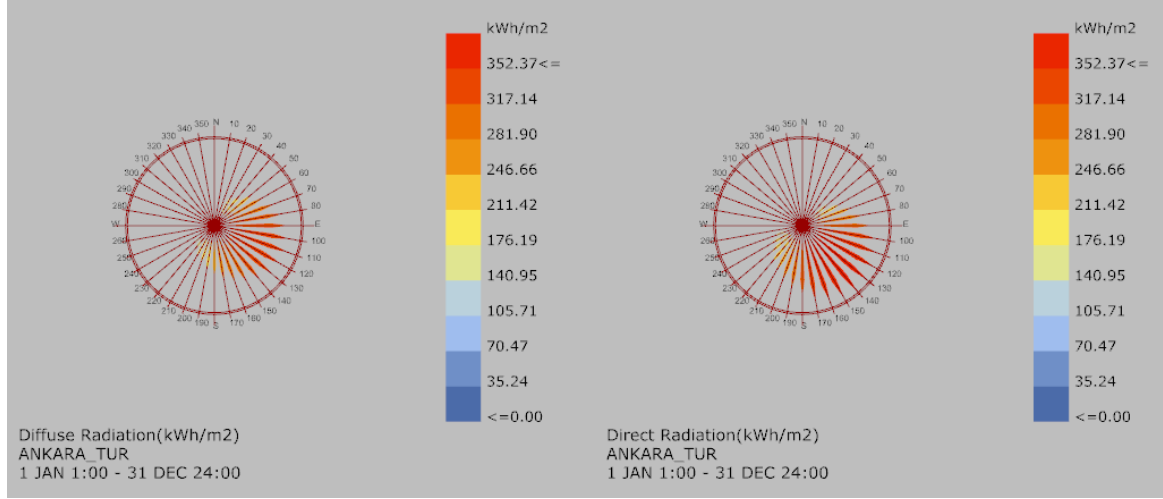
Şekil 4.4. GIA için SKY aracı kullanımı

Konut binası uygulamasında, imar yönetmeliği göz önünde bulundurularak arsanın maksimum oranı kullanılmıştır. Konutun batısında, bir adet 17 katlı yüksek bir blok bulunmaktadır. Şekil 4.5'deki SKY aracı ile oluşan güneş ışıınım analizinde, bu bloğun konuta gelen batı güneşini engellemekte olduğu ve sadece güneybatı yönünden (bu iki kütlenin arasında kalan bölgeden) az miktarda batı güneşinin geldiği görülmektedir. Konut yapısının kuzeydoğusundan güneyine doğru artan bir güneşlenme oranı bulunmaktadır. Maksimum güneşlenme oranı güneydoğu yönünde olup, konut yapısının kuzeyinde güneşlenme minimum orandadır.



Şekil 4.5. Radyasyon gülü (Radiation rose) analizi ile yıllık güneş ışıınım miktarı

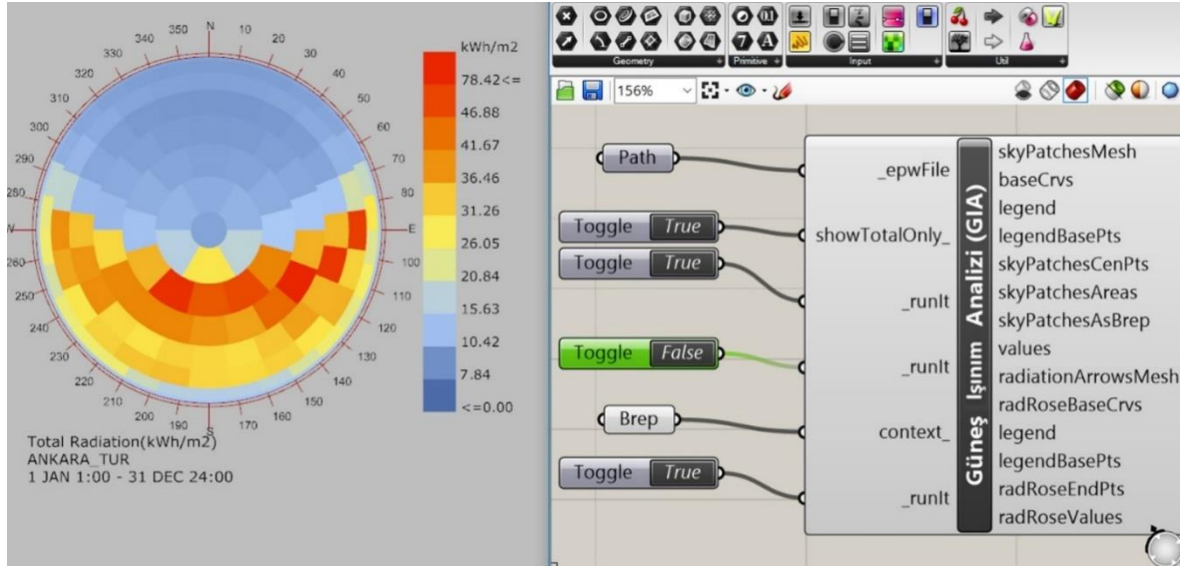
Tasarım alanı yıl boyunca, 352,37 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan ve aynı oranda doğrudan ışıınımla birlikte toplamda en fazla 704,74 kWh/m<sup>2</sup> ışıınıma maruz kalmaktadır. Minimum ışıınım miktarının ise yıl boyunca 35,24 kWh/m<sup>2</sup> yayılan ve doğrudan olmak üzere toplamda 70,48 kWh/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Radyasyon gülü (Radiation rose) analizi ile yayılan ve doğrudan olan güneş ışınlam oranları

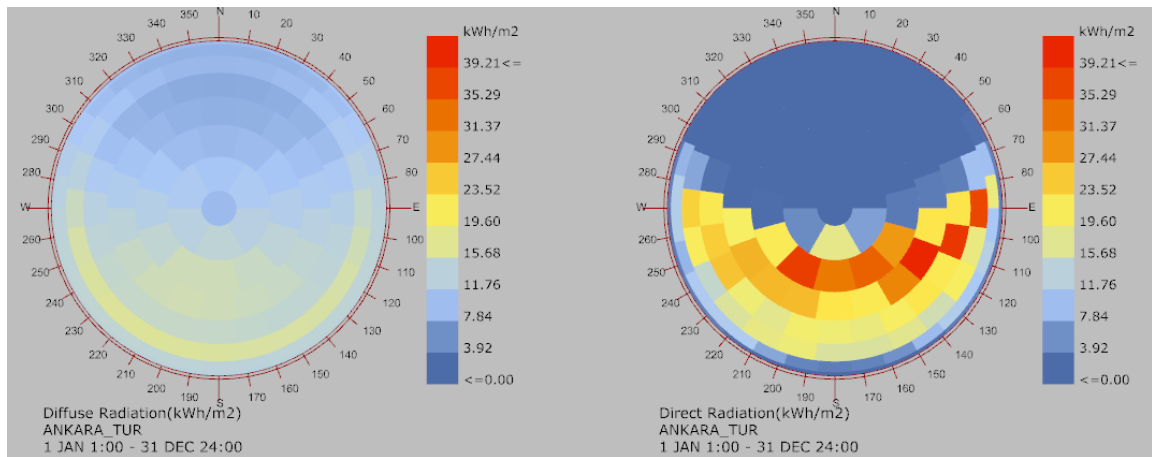
Bu analiz sonucunda, mevcut konut binasının yıl boyunca kuzey, güney ve batı cephelerindeki güneşlenme miktarının minimum olduğu görülmüştür. Sadece, doğu ve güney doğu cephesindeki güneşlenme oranı yüksek seviyededir.

Gök kubbe analizini gerçekleştirmek üzere, SKY aracındaki ilgili Boolean Toggle girdisini Doğru olarak çalıştırmakla beraber, Rhinoceros arayüzünde Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de görüldüğü gibi gök kubbe analizleri belirmiştir. Bu analizlerde de radyasyon gülü analizindeki sonuçlarda olduğu gibi konut binasının güneydoğu cephesinde güneş ışınlam miktarının maksimum olduğu ve binanın kuzeyinde bu oranın en düşük seviyeye indiği görülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Gök kubbe (Sky dome) analizi ile yıl boyunca toplam güneş ışınlm miktarı

Alan çalışmasının olduğu lokasyonda yıl boyunca, 39,21 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan ışınlm ve aynı oranda doğrudan ışınlmla birlikte toplamda en fazla 78,42 kWh/m<sup>2</sup> ışınlma maruz kalmaktadır. Minimum ışınlm miktarı ise 3,92 kWh/m<sup>2</sup> yayılan ve doğrudan olmak üzere toplamda 7,84 kWh/m<sup>2</sup> bulunmuştur (Şekil 4.7, Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Gök kubbe (Sky dome) analizi ile yayılan ve doğrudan güneş ışınlm miktarları

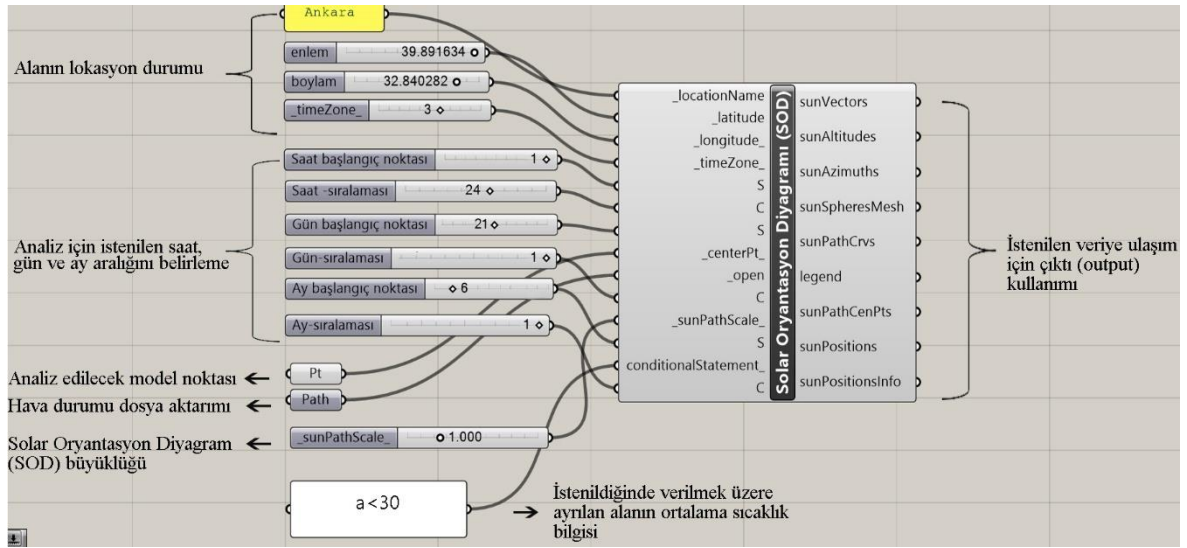
Mevcut konut binasının simetrik bir plan şemasına sahip olmasından dolayı, binanın her cephesinde kullanılan saydam ve opak yüzeyler eşittir. 7,87 kWh/m<sup>2</sup> minimum toplam güneş ışınlm miktarına sahip olan kuzey cephesinde ve 78,42 kWh/m<sup>2</sup> maksimum toplam güneş ışınlm miktarı olan güney cephesinde bulunan pencere açıklık boyutları ve sayıları aynıdır. Bu durum, kuzey yönünde ısı kayıplarına, güney yönünde ise aşırı ısı kazançlarına neden olmaktadır. Dolayısıyla, binanın opak ve saydam yüzeyleri iklimsel koşulların zararlı

etkilerini koruyamamakta ve yararlı etkilerini maksimize edememektedir. Bu gerekçelerle mevcut konut binasında bulunan saydam ve opak yüzeylerin bulunduğu yer ve açı bağlamında uygun olmadığı saptanmıştır.

#### Mevcut bina için solar oryantayson diyagramı (A2: SOD)

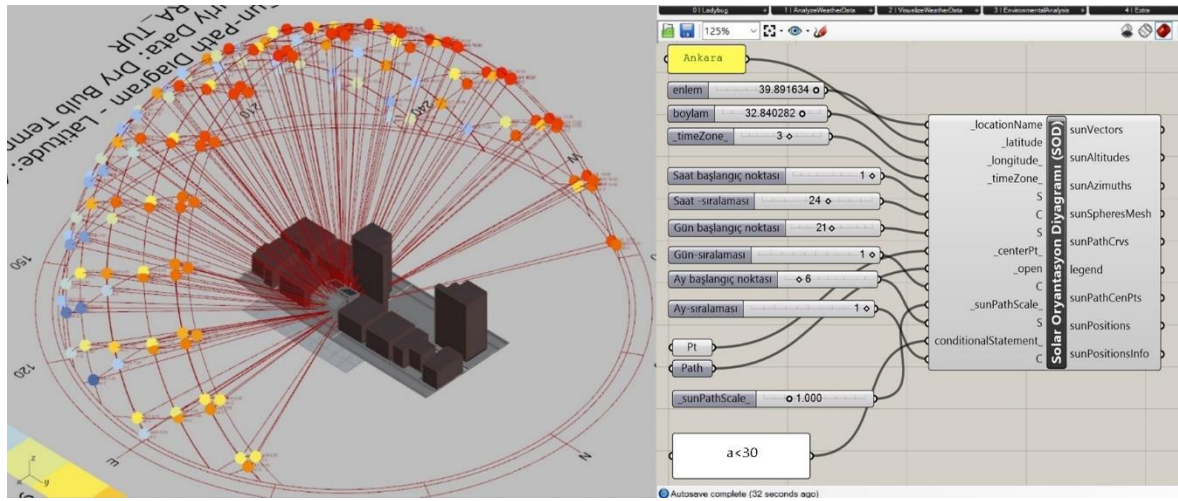
Önerilecek model ile kıyaslama yapılabilmesi amacıyla mevcut konut binasının SKY aracı ile güneş ışınlımı, ısıtma, soğutma, aydınlatma analizleri yapılmıştır. Grasshopper programında tanımlı hale gelen mevcut konut binası, Ladybug eklentisi ile SOD yapılmış, bu aşamada yine SKY bileşeninden yararlanılmıştır. Böylece, SOD oluşturmada kullanılan pek çok kod ve bağlantıları olan algoritmaların yapılmasına gerek kalmamıştır. Alan çalışmasının bulunduğu lokasyon verileri (enlem: 38, 891634, boylam: 32, 840282 ve Türkiye'nin saat dilimi: +3) SKY aracının girdi kısmında tanımlanmıştır.

Analiz için istenilen saat, gün ve ay aralığı (saat: 10:00-16:00, 21 Aralık ve 21 Haziran günü) bileşenin ilgili girdi kısmına girilmiştir. Path girdisine alan çalışmasının bulunduğu lokasyon olarak Ankara'nın hava durumu dosyası, Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmıştır. Pt girdisine, modelin merkez noktası tanımlanmış, SunPathScale girdisine SOD diyagramının büyüklüğü için modelin ölçeğine bağlı olarak istenilen oran girilmiştir. İstenildiği takdirde analiz yapılacak alanın o aydaki ortalama sıcaklık bilgisi ConditionalStatemenet girdisine tanımlanabilir. Ankara için Aralık ayındaki ortalama sıcaklık değeri 2,5 °C ve Haziran ayındaki ortalama sıcaklık değeri 20,1°C [157] olduğu düşünülürse, girdiye Aralık ayı için 5°C'den düşük ( $a < 5$ ) ve Haziran ayı için 30°C'den düşük bir oran olacağı ( $a < 30$ ) tanımlanmıştır. Şekil 4.9'da, 21 Haziran tarihindeki bir günlük SOD için SKY aracı kullanımı görülmektedir.



Şekil 4.9. SOD için SKY aracı kullanımı

SKY aracına mevcut konut binası ile ilgili gerekli olan tüm veriler girildikten sonra Rhinoceros arayüzünde SOD oluşturulmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. SKY aracı ile SOD oluşumu

#### Mevcut bina için güneş ışıınım analizleri (A5:GIA-T)

21 Haziran-21 Aralık gün dönümlerine yönelik olarak yapılan SOD analizlerine göre, SKY aracındaki güneşin yer düzlemiyle yaptığı düşey açı SunAltitudes çıktısıyla, güneş azimut açıları SunAzimuths çıktısıyla ve güneş vektörleri SunVectors çıktısıyla hesaplanmıştır. Buna göre Çizelge 4.3'de, 21 Aralık günü gün boyunca hesaplanan güneş yükseliş, güneş

azimut açıları ve güneş vektörlerinin değerleri yer alırken Çizelge 4.4’de 21 Haziran günü aynı çıktı değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. 21 Aralık günü gün boyunca hesaplanan güneş yükseliş ve güneş azimut açıları ve güneş vektörlerinin değerleri

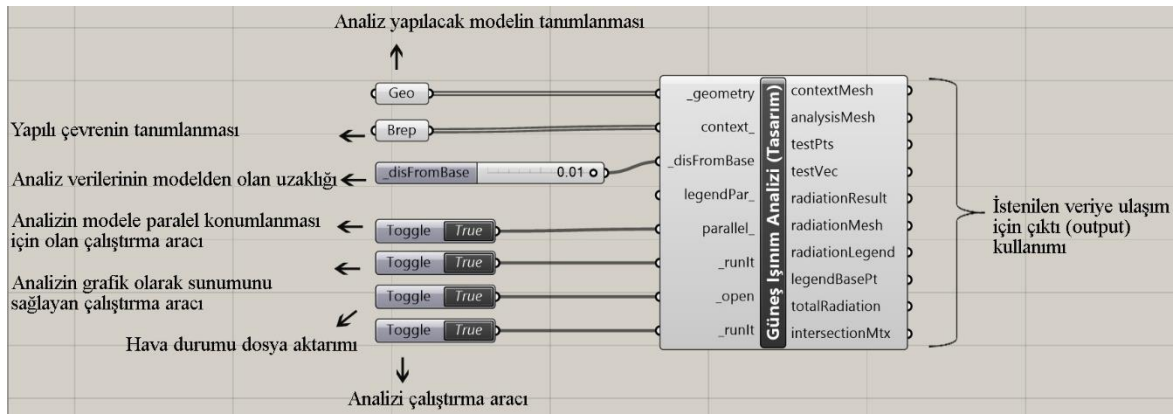
| Güneşin yükseliş açıları (SunAltitudes) | Güneş azimut açıları (SunAzimuths) | Güneş vektörleri (SunVectors) |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 7486606                                 | 129441449                          | -0,765691;0,629874;-0,130294  |
| 15582381                                | 14079811                           | -0,608824;0,746441;-0,268624  |
| 21790037                                | 153763226                          | -0,410495;0,832886;-0,371206  |
| 25534636                                | 168220159                          | -0,184211;0,883321;-0,431057  |
| 26365678                                | 183494858                          | 0,054618;0,894312;-0,444099   |
| 24169907                                | 198515829                          | 0,289727;0,865109;-0,409444   |
| 19235564                                | 212342023                          | 0,505106;0,797702;-0,329453   |
| 12097308                                | 224560955                          | 0,686086;0,696682;-0,209573   |
| 3 323 156                               | 23525776                           | 0,820342;0,568927;-0,057967   |

Çizelge 4.3. 21 Haziran günü gün boyunca hesaplanan güneş yükseliş ve güneş azimut açıları ve güneş vektörlerinin değerleri

| Güneşin yükseliş açıları (SunAltitudes) | Güneş azimut açıları (SunAzimuths) | Güneş vektörleri (SunVectors) |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 6012291                                 | 64265475                           | -0,895861;-0,431814;-0,104742 |
| 16689431                                | 73123972                           | -0,916625;-0,278073;-0,287184 |
| 27873442                                | 81798352                           | -0,874941;-0,126107;-0,46752  |
| 39 306 207                              | 91016907                           | -0,77365;0,013732;-0,633465   |
| 50 688 412                              | 102018273                          | -0,619651;0,131917;-0,773712  |
| 61486835                                | 11749676                           | -0,423437;0,220397;-0,878707  |
| 70270616                                | 14401038                           | -0,198374;0,273142;-0,941298  |
| 7317991                                 | 187986363                          | 0,040204;0,286561;-0,957218   |
| 67726371                                | 226743091                          | 0,276043;0,259738;-0,925384   |
| 57990978                                | 248472455                          | 0,493077;0,194502;-0,847965   |
| 46905964                                | 261981903                          | 0,676519;0,095296;-0,730233   |
| 35465392                                | 27218974                           | 0,813871;-0,03112;-0,580211   |
| 24086678                                | 281124003                          | 0,895777;-0,176134;-0,408118  |
| 13042798                                | 289791745                          | 0,916655;-0,329867;-0,225679  |
| 2597646                                 | 298838365                          | 0,875084;-0,481845;-0,045322  |

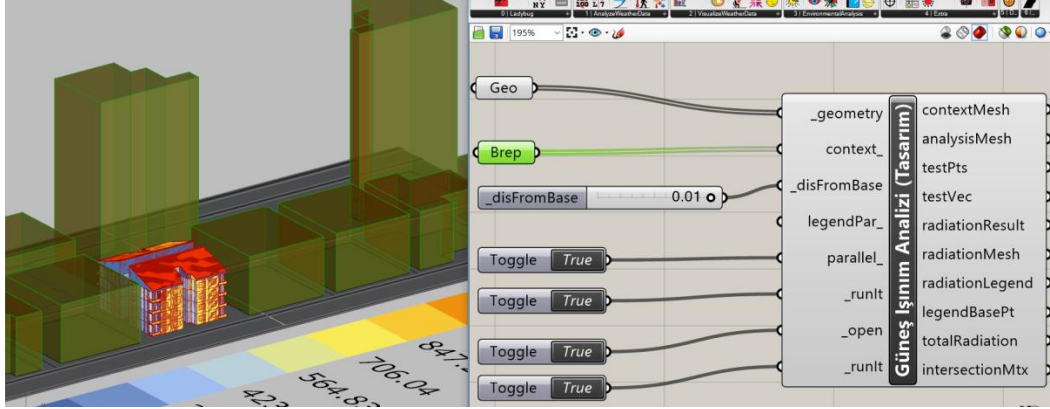
Daha sonra mevcut konut binasının kabuğuna yıl boyunca düşen ışınlm miktarlarının ve hangi cephelerde daha çok etkili ışınlm gerçekleştiğinin belirlenmesine yönelik olarak

kodlamaya gerek kalmadan SKY aracı ile güneş ışınlam analizi yapılmıştır. Ladybug eklenti programında geliştirilen SKY aracının girdi kısmına ilgili veriler girilmiştir. Geo girdisine analizi yapılacak model tanımlanırken, Brep girdisine modelin içinde bulunduğu yapı çevre bağlam (context) olarak belirtilmiştir. Analiz verilerinin grafik olarak Rhinoceros arayüzünde görüntülenmesi için Boolean Toggle girdisinin True olarak işaretlenmesi, grafiğin modele paralel görünümde olması için ise yine ilgili kısımdaki Boolean Toggle girdisinin True olarak belirtilmesi gerekmektedir. DisfromBase girdisi ile grafiğin modelden ne kadar mesafede olacağı, Grasshopper programının verdiği 0.00 – 0.01 aralığında bir değer olarak saptanabilmektedir. Bu analizde, grafiğin daha detaylı bir görseline ulaşmak için modelden maksimum ölçüde uzaklık istenerek girdi kısmına 0.01 değeri girilmiştir. Son olarak da runlty'e bağlı olan Boolean Toggle girdisini True haline getirilerek SKY aracı vasıtasıyla tüm analiz hesaplarının yapılmasına başlanmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Tasarıma uygulanan GIA-T için SKY aracı kullanımı

SKY aracı vasıtasıyla GIA-T sonuçları Rhinoceros arayüzünde görünür hale gelmiştir. Mevcut konut binasının doğu yönünde maksimum olmak üzere, batı, kuzey ve güney yönünde minimum güneş ışınlam miktarının olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 4.12, Şekil 4.13).

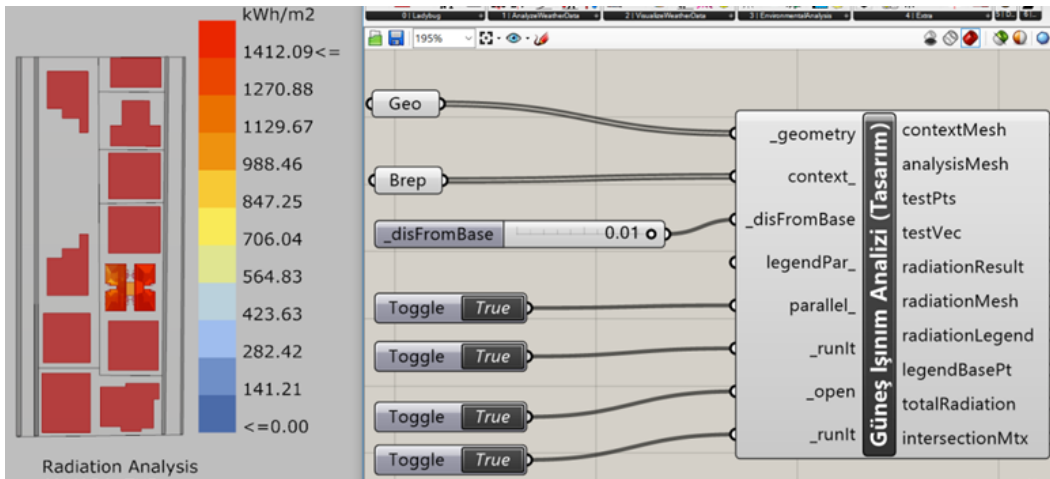


Şekil 4.12. Mevcut bina kabuğuna düşen yıllık güneş ışıınım miktarı (Doğu cephesi)



Şekil 4.13. Mevcut bina kabuğuna düşen yıllık güneş ışıınım miktarı (Kuzey, güney ve batı cephesi)

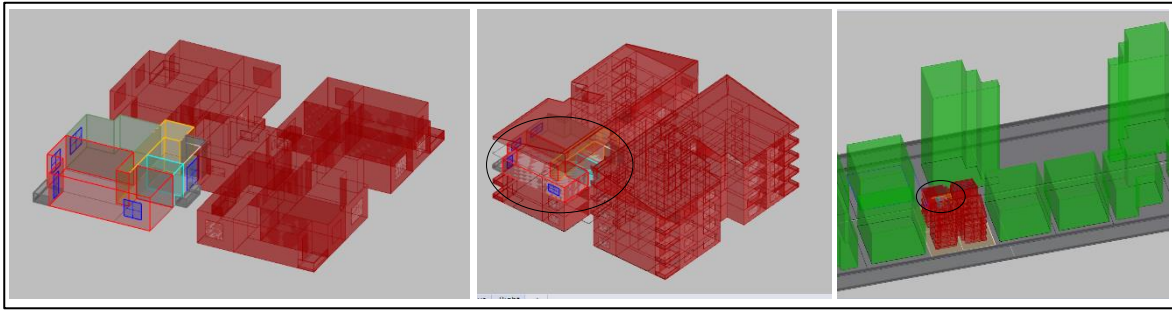
Toplamdaki ışıının en üst değeri 1412,09 kWh/m<sup>2</sup> iken, en alt değeri 141,21 kWh/m<sup>2</sup> bulunmuştur (Şekil 4.14). Bu verilere göre, mevcut konut binasının tasarım aşamasından malzeme seçimine kadar pek çok tasarım anlayışının güneş ışıınım yönü ve miktarına uygun olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.14. Mevcut bina kabuğuna düşen toplam yıllık güneş ışıınım miktarı

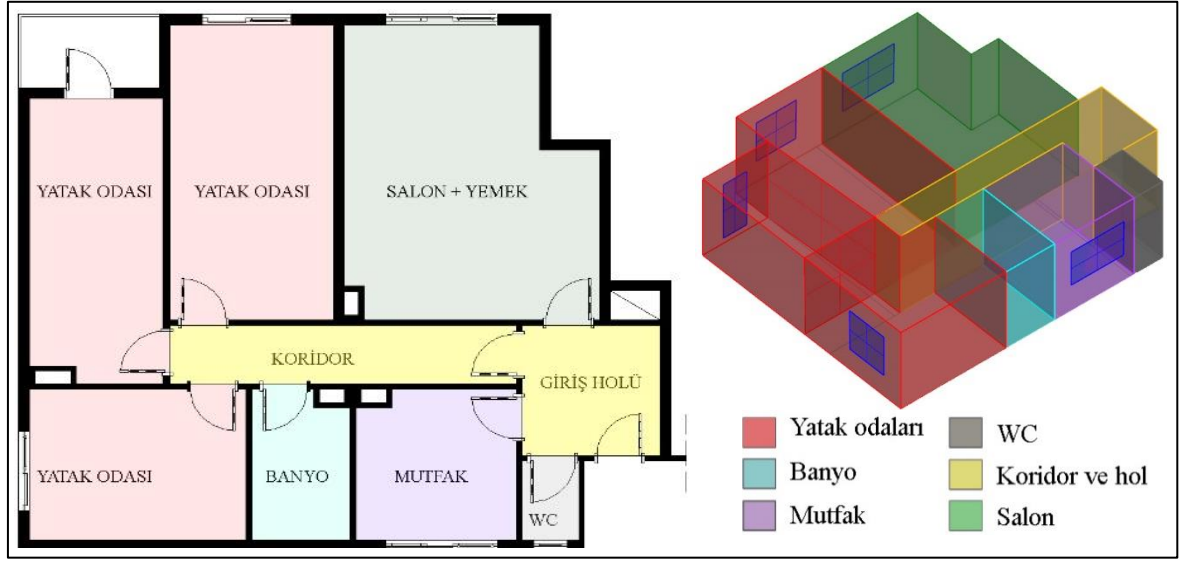
### Mevcut bina için ısıtma, soğutma ve aydınlatma analizleri (Enerji verimliliği analizleri)

Güneş ışıınım analizlerinin çevresel ve kütleel odaklı incelemelerinin ardından konut binasındaki bir daire göz önünde bulundurularak, bu dairenin ısıtma, soğutma ve aydınlatma analizleri yapılmıştır. Konut binasının simetrik bir plana sahip olması ve simülasyon zamanının azaltılabilmesi için üçüncü katta yer alan ve en az ışıının gerçekleştiği, 17 katlı bloğun hemen yanında güneybatı yönünde konumlandırılan daire, performans hedefleri doğrultusunda incelemeye alınmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Mevcut konut binasında analizi yapılacak olan dairenin konumu

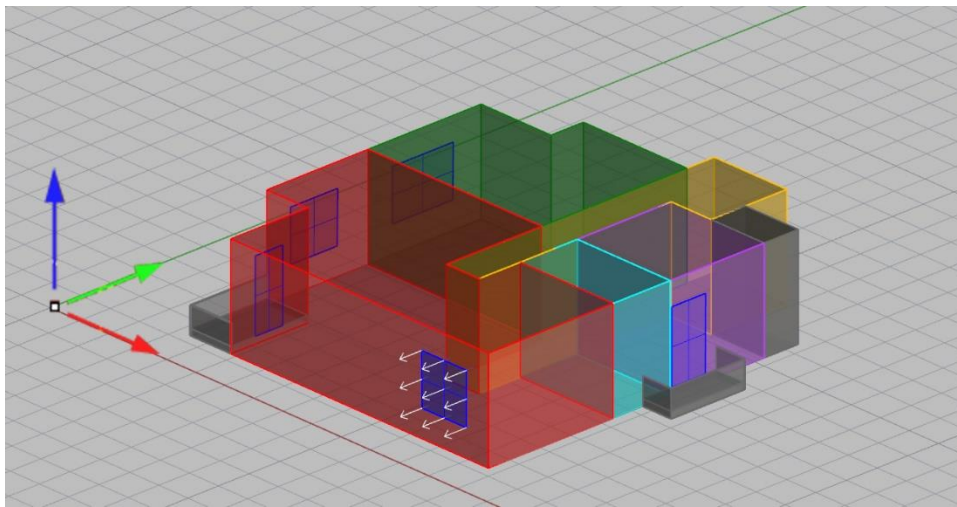
Daire odaklı bu incelemeler yapılırken, Grasshopper eklenti programı altında çalışan ArchSim programından yararlanılmış, bu amaca yönelik çeşitli Grasshopper bileşenleri kullanılmış ve simülasyon modellerinin kurulumu tamamlanmıştır. Bu bağlamda, öncelikli olarak analiz için seçilen daire; yatak odaları, salon, mutfak, koridor ve hol, WC ve banyo gibi mekanların oluşturduğu 6 adet zonlar halinde Rhinoceros programında modellenmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Mevcut konut binasının güneybatı yönündeki daire planı ve zonlara ayrılması

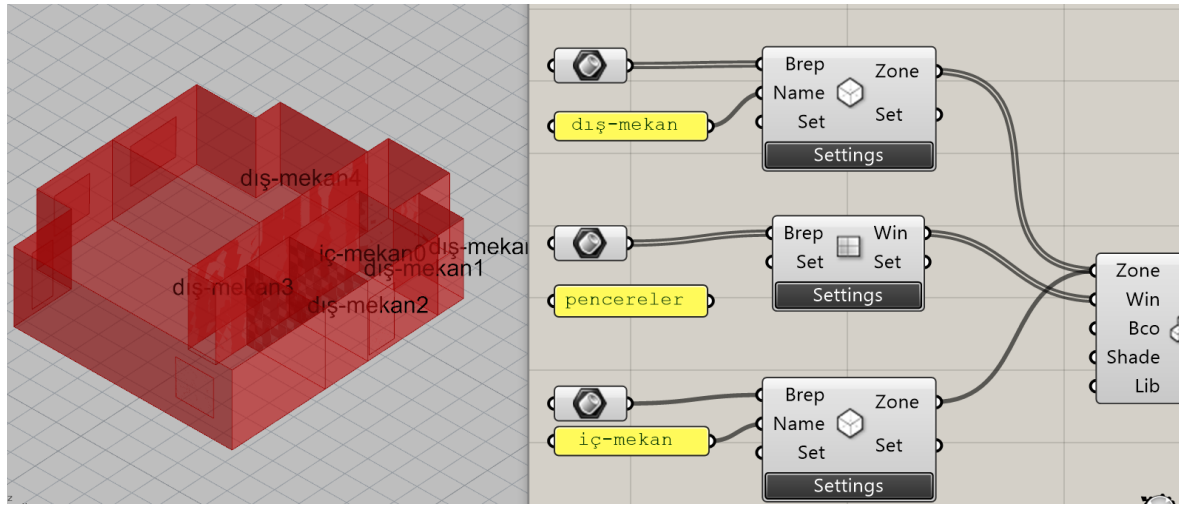
Mevcut konut binası zonları oluşturulurken doğru analiz sonucuna ulaşmak için Rhinoceros programında birtakım ayarlamalar yapılmıştır. Rhinoceros arayüzünde, gumball adı verilen x, y, z uzaysal düzlemini gösteren komutun, y yönü (yeşil yönü) enerji simülasyonunda kuzey yönünü göstermekte olduğu için modelin bulunduğu konum, buna göre ayarlanmıştır.

Aynı zamanda, Rhinoceros programında her nesne yüzeyinin yönü dışa bakan tarafta olması gerektiği için, pencereler oluşturulurken yüzey normallerinin dış yönde olmasını sağlayarak, doğru bir analiz için “dir” komutuyla kontrolleri yapılmıştır (Şekil 4.17).



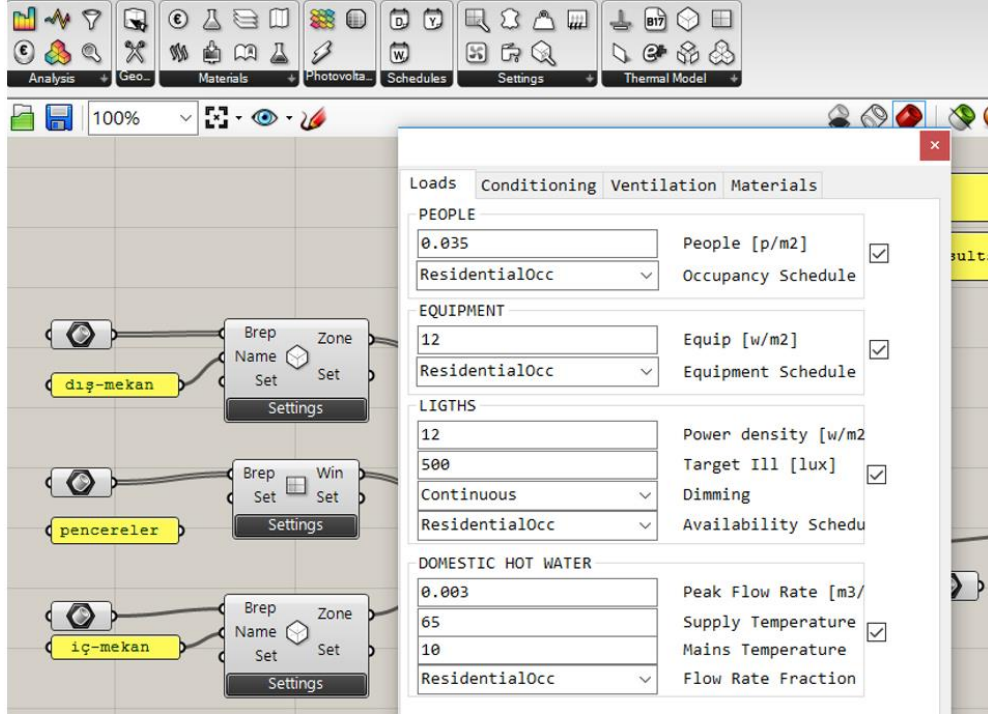
Şekil 4.17. Zone oluşumunda kullanılan pencerelerin normalleri

Rhinoceros programında bu ayarlamalar yapıldıktan sonra oluşturulan zonlar, dış cepheyle ilişkili olan mekanlar (yatak odaları, oturma odası, salon, mutfak, WC ve banyo), iç kısımda kalan mekanlar (koridor) ve kullanılan şeffaf yüzeyler (pencereler) olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Bu kategorilere ayrılan zonlar dış cepheye bakan ve iç kısımda kalan mekanlarbrep bileşeni aracılığı ile ayrı ayrı thermal zone bileşenlerine ve window bileşenine bağlanarak, model üzerinden Grasshopper – ArchSim arayüzüne tanımlanmıştır. (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Oluşturulan zonların ArchSim programına 3 kategori halinde tanımlanması

Thermal zone bileşen ayarlarına fonksiyon olarak konut (residential) verisi girilmiş ve 128 m<sup>2</sup>'lik dairede ortalama 4-5 kişinin ikamet edeceğini varsayarak, m<sup>2</sup> başına 0.035 kişi olacak şekilde veri girişi yapılmıştır. Kişi sayısı ve fonksiyon verilerine bağlı olarak, programın verdiği ortalama kullanılabilir ışık ve sıcak su bilgileri kabul edilmiştir (Şekil 4.19).



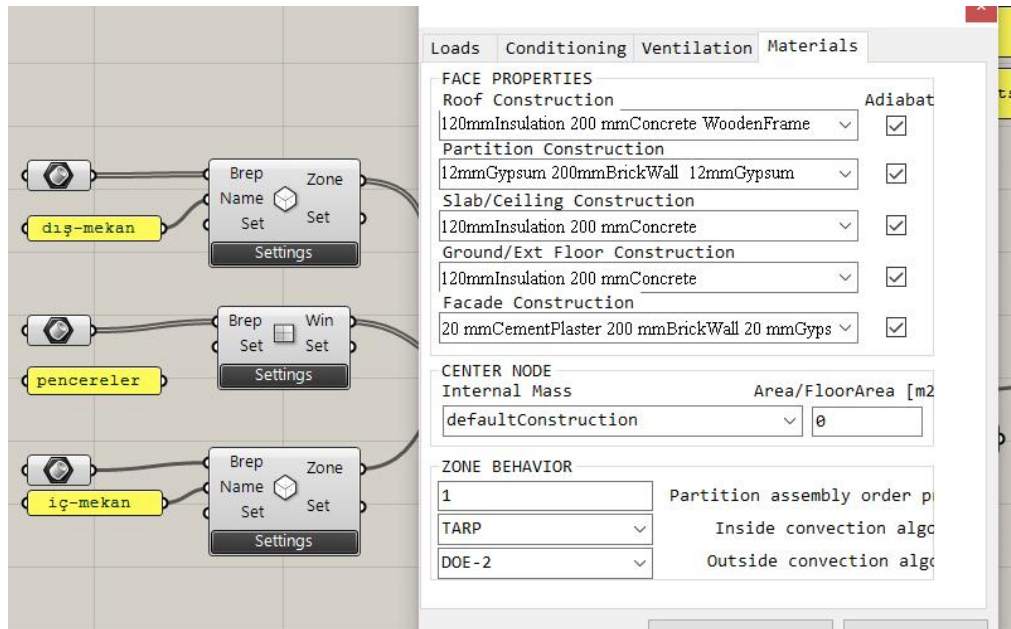
Şekil 4.19. ArchSim programına girilen kişi sayısı ve fonksiyon verileri

Mevcut konut binasında kullanılan yapı elemanları opak, opak olmayan (saydam) ve gölgeleme elemanları olarak Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Binanın çatısı (roof constuction), 120 mm yalıtım malzemesi ile 200 mm betonarme döşeme üzerine ahşap karkas yapıdadır. 200 mm tuğla kullanılarak yapılan bölücü duvarlarının (partition construction) bir kısmında 12 mm alçı duvar kullanılmıştır. Binanın tavan ve döşemesi (slab / ceiling construction, ground / ext floor constuction) 120 mm yalıtımı olan 200mm’lik betonarmedir. Cephesinde ise (facade construction) 20 mm çimento sıvası, 200 mm tuğla, 20 mm alçı sıva mevcuttur.

Çizelge 4.4. Mevcut konut binasında kullanılmış yapı elemanları

| Opak yapı elemanları                                                                     |                                                                 | Saydam yapı elemanları                | Gölgeleme elemanları |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Binanın çatısı (roof construction)                                                       | 120 mm yalıtım malzemesi, 200 mm betonarme döşeme, ahşap karkas | Çift katmanlı hava dolgulu saydam cam | —                    |
| Binanın bölücü duvarları (partition construction)                                        | 200 mm tuğla, 12 mm alçı duvar                                  |                                       |                      |
| Binanın tavan ve döşemesi (slab / ceiling construction, ground / ext floor construction) | 120 mm yalıtımı olan 200mm'lik betonarme                        |                                       |                      |
| Binanın cephesi (facade construction)                                                    | 20 mm çimento sıvası, 200 mm tuğla, 20 mm alçı sıva             |                                       |                      |

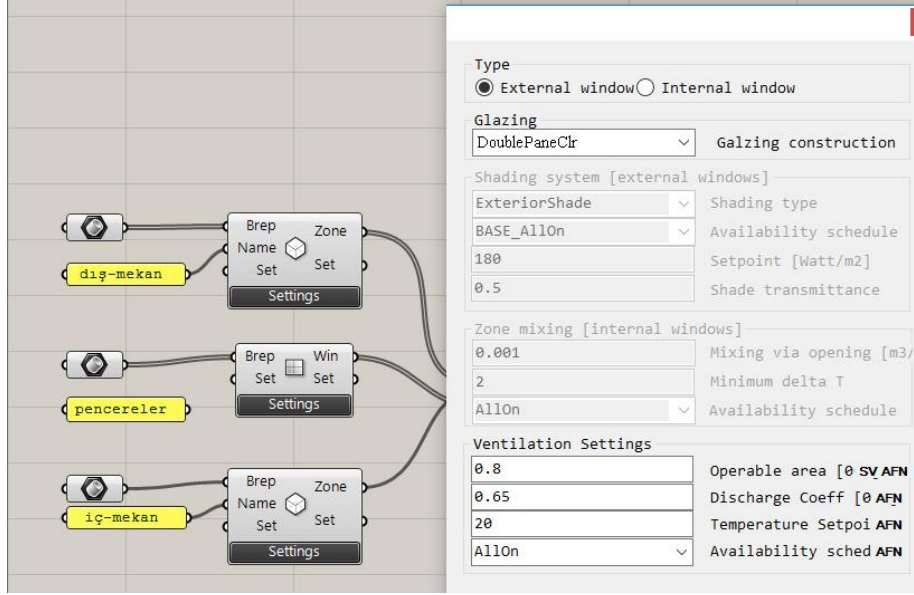
Mevcut konutun bina kabuğunda kullanılmış olan yapı elemanları, Thermal zone bileşen ayarlarındaki Materials sekmesine eklenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. ArchSim programına girilen yapı bileşenleri

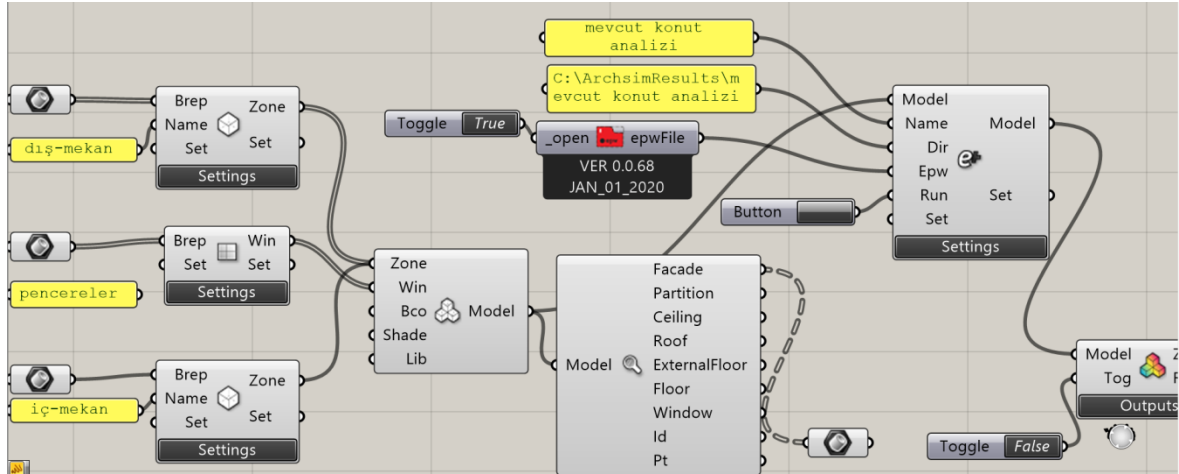
Konut binasında kullanılan çift katmanlı hava dolgulu saydam cam (doublePaneClr) girdileri window (pencere) bileşeni ayarlarındaki external window sekmesine eklenmiştir. Herhangi bir gölgeleme elemanı bulunmadığı için analizde dikkate alınmaması için shading system

ayarı etkisiz hale getirilmiştir. Havalandırma ayarları ise dairedeki kullanıcı sayısı, m<sup>2</sup> ve malzemelerine göre sistemin verdiği ortalama havalandırma miktarları kabul edilmiştir (Şekil 4.21).



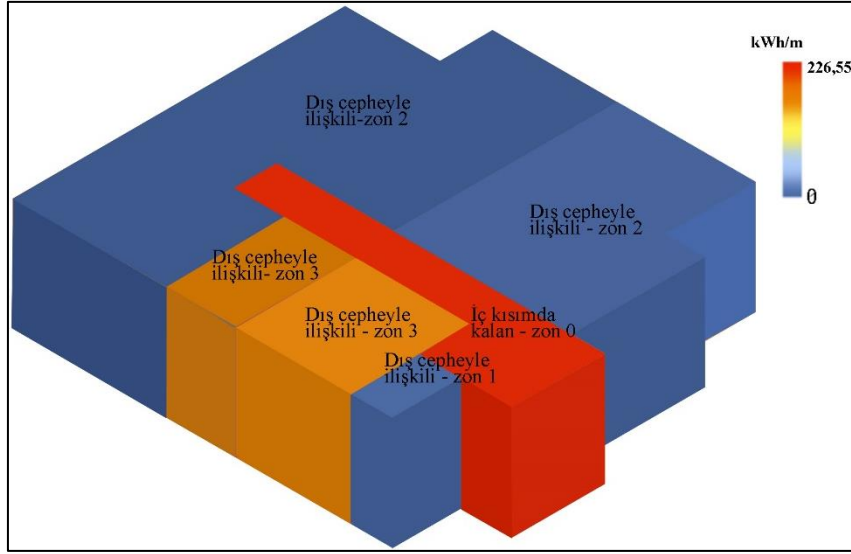
Şekil 4.21. ArchSim programına girilen pencere verileri

Mekân ve pencere girdileri yapılan zonlar birleşerek, Zone Connectivity Network bileşeni ile tek bir termal zon modeli oluşturmuştur. US Department of Energy sitesinden elde edilen Ankara şehrinin epw formatındaki hava durumu dosyası, EnergyPlus bileşenine tanımlanmıştır. Enrgyplus bileşenine zonların birleştiği Model bağlantısı yapılmıştır. ArchSim eklentisi üzerinden EnergyPlus ve Radiance/Daysim simülasyon motorları ile bir yıl boyunca maruz kalınan ısıtma, soğutma, elektrik tabanlı aydınlatma analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. ArchSim programında çeşitli yazılım bileşenleri ile simülasyon sürecine geçiş

Simülasyon sonucunda dairenin elektrik odaklı aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri açısından yıl boyunca kullandığı enerjinin kullanım yoğunluğu verilerine ulaşılmıştır. Şekil 4.23’de dış cepheyle ilişkili zonlarda ve dairenin iç kısmında kalan zonlarında bulunan enerji miktarları görülmektedir. Bu analizle, dairede bulunan enerji miktarlarına göre daire, dört adet zona kategorize edilmiştir. Dış cepheyle ilişkili zonlarda (yatak odaları, salon, banyo, mutfak ve WC) minimum seviyede ısıtım miktarı varken, dairenin iç kısmında kalan zonu (koridor) diğer mekanlar çevrelediği için, bu zondaki ısıtım miktarı maksimum seviyededir. Mutfak ve banyo zonlarında, mekân büyüklüğünden ve sadece bir cephe yüzeyinin dış cepheye bakmasından dolayı, orta seviyelerde ısıtım miktarı bulunmaktadır. Bu analizden anlaşılacağı üzere, dairenin çoğu mekanının dış cepheyle ilişkili olması ve batısındaki yüksek binanın daireye gelen güneş ışınlarını kesmesi yüzünden, dairenin maksimum seviyede ısıtma enerjisi kullanımı söz konusudur. Dairenin yıllık enerji kullanım yoğunluğu toplam 226,21 kWh/m<sup>2</sup>’dir.



Şekil 4.23. Zonlardaki ısıtım miktarları

Yapılan analiz sonucunda, dairenin genel olarak güneş ısıtım miktarının düşük olması, soğutma enerjisi kullanım oranını da düşürmektedir. Dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu gösterilen Çizelge 4.6'daki veriler ışığında, dairenin toplam yıllık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu 22,25 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu

| Zaman   | Zon 0<br>İdeal Yükler<br>Toplam Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 1<br>İdeal Yükler<br>Toplam Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 2<br>İdeal Yükler<br>Toplam Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 3<br>İdeal Yükler<br>Toplam Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Ocak    | 0,137                                                                                | 0,169                                                                                | 0,243                                                                                | 0,829                                                                                |
| Şubat   | 0,279                                                                                | 0,411                                                                                | 0,05                                                                                 | 1,262                                                                                |
| Mart    | 0,937                                                                                | 1,73                                                                                 | 0,215                                                                                | 0,177                                                                                |
| Nisan   | 1,284                                                                                | 1                                                                                    | 1,573                                                                                | 1,245                                                                                |
| Mayıs   | 1,837                                                                                | 1,275                                                                                | 2,002                                                                                | 3,873                                                                                |
| Haziran | 2,837                                                                                | 1,199                                                                                | 2,42                                                                                 | 5,42                                                                                 |
| Temmuz  | 3,837                                                                                | 2,107                                                                                | 2,107                                                                                | 2,107                                                                                |
| Ağustos | 1,584                                                                                | 1,679                                                                                | 1,751                                                                                | 1,854                                                                                |
| Eylül   | 1,384                                                                                | 1,279                                                                                | 1,551                                                                                | 1,454                                                                                |
| Ekim    | 1,632                                                                                | 1,46                                                                                 | 0,328                                                                                | 0,784                                                                                |
| Kasım   | 0,584                                                                                | 0,303                                                                                | 0,411                                                                                | 1,716                                                                                |
| Aralık  | 1,137                                                                                | 0,208                                                                                | 0,223                                                                                | 0,884                                                                                |
| Toplam  |                                                                                      |                                                                                      |                                                                                      | 22,25                                                                                |

Dairede, sadece koridor mekânı iç kısımda kalmakta olduğu için dairenin yıllık ısıtma enerjisi kullanımı 134,43 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesap edilmiştir (Çizelge 4.7). Dairenin toplam enerji kullanımının 226,21 kWh/m<sup>2</sup> oranda olması göz önünde bulundurulursa, bu oranın büyük miktarını ısıtma enerjisi kullanımının oluşturduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Dairenin aylık ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu

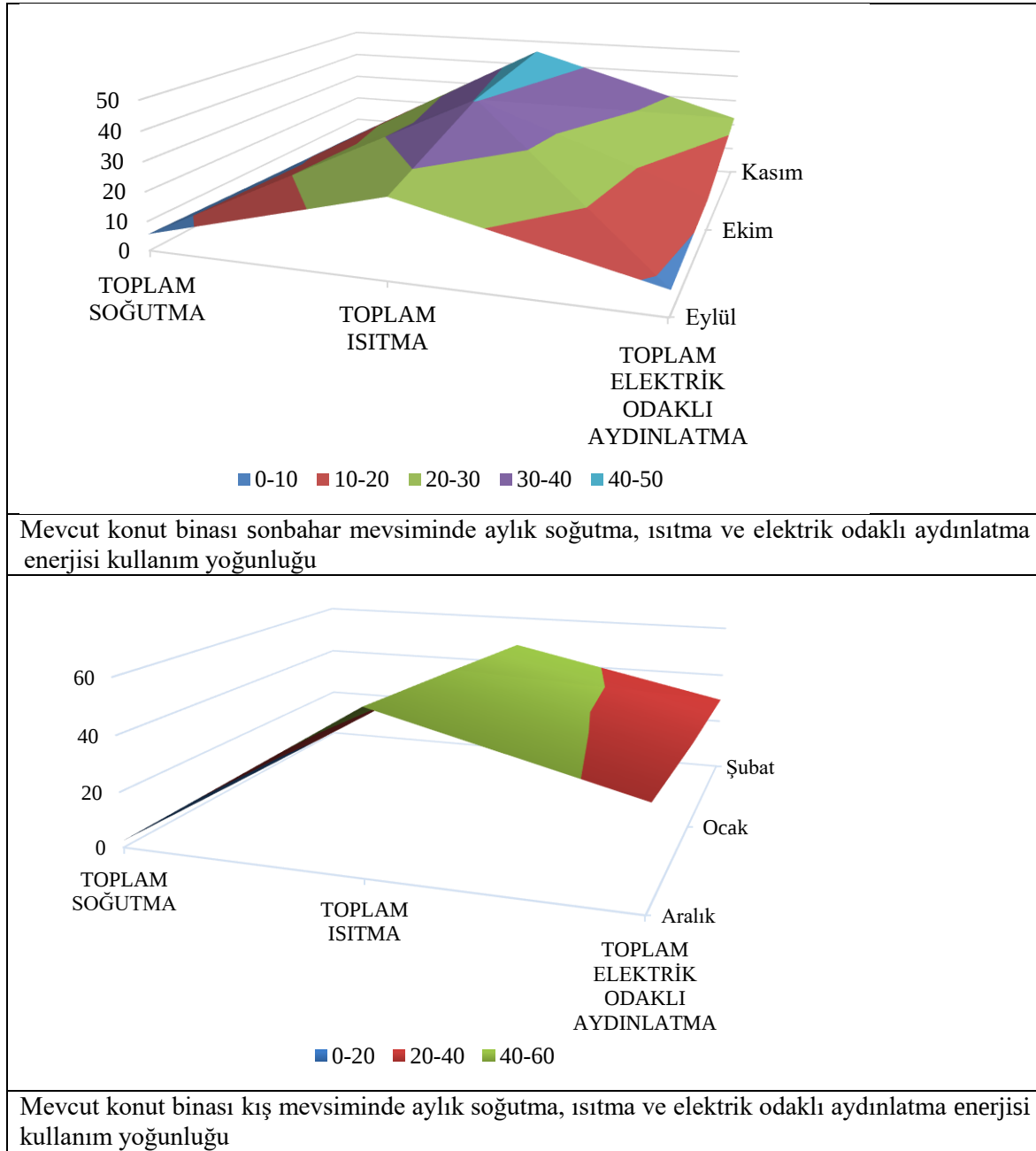
| Zaman   | Zon 0<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 1<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 2<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 3<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ocak    | 15,12                                                                               | 12,89                                                                               | 13,26                                                                               | 11,112                                                                              |
| Şubat   | 12,471                                                                              | 11,471                                                                              | 13,471                                                                              | 10,471                                                                              |
| Mart    | 10,081                                                                              | 9,29                                                                                | 8,374                                                                               | 9,965                                                                               |
| Nisan   | 5,736                                                                               | 8,747                                                                               | 6,228                                                                               | 7,895                                                                               |
| Mayıs   | 5,88                                                                                | 5,88                                                                                | 7,686                                                                               | 5,816                                                                               |
| Haziran | 2,893                                                                               | 3,76                                                                                | 4,62                                                                                | 5,446                                                                               |
| Temmuz  | 2,834                                                                               | 2,636                                                                               | 3,581                                                                               | 3,195                                                                               |
| Ağustos | 2,957                                                                               | 3,522                                                                               | 3,163                                                                               | 6,576                                                                               |
| Eylül   | 6,736                                                                               | 7,747                                                                               | 5,228                                                                               | 6,895                                                                               |
| Ekim    | 9,88                                                                                | 10,98                                                                               | 9,686                                                                               | 9,816                                                                               |
| Kasım   | 10,081                                                                              | 11,29                                                                               | 12,374                                                                              | 11,965                                                                              |
| Aralık  | 15,84                                                                               | 14,38                                                                               | 13,26                                                                               | 13,12                                                                               |
| Toplam  | 134,43                                                                              |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |

Yapılı çevre içerisinde daire, kuzey, güney ve batı yönlerinden diğer binalarla çevrili olması güneş ışınlarının yapıya doğrudan gelmesini engellemekte olduğu için karanlık mekanların oluşumuna neden olmaktadır. Yapılan analizler sonucu dairenin yıllık elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu 69,53 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7. Dairenin aylık elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu

| Zaman   | Zon 0<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 1<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 2<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 3<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Ocak    | 9,26                                                                       | 8,34                                                                       | 7,48                                                                       | 6,112                                                                      |
| Şubat   | 8,469                                                                      | 7,342                                                                      | 7,864                                                                      | 5,635                                                                      |
| Mart    | 4,706                                                                      | 7,66                                                                       | 3,382                                                                      | 5,968                                                                      |
| Nisan   | 2,684                                                                      | 5,769                                                                      | 3,025                                                                      | 5,862                                                                      |
| Mayıs   | 2,88                                                                       | 3,694                                                                      | 2,965                                                                      | 3,269                                                                      |
| Haziran | 1,635                                                                      | 2,456                                                                      | 1,686                                                                      | 2,687                                                                      |
| Temmuz  | 0,9658                                                                     | 1,986                                                                      | 1,423                                                                      | 1,698                                                                      |
| Ağustos | 0,852                                                                      | 1,986                                                                      | 0,698                                                                      | 0,965                                                                      |
| Eylül   | 1,9684                                                                     | 1,456                                                                      | 2,7546                                                                     | 1,9658                                                                     |
| Ekim    | 2,969                                                                      | 1,898                                                                      | 3,672                                                                      | 2,816                                                                      |
| Kasım   | 3,081                                                                      | 6,29                                                                       | 6,374                                                                      | 6,965                                                                      |
| Aralık  | 7,12                                                                       | 9,56                                                                       | 8,612                                                                      | 9,69                                                                       |
| Toplam  | 69,53                                                                      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |

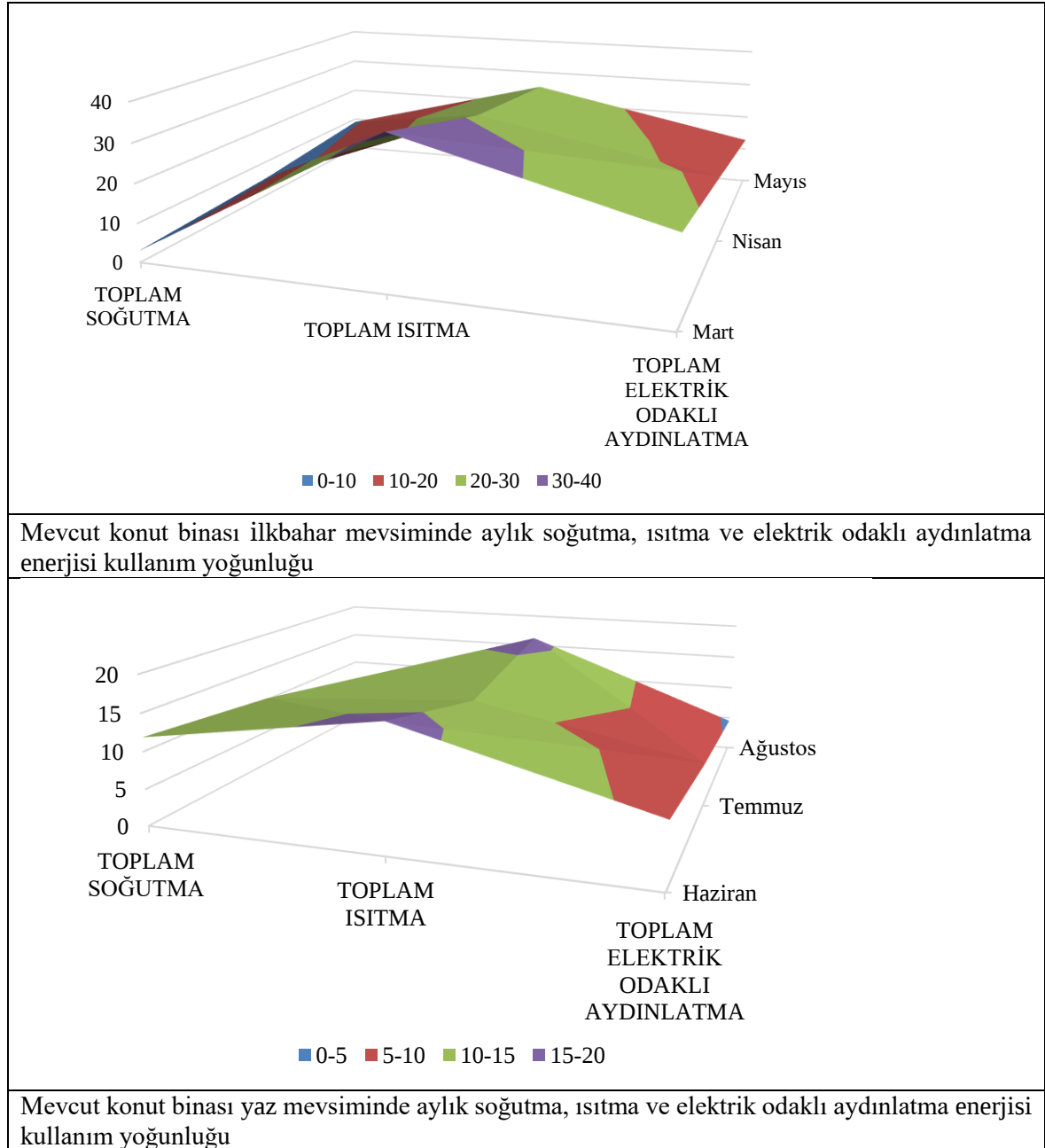
Şekil 4.24’de mevcut konut binasının sonbahar ve kış dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerji kullanım yoğunluğu görülmektedir. Bu çizelgeye göre, analizi yapılan dairenin ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu Eylül ayında yaklaşık 10 kWh/m<sup>2</sup> iken, Kasım ayında bu değer yaklaşık 40 kWh/m<sup>2</sup> olmuş ve giderek artarak Şubat ayında yaklaşık 50 kWh/m<sup>2</sup>’ı bulmuştur. Dairenin soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu, Eylül ayında yaklaşık 5 kWh/m<sup>2</sup> iken, Kasım ayında bu oran 5 kWh/m<sup>2</sup>’ın altına düşmekte ve giderek azalarak Şubat ayında 0 kWh/m<sup>2</sup>’a yakın bir değeri bulmaktadır. Dairenin elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu ise Eylül ayında yaklaşık 5 kWh/m<sup>2</sup> iken, Kasım ayında bu oran yaklaşık 20 kWh/m<sup>2</sup> oranında olmakta ve giderek artarak Şubat ayında bu değer yaklaşık 30 kWh/m<sup>2</sup> değerine yükselmektedir.



Şekil 4.24. Mevcut konut binasının sonbahar ve kış dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu

Şekil 4.25’de mevcut konut binasının ilkbahar ve yaz dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerji kullanım yoğunluğu görülmektedir. Bu çizelgeye göre, analizi yapılan dairenin ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu Mart ayında yaklaşık 20 kWh/m<sup>2</sup> iken, Mayıs ayında bu değer yaklaşık 25 kWh/m<sup>2</sup> olmuş ve giderek azalarak Ağustos ayında yaklaşık 15 kWh/m<sup>2</sup>’ı bulmuştur. İlkbahar ve yaz dönemi de olsa, binanın etrafındaki yapı çevrenin getirdiği şartlar yüzünden dairenin ısıtma yükü oldukça yüksektir. Dairenin soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu, Mart ayında yaklaşık 5 kWh/m<sup>2</sup> iken, Mayıs

ayında bu oran 10 kWh/m<sup>2</sup> olmakta ve giderek artarak Ağustos ayında 12 kWh/m<sup>2</sup>'a yakın bir değeri bulmaktadır. Dairenin elektrik odaklı aydınlatma enerji kullanım yoğunluğu ise Mart ayında yaklaşık 8 kWh/m<sup>2</sup> iken, Mayıs ayında bu oran yaklaşık 5 kWh/m<sup>2</sup> oranında olmakta ve giderek azalarak Ağustos ayında bu değer yaklaşık 3 kWh/m<sup>2</sup> değerine düşmektedir.

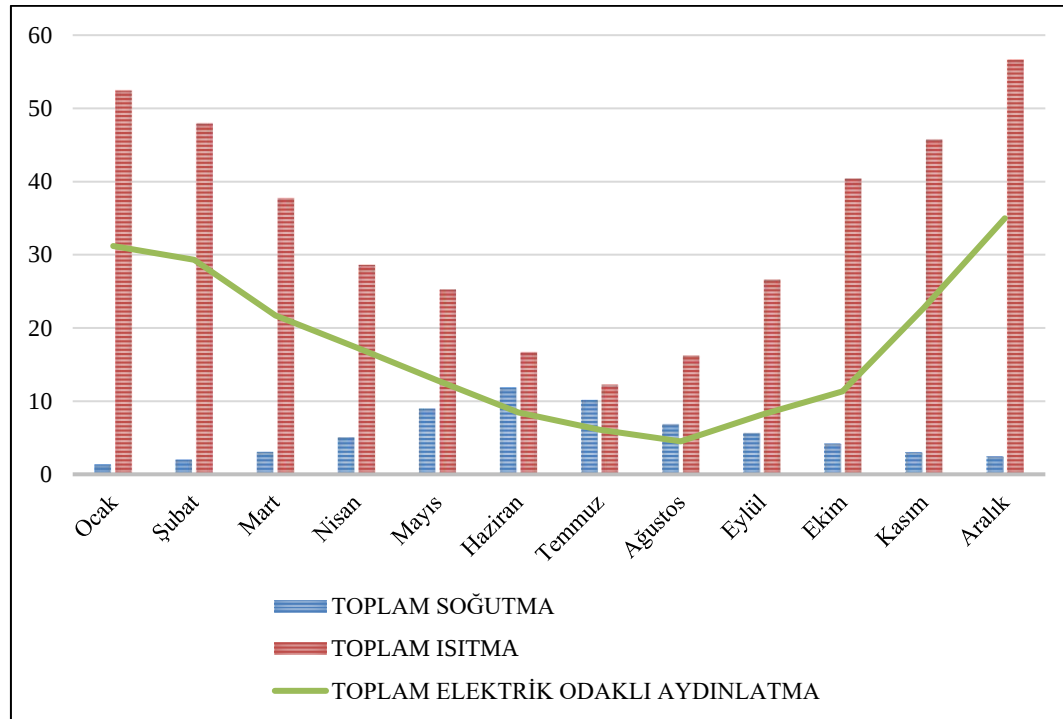


Şekil 4.25. Mevcut konut binası ilkbahar ve yaz dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu

Yıl boyunca 226,21 kWh/m<sup>2</sup> oranında enerji kullanan dairenin, bu kullanım yoğunluklarının tüm mevsimlere göre aydan aya değişimi Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre, dairenin ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında maksimum derecede olurken, yaz mevsiminde bu oran daha düşük seviyede olmakta ve toplam aylık ortalama 143,43 kWh/m<sup>2</sup> ile dairenin genel enerji kullanımının büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Dairenin soğutma enerjisi kullanımı, yaz mevsiminde orta seviyelerde olurken, kış ve sonbahar mevsimlerinde minimum soğutmaya ihtiyaç duyulduğu için bu mevsimlere doğru azalan bir oran izlenmektedir. Dairenin toplam aylık ortalama 22,25 kWh/m<sup>2</sup> soğutma enerjisi kullanım oranı bulunmaktadır.

Dairenin kullandığı elektrik odaklı aydınlatma enerji oranı ise sonbahar ve kış mevsimlerinde maksimum seviyeyi bulurken, bu oranın yaz mevsimine doğru azaldığı görülmektedir ve dairenin toplam aylık ortalama 69,53 kWh/m<sup>2</sup> elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım oranı bulunmaktadır.



Şekil 4.26. Mevcut konut dairesi aylık enerji kullanım yoğunluğu

Tüm bu analizler sonucunda, seçilen dairenin bulunduğu konum itibari ile güneşten doğrudan yararlanamaması, planında koridor dışındaki tüm mekanların dış cepheyle ilişkili

olması ve buna karşın doğru yalıtımın yapılmaması yüzünden, dairenin yüksek miktarda ısıtma yükünün olduğunu ve yıl boyunca kullanılan enerjinin büyük kısmını ısıtma yükünün kapsadığını söylemek mümkündür.

#### 4.3. SKY Aracının Kullanım Adımları ile Parametrik Tasarım Önerisi

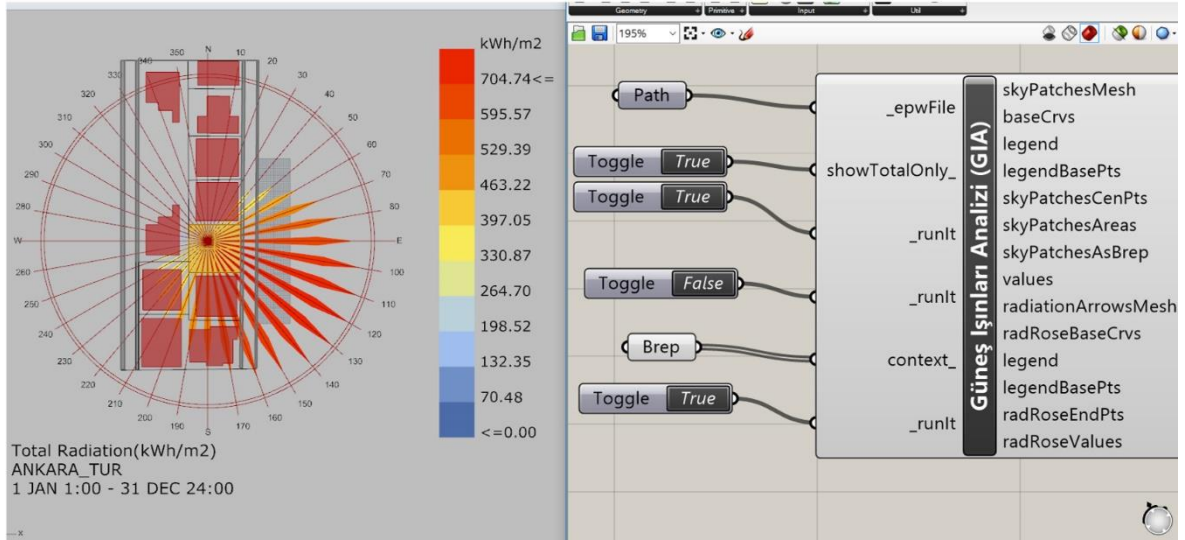
Bu bölümde, analizleri yapılan alan çalışmasındaki mevcut konut binası yerine, tez çalışması kapsamında geliştirilen SKY aracı kullanılarak, optimum tasarım sınırı elde edilmiş ve bu sınırın güneş ışınlam analizi yapılmıştır. Daha sonra, ulaşılan bu tasarım sınırı göz önünde tutularak yapılan parametrik modelin ısıtma, soğutma ve aydınlatma analizleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak, mevcut ve öneri model üzerinden enerji analizleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen SKY aracının tasarım sürecinde ilk aşamalardan itibaren kolaylıkla kullanılabildiği ve enerji etkin yapı kabuğu tasarımını etkinleştirdiği ortaya konmuştur. Sky aracı ile yöntemin alana uygulanması 4 aşamadan oluşmaktadır:

##### ➤ 1. Adım: GIA-C

Ankara ilinin Çankaya ilçesine bağlı Harbiye semtinde, alan çalışması olarak seçilen parsel ve içinde bulunduğu yapı çevre, mevcut durumun analizi için Bölüm 4.2’de Rhinoceros programı aracılığıyla modellenmiş ve Grasshopper yazılımı üzerinde ışınlam analizi için tanımlı hale getirilmiştir. Bu yüzden, daha önceden hazırlanan bu modelin GIA-Ç analizi için SKY aracı ile doğrudan kullanılmıştır.

Alan çalışmasının yapıldığı parselin Grasshopper programında tanımlı hale gelmesiyle birlikte, Ladybug eklentisi ile radyasyon gülü (radiation rose) ve gök kubbe (sky dome) analizleri SKY aracı aracılığıyla yapılmıştır.

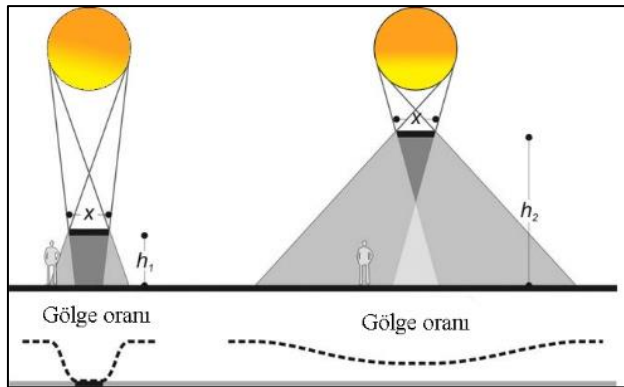
Aracın Path girdisine alan çalışmasının bulunduğu lokasyon olarak Ankara’nın hava durumu dosyası (epw formatı), Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmıştır. Daha sonra Brep girdisine modellenen mevcut yapı çevrenin boş parseli tanımlanmıştır. Boolean Toggle girdilerini Doğru (True) haline getirerek istenilen tüm güneş ışınlam analizlerinin hesaplanması sağlanmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Işınım gülü (Radiation rose) analizi ile yıl boyunca toplam güneş ışınım miktarı

Parselin kuzey ve güneyinde 4'er katlı konut yapıları, batısında ise bir adet 17 katlı yüksek bir blok bulunmaktadır. SKY aracı ile oluşan güneş ışınım analizinde, bu bloğun parselle batıdan gelen güneş ışınlarını engellediği görülmektedir (Şekil 4.27).

Şekil 4.28'de, bu bloğun olası yükseklik farklarıyla oluşturduğu gölge oranları görülmektedir. Blok,  $h_1$  yükseklikte olması gerekirken  $h_2$  yüksekliğine sahip olduğu için parsel üzerinde yoğun bir gölge oluşumuna neden olmaktadır.



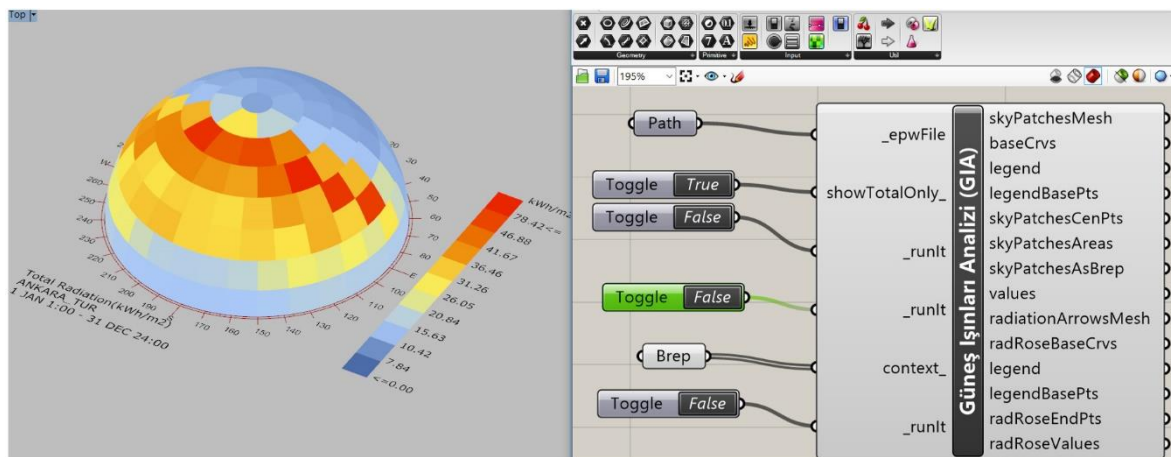
Şekil 4.28. Yüksek bloğun olası gölge oranları

Bununla birlikte, parselin kuzeydoğusundan güneyine doğru artan bir güneşlenme oranı bulunmaktadır. Maksimum güneşlenme oranı güneydoğu yönünde olup, parselin kuzeyinde güneşlenme minimum orandadır.

Bölüm 4.2’de analizi yapılan tasarım alanı ile öneri modelin tasarlanacağı lokasyon (enlem, boylam) aynı olduğu için parselin güneş ışınlam oranları da aynıdır. Buna göre, parsel yıl boyunca, 352,37 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan ve aynı oranda doğrudan ışınlamla birlikte toplamda en fazla 704,74 kWh/m<sup>2</sup> ışınlamla maruz kalmaktadır. Minimum ışınlam miktarının ise yıl boyunca 35,24 kWh/m<sup>2</sup> yayılan ve doğrudan olmak üzere toplamda 70,48 kWh/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür.

Bu analiz sonucunda, tasarım alanına gerçekleştirilecek olan modelin erken tasarım aşamasında, hangi cephelerine hangi miktarlarda güneş ışınlam oranının olduğu ve dolayısıyla enerji kazanımı / korunumu için cephelerin hangi yönüne opak, hangi yöne saydam malzeme kullanılması gerektiği saptanmıştır. Buna göre, tasarlanacak modelin kuzey cephesi opak olacak, doğu, güney ve batı cepheleri güneş ışınları dikkate alınarak yer yer şeffaflaştırılacaktır. Güneye bakan cephenin opak kısmına, güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak PV sistemler yerleştirilebilir. Panellerin yerleştirme açıları Gök kubbe (Sky dome) analizi sonucunda tespit edilmiştir.

SKY araçındaki Boolean Toggle girdisini Doğru (True) olarak işaretleyerek Gök kubbe analizi çalıştırılmaktadır ve Rhinoceros arayüzünde kubbe şeklinde güneş ışınlamalarının oluşturduğu üç boyutlu şekil meydana getirilmektedir. Şekil 4.29’da, parselin güney doğusunda güneş ışınlam miktarının maksimum olduğu ve kuzeyinde bu oranın en düşük seviyeye indiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. Gök kubbe (Sky dome) analizi ile yıl boyunca toplam güneş ışınlam miktarı

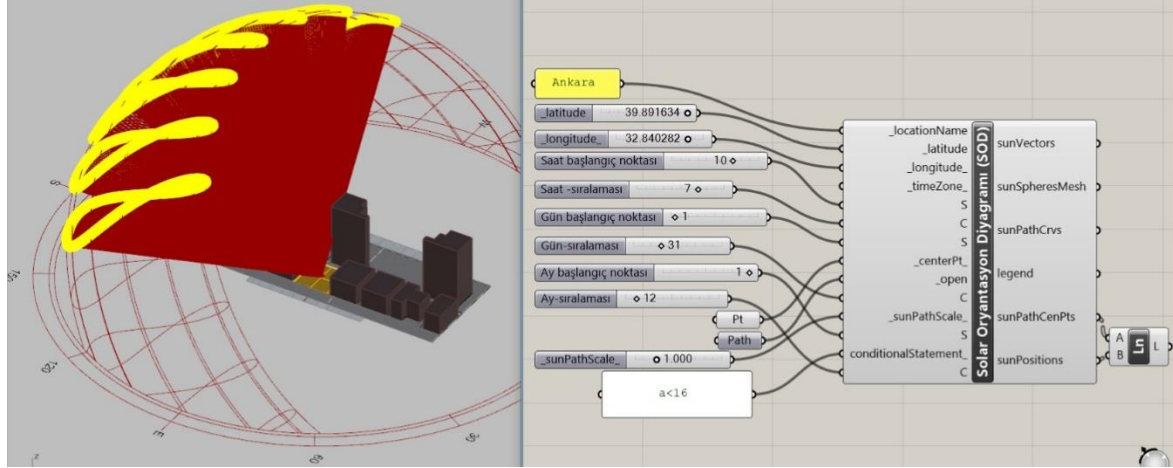
Bölüm 4.2’de analizi yapılan öneri tasarım modelinin parseli, yıl boyunca 39,21 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan ve aynı oranda doğrudan ışınlama ile birlikte toplamda en fazla 78,42 kWh/m<sup>2</sup> ışınlama maruz kalmaktadır. Minimum ışınlama miktarı ise 3,92 kWh/m<sup>2</sup> yayılan ve doğrudan olmak üzere toplamda 7,84 kWh/m<sup>2</sup> bulunmuştur.

Bu analiz sonucunda, öneri tasarım modelinin hangi cephesinin olası eğimli yüzeylerinde hangi miktarda ışınlama olacağını ve PV panel kullanılmak istenirse, en iyi eğimin ve yönlendirmenin ne olduğu saptanmıştır. Yaz döneminde gelen güneşin geliş açılarının, kış döneminde gelen güneş açılarına göre daha dik olması, binanın güney yönündeki yüzeylerinin daha fazla güneş ışınlama almasına neden olmuştur. Elde edilen verilere göre, modelin kuzey cephesi tamamen opak olurken, güney cephesinde geniş pencerelere yer verilebilecektir. Yerleşim açıları  $\pm 15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $60^\circ$  olarak tespit edilen paneller, modelin güney cephesine yerleştirilecektir. Bununla birlikte, modelin doğu ve batı cephesinde de güneş ışınlarının geliş açılarına göre pencereler tasarlanacaktır.

#### ➤ 2. Adım: SOD oluşturma

Yöntemin ikinci adımında güneş hareketlerinin ve etkinliğinin bulunması için Rhinoceros-Grasshopper programında tanımlı hale gelen parsel Ladybug eklentisi ile SOD yapılmış, bu aşamada yine geliştirilen SKY bileşeninden yararlanılmıştır. Parselin (tasarım alanının) lokasyon verileri (enlem:38, 891634, boylam: 32, 840282 ve Türkiye’nin saat dilimi:+3) SKY aracının girdi kısmında tanımlanmıştır. 1 yıllık analiz sonuçlarına ulaşmak için belirlenen saat, gün ve ay aralığı (saat: 10:00 - 16:00, gün: 1-31 gün, ay:1-12 ay) aracın ilgili girdi kısmına girilmiştir. Path girdisine alan çalışmasının bulunduğu lokasyon olarak Ankara’nın hava durumu dosyası, Dünya Meteoroloji Örgütü verilerinin olduğu EnergyPlus programının ana sayfasından alınmıştır. Pt girdisine, parselin (tasarım alanının) merkez noktası tanımlanmış, SunPathScale girdisine SOD diyagramının büyüklüğü için modelin ölçeği göz önünde bulundurularak 1.00 oranı girilmiştir. Ankara’nın yıllık ortalama sıcaklık değeri 11,7 °C olduğu için [155], küresel ısınma da hesaba katılarak SKY aracının ConditionalStatemenet girdisi 16 °C’den düşük bir değer olacağı şekilde ( $a < 16$ ) tanımlanmıştır.

SKY aracına mevcut konut binası ile ilgili gerekli olan tüm veriler girildikten sonra Rhinoceros arayüzünde SOD oluşturulmuştur (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. SKY aracı ile SOD oluşumu

### ➤ 3. Adım: GKY ile ideal tasarım sınırı oluşumu

Yöntemin üçüncü adımı olarak güneşten maksimum yararlanılan ideal tasarım sınırına ulaşmak için SKY aracı vasıtasıyla tasarım alanına GKY uygulanmıştır. Ladybug eklenti programında geliştirilen SKY aracının girdi kısmına ilgili veriler girilmiştir. Arazi (Brep) girdisine tasarımın ve yapıları çevrenin bulunduğu tüm arsa seçilip atanmış, tasarım alanı (srf) girdisine analizi yapılacak parsel tanımlanmış ve yapıları çevre (brep) girdisine modelin içinde bulunduğu yapıları çevre bağlam (context) olarak belirtilmiştir. SKY aracındaki bu üç önemli girdi haricindeki diğer girdiler, analizin ayarlarını yapmaya yöneliktir (Çizelge4.9).

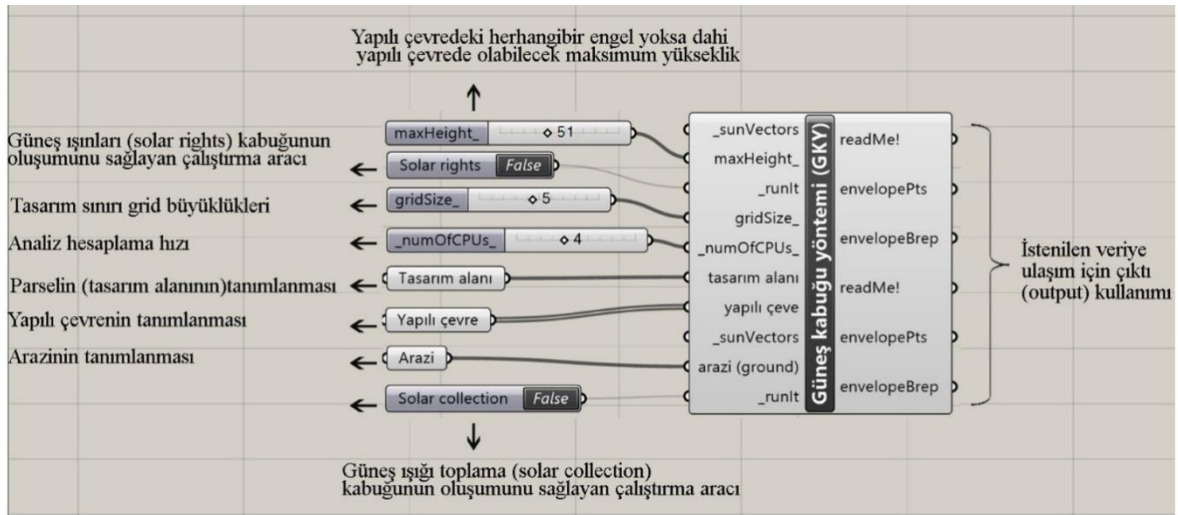
Çizelge 4.8. SKY aracı ile arazi, tasarım alanı ve yapıları çevrenin tanımlanması

|                                                |                                                                          |                                                                |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                                                |                                                                          |                                                                |
| Arazi (brep) girdisi ile arazinin tanımlanması | Tasarım alanı (srf) girdisi ile tasarım alanının (parselin) tanımlanması | Yapılı çevre (brep) girdisi ile yapıları çevrenin tanımlanması |

maxHeight\_girdisi, yapıları çevrede herhangi bir engel yoksa dahi tasarım alanı etrafında olabilecek olası engellerin yüksekliği verisidir. Tasarımın bulunduğu yapıları çevre yükseklikleri 15 metre ve 51 metre arası değiştiği için maxHeight\_girdisi olarak 51 değeri girilmiştir. Analizi gerçekleştirilecek olan bilgisayarın yüksek kapasitede olmamasından dolayı, zamandan tasarruf sağlanması için gridsize\_ girdisi ile tasarım sınırı grid

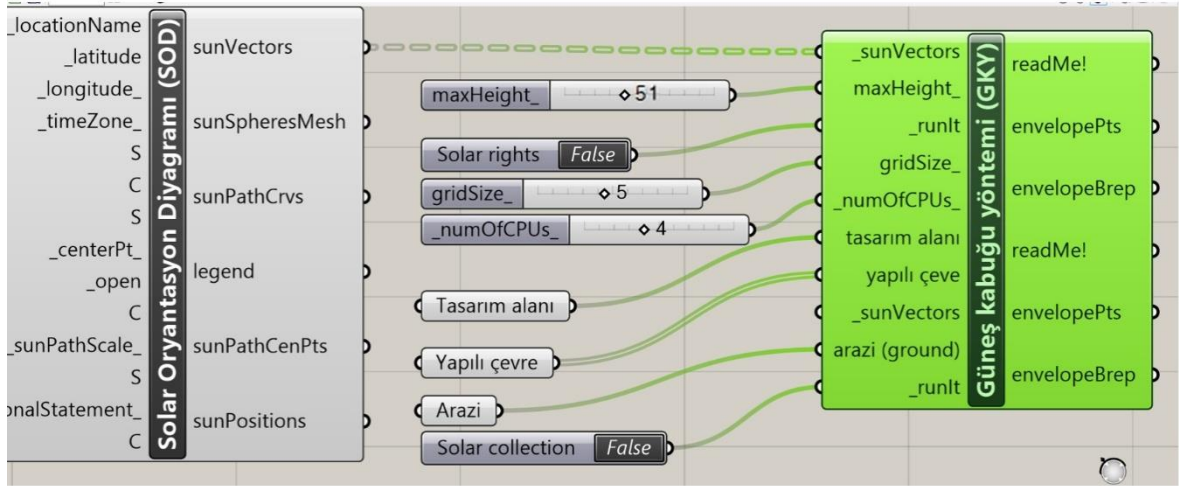
büyüklikleri 5 olarak belirlenirken, numOFCPU's girdisi ile analizin hesaplama hızı 4 olarak ayarlanmıştır.

İdeal tasarım sınırına, tasarım için maksimum ve minimum yükseklik veren 3 boyutlu iki adet kabuğun ara kesiti alınarak ulaşılmaktadır. Minimum yükseklik veren tasarım sınırının oluşumu solar collection (güneş toplama) girdisindeki Boolean Toggle bağlantısının Doğru (True) olarak işaretlenmesiyle, maksimum yükseklik veren tasarım sınırının oluşumu ise Solar rights (güneş ışınları) girdisindeki Boolean Toggle bağlantısının Doğru (True) olarak işaretlenmesiyle gerçekleşmektedir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Tasarım alanına uygulanan GKY için SKY aracı kullanımı

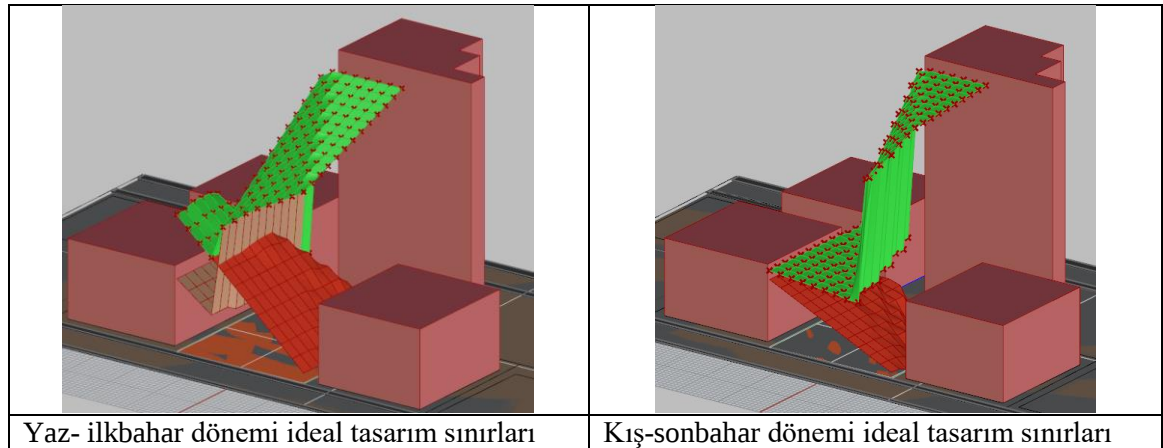
GKY analizinin sonucuna ulaşmak için gerekli olan diğer veriler, daha önceden geliştirilmiş olan SOD SKY bileşeninden alınmaktadır. Şekil 4.32’de görüldüğü gibi, SOD SKY aracına alan çalışmasının lokasyon verileri, iklim verileri ve zaman aralığı verileri girilmiş ve bu bağlamda hesaplanan sunVectors (güneş vektörleri) çıktısı GKY SKY aracına bağlanmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. SOD SKY aracı ile GKY SKY aracının bağlantısı

Böylece, Rhinoceros arayüzünde SKY aracı ile uzun zaman alan ve dikkat isteyen diğer kod bağlantılarına gerek kalmadan, önerilecek tasarım modelinin olması gerektiği minimum ve maksimum yükseklikteki tasarım sınırını gösteren iki adet kabuk oluşmuştur. Bu kabuklar oluşturulurken, yapılı çevre içerisine yıl boyunca ihlal edilmeden gelen tüm doğrudan ve yansıyan güneş ışınlarını göz önünde bulundurmak için yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.9. GKY ile oluşturulan tasarım sınırları

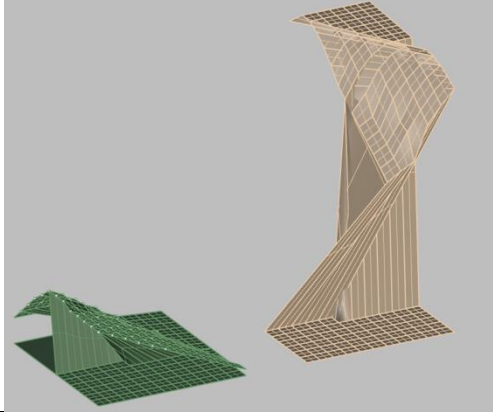
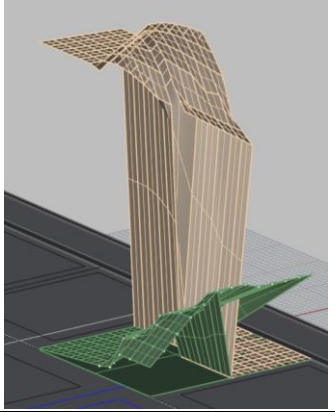
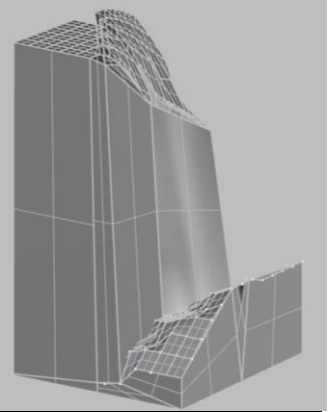


- Yapılacak tasarımın olması gerektiği minimum yükseklikteki tasarım sınırı kabuk
- Yapılacak tasarımın olması gerektiği maksimum yükseklikteki tasarım sınırı kabuk

Öneri tasarım modelinin olması gereken minimum ve maksimum yükseklikteki tasarım sınırları yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemleri için belirlendikten sonra, ideal tasarım sınırını bulmak için bu tasarım sınırları birleştirilmiştir.

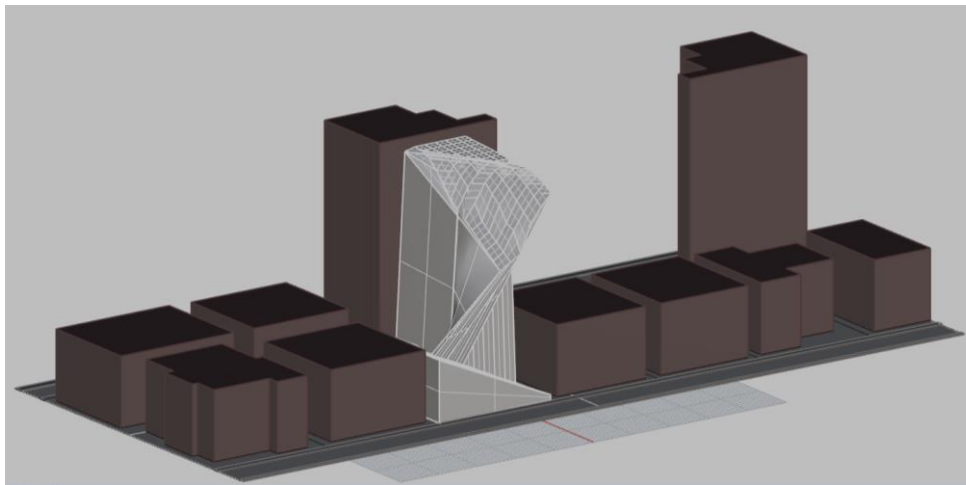
Birleştirilen tasarım sınırlarının oluşturduğu öneri modelin olması gereken minimum ve maksimum yükseklikteki kabukların arakesitinden, ideal tasarım alanını tanımlayan son bir sanal kabuk oluşturulmuştur. Birleştirilen kabukların fazla yükseklikleri çıkartılıp eğimsel uyum sağlandıktan sonra, bir yıllık optimal enerjiye sahip ideal güneş kabuğu tasarım sınırı elde edilmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. İdeal tasarım sınırını veren kabuğun oluşumu

|                                                                                                                   |                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |  |  |
| Yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemlerinde oluşturulan kabukların birleşimiyle meydana gelen son tasarım sınırları | Minimum ve maksimum tasarım sınırı kabuklarının ara kesiti                          | İdeal tasarım sınırını veren kabuk                                                   |

-  Yapılacak tasarımın olması gerektiği minimum yükseklikteki tasarım sınırı kabuk
-  Yapılacak tasarımın olması gerektiği maksimum yükseklikteki tasarım sınırı kabuk

Böylece, SKY aracı ile karışık uzun kod bağlantıları kurmadan hızlı bir şekilde tasarım alanı üzerine GKY uygulanmış ve ideal tasarım sınırına ulaşılmıştır (Şekil 4.33).



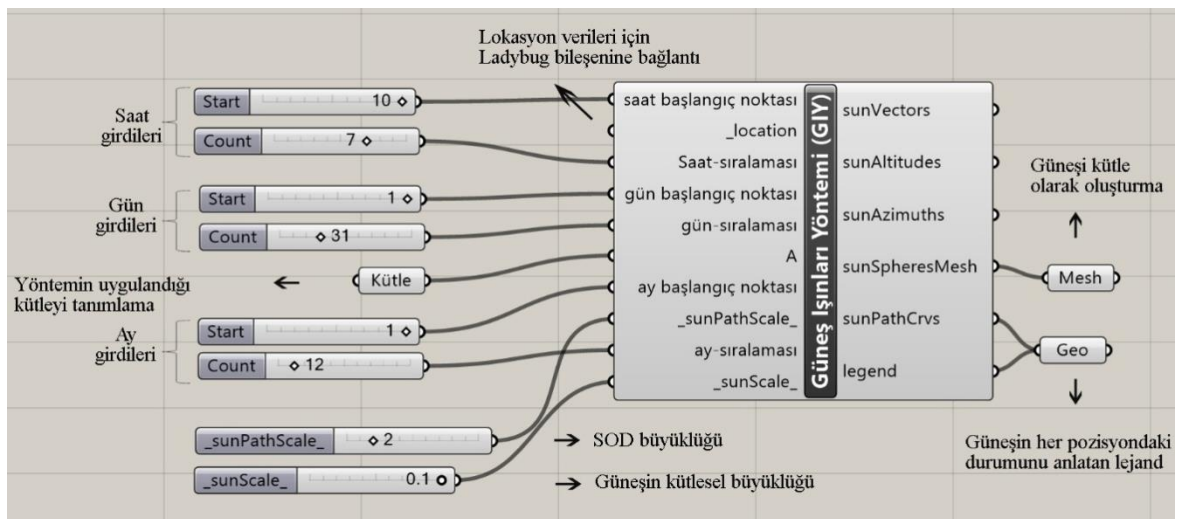
Şekil 4.33. GKY ile oluşan ideal tasarım sınırı

#### ➤ 4. Adım: GIY ile optimum kılavuz tasarım sınırı oluşumu

Yöntemin son adımını oluşturan 4. Adım, güneşten yararlanmaya yönelik olan GKY'nin aksine güneşten korunma amaçlı bir yöntemdir. GIY, tasarımın yapılabilen maksimum hacimde olması sebebiyle GKY ile belirlenen hayali yapı kabuğu sınırına doğrudan uygulanmaktadır. Yöntemde, Grasshopper programının Ladybug eklentisi içerisindeki parametrik kod yazılımları ile yoğun bir şekilde düşünülerek kurulan bağlantılar yerine çalışma kapsamında hazırlanan SKY aracı kullanılmıştır.

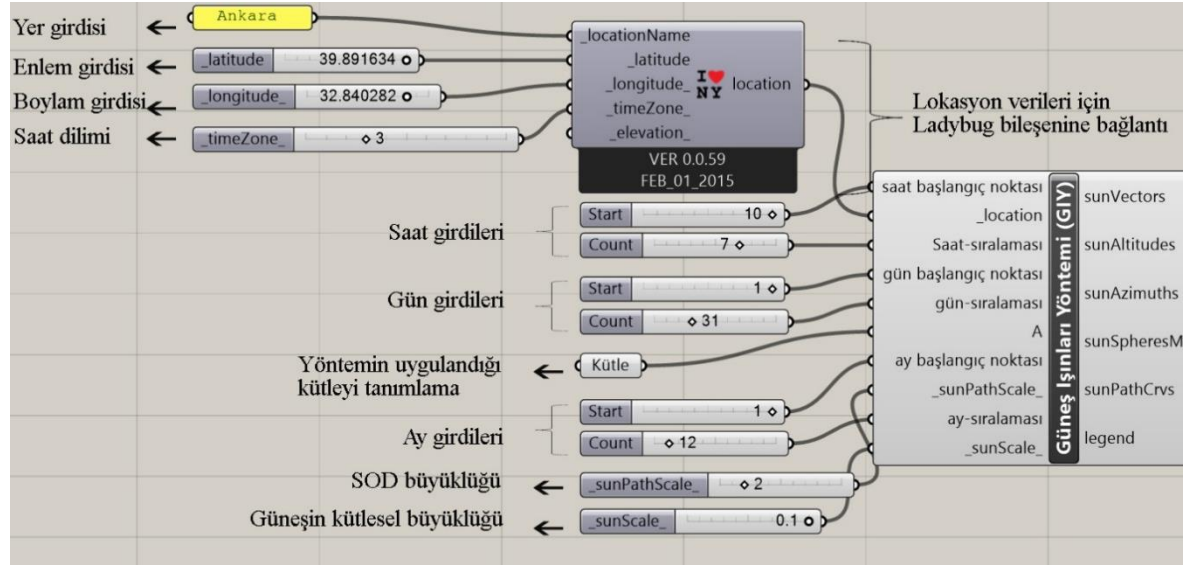
Yöntemin uygulanması için istenilen saat, gün ve ay aralığı (saat:10:00 - 16:00, gün: 31 gün, ay:12 ay) aracın ilgili girdi kısmına girilmiştir. Kütle (brep) girdisine ideal tasarım sınırını oluşturan kabuk tanımlanmıştır. GKY için SKY aracındaki diğer girdiler analizin ayarlarını yapmaya yöneliktir.

sunPathScale girdisi ile, SOD büyüklüğü tasarım alanı oranı dikkate alınarak 2 olarak belirlenirken, sunScale girdisiyle ise güneşin kütleli büyüklüğü 0,1 değeri olarak saptanmıştır. Bununla birlikte sunSpheresMesh çıktısına mesh bağlantısı yapılarak güneş ışınlarının kütle hale gelmesi sağlanmıştır. sunPathCrvs ve legend çıktılarına geo bağlantıları yapılarak ise, kütleli hale gelen güneş ışınlarının her konumuyla ilgili Rhinoceros arayüzünde yazılı analizlere ulaşılmıştır (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. İdeal tasarım sınırına uygulanan GIY için SKY aracı kullanımı

Yöntemin uygulandığı lokasyon verileri için SKY aracının location girdisine Ladybug\_Construct location bileşeni bağlanarak ilgili alana enlem, boylam ve saat dilimi verileri (enlem:38, 891634, boylam: 32, 840282 ve Türkiye'nin saat dilimi: +3) girilmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. GIY SKY aracı ile Ladybug\_Construct location bileşeni bağlantısı

Yöntem, ideal tasarım sınırına yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Böylece, Rhinoceros ara yüzünde SKY aracı ile hızlı ve kolay bir şekilde, farklı iklimsel verilere ait iki adet tasarım sınırı kabuk oluşturulmuştur (Çizelge 4.12).

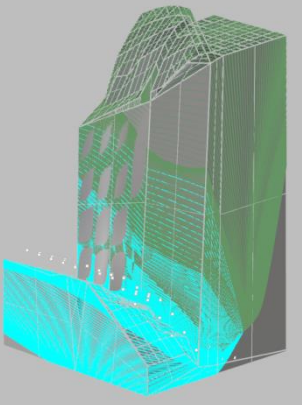
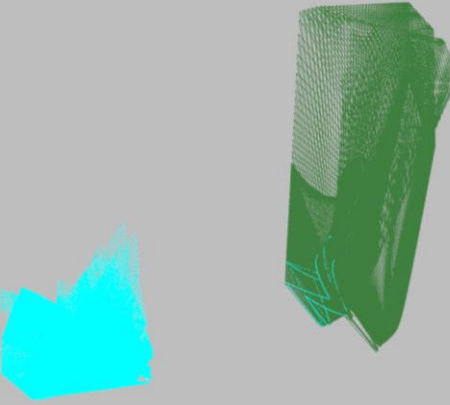
Çizelge 4.11. İdeal tasarım sınırını veren kabuğun oluşumu

|                                                                                              |                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                                                                              |                                                                    |
| <p>Yaz - ilkbahar dönemi GIY-tasarım sınırı oluşumu</p>                                      | <p>Kış - sonbahar dönemi GIY-tasarım sınırı oluşumu</p>            |
| <p> İdeal tasarım sınırına gelen güneş ışınlarını dik kesen noktaların oluşturduğu kabuk</p> | <p> İdeal tasarım sınırına mevsimine göre gelen güneş ışınları</p> |

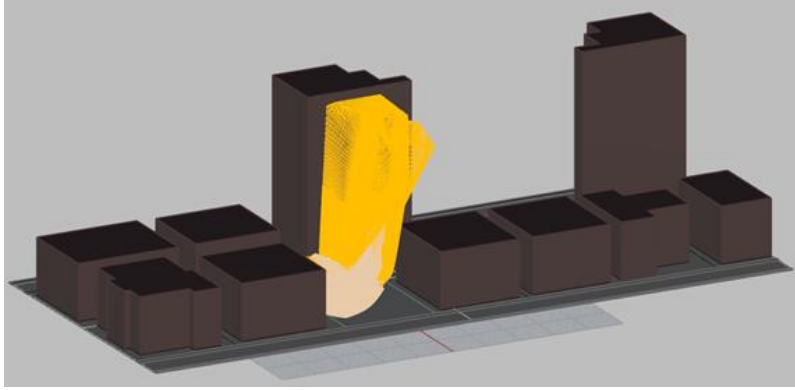
Öneri modelin olması gereken minimum ve maksimum yükseklikteki tasarım sınırları yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemleri için belirlendikten sonra, ideal tasarım sınırını bulmak için bu tasarım sınırları birleştirilmiştir.

Birleştirilen bu tasarım sınırlarının oluşturduğu öneri modelin olması gereken minimum ve maksimum yükseklikteki kabukların arakesitinden, ideal tasarım alanını tanımlayan son bir sanal kabuk oluşturulmuştur. Birleştirilen kabukların fazla yükseklikleri çıkartılıp eğimsel uyum sağlandıktan sonra, bir yıllık optimal enerjiye sahip ideal güneş kabuğu tasarım sınırı elde edilmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.12. Kılavuz tasarım sınırını veren kabuğun oluşumu

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                          |                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                       |                             |
| Yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemlerinde ideal tasarım sınırında oluşturulan kabuklar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemlerinde oluşturulan GIY kabuklarının ideal tasarım sınırıyla oluşturdukları ara kesiti | Yaz-ilkbahar ve kış-sonbahar dönemlerinde arakesit kabukların birleşimiyle meydana gelen kılavuz tasarım sınırı |
| <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Yaz - ilkbahar dönemi GIY-tasarım sınırı kabuk         <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: cyan; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></div> Kış - sonbahar dönemi GIY-tasarım sınırı kabuk         <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></div> 1 yıl için kılavuz tasarım sınırı kabuk       </div> |                                                                                                                          |                                                                                                                 |

Böylece, SKY aracı ile karışık uzun kod bağlantıları kurmadan hızlı bir şekilde ideal tasarım alanı sınırı üzerine GIY uygulanmış ve kılavuz tasarım sınırına ulaşılmıştır (Şekil 4.36).

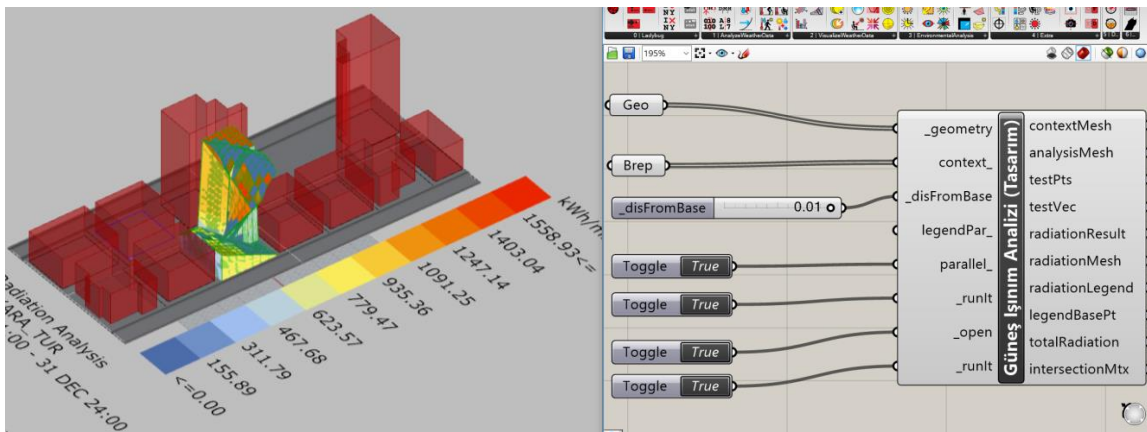


Şekil 4.36. GIY ile oluşan kılavuz tasarım sınırı

#### ➤ 5. ADIM - GIA-T ile kabuğun güneş ışıınım analizleri

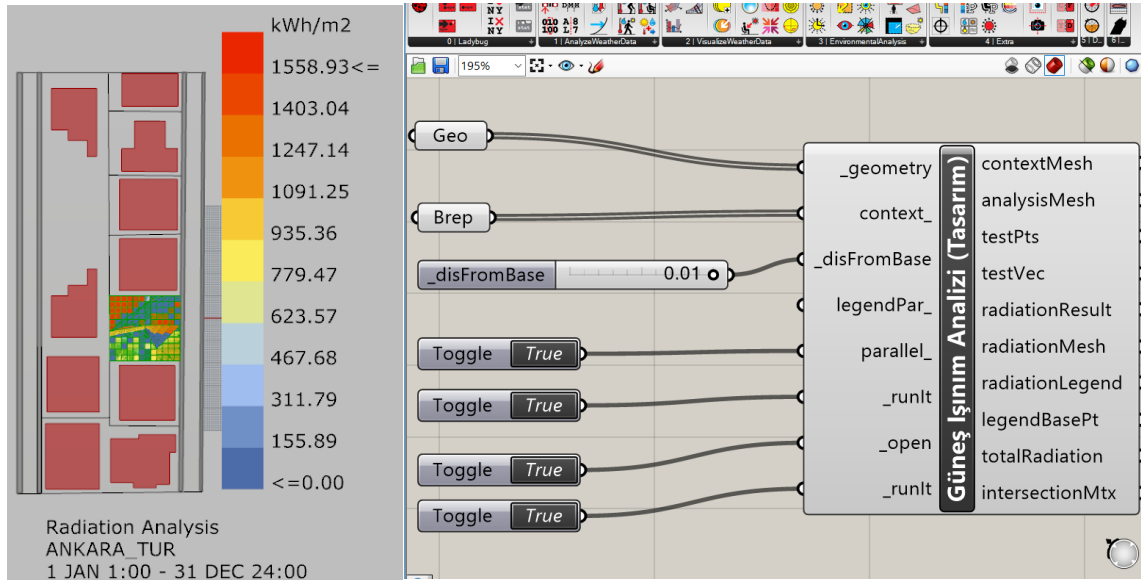
Kılavuz tasarım sınırının optimum enerji potansiyelinin olup olmadığını test etmek için, SKY aracı ile GIA-T analizi yapılmıştır. Tasarımlara uygulanan GIA-T SKY aracındaki geometry girdisine kılavuz kabuk, context girdisine yapılı çevre tanımlanmıştır. disFromBase girdisine analiz çizelgesinin modelden 0.01 birim yanında olması sağlanarak tüm Boolean Toggle bileşenleri doğru (True) haline getirilmiştir. Böylece, SKY aracı vasıtasıyla tüm analiz hesaplarının yapılmasına başlanmıştır.

SKY aracı ile GIA sonuçları Rhinoceros arayüzünde konumlanmıştır. Bu analize göre, kabuğa düşen ışıınım miktarının dengeli yayıldığı söylenebilir. Kabuğa düşen ve ortalama güneş ışıınım miktarını ifade eden sarı renk yoğunluktadır. Mevcut tasarımın batı, kuzey ve güneyindeki minimum güneş ışıınım miktarı (mavi renk) yoğunluğu, bu kabukta bulunmamaktadır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Kılavuz tasarım sınırına düşen düşen yıllık güneş ışıınım miktarı

Toplamdaki ışıının en üst değeri 1558,93 kWh/m<sup>2</sup> iken, en alt değeri 155,89 kWh/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur (Şekil 4.38). Bu verilere göre, kılavuz tasarım sınırı kabuk yüksekliği mevcut konut binasından fazla olduğu için, güneş ışınlarını engelleyen batıdaki yüksek konut bloğuna rağmen diğer cepheler güneşten yararlanabilmiştir. Öneri yöntemle, güneşten yararlanılan ve gerektiği zamanda korunulan, optimum ısı kazancı ve ısı korunumu sağlayan bir kılavuz tasarım sınırına ulaşılması sağlanmıştır.

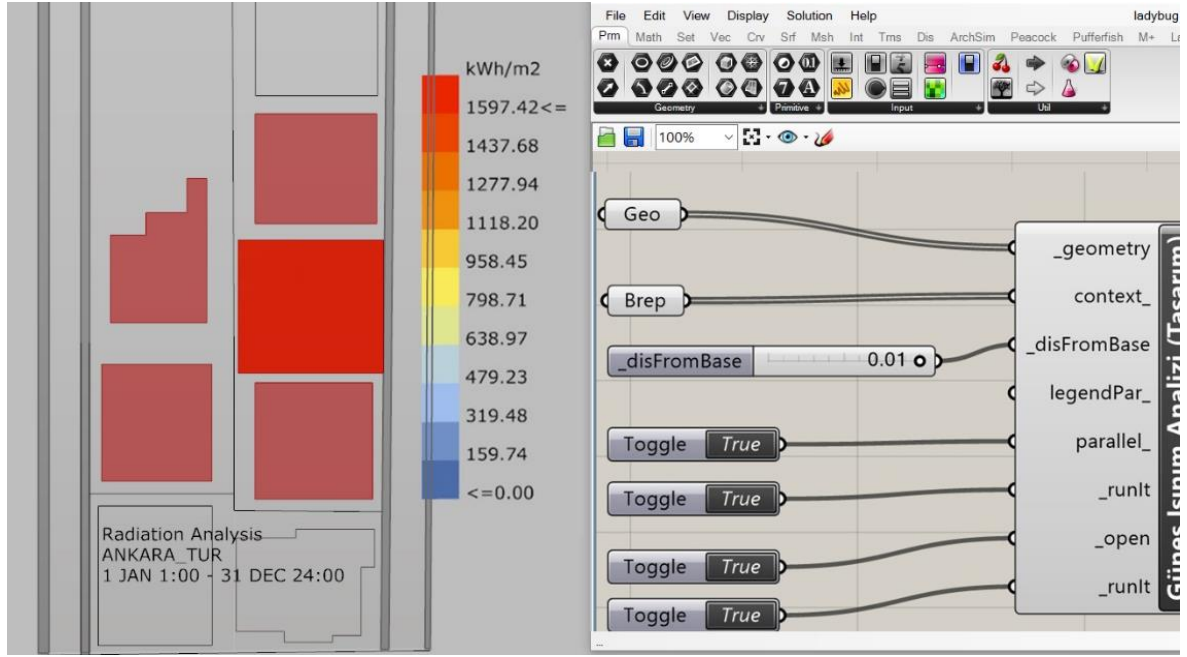


Şekil 4.38. Kılavuz tasarım sınırına düşen toplam yıllık güneş ışıının miktarı

#### 4.3.1. Yöntem kapsamında parametrik model tasarım önerisi

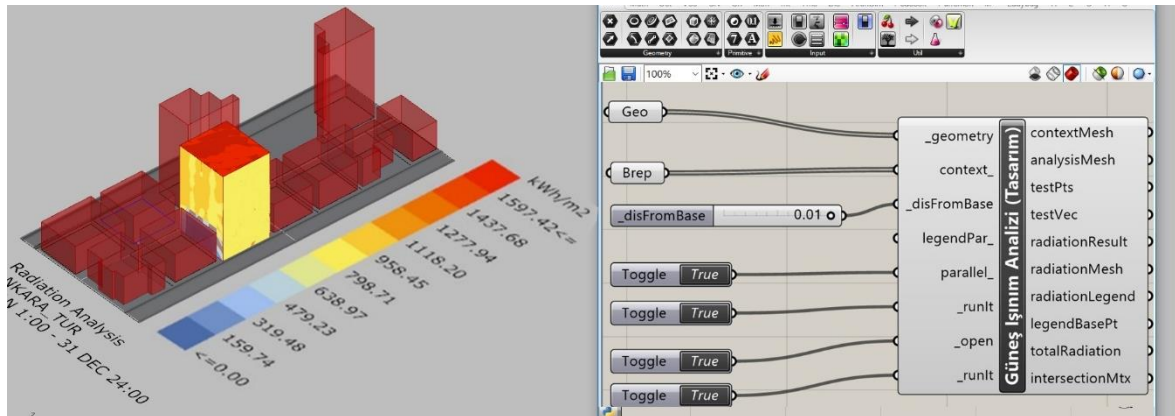
Tasarım alanına uygulanan GKY sonucu oluşan ideal tasarım sınırına, GIY uygulanarak yeni bir optimum kılavuz tasarım sınırı oluşturulmuştur. Bu kılavuz tasarım sınırı, ısı performansın sağlanabilmesi amacıyla yıl boyunca optimum ısıtma ve soğutmaya dikkate alan üç boyutlu sanal bir kabuktur.

İlk etapta, bu kılavuz tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde tasarlanacak olan alternatif modellerin optimum sonuçta olup olmadığını saptamak amacıyla, karşılaştırılmalı olarak değerlendirmek üzere, kılavuz tasarım sınırı göz önünde bulundurulmadan arsa verilerine göre bir model tasarlanmıştır. Bu modelin SKY aracı ile GIA-T güneş ışıının analizine göre, 1597,42 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan ışıının miktarı, 159,74 kWh/m<sup>2</sup> ise minimumda yayılan ışıının miktarı bulunmaktadır (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan modelin GIA-T güneş ışıınım analizi

Şekil 4.40'da görüldüğü üzere, yapılı çevredeki binaların ışıınım miktarını etkilemesiyle modelin en üst kısmında maksimum ışıınım olurken (kırmızı renkteki alan), iki bina arasında kalan yan yüzeylerde ve kuzey yönündeki cephede minimum ışıınım miktarı (mavi renkteki alan) oluşmaktadır. Sarı rengin hakim olduğu yan cephelerde ise orta seviyede ışıınım miktarı bulunmaktadır.

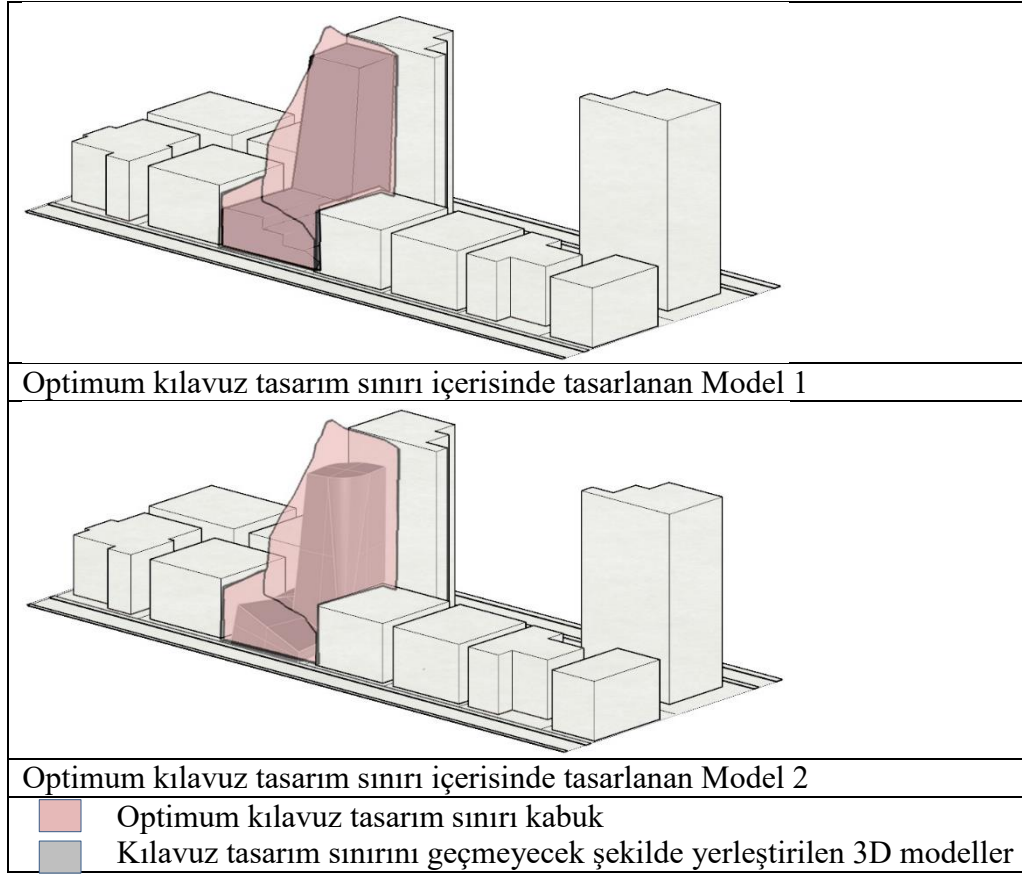


Şekil 4.40. Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan modelin yapılı çevredeki GIA-T güneş ışıınım analizi

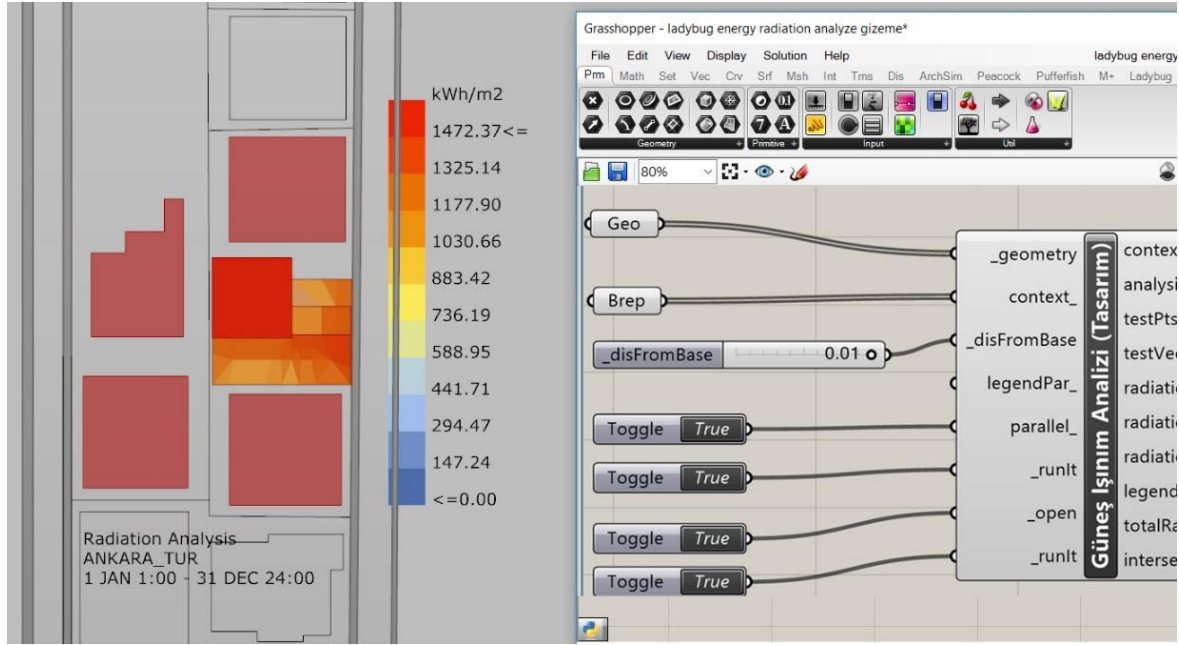
Öneri yöntem kapsamında, optimum kılavuz tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde birisi dinamik ve keskin formda (Model 1) ve diğeri kılavuz kabuğun formuna uygun olacak

şekilde, daha serbest formda (Model 2) olmak üzere iki farklı alternatif model oluşturulmuştur (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13. Kılavuz tasarım sınırına göre modellenen örnek modeller

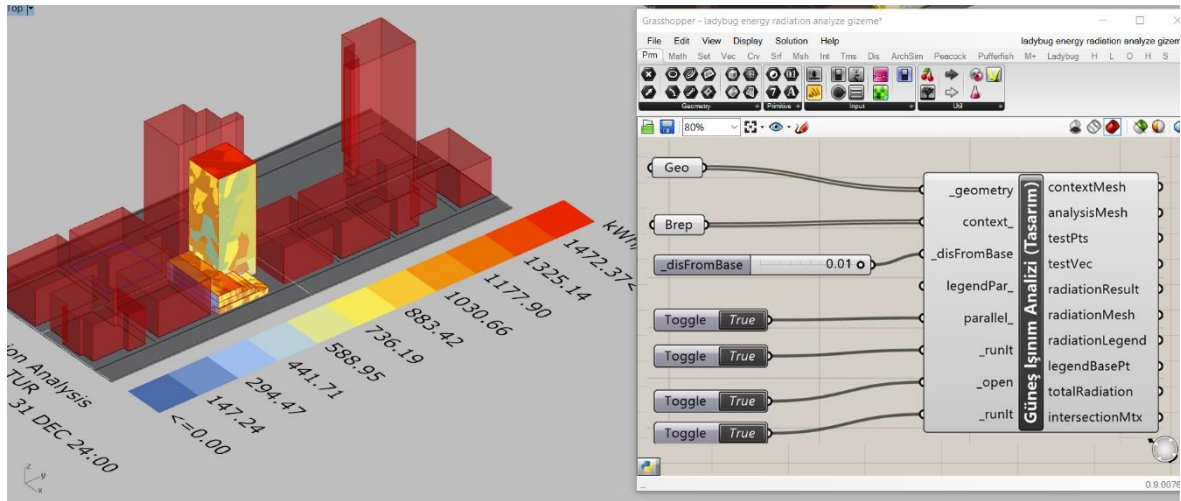


Dinamik ve keskin hatlı bir şekilde tasarlanan Model 1’de, Şekil 4.41’deki GIA-T güneş ışınlam analizine göre, 1472,37 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan güneş ışınlam miktarının ve 147,24 kWh/m<sup>2</sup> minimumda yayılan güneş ışınlam miktarının bulunduğu analiz edilmiştir.



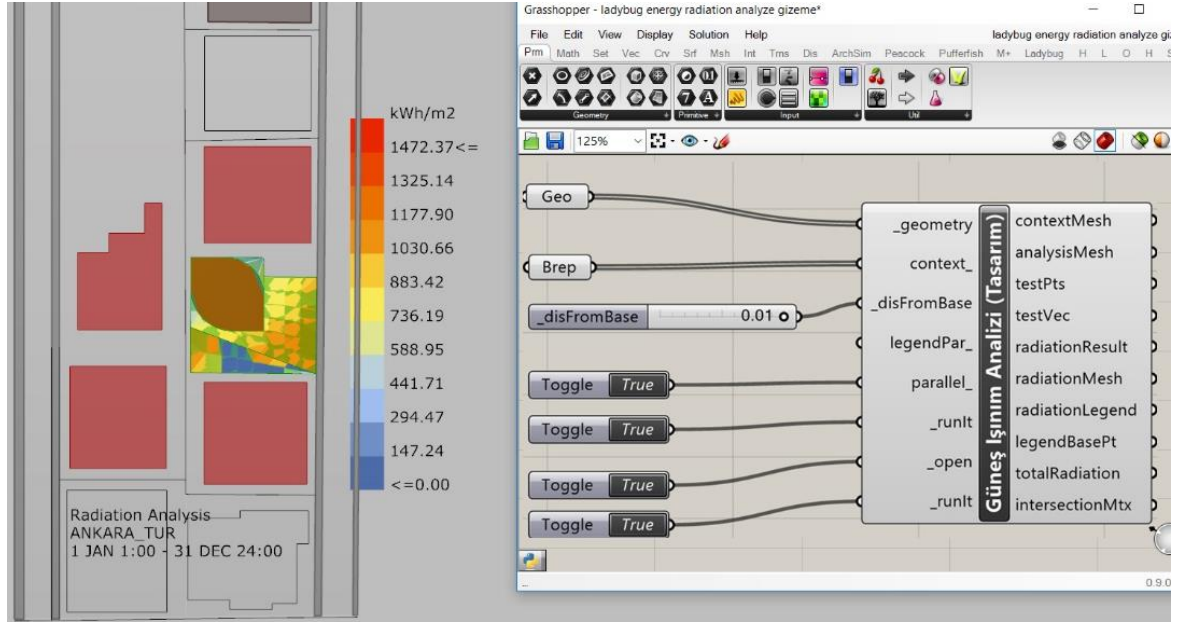
Şekil 4.41. Model 1GIA-T güneş ışıınım analizi

Şekil 4.42’de görüldüğü gibi, kırmızı renkte gösterilen maksimum ışıınım miktarı modelin en üst kısmında görölürken, sarı ve mavi renkler modele dengeli bir şekilde yayılmış durumdadır. Bu da güneş ışıınımının model üzerindeki optimum etkisini göstermektedir.



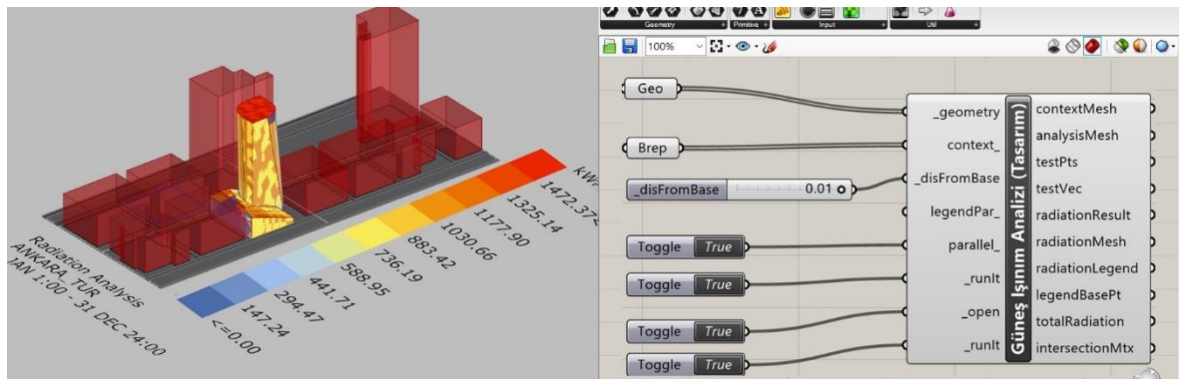
Şekil 4.42. Model 1 yapılı çevre içerisinde GIA-T güneş ışıınım analizi

Model 2, öneri yönteme göre oluşturulan kılavuz tasarım sınırı formuna uygun serbest formda bir tasarım modelidir. Şekil 4.43’deki GIA-T güneş ışıınım analizine göre Model 2’de, 1472,37 kWh/m<sup>2</sup> maksimumda yayılan güneş ışıınım miktarı bulunurken, 147,24kWh/m<sup>2</sup> minimumda yayılan güneş ışıınım miktarı bulunmaktadır (Şekil 5.24).



Şekil 4.43. Model 2 GIA-T güneş ışıınım analizi

Şekil 4.44’de, modelde güneş ışıınım miktarının orta seviyede olduğu sarı rengin hakim olduğu görülmektedir. Modelin en üst kısmında kırmızı renkte maksimum ışıınım oluşurken, diğer modellerde olduğu gibi iki bina arasında kalan yan yüzeylerde ve kuzey yönündeki cephede mavi renk olarak gösterilen minimum ışıınım miktarı bulunmaktadır. Model 1’de olduğu gibi bu modelde de güneş ışıınım miktarları optimum şekilde dağılmıştır.



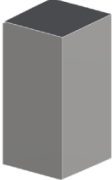
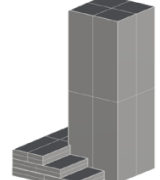
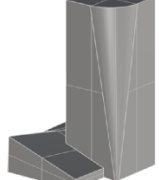
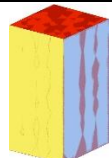
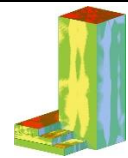
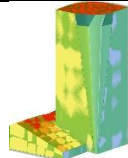
Şekil 4.44. Model 2 yapılı çevre içerisinde GIA-T güneş ışıınım analizi

Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan model göz önünde bulundurulduğunda, öneri yöntem kapsamında optimum kılavuz tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde tasarlanan modellerin az ya da çok miktarda hacimlerinde azalma görülmektedir. Buna göre, Model 1 için yaklaşık %10’luk bir hacim, Model 2 için yaklaşık %20’lik bir hacim kaybı yaşanmıştır. Hacimdeki bu azalma bir dezavantaj gibi gözükse de optimum enerjide bir yapı kabuğu

tasarımı söz konusu olduğu için göz ardı edilebilir. Bununla birlikte, standart ve monoton bina kütleleri yerine dinamik ve hareketli kütleler oluşturulması yöntemin kullanılmasında önemli bir kriterdir. Ayrıca, iç çözümlerdeki esneklik, farklı m<sup>2</sup>'lerde farklı tipolojilerde çözümler söz konusudur.

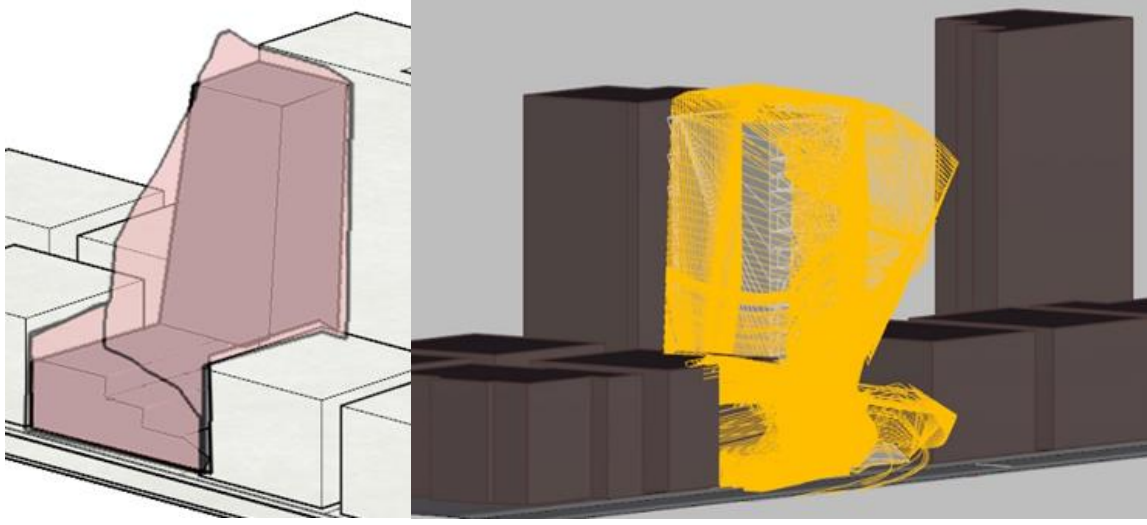
Öneri yöntem kullanılarak tasarlanan Model 1 ve Model 2 kütlelerinin farklı cephe yüzeylerinin olmasına karşılık, tasarımları kabuk sınırı içerisinde kalacak şekilde oluşturulduğu için enerji analizlerinde aynı güneş ışıınım miktarları bulunmuştur. Her iki modelin de maksimum ışıınım miktarları 1472,37 kWh/m<sup>2</sup> iken, minimum ışıınım miktarları 147,24 kWh/m<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan modelin ışıınım miktarı ise daha yüksek değerde olup 1597,42 kWh/m<sup>2</sup> ışıınım miktarı maksimumda, 159,74 kWh/m<sup>2</sup> ışıınım miktarı ise minimum değer olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15). Buna göre, yapılı çevre içerisinde gölgelemeyi göz önünde bulunduran, optimum ısı kazancı ve ısı korunumu sağlayan enerji verimli yapı kabuğu tasarımları yapılmıştır.

Çizelge 4.14. Modellerin karşılaştırılması

| Karşılaştırma kriterleri  | Öneri yöntem kullanılmadan tasarlanan model                                         | Model 1                                                                              | Model 2                                                                               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 3D kabuk                  |  |  |  |
| Hacimsel azalma           | %0                                                                                  | Yaklaşık %10                                                                         | Yaklaşık %20                                                                          |
| Maksimum ışıınım miktarı  | 1597,42 kWh/m <sup>2</sup>                                                          | 1472,37 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 1472,37 kWh/m <sup>2</sup>                                                            |
| Minimum ışıınım miktarı   | 159,74 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 147,24 kWh/m <sup>2</sup>                                                            | 147,24 kWh/m <sup>2</sup>                                                             |
| İşınımın kütleye dağılımı |  |  |  |

Verilen örnekler ve analizleri sonucunda, önerilen sınır içerisinde kalındığı sürece, tasarımcının istediği tasarımı yapmakta özgür olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yöntemle, yapılı çevreye uyumlu ve güneşten optimum şekilde yararlanılan bir tasarım elde ederken tasarımın özgünlüğü de göz önünde bulundurulmuştur.

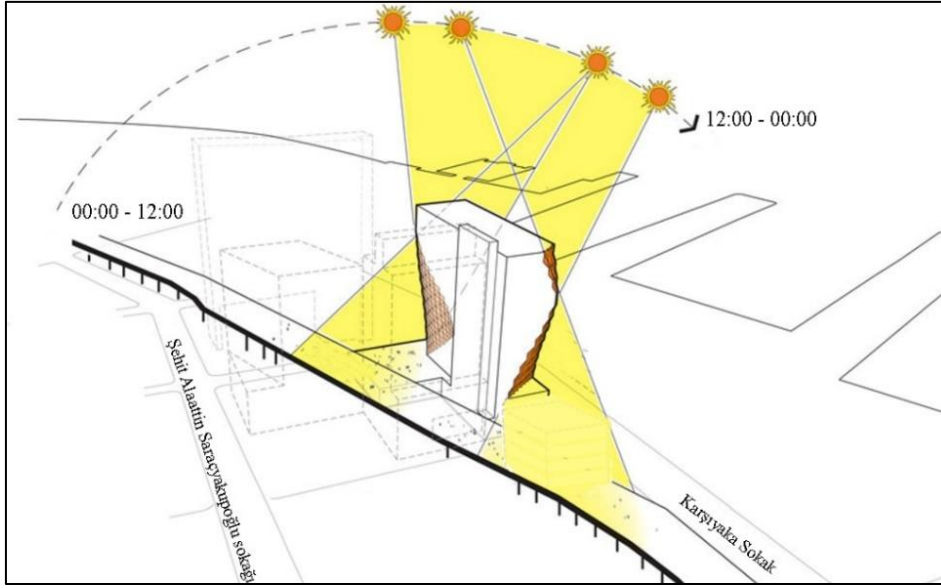
Örneklenen modeller içerisinde, hacimsel azalmanın minimum olduğu (yaklaşık %10 seviyede) Model 1, detaylı bir şekilde tasarlanmak ve analizi yapılmak üzere seçilmiştir. Bu bağlamda yukarıda da anlatıldığı üzere, Model 1 için optimum kılavuz tasarım sınırının getirdiği ölçütlere göre, belli bir yüksekliğe kadar teraslanarak giden bir kabuk tasarlanmış ve daha sonra tasarım alanının batısında yer alan konut bloğunun yüksekliğiyle uyumlu bir şekilde 3D kabuk oluşturulmuştur (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Kılavuz tasarım sınırı ölçütlerine göre 3d kabuğun oluşumu

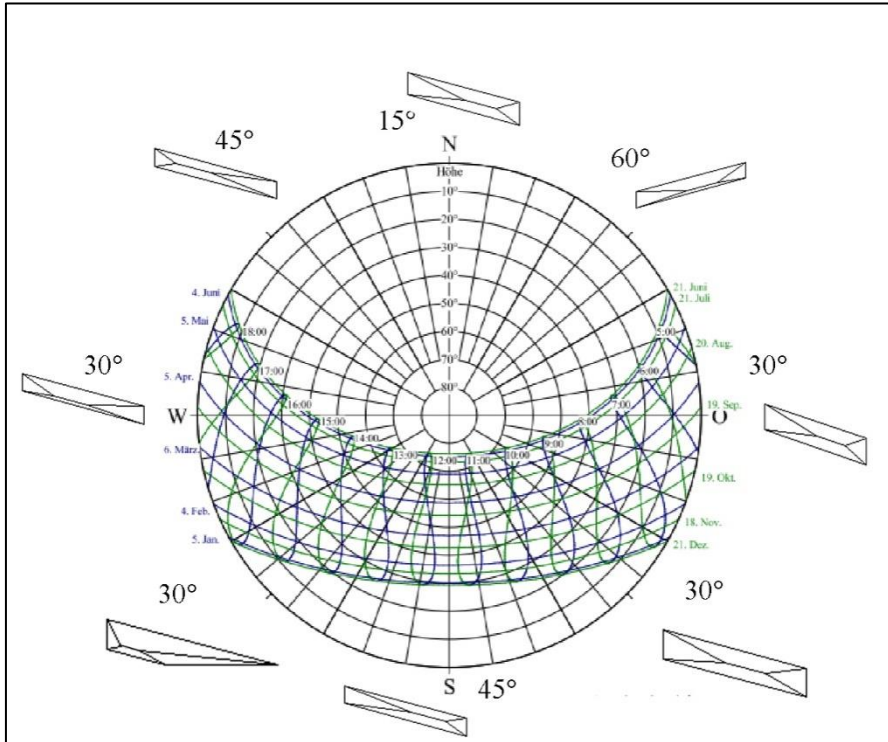
Daha sonra, kılavuz tasarım sınırına göre oluşturulan kabuk yüzeyleri, Resim 4.1’de görüldüğü gibi, güneş ışınlarına göre biçimlenmiştir. Tasarım alanına uygulanan GIA sonucu olarak<sup>3</sup>, 15 °, 30°, 45 ° ve 60 ° eğimli yüzeylerde güneş ışıınının maksimum olduğu saptanmıştır. Bu verilere dayanarak kabuğun en çok güneş ışınlarının geldiği doğu ve güney yüzeyi bu derecelerde kırılmış ve böylece hem yoğun güneş ışıınının önüne geçilmiş hem de PV panelleri için zemin oluşturulmuştur.

<sup>3</sup> bkz. Bölüm 4.4. Gök kubbe (sky dome) analiz sonuçları

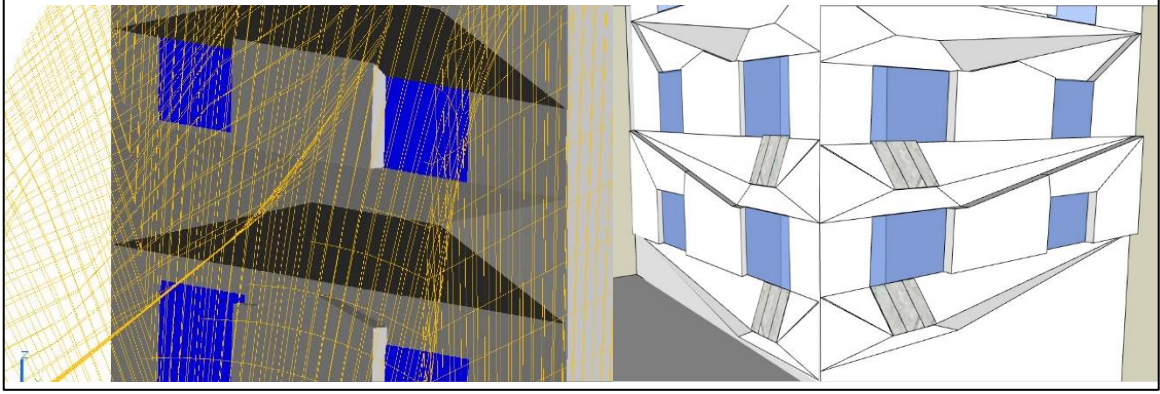


Resim 4.1. Kabuk yüzeyinin güneş ışınları odaklı biçimlenmesi

Kılavuz tasarım sınırına göre oluşturulan yapı kabuğunun doğu ve güney yönündeki yüzeyinin, güneş ışınlarının farklı derecelerde kabuk üzerine gelmesiyle yüzeyler farklı açılarda biçimlenmiştir (Şekil 4.46, Resim 4.2).

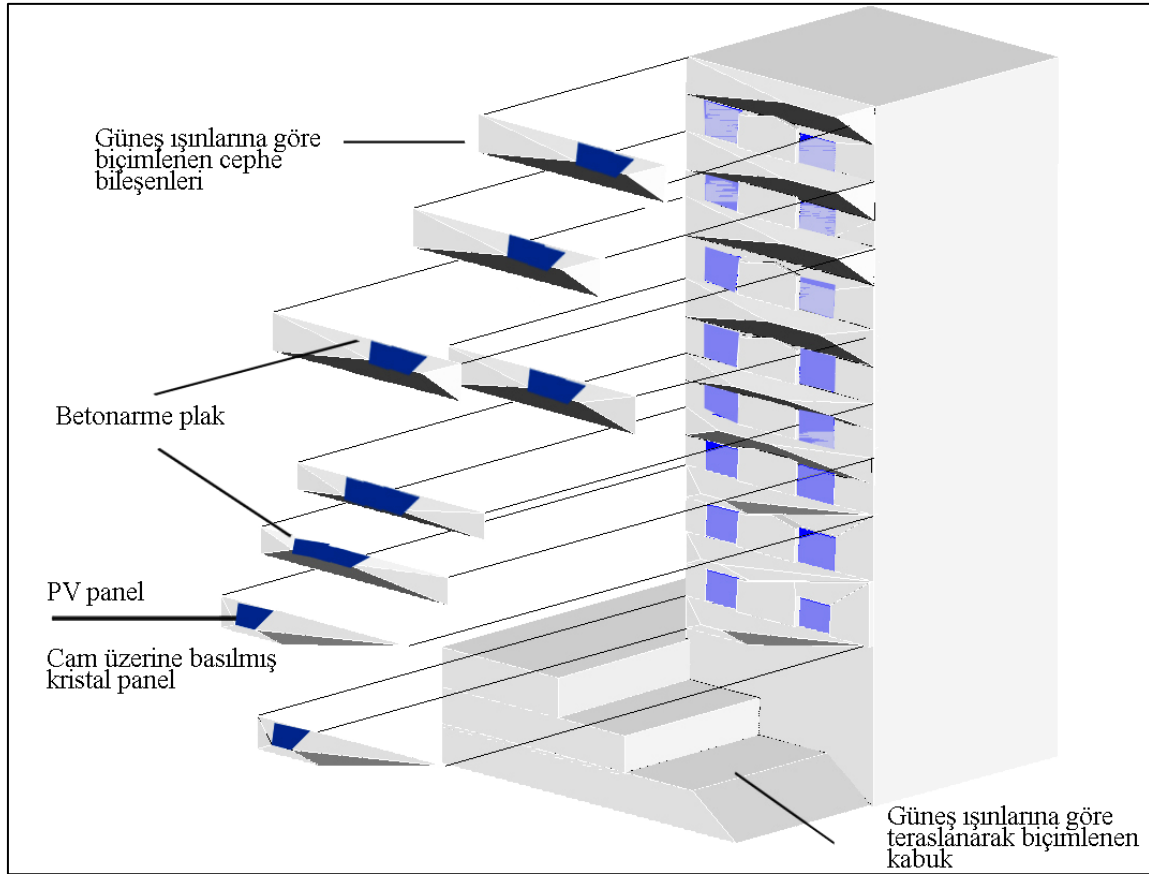


Şekil 4.46. Güneş ışınlarının geliş derecelerine göre farklı açılarda biçimlenen yüzeyler



Resim 4.2. Yüzeylerin konumuna göre farklı açılarda gelen güneş ışınları odaklı yüzeylerin biçimlenmesi

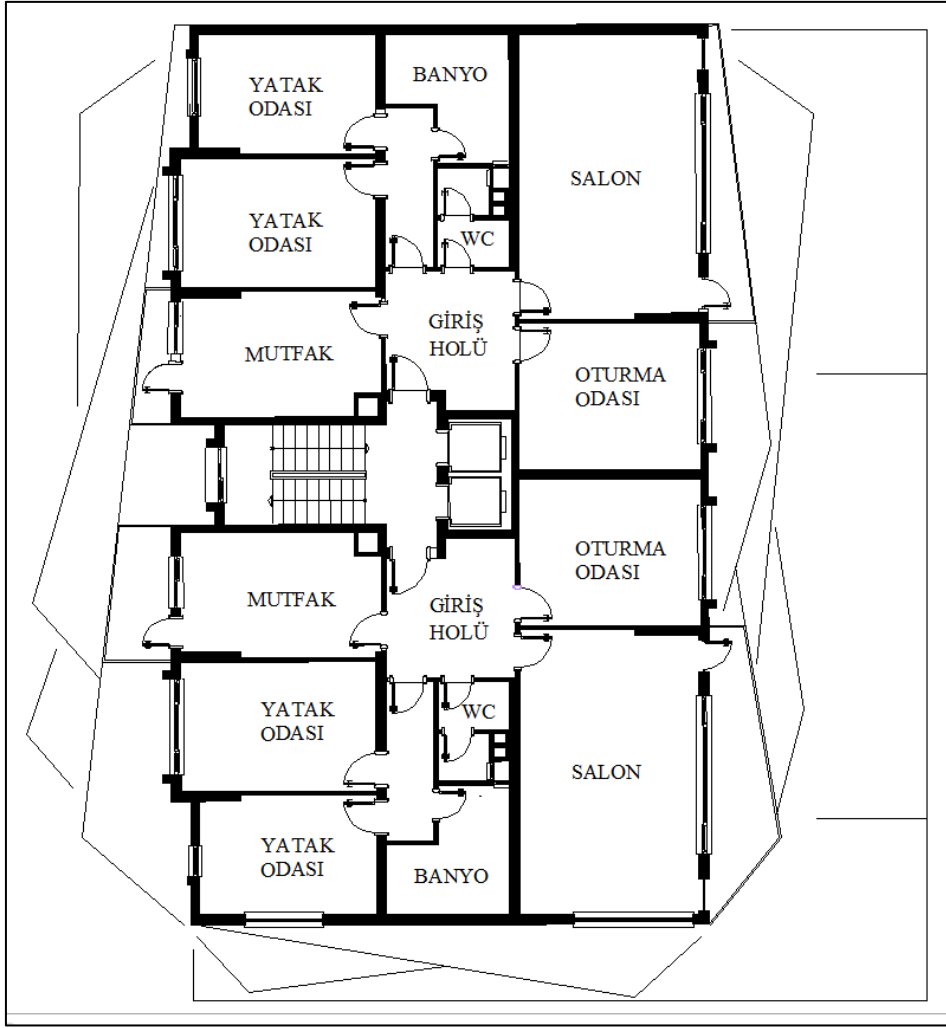
Parametrik olarak farklı yönlerde uyarlanmış ve farklı güneş ışınlarıyla ilişkilendirilmiş her bir cephe bileşenine PV paneller uygulanmıştır. Böylece, cephedeki bir dijital bileşen PV paneller sayesinde kendi enerjisini üretmekte ve bununla birlikte gölgelendirmeyi, havalandırmayı ve aydınlatmayı kontrol ederek bir mikro iklim ortamı geliştirmektedir. Tasarımda malzeme olarak, cephe bileşenlerinde betonarme plak malzeme kullanılmıştır. PV paneller ise cam üzerine basılmış kristal panellerden oluşmuştur (Resim 4.3).



Resim 4.3. Yapı kabuğunda kullanılan bileşenler ve PV paneller

Yapı kabuğu oluşturulan öneri modelin Şekil 4.47’de normal kat planı görülmektedir. 12 katlı modelin her bir katı simetrik 2 daireden oluşmakta ve konut yapısı toplamda 24 daireden oluşmaktadır. İmar yönetmeliğinde KAKS verilmediği için kat yüksekliği için belli bir sınır yoktur. Bununla birlikte, 16 dairesi olan mevcut konut binasını  $m^2$  olarak aşmaktadır.

Öneri konut yapısı, yüksek bir yapı olarak tasarlandığı için her katta iki daire plan çözümü ile estetik açıdan daha ince, narin, hantal olmayan bir yapı olarak biçimlenmiştir. Konut yapısının her bir dairesinde, mutfak, salon, iki adet yatak odası, bir adet oturma odası, giriş holü, koridor ve iki adet ıslak hacim (WC ve banyo) bulunmaktadır.

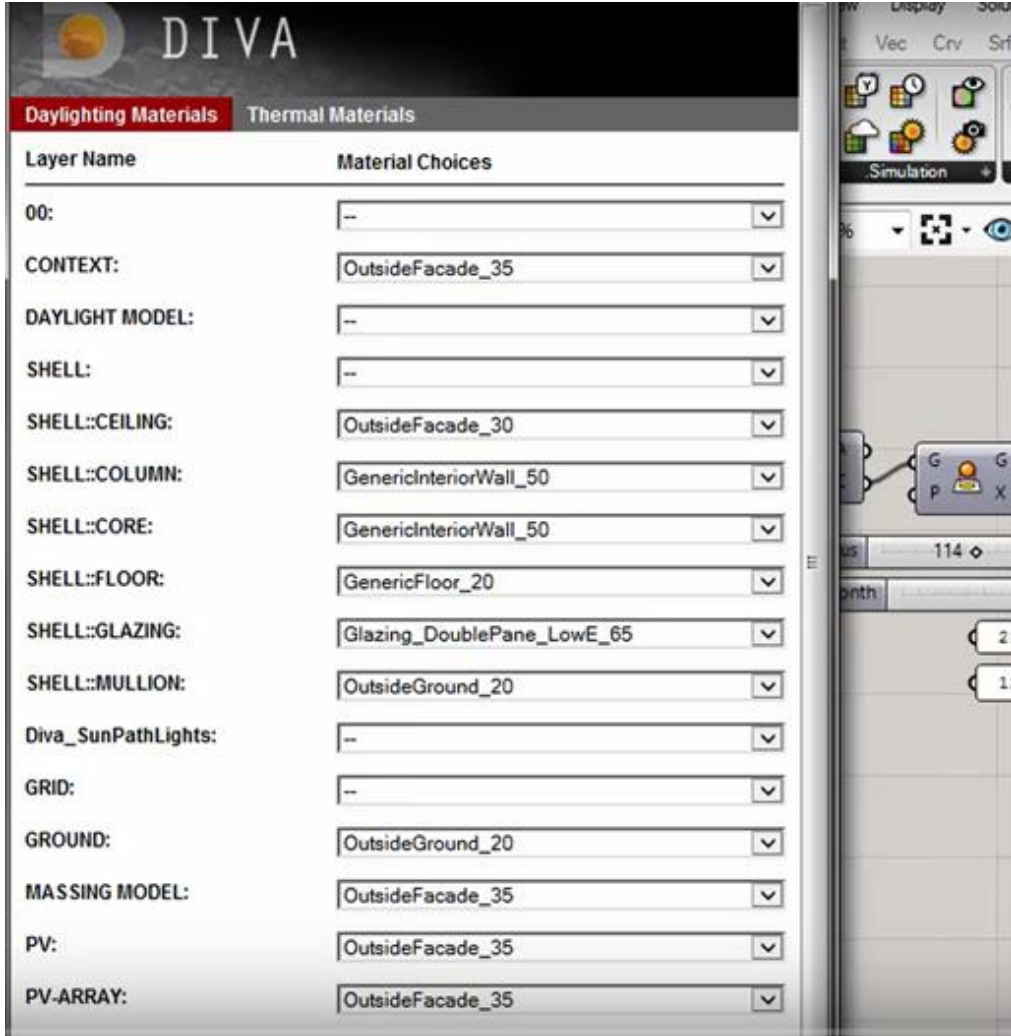


Şekil 4.47. Öneri konut yapısı normal kat planı

#### 4.3.2. Yöntem kapsamında önerilen parametrik model analizleri

Modelde uygulanan PV panellerinin, açısal yerleşimi olarak optimizasyonu için Rhinoceros programının bir diğer eklenti programı olan Diva yazılımı kullanılmış, panellerin simülasyonu için ise ArchSim yazılımından yararlanılmıştır.

Diva yazılımının, Rhinoceros programına yüklenmesiyle, Rhinoceros arayüzünde oluşan Materials Assignment sekmesinden Diva malzeme ayarları, yapılı çevre (context), kütleli model (massing model), PV, sıralanmış PV panelleri (PV-array) ayarları Resim 4.4'deki gibi dışarıda olan cephe (outside facade) olarak yapılmıştır.

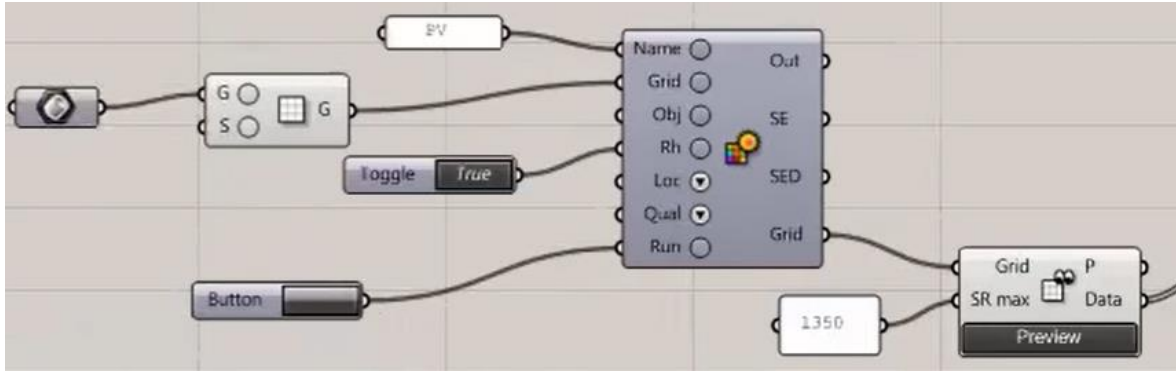


Resim 4.4. Diva yazılımı ile malzeme ayarları

Malzeme girdisi yapılan model ve yapı çevrenin, Diva arayüzündeki SunPath bileşeni kullanılarak tüm lokasyon bilgileri (enlem: 38,891634, boylam: 32, 840282 ve Türkiye'nin saat dilimi: +3) girilmiştir. Zaman aralığı verisi olarak, modelin etrafındaki çevreden düşen gölgeler için en kötü durum senaryosu olarak tespit edilen 21 Aralık saat: 12:00 girdisi yapılmıştır.

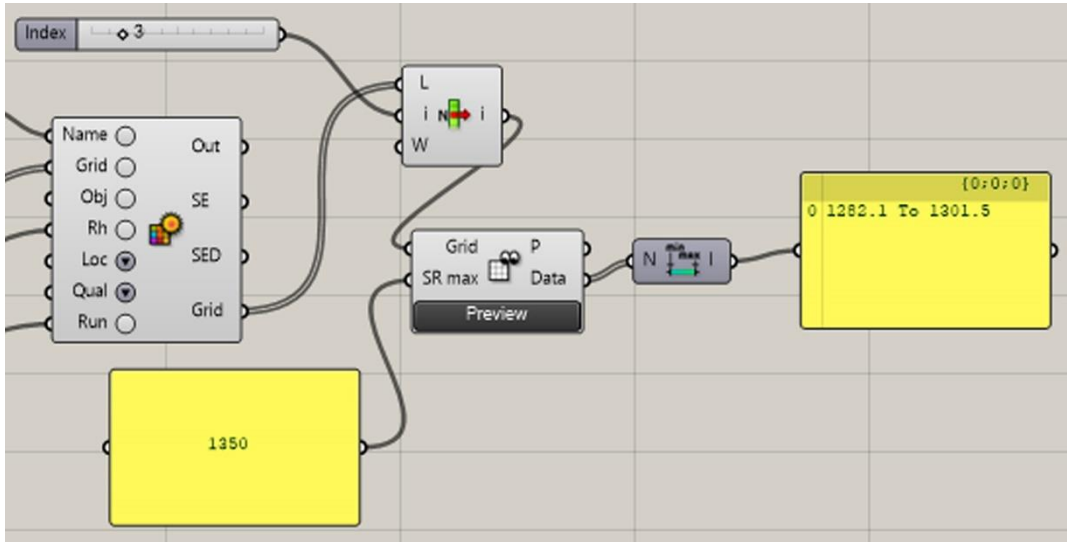
Area girdisine analiz yapılacak cephe bileşeni tanımlanmış, Radius girdisine de 114 verisi belirlenerek güneş diyagramının ölçüsü modele göre oranlanmıştır (Şekil 4.48).





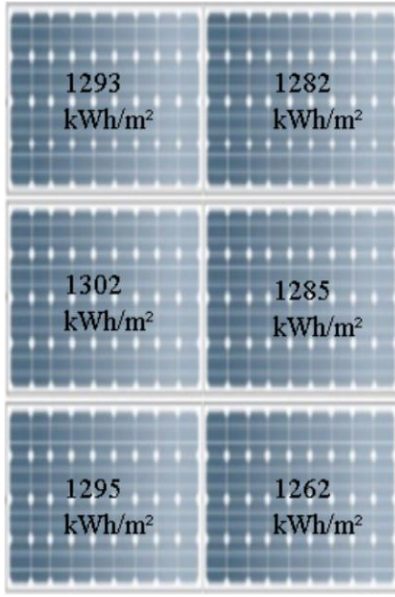
Şekil 4.50. PV panel için simülasyon ayarları

Analiz sonucunu almak için Grid Viewer bileşeninin Data çıktısına, minimum ve maksimum ışıınım miktarı değerlerini gösteren Bounds bileşeninin Number as list girdisi bağlanmıştır. Sonuç olarak Bounds bileşenindeki panelde görüldüğü üzere, seçilen alana uygulanan panellerin 1282 – 1301,5 kWh/m<sup>2</sup> aralığında yıllık ışıınım miktarları bulunmaktadır (Şekil 4.51).



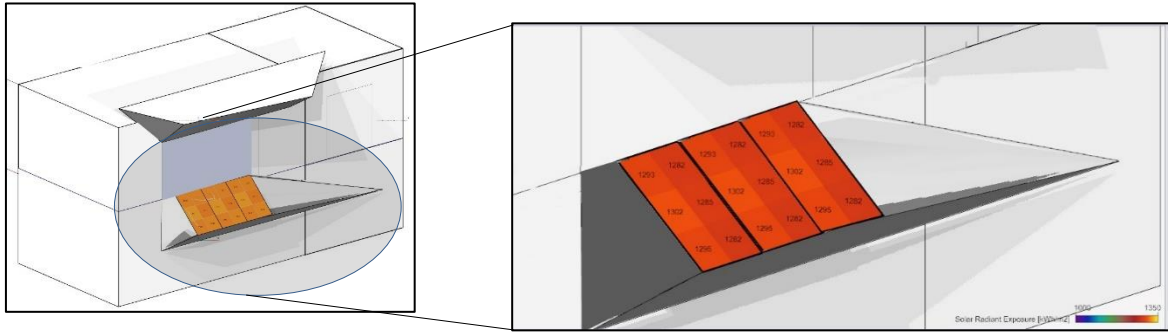
Şekil 4.51. PV panellerindeki güneş ışıınım miktarlarının bulunması

100 x 165 ebatlarındaki panellerin 1 adetinde 6 modül bulunmaktadır ve her bir modülün güneş ışıınım miktarı farklı oranlardadır (Resim4.5).



Resim 4.5. 100 x 165 ebatlarındaki panelin 6 adet modülü ve ışıınım miktarları

Panellerin uygulandığı bölgeler, cephe bileşenlerinin güneş ışınlarının yüksek ışıınımla geldiği alanlarıdır. Güneş ışınlarına göre biçimlenen yapı bileşenleri, yüksek verim almak amaçlı PV panellerin konumlanması için en uygun açıda bulunmaktadır (Şekil 4.52).



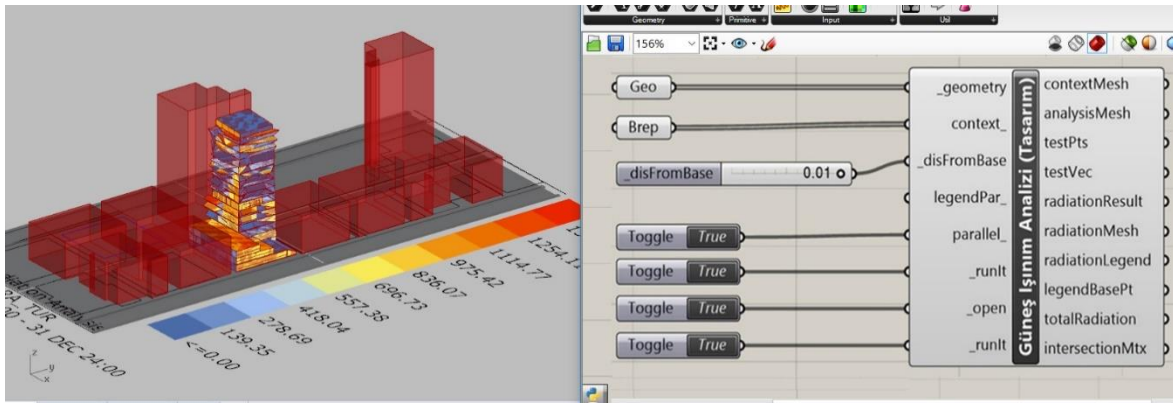
Şekil 4.52. PV panellerinin cephe bileşenlerine yerleşimi

TEİAŞ araştırmasına göre, Türkiye’de iki çocuklu dört kişilik bir ailenin yıllık ortalama elektrik tüketimi 3036 kWh’tır [158]. Bu da yaklaşık 12 000 Watt’a tekabül etmektedir. Daire başına kullanılan 3 adet panelin her birinin, hücre teknolojisine ve akü depolama alanına bağlı olarak değişen oranlarda, 150 - 370 Watt aralığında elektrik ürettiği düşünülürse, panellerin dairenin elektrik ihtiyacının belli bir kısmını karşılayacağı sonucuna ulaşılmaktadır. PV panelleri yapı kabuğunun enerjisinin maksimize edildiği doğu ve güney yönlerinde kullanılmış, kuzey yönünde ısı transferini en aza indirmek için opak malzemelere

yer verilmiştir. Doğu ve güney cephesini oluşturan bileşenlerin yüksek çıkıntıda olmasıyla, yaz aylarında ışıınma karşı daha fazla enerji toplama ve daha fazla koruma sağlanmaktadır.

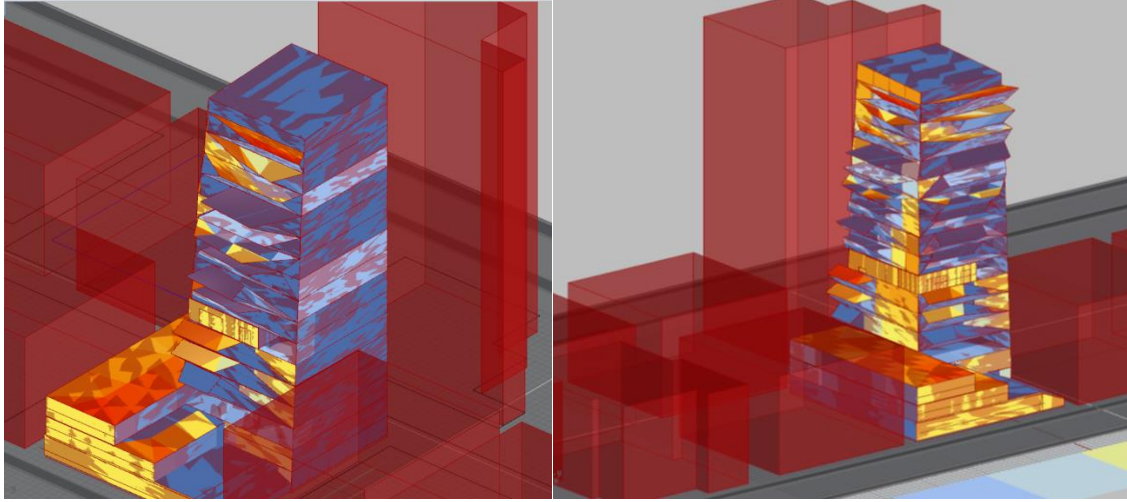
Önerilen parametrik konut yapısına yıl boyunca düşen ışıınım miktarlarının ve hangi cephelerde daha çok etkili ışıınım gerçekleştiğinin belirlenmesine yönelik olarak kodlamaya gerek kalmadan SKY aracı ile güneş ışıınım analizi yapılmıştır.

Ladybug eklenti programında geliştirilen SKY aracının girdi kısmına ilgili veriler girilmiştir. Geo girdisine öneri parametrik model tanımlanırken, Brep girdisine modelin etrafında bulunan yapıları çevresi bağlam (context) olarak belirtilmiştir. Analiz verilerinin grafik olarak Rhinoceros arayüzünde görüntülenmesi için Boolean Toggle girdisinin True olarak işaretlenmiş, grafiğin modele paralel görünümde olması için ise yine ilgili kısımdaki Boolean Toggle girdisinin True olarak seçilmiş olması gerekmektedir. DisfromBase girdisine 0.01 değeri girilerek, grafik ile model arasındaki mesafe belirlenmiştir. Son olarak da runlty girişine bağlı olan Boolean Toggle girdisini, True haline getirerek tüm analiz hesaplarının yapılmasına başlanmıştır. SKY aracı vasıtasıyla GIA sonuçları Rhinoceros arayüzünde görünür hale gelmiştir. (Şekil 4.53).



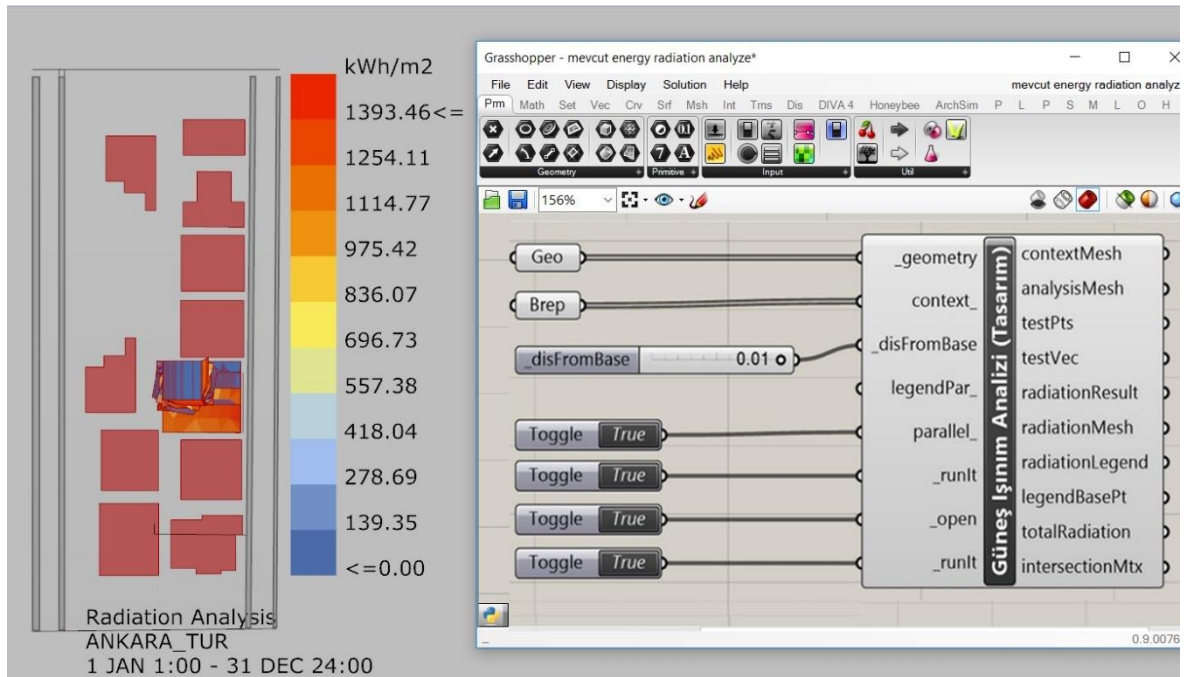
Şekil 4.53. Öneri parametrik modele düşen yıllık güneş ışıınım miktarı

Bu analize göre, öneri parametrik modelin yüzeylerine gelen ışıınım miktarının doğu ve güney yönündeki cephe bileşenleri ile ışıınımın yüksek olduğu yerlerde güneşten korunulmuş ve bu yüzeylerde minimum güneş ışıınım miktarı (mavi renk) görülmüştür. Işıınımın az olduğu yerlerde güneşten yararlanılarak, bu alanlarda maksimum güneş ışıınım miktarı (sarı-kırmızı renk) bulunmuştur. Modelin kuzey yönünde ise minimum güneş ışıınım miktarı (mavi renk) bulunmaktadır (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. Mevcut yapı kabuğuna düşen yıllık güneş ışıınım miktarı (Kuzey, doğu ve güney cephesi)

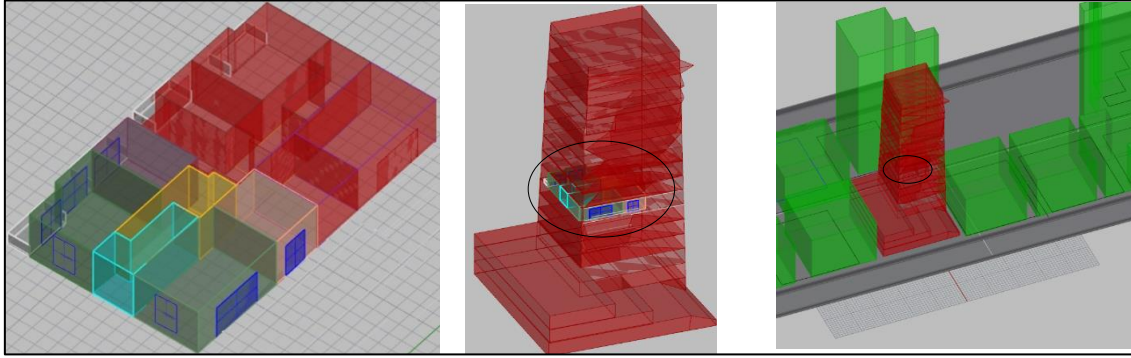
Toplamdaki ışıınımın en üst değeri 1393,46 kWh/m<sup>2</sup> iken, en alt değeri 139,35 kWh/m<sup>2</sup> bulunmuştur (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Öneri parametrik modele düşen toplam yıllık güneş ışıınım miktarı

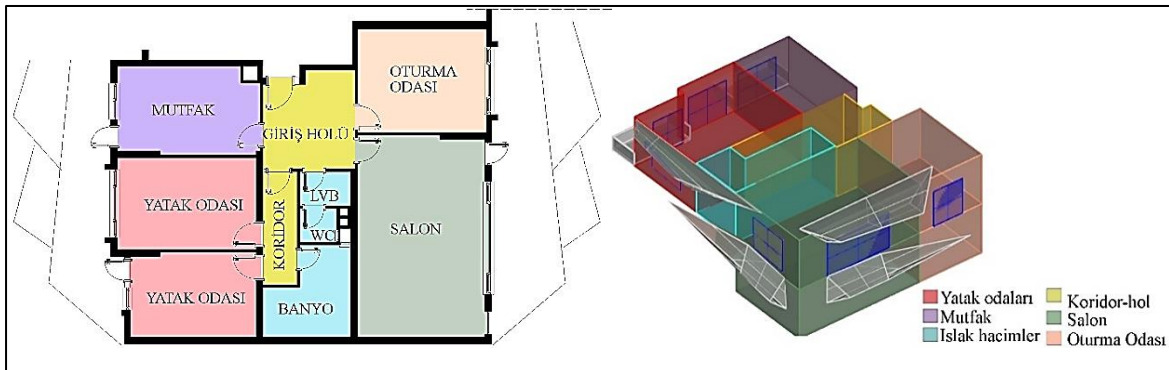
Bu verilere göre, öneri parametrik modelin erken tasarım aşamasında verilen kararların enerji etkinliği odaklı doğru kararlar olduğu görülmektedir.

Önerilen parametrik modelin kütleli olarak ısıtım analizi dışında, öneri plan dahilinde bir daire göz önünde bulundurularak, bu dairenin ısıtma, soğutma ve aydınlatma analizleri yapılmıştır. Konut yapısının simetrik bir plana sahip olması ve simülasyon zamanının azaltılabilmesi için altıncı katta (ara katta) yer alan ve karşılaştırma yapabilmek için mevcut konut binasında analiz yapılan daire ile aynı konumda bulunan daire, performans hedefleri doğrultusunda incelemeye alınmıştır (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. Öneri parametrik modelde analizi yapılacak olan dairenin konumu

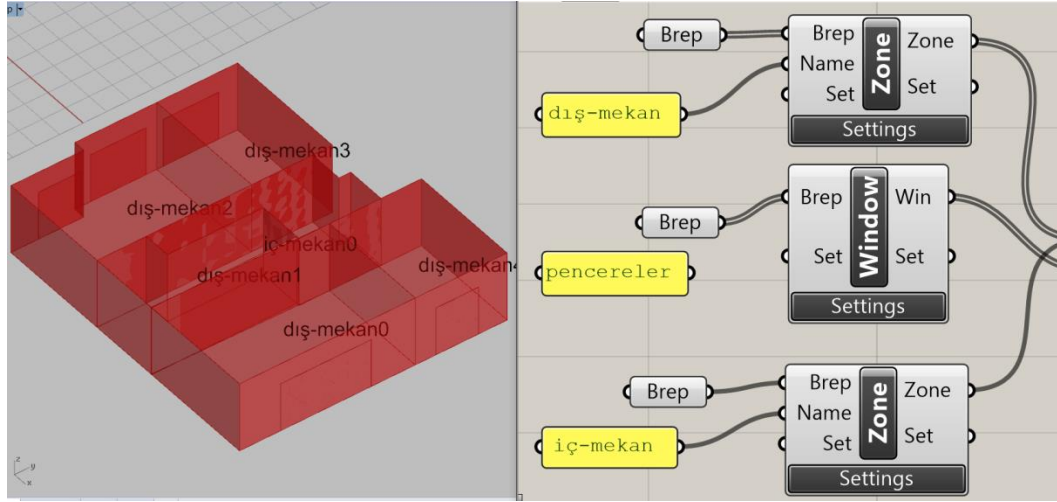
Daire odaklı bu incelemeler yapılırken, Grasshopper eklenti programı altında çalışan ArchSim programından yararlanılmış, bu amaca yönelik çeşitli Grasshopper bileşenleri kullanılmış ve simülasyon modellerinin kurulumu tamamlanmıştır. Bu bağlamda, öncelikli olarak analiz için öneri parametrik modelden seçilen daire; yatak odaları, salon, oturma odası, mutfak, ıslak hacimler (banyo ve WC), koridor ve hol gibi 6 adet zonlar halindeki mekanlar, Rhinoceros programında modellenmiştir (Şekil 4.57).



Şekil 4.57. Mevcut konut binasının güneybatı yönündeki daire planı ve zonlara ayrılması

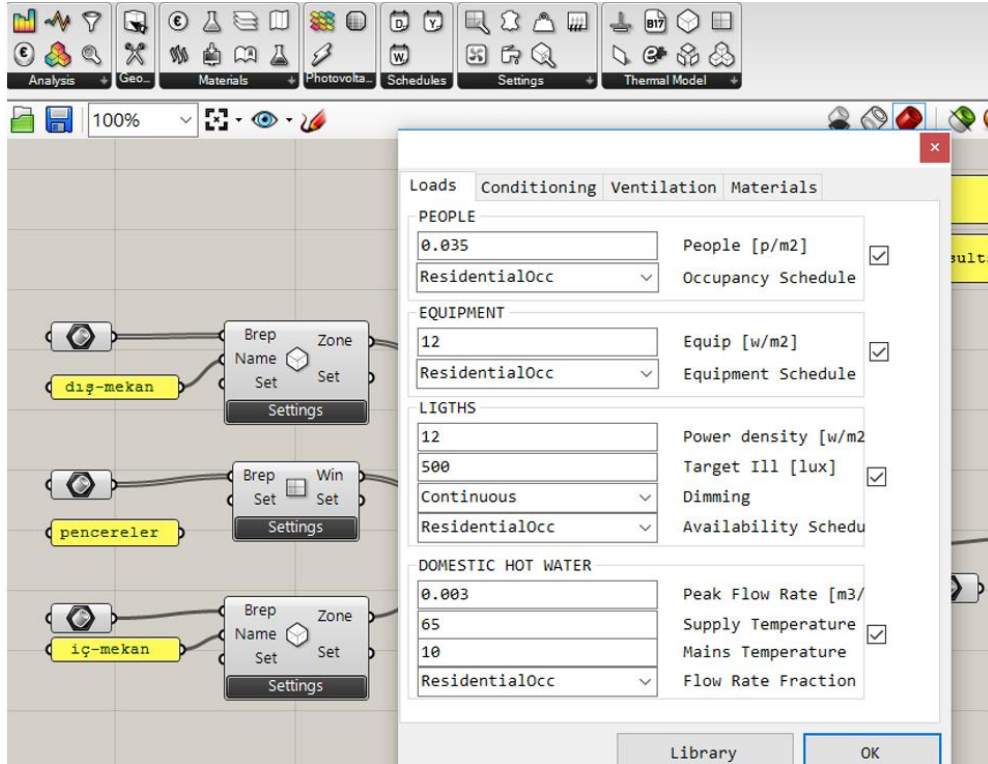
Oluşturulan bu 6 zon, dış-mekân ismiyle tanımlanan dış cepheyle ilişkili olan mekanlar (yatak odaları, oturma odası, salon, mutfak, WC ve banyo), iç-mekân ismiyle tanımlanan iç

kısımda kalan mekanlar (koridor) ve kullanılan şeffaf yüzeyler (pencereler) olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Bu kategorilere ayrılan zonlar dış cepheye bakan ve iç kısımda kalan mekanlar brep bileşeni aracılığı ile ayrı ayrı thermal zone bileşenlerine ve window bileşenine bağlanarak, model üzerinden Grasshopper – ArchSim arayüzüne tanımlanmıştır. (Şekil 4.58).



Şekil 4.58. Oluşturulan zonların ArchSim programına 3 kategori halinde tanımlanması

Thermal zone bileşen ayarlarına fonksiyon olarak konut (residential) verisi girilmiş ve 128 m<sup>2</sup>'lik dairede ortalama 4-5 kişinin ikamet edeceğini varsayarak, m<sup>2</sup> başına 0.035 kişi olacak şekilde veri girişi yapılmıştır. Kişi sayısı ve fonksiyon verilerine bağlı olarak, programın verdiği ortalama kullanılabilir ışık ve sıcak su bilgileri kabul edilmiştir (Şekil 4.59).



Şekil 4.59. ArchSim programına girilen kişi sayısı ve fonksiyon verileri

Öneri parametrik modelde kullanılan yapı elemanları opak, opak olmayan (saydam) ve gölgeleme elemanları olarak Çizelge 4.16’da gösterilmiştir. Yapının çatısı (roof construction), 120 mm su ve ısı için ayrı ayrı yalıtım malzemeleri ile 200 mm betonarme döşeme üzerine ahşap karkas yapıdadır. 200 mm tuğla kullanılarak yapılan bölücü duvarlarının (partition construction) bir kısmında 12 mm alçı duvar kullanılmıştır. Yapının tavan ve döşemesi (slab / ceiling construction, ground / ext floor constuction) 120 mm yalıtımı olan 200 mm’lik betonarmedir. Yapının cephesinde ise (facade construction) çift katmanlı yalıtımlı duvar olarak, 20 mm çimento sıvası, 100 mm tuğla, 50 mm cam yünü, 100 mm tuğla ve 20 mm alçı sıva kullanılmıştır.

Öneri parametrik modelde kullanılan opak yapı malzemeleri seçimlerinde, ısı kayıplarını daha aza indirgeyip etkili bir güneş kontrolü sağlamak amaçlanmıştır. Bu bağlamda seçilen çift katmanlı yalıtımlı duvar malzemesi kullanımı ile ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri azaltılarak genel enerji tüketim değerini de alt seviyeye çekmek hedeflenmiştir.

Saydam yapı elemanlarının ısıl geçirgenliği (U değeri), güneş ısı kazancı katsayısı (solar heat gain coefficient - SHGC) ve görünür ışık geçirgenliği (visible transmittance - VT) değerleri binaların enerji performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Öneri tasarımda

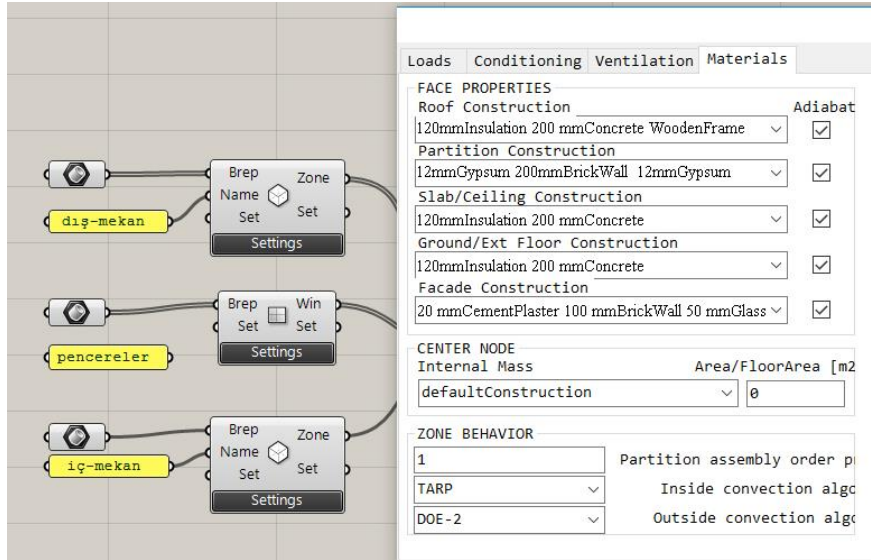
kullanılan çift katmanlı LowE hava dolgulu camın U değeri 1,717 W/m<sup>2</sup>K, SHGC değeri 0,411 ve VT değeri 0,713'dir. Malzemenin bu değerlerinin diğer cam sistemlerine göre düşük olmasıyla ısı kaybı daha az olurken optimum güneş kontrolü sağlanmaktadır.

Bina kabuğunda kullanılan cephe bileşenleri ise binada gölgeleme elemanı olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.15. Öneri parametrik konut yapısında kullanılan yapı elemanları

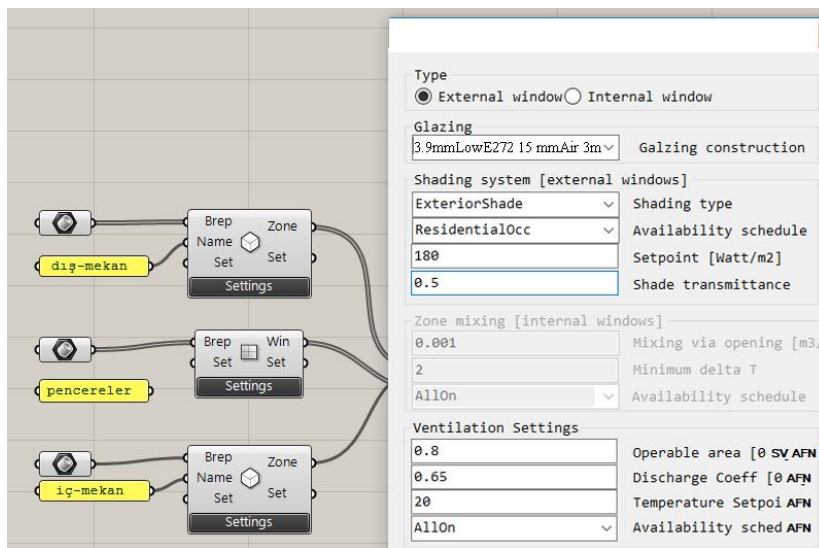
| Opak yapı elemanları                                                                    |                                                                                                                      | Saydam yapı elemanları                                                                                  | Gölgeleme elemanları |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Yapının çatısı (roof constuction)                                                       | 120 mm yalıtım malzemesi, 200 mm betonarme döşeme, 120 mm yalıtım malzemesi, ahşap karkas                            | Çift katmanlı LowE hava dolgulu saydam cam (LowE272)<br><br>3,9 mm LowE272, 15 mm hava, 3 mm saydam cam | Cephe bileşenleri    |
| Yapının bölücü duvarları (partition construction)                                       | 200 mm tuğla, 12 mm alçı duvar                                                                                       |                                                                                                         |                      |
| Yapının tavan ve döşemesi (slab / ceiling construction, ground / ext floor constuction) | 120 mm yalıtımı olan 200mm'lik betonarme                                                                             |                                                                                                         |                      |
| Yapının cephesi (facade construction)                                                   | Çift katmanlı yalıtımlı duvar<br>20 mm çimento sıvası, 100 mm tuğla, 50 mm cam yünü, 100 mm tuğla ve 20 mm alçı sıva |                                                                                                         |                      |

Öneri parametrik konut yapısında kullanılan yapı elemanları, Thermal zone bileşen ayarlarındaki Materials sekmesine eklenmiştir (Şekil 4.60).



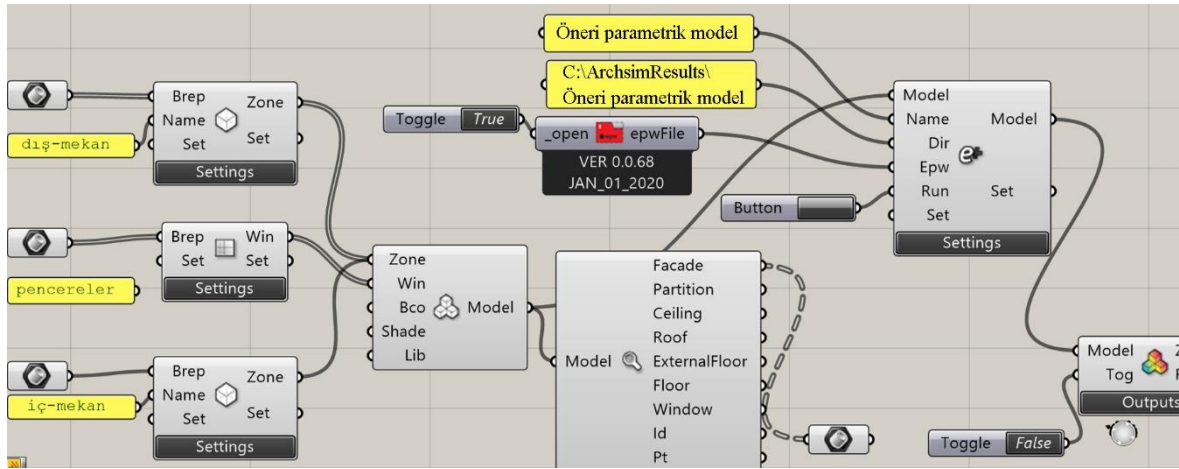
Şekil 4.60. ArchSim programına girilen yapı bileşenleri

Konut yapısında kullanılan çift katmanlı LowE hava dolgulu saydam cam (LowE272) olarak 3,9 mm LowE272, 15 mm hava, 3 mm saydam cam girdileri window (pencere) bileşeni ayarlarına eklenmiştir. shading system ayarı analiz sırasında cephe bileşenlerini de göz önünde tutulması için açılmıştır. Gölge analizi bina dışında olacağı için ExteriorShade işaretlenerek konut tipi (Residential) seçilmiştir. Havalandırma ayarları ise dairedeki kullanıcı sayısı, m<sup>2</sup> ve malzemelerine göre sistemin verdiği ortalama havalandırma miktarları kabul edilmiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.61. ArchSim programına girilen pencere verileri

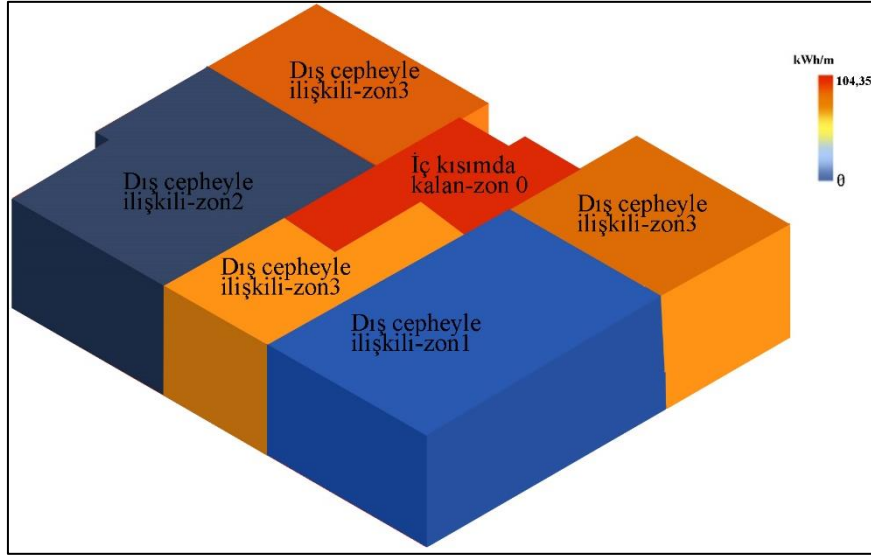
Mekân ve pencere girdileri yapılan zonlar birleşerek, Zone Connectivity Network bileşeni ile tek bir termal zon modeli oluşturmuştur. US Department of Energy sitesinden elde edilen Ankara şehrinin epw formatındaki hava durumu dosyası, EnergyPlus bileşenine tanımlanmıştır. EnergyPlus bileşenine zonların birleştiği Model bağlantısı yapılmıştır. ArchSim eklentisi üzerinden EnergyPlus ve Radiance/Daysim simülasyon motorları ile bir yıl boyunca maruz kalınan ısıtma, soğutma, elektrik tabanlı aydınlatma analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.62).



Şekil 4.62. ArchSim programında çeşitli yazılım bileşenleri ile simülasyon sürecine geçiş

Simülasyon sonucunda dairenin elektrik odaklı aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri açısından yıl boyunca kullandığı enerjinin kullanım yoğunluğu verilerine ulaşılmıştır. Şekil 4.63’de dış cepheyle ilişkili zonlarda ve dairenin iç kısmında kalan zonlarında bulunan güneş ışıınım oranları görülmektedir. Bu analizle, güneş ışıınım miktarlarına göre daire, dört adet zona kategorize edilmiştir.

Dış cepheyle ilişkili zonlarda (yatak odaları ve salon) minimum seviyede ışıınım miktarı varken, dairenin iç kısmında kalan zon (hol ve koridor) diğer mekanlar çevrelediği için, bu zondaki ışıınım miktarı maksimum seviyededir. Oturma odası, banyo ve mutfak zonlarında, mekân büyüklüğünden ve sadece bir cephe yüzeyinin dış cepheye bakmasından dolayı, orta düzeyde ışıınım miktarı bulunmaktadır. Bu analizden anlaşılabacağı üzere, dairenin dış cepheyle ilişkili olan mekanları yüzünden, dairenin belli bir düzeyde ısıtma enerjisi kullanımı söz konusudur. Dairenin yıllık enerji kullanım yoğunluğu toplam 104,35 kWh/m<sup>2</sup>’dir.



Şekil 4.63. Zonlardaki ısıtım miktarları

Yapılan analiz sonucunda, dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu gösterilen Çizelge 4.17'deki veriler ışığında, dairenin toplam yıllık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu  $37,65 \text{ kWh/m}^2$  olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16. Dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu

| Zaman   | Zon 0<br>İdeal Yükler<br>Toplam<br>Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 1<br>İdeal Yükler<br>Toplam<br>Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 2<br>İdeal Yükler<br>Toplam<br>Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 3<br>İdeal Yükler<br>Toplam<br>Soğutma<br>Enerjisi (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Ocak    | 1,137                                                                                   | 1,169                                                                                   | 1,243                                                                                   | 1,829                                                                                   |
| Şubat   | 1,279                                                                                   | 1,411                                                                                   | 1,05                                                                                    | 2,262                                                                                   |
| Mart    | 2,584                                                                                   | 2,303                                                                                   | 2,411                                                                                   | 3,716                                                                                   |
| Nisan   | 2,384                                                                                   | 2,279                                                                                   | 2,551                                                                                   | 2,454                                                                                   |
| Mayıs   | 2,384                                                                                   | 2,279                                                                                   | 2,551                                                                                   | 2,454                                                                                   |
| Haziran | 3,837                                                                                   | 2,199                                                                                   | 3,42                                                                                    | 6,42                                                                                    |
| Temmuz  | 4,837                                                                                   | 3,107                                                                                   | 3,107                                                                                   | 3,107                                                                                   |
| Ağustos | 2,584                                                                                   | 2,679                                                                                   | 2,751                                                                                   | 2,854                                                                                   |
| Eylül   | 2,384                                                                                   | 2,279                                                                                   | 2,551                                                                                   | 2,454                                                                                   |
| Ekim    | 2,632                                                                                   | 2,46                                                                                    | 1,328                                                                                   | 1,784                                                                                   |
| Kasım   | 1,584                                                                                   | 1,303                                                                                   | 1,411                                                                                   | 1,716                                                                                   |
| Aralık  | 2,137                                                                                   | 1,208                                                                                   | 1,223                                                                                   | 1,884                                                                                   |
| Toplam  | 37,65                                                                                   |                                                                                         |                                                                                         |                                                                                         |

Dairede, sadece koridor mekânı iç kısımda kalmakta olduğu için dairenin yıllık ısıtma enerjisi kullanımı 47,13 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesap edilmiştir (Çizelge 4.18). Dairenin toplam enerji kullanımının 104,35 kWh/m<sup>2</sup> oranda olması göz önünde bulundurulursa, bu oranın az miktarını ısıtma enerjisi kullanımını oluşturduğu görülmektedir.

Çizelge 4.17. Dairenin aylık ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu

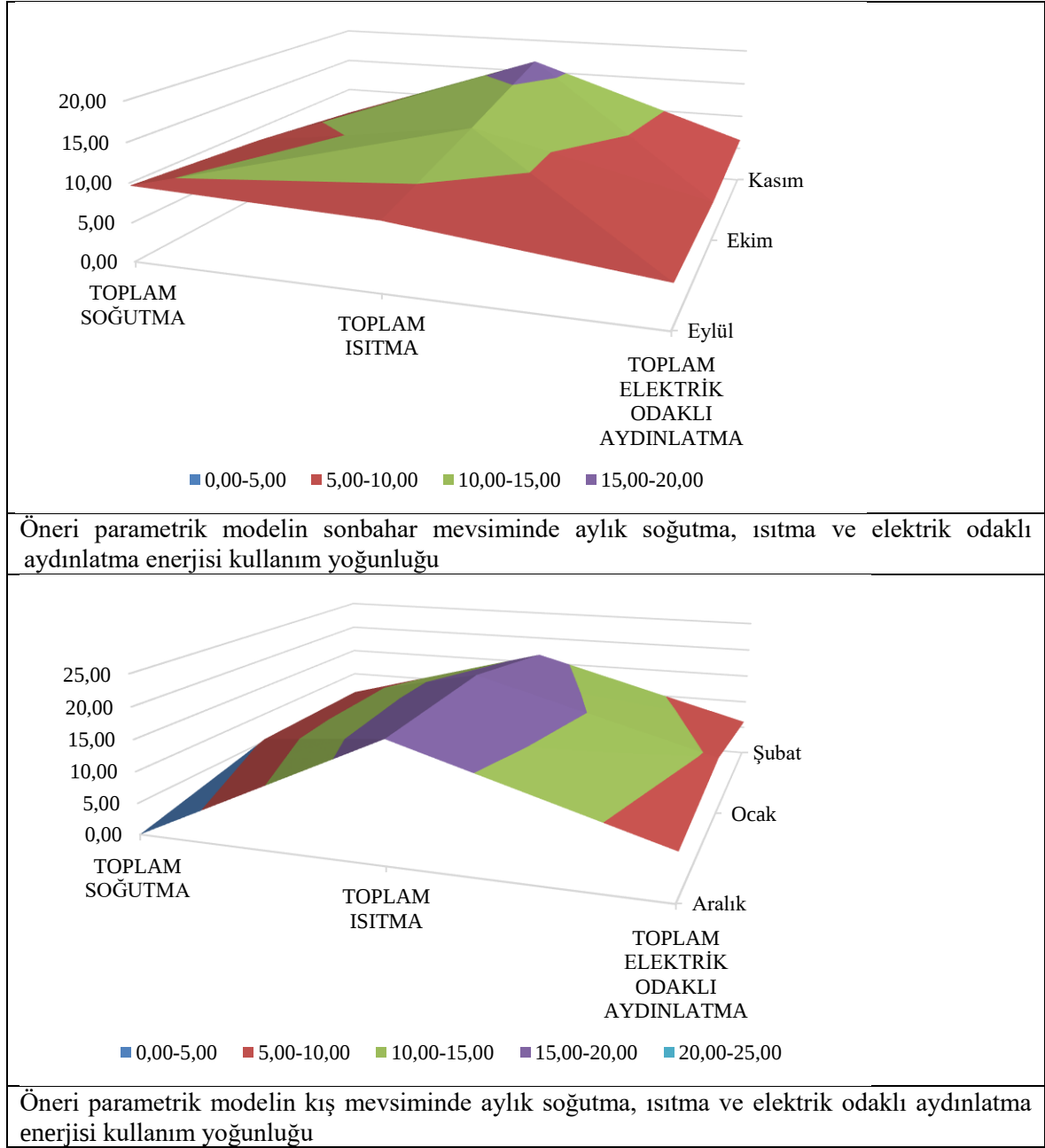
| Zaman   | Zon0<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi<br>(Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 1<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi<br>(Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 2<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi<br>(Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 3<br>İdeal Yükler<br>Toplam Isıtma<br>Enerjisi<br>(Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Ocak    | 2,46                                                                                  | 6,82                                                                                   | 4,16                                                                                   | 6,58                                                                                   |
| Şubat   | 2,36                                                                                  | 4,52                                                                                   | 4,16                                                                                   | 5,58                                                                                   |
| Mart    | 2,15                                                                                  | 3,31                                                                                   | 3,97                                                                                   | 4,07                                                                                   |
| Nisan   | 1,88                                                                                  | 2,88                                                                                   | 2,59                                                                                   | 3,68                                                                                   |
| Mayıs   | 1,58                                                                                  | 1,88                                                                                   | 1,99                                                                                   | 2,68                                                                                   |
| Haziran | 1,29                                                                                  | 1,06                                                                                   | 1,63                                                                                   | 1,16                                                                                   |
| Temmuz  | 1,39                                                                                  | 1,26                                                                                   | 1,32                                                                                   | 1,45                                                                                   |
| Ağustos | 1,36                                                                                  | 1,52                                                                                   | 1,16                                                                                   | 1,12                                                                                   |
| Eylül   | 1,95                                                                                  | 2,07                                                                                   | 2,57                                                                                   | 2,07                                                                                   |
| Ekim    | 2,18                                                                                  | 4,26                                                                                   | 2,97                                                                                   | 3,07                                                                                   |
| Kasım   | 2,26                                                                                  | 6,63                                                                                   | 3,16                                                                                   | 4,58                                                                                   |
| Aralık  | 2,36                                                                                  | 6,52                                                                                   | 4,16                                                                                   | 5,58                                                                                   |
| Toplam  | 47,13                                                                                 |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                        |

Yapılan analizler sonucu dairenin yıllık elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu 21,15 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.18. Dairenin aylık elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu

| Zaman   | Zon 0<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 1<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 2<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Zon 3<br>Aydınlatma<br>Elektrik<br>Enerji (Aylık)<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Ocak    | 1,93                                                                       | 1,94                                                                       | 3,47                                                                       | 2,01                                                                       |
| Şubat   | 1,28                                                                       | 1,23                                                                       | 2,26                                                                       | 1,31                                                                       |
| Mart    | 1,16                                                                       | 1,05                                                                       | 1,89                                                                       | 1,21                                                                       |
| Nisan   | 1,39                                                                       | 1,82                                                                       | 1,12                                                                       | 1,83                                                                       |
| Mayıs   | 1,57                                                                       | 1,95                                                                       | 1,58                                                                       | 1,07                                                                       |
| Haziran | 0,99                                                                       | 0,69                                                                       | 0,49                                                                       | 0,22                                                                       |
| Temmuz  | 0,58                                                                       | 0,17                                                                       | 0,67                                                                       | 0,99                                                                       |
| Ağustos | 0,39                                                                       | 0,04                                                                       | 0,33                                                                       | 0,75                                                                       |
| Eylül   | 1,12                                                                       | 1,52                                                                       | 1,38                                                                       | 1,32                                                                       |
| Ekim    | 1,29                                                                       | 1,26                                                                       | 1,34                                                                       | 1,30                                                                       |
| Kasım   | 1,75                                                                       | 1,68                                                                       | 1,11                                                                       | 1,76                                                                       |
| Aralık  | 2,19                                                                       | 2,09                                                                       | 1,66                                                                       | 1,27                                                                       |
| Toplam  | 21,15                                                                      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |

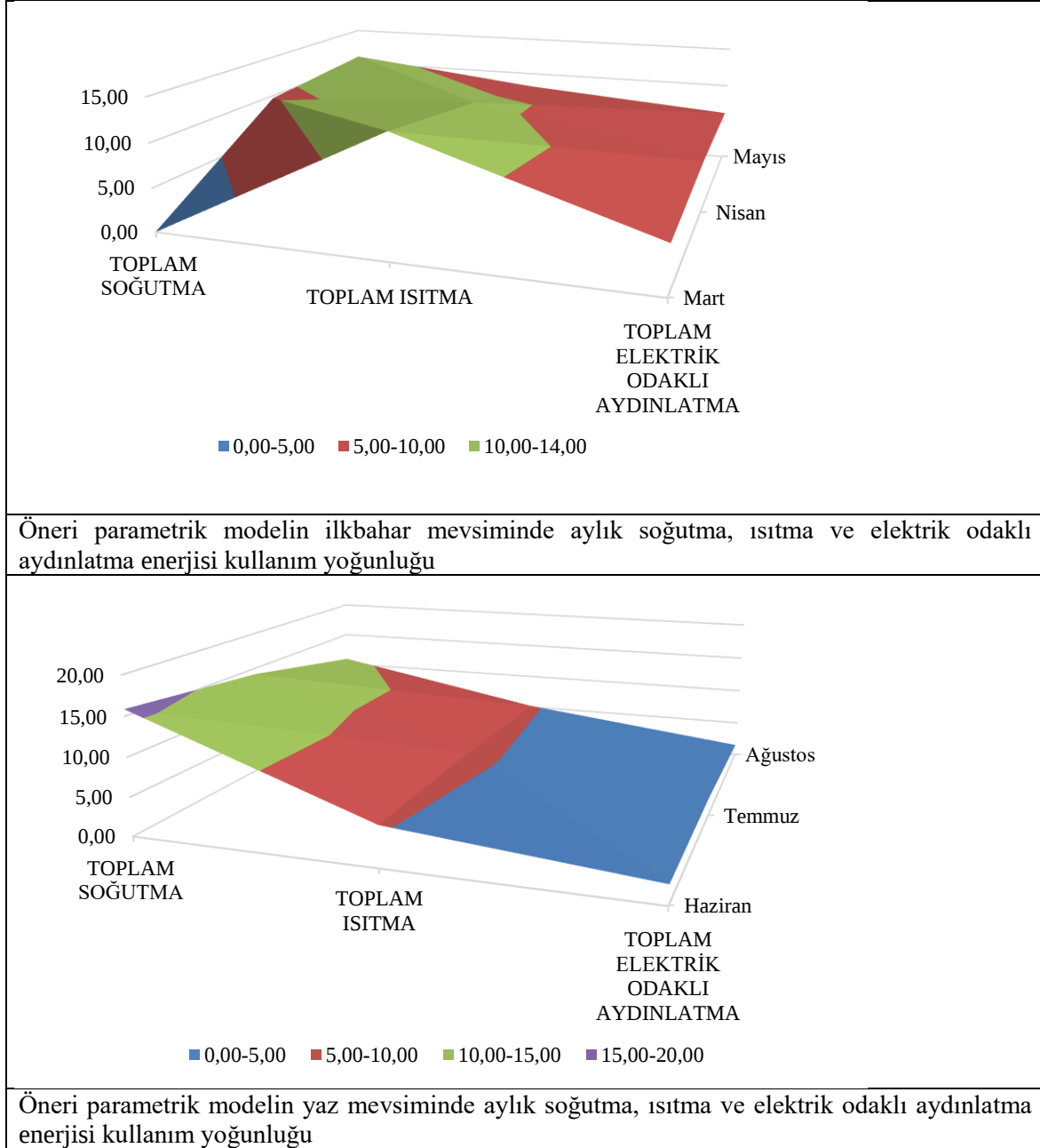
Şekil 4.64’de öneri parametrik modelin sonbahar ve kış dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerji kullanım yoğunluğu görülmektedir. Bu çizelgeye göre, analizi yapılan dairenin ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu Eylül ayında yaklaşık 5 kWh/m<sup>2</sup> iken, Kasım ayında bu değer yaklaşık 16 kWh/m<sup>2</sup> olmakta ve giderek artarak Şubat ayında yaklaşık 18 kWh/m<sup>2</sup>’ı bulmaktadır. Dairenin soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu, Eylül ayında yaklaşık 9 kWh/m<sup>2</sup> iken, Kasım ayında bu oran 6 kWh/m<sup>2</sup>’ın altına düşmekte ve giderek azalarak Şubat ayında 4 kWh/m<sup>2</sup>’a yakın bir değeri bulmaktadır. Dairenin elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu ise Eylül ayında yaklaşık 3 kWh/m<sup>2</sup> iken, Kasım ayında bu oran yaklaşık 5 kWh/m<sup>2</sup> oranında olmakta ve giderek artarak Şubat ayında bu değer yaklaşık 7 kWh/m<sup>2</sup> değerine yükselmektedir.



Şekil 4.64. Öneri parametrik modelin sonbahar ve kış dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu

Şekil 4.65’de öneri parametrik modelin ilkbahar ve yaz dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerji kullanım yoğunluğu görülmektedir. Bu çizelgeye göre, analizi yapılan dairenin ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu Mart ayında yaklaşık 10 kWh/m<sup>2</sup> iken, Mayıs ayında bu değer yaklaşık 8 kWh/m<sup>2</sup> olmakta ve giderek azalarak Ağustos ayında yaklaşık 1 kWh/m<sup>2</sup>’ı bulmaktadır. Dairenin soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu, Mart ayında 1 kWh/m<sup>2</sup>’e yakın bir değer iken, Mayıs ayında bu oran 5 kWh/m<sup>2</sup> olmakta ve giderek artarak Ağustos ayında 12 kWh/m<sup>2</sup>’a yakın bir değeri

bulmaktadır. Dairenin elektrik odaklı aydınlatma enerji kullanım yoğunluğu ise Mart ayında yaklaşık 4 kWh/m<sup>2</sup> iken, Mayıs ayında bu oran yaklaşık 2 kWh/m<sup>2</sup> oranında olmakta ve giderek azalarak Ağustos ayında bu değer yaklaşık 1 kWh/m<sup>2</sup> değerinde görülmektedir.

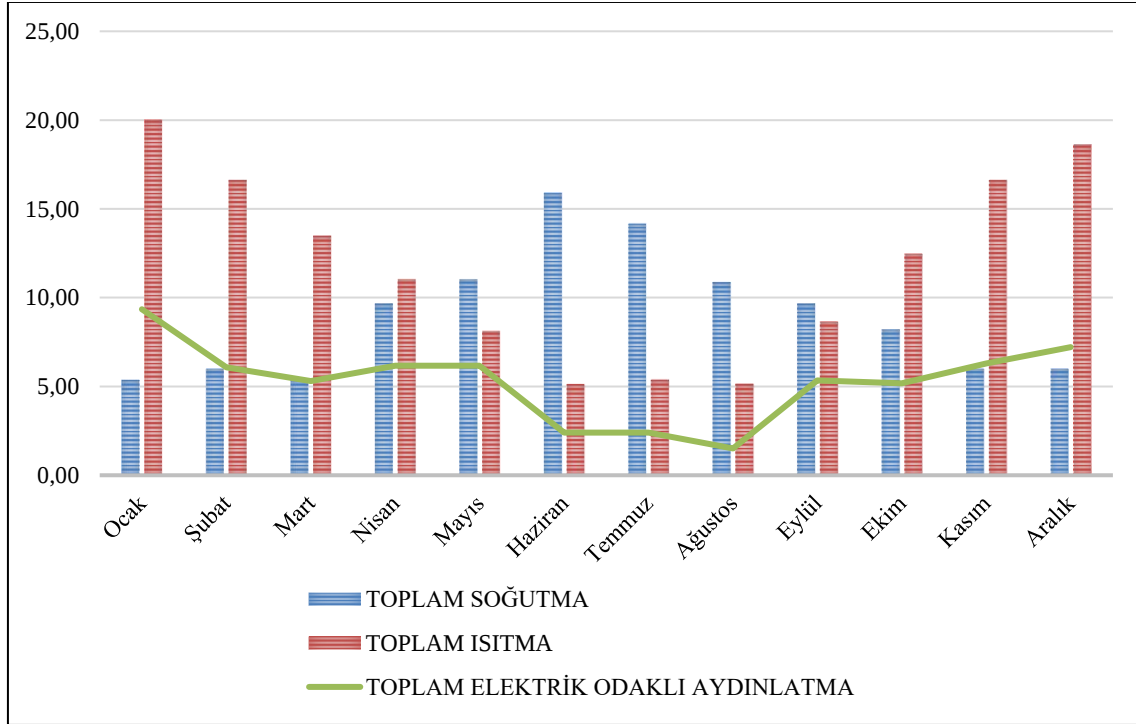


Şekil 4.65. Öneri parametrik modelin ilkbahar ve yaz dönemlerindeki toplam aylık soğutma, ısıtma ve elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım yoğunluğu

Yıl boyunca 104,35 kWh/m<sup>2</sup> oranında enerji kullanan dairenin, bu kullanım yoğunluklarının tüm mevsimlere göre aydan aya değişimi Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre, dairenin ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında

maksimum derecede olurken, yaz mevsiminde bu oran daha düşük seviyede olmakta ve toplam aylık ortalama 47,13 kWh/m<sup>2</sup> ile dairenin genel enerji kullanımının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Öte yandan dairenin soğutma enerjisi kullanımı, yaz mevsiminde orta seviyelerde olurken, kış ve sonbahar mevsimlerinde minimum soğutmaya ihtiyaç duyulduğu için bu mevsimlere doğru azalan bir oran izlenmektedir. Dairenin toplam aylık ortalama 37,65 kWh/m<sup>2</sup> soğutma enerjisi kullanım oranı bulunmaktadır.

Dairenin kullandığı elektrik odaklı aydınlatma enerji oranı ise sonbahar ve kış mevsimlerinde maksimum seviyeyi bulurken, bu oranın yaz mevsimine doğru azaldığı görülmektedir ve dairenin toplam aylık ortalama 21,15 kWh/m<sup>2</sup> elektrik odaklı aydınlatma enerjisi kullanım oranı bulunmaktadır.



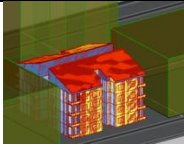
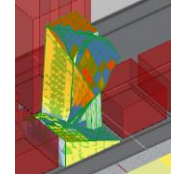
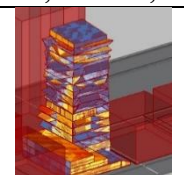
Şekil 4.66. Öneri parametrik model aylık enerji kullanım yoğunluğu

#### 4.4. Alan Çalışmasında Elde Edilen Bulguların Değerlendirilmesi

Tezin bu bölümünde, öneri yöntem kapsamında yapıli çevre içerisinde tasarlanan yapı kabuğunun analiz sonuçları ve bu sonuçlar çerçevesinde geliştirilen SKY araçlarının önerilen yöntemde kullanımının kabul edilebilir olup olmadığını saptanmıştır.

Alan çalışması kapsamında seçilen tasarım alanına, SKY araçları aracılığı ile öneri yöntem uygulanarak kılavuz tasarım sınırına ulaşılmış ve daha sonra bu tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde yeni bir parametrik yapı kabuğu tasarlanmıştır. Bu bağlamda, mevcut konut binası, öneri yöntemle ulaşılan optimum kılavuz tasarım sınırı ve bu yöntem kullanılarak yapılmış öneri parametrik modelin, yıllık güneş ısıtım miktarları ve analizleri yapılan örnek dairelerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma odaklı elektrik enerjisi kullanım oranları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Modellerin güneş ısıtım ve enerji kullanım miktarları

| Analizi yapılan kabuklar       | Güneş Işıtım Miktarı (yıllık) (kWh/m <sup>2</sup> )                                                    | Dairenin aylık soğutma enerjisi kullanım yoğunluğu (kWh/m <sup>2</sup> ) | Dairenin aylık ısıtma enerjisi kullanım yoğunluğu (kWh/m <sup>2</sup> ) | Dairenin aylık aydınlatma odaklı elektrik enerjisi kullanım yoğunluğu (kWh/m <sup>2</sup> ) | Dairenin aylık toplam enerji kullanımı (kWh/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Mevcut konut binası            | <br>141,21 - 1412,09 | 22,25                                                                    | 134,43                                                                  | 69,53                                                                                       | 226,21                                                       |
| Optimum kılavuz tasarım sınırı | <br>155,89-1558,93  | -                                                                        | -                                                                       | -                                                                                           | -                                                            |
| Öneri parametrik model         | <br>139,35-1393,46  | 37,65                                                                    | 47,13                                                                   | 21,15                                                                                       | 104,35                                                       |

Karşılaştırmalı olarak değerlendirilmek üzere yapılan, güneş ısıtım ve enerji kullanım yoğunluğu analizlerine göre,

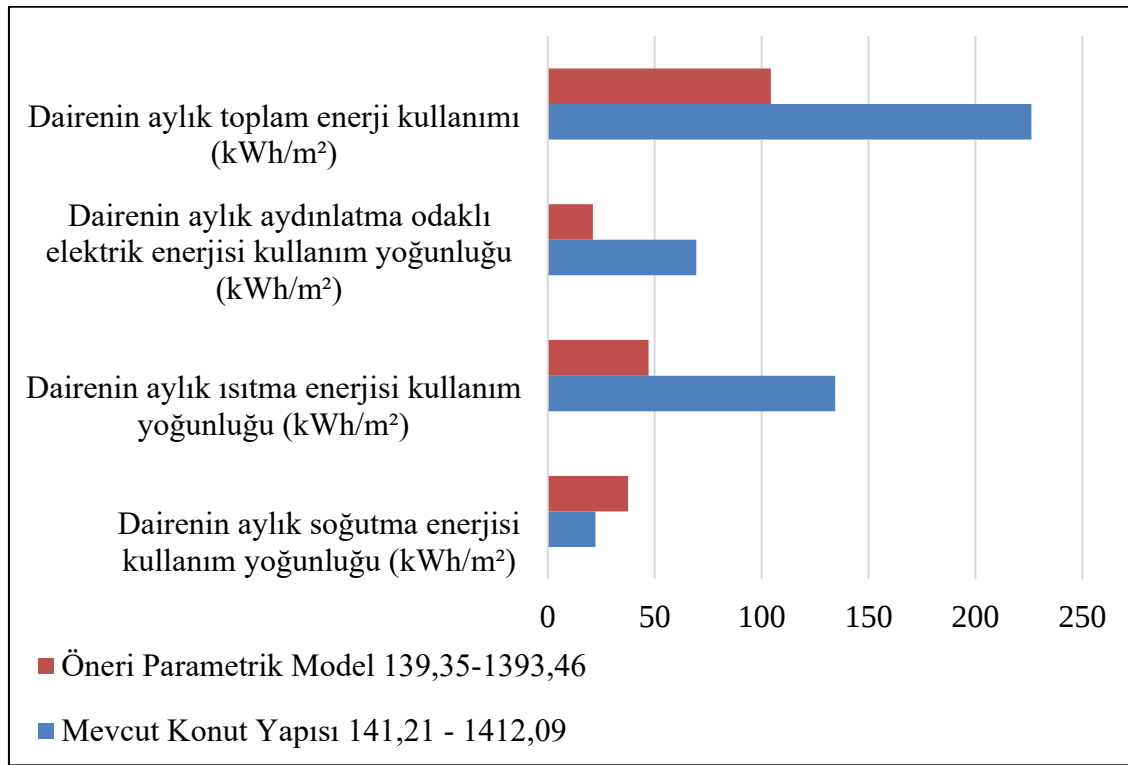
- Mevcut konut binasının yıllık güneş ısıtım miktarı 141,21 - 1412,09 kWh/m<sup>2</sup> iken, optimum kılavuz tasarım sınırının yıllık güneş ısıtım miktarı daha yüksek bir değer olan 155,89-1558,93 kWh/m<sup>2</sup> aralığındadır. SKY aracı ile hızlı bir şekilde gerçekleştirilen güneş ısıtım analizinde, yapıyı çevrenin verdiği etkilerden dolayı mevcut konut binası cephelerinde ısıtımın dengeli bir şekilde yayılmadığı görülmüştür. Konutun batısında

bulunan 17 katlı yüksek konut bloğu, konuta gelen batı güneşini engellemektedir. Bununla birlikte, konutun kuzey cephesinde de minimum güneş ışıınım miktarı bulunmaktadır. Bu durum, mevcut binanın maksimum seviyede ısıtma enerjisi kullanımına neden olmaktadır. Optimum kılavuz tasarım sınırını oluşturan kabukta ise, yapılı çevrenin getirdiği olumsuz etkiler minimuma düştüğü için kabuğun yüzeylerindeki ışıınım miktarları dengeli bir şekilde yayılmıştır.

Öneri parametrik modelin yıllık güneş ışıınım miktarı ise diğer iki ışıınım miktarından daha az oranda, 139,35-1393,46 kWh/m<sup>2</sup> aralığı olarak saptanmıştır. Bununla birlikte, cephelerde oluşan ışıınım miktarları diğer iki kabuğa göre daha dengelidir. Güneş ışıınımının maksimum olduğu güney cephesinde ve yapılı çevrenin bulunmadığı doğu cephesinde yapı kabuğunun kendisinin güneş koruma odaklı kullanılmasından dolayı güneş ışıınım miktarları optimum seviye getirilmiştir.

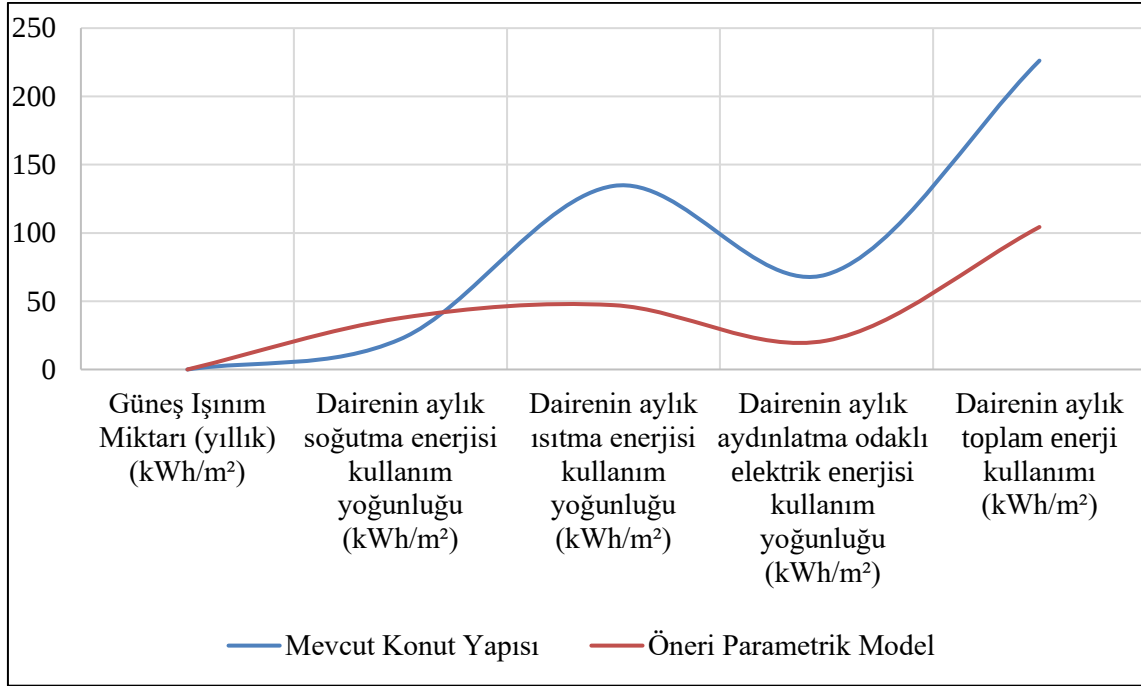
- Mevcut konut binasının aylık ısıtma enerjisi kullanım oranı 134,43 kWh/m<sup>2</sup> iken, öneri parametrik modelin ısıtma enerjisi kullanım miktarı oldukça büyük oranla 47,13 kWh/m<sup>2</sup>'e düşmüştür. Bununla birlikte, mevcut konut binasının soğutma enerjisi kullanım oranı 22,25 kWh/m<sup>2</sup> iken, bu oran öneri parametrik modelde 37,65 kWh/m<sup>2</sup>'e çok az miktarda yükselmiştir. SKY araçları aracılığı ile kısa sürede tamamlanan öneri yöntem ile optimum kılavuz sınırına ulaşılmış ve bu kılavuz tasarım sınırı ile yüksek performansta yapı kabuğu tasarlanmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca, yapı kabuğu güneşin geliş açılarına göre farklı açılarda biçimlenerek gerekli alanlarda ısı korunumu, gerekli alanlarda da ısı kazanımı sağlanmış ve böylece enerjide optimum seviyeye ulaşılmıştır.
- Mevcut konut binasının aydınlatma odaklı elektrik enerjisi kullanım oranı 69,53 kWh/m<sup>2</sup> iken bu oran, öneri parametrik modelde 21,15 kWh/m<sup>2</sup>'a düşmüştür. Öneri tasarım modelinin cepheleri, güneş ışıınlarıyla ilişkilendirilerek parametrik olarak farklı yönlerle uyarlanmış ve her bir cephe bileşenine PV panelleri uygulanmıştır. Uygulanan bu panellerin her biri, 150 - 370 Watt aralığında elektrik üretmiş ve dairenin elektrik ihtiyacının belli bir kısmını karşılamıştır. Bununla birlikte, güneş ışıınlarının farklı derecelere kabuk üzerine gelmesiyle cephe yüzeyleri farklı açılarda biçimlenmiş ve böylece gölgelendirme, havalandırma ve aydınlatma kontrol edilerek bir mikro iklim ortamı sağlanmıştır.

Şekil 4.67’de, mavi ve bordo rengi temsil eden sırasıyla mevcut ve SKY araçları ile öneri yöntem kapsamında tasarlanmış konut binasının verilerle orantılı olarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma odaklı elektrik enerjisi kullanım oranları gösterilmiştir. Buna göre, mevcut konut binasının toplamdaki enerji kullanım oranlarının, öneri parametrik tasarımın enerji kullanım oranlarına göre yaklaşık iki katı kadar fazla olduğu görülmektedir. Çünkü, optimum kılavuz tasarım sınırı göz önünde bulundurularak tasarlanan öneri parametrik model, pasif güneş enerjisi kazanımları, gölge kontrolü, doğal havalandırma ve doğal aydınlatma sağlayan bileşenlerden oluşmaktadır. Yapı kabuğu mantığı değiştirilmeden, sadece geometrisi güneş ışınlarına uyularanarak ölçeklendirilmiştir.



Şekil 4.67. Modellerin karşılaştırmalı güneş ışınlam ve enerji kullanım miktarları

Mevcut konut binasının toplam enerji tüketimi yıl boyunca 226,21 kWh/m² iken, bu oran öneri parametrik modelde yaklaşık %50 oranında düşerek 104,35 kWh/m² olarak hesaplanmıştır (Şekil4.68).



Şekil 4.68. Mevcut ve öneri modeldeki toplam enerji kullanım oranları

Alan çalışmasında, öneri yöntem kapsamında tasarlanan alternatif modellerin analizler sonucunda, önerilen sınır içerisinde kalındığı sürece, tasarımcının istediği tasarımı yaparak optimum ısı kazancı ve ısı korunumu sağlayan enerji verimli yapı elde edebileceği anlaşılmıştır. Bu yöntemle, yapıyı çevreye uyumlu ve güneşten optimum şekilde yararlanan bir tasarım elde ederken tasarımın özgünlüğü de göz önünde bulundurulmuştur. Bununla birlikte geliştirilen SKY araçları ile hedefe çok daha hızlı ve kolay şekilde ulaşılmış enerji verimliliği odaklı tasarım parametreleri tasarım sürecinin ilk aşamalarından itibaren dikkate alınabilmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya üzerinde fosil yakıtlarının tüketiminin artmasıyla oluşan karbondioksit ve sera gazlarının atmosfere yayılımı ve bu durumun insan sağlığını ve doğal çevreyi olumsuz yönde etkilemesi, enerji tüketiminin %50'sini oluşturan bina tasarımında birtakım önlemler almayı zorunlu kılmıştır.

Enerjide sürdürülebilirliğin sağlanması için planlama sürecinde özellikle erken tasarım ve tasarım aşamasında enerji tüketiminin değerlendirilmesi ve hedeflenen performans değerlerine ulaşmak için bir takım sayısal teknolojilerin hesaplamalı ve parametrik araçlarından yararlanmak söz konusudur. Bu araçlar ile ölçülebilir bir faktör haline gelen çevre koşullarını tasarımcı alternatif modellere uygulayarak her bir öneriyi ayrı ayrı karşılaştırmaktadır. Daha sonra tasarımcı, odaklandığı amaca uygun olarak parametre değerlerini değiştirmekte ve böylece optimum sonuç veren tasarıma kısa sürede ulaşmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla potansiyele sahip olan güneş odaklı, kent içi yapılı çevrede sayısal ve parametrik programlarla yapılan mevcut yöntemler, komşu binaları da göz önünde bulundurmak için uzun ve karmaşık algoritmik bağlantıları kullanmakta ve yine bu algoritmik programlarla enerji analizleri yapılmaktadır. Daha kısa ve kolay bir şekilde amaca ulaşmak için geliştirilen SKY araçlarından yararlanılarak ve tasarımcının özgünlüğü de göz önünde bulundurularak GKY ve GIY yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Yapılı çevredeki binalardan dolayı oluşabilecek gölge potansiyelini de dikkate alan ve bu yöntemlerin kullanımıyla, güneşten maksimum faydalanma ya da korunma sağlayan optimum yapı kabuğu için yeni bir yöntem önerilmiştir. Yapılı çevre içerisinde gölge oluşturmada güneşlenmenin sağlanmasına yönelik olan GKY, özellikle sıcak iklim bölgelerinde yapılan tasarımlarda güneşten korunma esas olduğu için kullanılamamaktadır. Bu yöntem ile birlikte GIY kullanıldığı zaman, tasarımın istenilen alanlarında güneşlenme sağlanırken, istenilen alanlarında aşırı ısı kazançlarından korunma sağlanmaktadır. Bu yöntemin adımları gerçekleştirilirken Ladybug yazılımından yararlanılmış, SOD, GIA (çevre ve tasarım için) gibi analizlerde ise Ladybug üzerinden Open Studio ve EnergyPlus programı kullanılmıştır. Bu analizlerle, yöntem sonucu ulaşılan kılavuz tasarım sınırının ve bu sınıra göre tasarlanan farklı formlardaki alternatif modellerin optimum olup olmadığı test edilmiştir. Kullanılan bu programlar parametrik bir yazılım olduğundan, belirli saat aralıklarındaki ve tüm mevsimlerdeki güneş ışınlarının anlık etkileşimli hesapları yapıp tasarım kararları gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Bu bağlamda,

tez çalışmasının başında belirtilmiş olan “Yapı kabuğu tasarımlarında, güneş hareketi odaklı oluşacak farklı biçimlenişlerle yapıda enerji korunumu ya da kazanımı sağlanabilir ve Grasshopper program tabanlı Ladybug yazılımı ile güneş analizleri yapılarak kısa sürede enerji optimizasyon sonucu elde edilebilir” şeklindeki 1 ve 3 numaralı hipotezler doğrulanmaktadır.

Yöntemin adımları için yoğun uğraşlar sonucu tasarlanan karmaşık algoritmik bağlantılar yerine, daha hızlı ve kolay olan 5 adet SKY aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araçlarla birlikte “Enerji optimizasyonu sağlamak amacıyla, yapıyı çevrede sayısal teknolojiler vasıtasıyla biçimlenen yapı kabuğu tasarımları için karışık algoritmik bağlantılar yerine aynı sonuca daha kısa ve kolay ulaştıran araçlar geliştirilebilir mi” sorusunun cevabı olumlu olarak bulunmuştur.

Rhinoceros programında Grasshopper eklenti yazılımında, SKY araçları ile kurgulanan yöntem aracılığı ile ulaşılan optimum kılavuz tasarım sınırı göz önünde bulundurularak enerji kaybını minimize eden ve optimum enerji kazanımı sağlayan yeni bir parametrik model tasarlanmıştır. Böylece, tez çalışmasında belirtilen “Yeni bir yöntemle performansa dayalı tasarımlar yapılırken daha kısa ve kolay bir şekilde amaca ulaşmak için bir takım algoritmik araçlar geliştirilebilir” şeklindeki 2. Hipotez doğrulanmaktadır.

Parametrik tasarım mantığına bağlı kullanılan yöntem ve geliştirilen SKY araçları, optimize edilmiş bir çözümü kolaylaştırmaktadır. Her bileşen her noktada, farklı yönelim ve pozisyonun farklı potansiyelliklerine matematiksel doğrulukla cevap vermektedir. Bu tasarım modeli analizleri, GIA-T SKY aracı, ArhSim ve Diva gibi yazılımlar üzerinden EnergyPlus programlarında tamamlanmıştır. Bu bağlamda, öneri yöntem kapsamında kılavuz tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde alternatif formlarda modeller tasarlanmış ve karşılaştırmalı analizler sonucu modellerin yüksek performansta olduğu görülmüştür. Modellerden kütle kaybının minimum olduğu yapı kabuğu, daha detaylı bir parametrik model oluşturulmak üzere seçilmiştir. Daha sonra, mevcut konut yapısı, yeni yöntem ile ulaşılan kılavuz optimum tasarım sınırı ve öneri parametrik model karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Analizler sonucu, saydam ve opak yüzey oranlarının, gölgeleme için biçim ve sayılarının ve PV panellerinin yer ve açılarının nasıl kullanıldığı ortaya konulmuştur. Böylece, alan çalışması kapsamında, Ankara’nın Harbiye semtindeki iklim ve çevre şartları göz önünde bulundurularak, yapıyı çevre içerisinde seçilen bir tasarım alanında öneri yöntem geliştirilen SKY araçları ile test edilmiştir. Sonuç olarak, yapıyı çevre içerisinde bulunan tasarım alanına, önerilen yöntem geliştirilen SKY araçları vasıtasıyla uygulandığı takdirde, kılavuz optimum tasarım sınırı içerisinde kalacak şekilde, istenilen tasarım

yapıldığında enerjide optimum sonuca hızlı ve kolay şekilde ulaşıldığı ispat edilmiştir. Bu yöntemin ve SKY araçlarının, kent içerisinde kullanılmasının artırılması enerji etkinlik bağlamında yapılara çok büyük fayda sağlayacaktır.

Öneri tasarım yöntemi, doğrudan problem çözen geleneksel yöntemlerden farklı olarak tümden gelim ilkelerine göre hareket etmekte ve genelden özele bir yol çizmektedir. Böylece tasarımcıya, belirli tasarım sınırları vererek geleneksel tasarım sürecine göre daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşma imkânı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemle tasarım alanının bulunduğu yapıyı çevre içindeki lokasyon ve güneş ışınlarına göre şekillenen tasarım sınırı ile optimum enerjiye sahip tasarım sürecinde mimara dilediği tasarımı yapma özgürlüğü verilmiştir. Böylece, tezin başında belirtilen son hipotezin (4. Hipotez) doğruluğu kanıtlanmıştır.

Türkiye, enerji kullanımı açısından büyük oranda dışa bağımlı bir ülke olması açısından, kent içerisinde yeni tasarlanacak olan yapılarda enerji kaybını minimize eden ve maksimum enerji kazanımı sağlayan yüksek performanslı yapıların, çok yönlü tasarım yaklaşımı kapsamında öneri yöntemle geliştirilen SKY araçları ile tasarlanması önemli bir yaklaşım oluşturacaktır.

Tez kapsamında önerilen yöntemin ve geliştirilen SKY araçlarının, her iklim bölgesi için kullanılabilirliği söz konusu olduğundan, ilerleyen çalışmalarda sıcak iklim bölgelerinde de denenebileceği ön görülmüştür.



## KAYNAKLAR

1. International Energy Agency (2020). *Global CO<sup>2</sup> and Energy Status Report 2020* – Event.
2. Holzer, D. (2015). BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age, *International Journal of Architectural Computing*, C:1, Sayı:13.
3. İnternet: Dünyada Güneş Enerjisi ve Türkiye'nin Potansiyeli, <https://nexten.com.tr/tr/dunyada-gunes-enerjisi-turkiyenin-potansiyeli/>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2015.
4. İnternet: Binalarda Enerji Tüketimi Bilinçlendirme, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <https://enverportal.yegm.gov.tr/?q=content/bilin%C3%A7lendirme>, Son Erişim Tarihi: 10.01.2016.
5. İnternet: Özkaya, S., Y. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türkiye Cumhuriyeti, Dış İşleri Bakanlığı, <http://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 02.02.2020.
6. Dinçer, F. (2011). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme, *KSU. Journal of Engineering Sciences*, 14,1.
7. AIA-The American Institute of Architects. (2013). *2030 Commitment Measuring Industry Progress Toward 2030*, National Committee on the Environment Architecture 2030, 5-11.
8. Bağcı, E. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Üretimi, Tüketimi ve Cari İşlemler Dengesi İlişkisi, *R&S - Research Studies Anatolia Journal*, 2(4), 101-117.
9. İnternet: Yılmaz, M. Bütünleşik Tasarım ve Yapı Cephesi, Yapı elemanları ile yapıdan beklenenler ve hedefler arasındaki korelasyonlar, <http://www.aluart.com.tr/teknik/142-butunlesik-tasarim-ve-yapi-cephesi>, Erişim tarihi: 18.02.2016.
10. Özer, G. (2019). *Endüstriyel Alanların Enerji Performanslı Tasarlanmasına Yönelik Bir Model Yaklaşımı; Konya Oto Sanayi Yerleşkesi Örneği*, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
11. İnternet: Ladybug Tools, <https://www.food4Rhinoceros.com/app/ladybug-tools>, Son Erişim tarihi: 23.03.2016.
12. Ramilo, R. ve Embi, M. R. (2014). Critical Analysis of Key Determinants and Barriers to Digital Innovation Adoption among Architectural Organizations. *Frontiers of Architectural Research*, 3(4), 431-451.
13. Ofloğlu, S. (2009). *Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar*, Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölüm, İstanbul.

14. Ellis, P. G. ve Torcellini, P. A. (2008). *Energy Design Plugin: An EnergyPlus Plugin for SketchUp*, NREL-National Renewable Energy Laboratory, SimBuild 2008 3.National Conference of IBPSA, USA, 238-245.
15. Haque, M. E. Shah, S. ve Agarwal, G. (2005). *A Virtual Tour of Energy Conscious Architecture*, Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition, American Society for Engineering Education. 1-9.
16. Wonoto, N. (2017). *Integrating Parametric Structural Analysis and Optimization in the Architectural Schematic Design Phase*. Doctor of Philosophy Thesis, Clemson University, Clemson.
17. Bucci, F. ve Mulazzani, M. (2002). *Luigi Moretti: Works and Writings*. USA: Princeton Architectural Press, ISBN 1568983069, 20.
18. Tang, M. (2014). *Parametric Building Design Using Autodesk Maya*. Routledge United States Publisher, London and New York, ISBN: 978-0-415-64446-4, 203.
19. Park, J. J. ve Dave, B. (2013). *Bio-inspired Responsive Façades*, 2nd Central European Symposium on Building Physics, Austria.
20. Banachowicz, M. ve Januszkiewicz, K. (2016). *Advanced Building Skills Design and manufacturing of glass panels for curvilinear building kabuğus*, 11th Conference on Advanced Building Skins, Switzerland.
21. Ofloğlu, S. (2012). *Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar*, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
22. Ofloğlu., S. (2005). *BİM ve Performatif (Performansa Dayalı) Mimari Tasarım*, Autodesk Yapı Tasarım Atölyesi 5, İstanbul.
23. İnternet: 3D model örneği ve bu modelden veri elde etme, <https://Rhinoceros.github.io/components/ladybug/radiationRose.html>, Son Erişim Tarihi: 16.09.2016.
24. Grobman, Y. (2012). The Various Dimensions of the Concept of ‘Performance’ in Architecture. In Y. J. Grobman ve E. Neuman (Eds.), *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*. New York: Routledge, 9-13.
25. Krietemeyer, B. Andow, B. ve Dyson, A. (2015). Computational Design Framework Supporting Human Interaction with Environmentally-Responsive Building Envelopes, *International Journal of Architectural Computing*, 1(13).
26. Kensek, K. M. ve Noble, D. E. (2014). *Building Information Modeling: BIM in Current Future Practice*. USA: John Wiley & Sons, 59-75.
27. İnternet: South Australian Health and Medical Research Institute / Woods Bagot, <https://www.archdaily.com/533388/south-australian-health-and-medical-research-institute-woods-bagot>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2016.

28. İnternet: Q1, ThyssenKrupp Quarter Essen / JSWD Architekten + Chaix & Morel et Associés, <https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associés>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016
29. Razzaghmanesh, D. (2015). *Impact of Parametric Design on Designing Performative Facades*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
30. Bundy, A. (2007). Computational Thinking is Pervasive. *Journal of Scientific and Practical Computing*, 1 (2), 67-69.
31. Schumacher, P. (2009). Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design, *AD-Architectural Design Publish*, 79(4), 14-23.
32. Araya, S. (2011). *Performative Architecture*, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology (MIT) Institute. USA.
33. Grobman, Y. (2012). The Various Dimensions of the Concept of 'Performance' in Architecture. In Y. J. Grobman ve E. Neuman (Eds.), *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*. New York: Routledge, 9-13.
34. Burry, M. (2013). *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming*. AD Primers, Wiley Publisher.
35. Ofluoğlu, S. (2019). *Yapı Bilgi Modelleme (BİM)*, İsbak Eğitimi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Fakültesi, İstanbul.
36. Sayın, S. (2014). *Performans Tabanlı Bina Tasarımı İçin Bir Model Önerisi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
37. Oxman, R. (2008). Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing*, 6, 1-17.
38. Schewede, D. A. (2006). A Digital Bridge for Performance-Based Design. *Design Computing and Cognition*, 6, 23-40.
39. Kolarevic, B., ve Malkawi A. (2005). *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*, Spon Press, London.
40. Deru, M. ve Torcellini, P. (2004). *Improving Sustainability of Buildings Through a Performance-Based Design Approach*, World Renewable Energy Congress VIII and Expo, Denver, Colorado, August 29-September 3.
41. Akipek Ö. F. ve İncaoğlu N. (2007). Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları, *Megaron. E-Dergisi*, 2(4), 245-247.
42. Anderson, J., ve Tang, M. (2010). *Interactive information Model for Digital Fabricator*. ARCC- EAAE 2010 Conference, Washington D.C.

43. Foliente, G.C., Tucker, S. ve Huovila, P. (2005). *Performance-based framework and applications for nD Models in building and construction*, in P Huovila (ed.) Performance Based Building, RIL, Helsinki, Finland.
44. Foliente, G. (2005). *Performance Based Building RoadMap (PEBBU Final Report)*, EUR 21988, ISBN 90-6363-048-4, Australia.
45. Lee, A., Wu, S., Marshall-Ponting, A., Aouad, G., Cooper, R., Tah, J.H.M., Abbott, C. ve Barrett, P.S. (2005). *nd modelling roadmap: a vision for nD-enabled construction*, University of Salford Manchester, UK.
46. Wang, T. H. (2012). *Customizing Pattern-Based Tessellation for NURBS Surface Reconstruction with Irregular Boundary Conditions*. Doctor of Philosophy Thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
47. Kim, M., Kirby, L. ve Krygiel, E. (2016). *Mastering Autodesk Revit 2017 for Architecture*: USA: John Wiley & Sons, 5-843.
48. Kensek, K., M. (2014). *Integration of Environmental Sensors with BIM: case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API*, Informes de la Construcción dergisi, 66, ISSN-L: 0020-0883.
49. Mousadais, T. ve Mengana, S. (2016). *Parametric BIM: Energy Performance Analysis Using Dynamo for Revit*, Royal Institute of Technology, Master Thesis, Examensarbete Inom Samhällsbyggnad, Avancerad Nivå, 30 Hp Stockholm, Sverige.
50. Suyoto, W. Indraprastha, A. ve Purbo, H. (2015). Parametric Approach as a Tool for Decision-making in Planning and Design Process, Case study: Office Tower in Kebayoran Lama, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 184 , 328 – 337.
51. Villamil, A. A. G. (2014). *Environmentally Responsive Buildings: Multi-Objective Optimization Workflow For Daylight And Thermal Quality*. Master of Building Science, University of Southern California, Los Angeles.
52. Issa, R. (2020). *Essential Algorithms and Data Structures for Computational Design in Grasshopper First Edition*, Robert McNeel & Associates.
53. Pak, B. (2003). *Dijital Ortam Mimari Tasarım Ara Kesitinde Bir Tasarım Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
54. Yazar, T. ve Uysal, S. (2016). *Grasshopper ile Parametrik Modelleme*, Pusula Yayıncılık, İstanbul.
55. Lee, D., K. (2013). *High Energy Efficient Building Kabuğu Design With Integrated Workflow in Multidisciplinary Performance Criteria*, Master Thesis, Architecture Georgia Technology Institute.
56. Ladybug Tools, İnternet: <https://www.ladybug.tools/> Son Erişim Tarihi: 02.02.2017.

57. İnternet: 10 Parametrik Eklenti, <https://www.icmimarlikdergisi.com/2016/04/28/9957/>, Son Erişim Tarihi: 10.03.2017.
58. Roudsari, M. S. (2013). *Parametric Analysis is the new*, 12th International Radiance Workshop, Thornton Tomasetti, ABD.
59. İnternet: Heliotrope Solar Tool, <https://www.food4rhino.com/app/heliotrope-solar>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2017.
60. İnternet: Al Bahar Tower, <https://www.grasshopper3d.com/photo/al-bahar-tower-2>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2017.
61. Montaser, A. ve Moselhi, O. (2015). *Methodology For Automated Generation Of 4d Bim*, 5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver, British Columbia.
62. İnternet: Gerilla Tool, <https://www.food4rhino.com/app/gerilla>, Son Erişim Tarihi: 23.08.2017.
63. İnternet: Diva Tool, <http://diva4rhino.com/>, Son Erişim Tarihi: 18.09.2017.
64. Doğan, T. (2016). *Diva 4 - Dynamic Shading*, MIT, Solemma.
65. İnternet: Archsim Tool, <https://www.food4rhino.com/app/archsim-energy-modeling-gh>, Son Erişim Tarihi: 20.09.2017.
66. İnternet: Mısır'da Arkeoloji Müzesi, <http://www.mimdap.org/?p=122858>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016.
67. İnternet: Güneş Enerjisi ve Teknolojileri, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı, [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx), Son Erişim Tarihi: 02.05.2017.
68. İnternet: Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisinin Öndemi, <https://www.teknoraygunes.com.tr/dunyada-ve-turkiyede-gunes-enerjisinin-onemi> , Son Erişim Tarihi: 02.05.2017.
69. İnternet: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, <https://www.solar.ist/yenilenebilir-enerjiye-gecis-icin-uluslararası-is-birliklerinin-guclendirilmesi-sart/>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2017.
70. İnternet: Maastricht Antlaşması, TBMM., [https://www.tbmm.gov.tr/kutuphane/Maastricht\\_Anlasmasi](https://www.tbmm.gov.tr/kutuphane/Maastricht_Anlasmasi), Son Erişim Tarihi: 01.07.2017.
71. Akova, S. ve Beyhan, F. (2015). *Yapılı çevrelerin enerji politikasına etkisi: AB-Türkiye karşılaştırılması*, Enerji Diplomasisi, Beta Basım, ISBN: 978-605-333-362-3, 1,623-644.

72. Olçar, K. (2010). Uluslararası Çatışmaların Enerji Politik Analizi, *DergiPark Güvenlik Stratejileri dergisi*, 6 (11).
73. İnternet: Renewables (2011). Global Status Report, REN 21, [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2011\\_Full\\_Report\\_English.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2011_Full_Report_English.pdf), Son Erişim Tarihi: 05.09./2017.
74. İnternet: Türkiye’de Enerji Kullanımı, <https://www.zekonomi.com/en-cok-gunes-alan-en-az-gunes-enerjisi-kullanan-ulke-turkiye/>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2017.
75. İnternet: YEGM. (2015). Türkiye’nin güneş enerjisi Potansiyeli, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, Erişim tarihi:10.06.2017.
76. İnternet: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>, Son Erişim Tarihi: 03.06.2017.
77. İnternet: Türkiye’nin Enerji Potansiyeli, <https://www.unienerji.com/arsivler/370>, Son Erişim Tarihi: 18.06.2017.
78. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü - YEGM, (2017). *Türkiye birincil enerji tüketim dağılım raporu*, Ankara.
79. Tiftikçioğlu, B., Y. (2015). *Türkiye’de ekonomik büyüme ve enerji tüketim ilişkisi*, *Enerji Diplomasisi*, Beta Basım, ISBN: 978-605-333-362-3, 1,571.
80. Tekin, Ç. ve Kurugöl, S. (2009). *Enerji Etkin Yapı Üretiminde Isı Yalıtım Esasları*. Uluslararası Ekolojik Mimarlık ve Planlama Sempozyumu Bildiri Kitabı, 58-64, Antalya.
81. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017). *Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Sayı:15, Ankara.
82. İnternet: Enerji Etkin Bina, [www.undp.org > envenergydoc > enerji-etkinbina\\_brosur\\_final\\_080114](http://www.undp.org/en/energydoc/enerji-etkinbina_brosur_final_080114), Son Erişim Tarihi: 23.06.2017.
83. Duffie, J., A. ve Beckman, W., A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*, John Wiley and Sons Inc., New York.
84. Serraoui, M. Sellam, M. ve Rebhi, M. (2016). Automatic Dual Axis Sun Tracking System using Improved Perturbs and Observes MPPT Algorithm, *Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA) journal*, 64(2), 48.
85. İnternet: Solar Energy, [https://www.builditsolar.com/SiteSurvey/site\\_survey.htm](https://www.builditsolar.com/SiteSurvey/site_survey.htm), Son Erişim Tarihi: 28.06.2017.
86. Anderson, K. (2014). *Design Energy Simulation for Architects Guide to 3D graphics*, Routledge, New York.

87. Mohsenin, M. (2015). *Assessing Daylight Performance in Atrium Buildings by Using Climate Based Daylight Modeling*. Doctor of Philosophy Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
88. Özmehmet, E. (2005). *Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Akdeniz İklim Tipi İçin Bir Bina Modeli Önerisi*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
89. Zemella, G. ve Faraguna, A. (2014). *Evolutionary Optimisation of Façade Design, A New Approach for the Design of Building*, Springer, Londra.
90. Roaf, S. Fuentes, M ve Thomas, S. (2003), *Ecohouse 2A Design Guide*, Architectural Press, Oxford.
91. Krishan, A. (1995). *Climatically Responsive Energy Efficient Architecture – a Design Handbook*. 1. Department of Planning at Delhi University, Dehli.
92. Krietemeyer, E. A. (2013). *Dynamic design framework for mediated bioresponsive building envelopes*. Doctor of Philosophy Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
93. Zemella, G. ve Faraguna, A. (2014). *Evolutionary Optimisation of Façade Design, A New Approach for the Design of Building*, Springer, Londra.
94. Reinhart, C. (2015). *Environmental Technologies in Buildings, L14 Shading + Integrated Façade Design, Daylighting handbook*, MIT Sd Lab. USA.
95. Marsh, A. (2003). *Computer-Optimised Shading Design*, 8th International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands.
96. Heidegger, V. (2013). *Energy Façade - Operational Energy Optimizing Tool For Conceptual Facade Design*, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences Track Building, Delft University of Technology Faculty, Netherlands.
97. Yang, I. H. ve Nam, E.-J. (2010). Economic Analysis of the Daylight-Linked Lighting Control Dystem in Office Buildings. *Solar Energy*, 84(8), 1513-1525.
98. El Sheikh, M. M. (2011). *Intelligent Building Skins: Parametric-Based Algorithm For Kinetic Facades Design And Daylighting Performance Integration*. Master of Building Science, University of Southern California, Los Angeles.
99. Kiraz, F. (2003). *Konvansiyonel ve Ekolojik Yapı Sistemlerinin İlk Yapım ve Kullanım Giderleri Açısından Kayseri Bağ Evi Örneğinde İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
100. Kuşçu, A. C. (2006). *Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Geleneksel Konya Evi Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

101. Manioğlu, G. ve Oral, G. K. (2010). *Ekolojik Yaklaşımda İklimle Dengeli Cephe Tasarımı*, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 15 -16 Nisan 2010 Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi Buca – İzmir.
102. Ovalı, P. (2009). *Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematığının Oluşturulması: Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Edirne.
103. Dörter, H. (1994). *Konutlarda Isıtma Enerjisi Korunumu Amaçlı Mimari Tasarıma Yön Verici İlkelerin ve Çözümlerin Belirlenmesinde Bir Yaklaşım Araştırması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
104. Orhon, İ. Küçükdoğu, M. Ş. Ok, V. (1998). *Doğal İklimlendirme, Toplu Konut İşletmesi Proje Planlama Tasarım El Kitabı*, Tubitak Yae, Yayın No: U.9,1-22.
105. Tönük, S. (2001). *Bina Tasarımında Ekoloji*, YTÜ Yayınları, Yayın No: Mf. Mim01.005, YTÜ Basım-Yayın Merkezi, İstanbul, 4-105.
106. Sezer, F. Ş. (2005). Farklı Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10 (1).
107. Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri, *Selçuk Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 26,3.
108. Ercan, B. (2013). *Method For Performance Based Design Exploration: Generating External Shading Units For An Office Building In Nicosia*, Cyprus, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
109. Ofloğlu, S. (2016). *Bim ve Bina Yaşam Döngüsünde Kullanımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
110. Erbaş S. K. (2013). Mimaride Parametrik Tasarım ve Eğitimi, *Journal of Research in Education and Teaching*, 2(4),14.
111. Çolakoğlu, B. ve Yazar, T. (2007). *Mimarlık Eğitiminde Algoritma: Stüdyo Uygulamaları*, Bilgisayar Ortamında Tasarım Bilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız, İstanbul.
112. Ko, W. H. Schiler, M. Kensek, K. ve Simmonds, P. (2012). *Tilted Glazing In Building Simulations and Its Effect On Form refinement of Complex Facades*, IBPSA-USA, 5. Ulusal Konferansı, Madison, Wisconsin, USA.
113. Harputlugil, G. U. (2014). Building Energy Performance Evaluation Tools Energy Simulation, *Plumbing Engineering Journal*, 144, 23-32.
114. Renner, G. ve Ekárt, A. (2003). *Genetic Algorithms in Computer Aided Design*, Computer - Aided Design, 35(8), 709-726.

115. İnternet: Mark., S. (2012). Origami in Engineering and Architecture, An art and science spanning Mathematics, Engineering and Architecure, <https://www.semanticscholar.org/paper/Origami-in-Engineering-and-Architecture-An-art-and/a0f7f7b2194a4731f7c47e5a4dcfe376f375fa5f>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2017.
116. Konings, J. (2014). *Miura Ori Based Curved Surface Origami Structures*, Westminster University School of Architecture, Diploma Studio 10, Londra.
117. İnternet: Holloway, J. (2013). *Modernizing the mashrabiya: Smart-skinned Al Bahar Towers near completion*, <http://www.gizmag.com/al-bahar-towers/26139/pictures#3>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016.
118. İnternet: Bahriye Üçok Ekolojik Okulu, [http://www.mimarizm.com/mimari-projeler/egitim/bahriye-ucok-ekolojik-anaokulu\\_127971](http://www.mimarizm.com/mimari-projeler/egitim/bahriye-ucok-ekolojik-anaokulu_127971), Son Erişim Tarihi: 23.05.2018.
119. Bozkurt, C. (2010). *Kinetik Sistemlerle Çalışan, Biyomimetik Bir Kentsel Donatı Tasarımı – Urbancot*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
120. Benyus J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow Paperbacks Publishing, Harper Perennial.
121. Sandak, A. Sandak, J. Brzezicki, M. ve Kutnar, A. (2018). *Bio-Based Building Skin*, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes, Hong Kong.
122. Zia, A. ve Laraki, A. N. (2013). Sustainable Building Strategies: Learning from the Nature, *Global Journal of Science, Engineering and Technology*, Issue 10 (2), 14-26.
123. Tselas, E. (2013). Architectural Design And Form İnspired By Nature, University of Huddersfield, *School of Art Design and Architectural*, Module THA 1121-1213, 22-23.
124. İnternet: Biomimicry, <http://v3.arkitera.com/spotlight.php?action=displaySpotlight&ID=146&year=&aID=2677>, Son Erişim Tarihi: 02.07.2017.
125. Adriaenssens, S. Barbarigos, L. Kilian, A. Baverel, O. Charpentier, V. Horner, M. ve Buzatu, D. (2014). Dialectic Form Finding of Passive and Adaptive Shading Enclosures, *Energies* 2014, 7(8), 5201-5220. DOI: 10.3390/en7085201.
126. Hogrefe, A. (2010). *Evaluating the Digital Design Process: Bottom-up vs. Top-down*, Master Thesis Miami University, Architecture Faculty, Oxford, Ohio, Amerika.
127. Noble, D. ve Kensek, K. (2011). Computer generated GüneşKabuğus in Architecture, *The Journal of Architecture*, 3, 2, 17-127.
128. Houpert, D. (2003). *Approche Inverse pour la Résolution de Contraintes Solaires et Visuelles dans le Projet Architectural et Urbain- Développement et Application du Logiciel SVR*. Université de Nantes, Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Mécanique, Thermique et Génie Civil, Nantes.

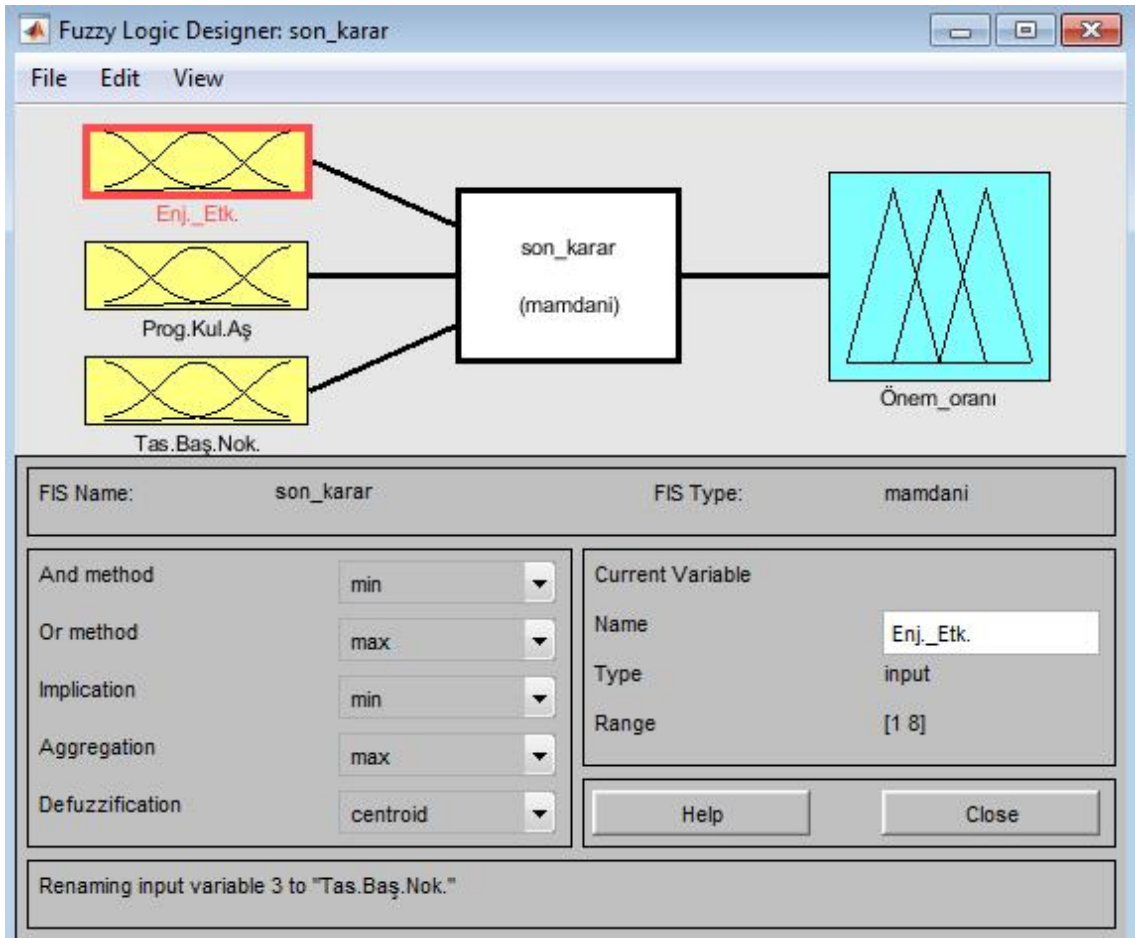
129. Canan, F. (2008). *Enerji Etkin Tasarımda Parametrelerin Denetlenmesi İçin Bir Model Denemesi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
130. Knowles, R.L. (1981). Sun Rhythm Form. *The Massachusetts Institute of Technology Press*, Massachusetts.
131. Knowles, R.L. (2003). The Güneş Kabuğu: its Meaning for Energy and Buildings. *Energy and Buildings Elsevier Science*, 35, 15-25,
132. Knowles, R.L. (1999). *The Solar Envelope*, Professor Emeritus School of Architecture University of Southern California.
133. Niemasz, J., Sargent, J. ve Reinhart, C., F. (2011). *Sun Zoning and Energy in Detached Residential Dwellings*, Spring Simulation Multi-conference, SpringSim '11, Boston, MA, 8, Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (SimAUD), USA.
134. İnternet: Decker, K., D. (2012). The Solar Envelope: how to heat and cool cities without fossil fuels, <https://www.lowtechmagazine.com/2012/03/solar-oriented-cities-1-the-solar-envelope.html>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2018.
135. İnternet: Asen Aten Temple, MIT design, <https://architecture.mit.edu/building-technology/project/sesen-aten-temple>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2018.
136. İnternet: Kaire İklim Verileri, <https://tr.climate-data.org/afrika/m%C4%B1s%C4%B1r/cairo-governorate/kahire-3392/>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2018.
137. İnternet: Building Os University, <http://www.iaacblog.com/programs/building-os-university-housing-solar-analysis/>, Son Erişim Tarihi: 04.06.2018
138. Peters, B. (2018). Bespoke Tools for a Better World: The Art of Sustainable Design at Burohappold Engineering. In B. Peters ve T. Peters (Eds.), *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*. West Sussex UK: John Wiley & Sons, 138-149.
139. İnternet: Norman Foster Grubu, [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com), Son Erişim Tarihi: 02.03.2019
140. İnternet: ThyssenKrupp AG Merkez Binası Façade Confidential, <http://facadesconfidential.blogspot.com/2010/12/thyssenkrupp-quarter-facadesgiants.html>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019
141. İnternet: Endesa World Fab Condenser, <http://www.archdaily.com/549830/endesa-world-fab-condenser-margen-lab/>, Son Erişim Tarihi: 02.10.2018
142. İnternet: Endesa World Fab Condenser, <https://www.fab10.org/es/fab-condenser>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016

143. İnternet:Endesa World Fab Condenser, <http://www.metalocus.es/en/news/endesa-world-fab-condenser-margen-lab>, Son Erişim Tarihi: 09.02.2017
- 144.Beaman, M. L. ve Bader, S. (2010). *Responsive Shading and Intelligent Façade Systems*, In LIFE in: formation, On Responsive Information and Variations in Architecture: Proceedings of the 30th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), 263-270. ACADIA. New York, New York: Cooper Union, Pratt Institute.
- 145.İnternet: Grove Towers, <https://archello.com/project/grove-towers>, Son Erişim Tarihi: 19.12.2019
146. İnternet: Karle Town Centre – HUB 1, <https://archpaper.com/2015/01/merge-rides-waves-bangalore/>, Son Erişim Tarihi: 22.04.2019.
- 147.Coppola, C. (2017). Su[n]stainable System- Façade restoration and energy adaptation, *Housing Policies and Urban Economics* 7, 85 – 92.
- 148.Carlos Bausa MARTINEZ, (2019). Normen Foster Partners Group, ABD.
149. İnternet: Chromatic Skins Façade, <https://iaac.net/research-projects/responsive-architecture/chromatic-skins/>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016.
150. Colaço, C. (2011). *Performative Architecture as a Guideline for Transformation of the Defence Line of Amsterdam*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlıkta Sayısal Tasarım ve Üretim Teknolojileri Uluslararası ODTÜ ile Ortak Yüksek Lisans Programı, Ankara
151. İnternet: Endesa Pavillion Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), <http://www.archdaily.com/274900/endesa-pavilion-iaac>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016.
152. İnternet: Endesa Pavillion Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), <http://arquite134ctura.estudioquagliata.com/socializarq/endesa-pavilion-iaac>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016
153. İnternet: Endesa Pavillion Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), <http://fablabbcn.org/2011/11/29/Endesa-Pavilion.html>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016
- 154.Roudsari, M. S. ve Pak, M. (2013). *Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design*, 13. Uluslararası Building Performance Simulation Association Konferansı, Chambéry, Fransa.
155. İnternet: Ankara İklim Verileri, <http://www.ankara.gov.tr/iklimi>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2016
- 156.Soytürk, H. (2019). Mimari Proje Verileri, İmar Müdürlüğü, Ankara Büyükşehir Belediyesi, Ankara.

157. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi istatistik verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>, , Son Erişim Tarihi: 16.12.2016
- 158.İnternet: TEIAS Genel Müdürlüğü Elektrik Verileri, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/>, Son Erişim Tarihi: 12.01.2020
- 159.Chowdhury, R., LR, Larson, K., Grove, M., Polsky C., Cook, E. (2011). A Multi-Scalar Approach to Theorizing SocioEcological Dynamics of Urban Residential Landscapes, *Cities and Environment Scientific Journal* - CATE,4 (1),6-19.

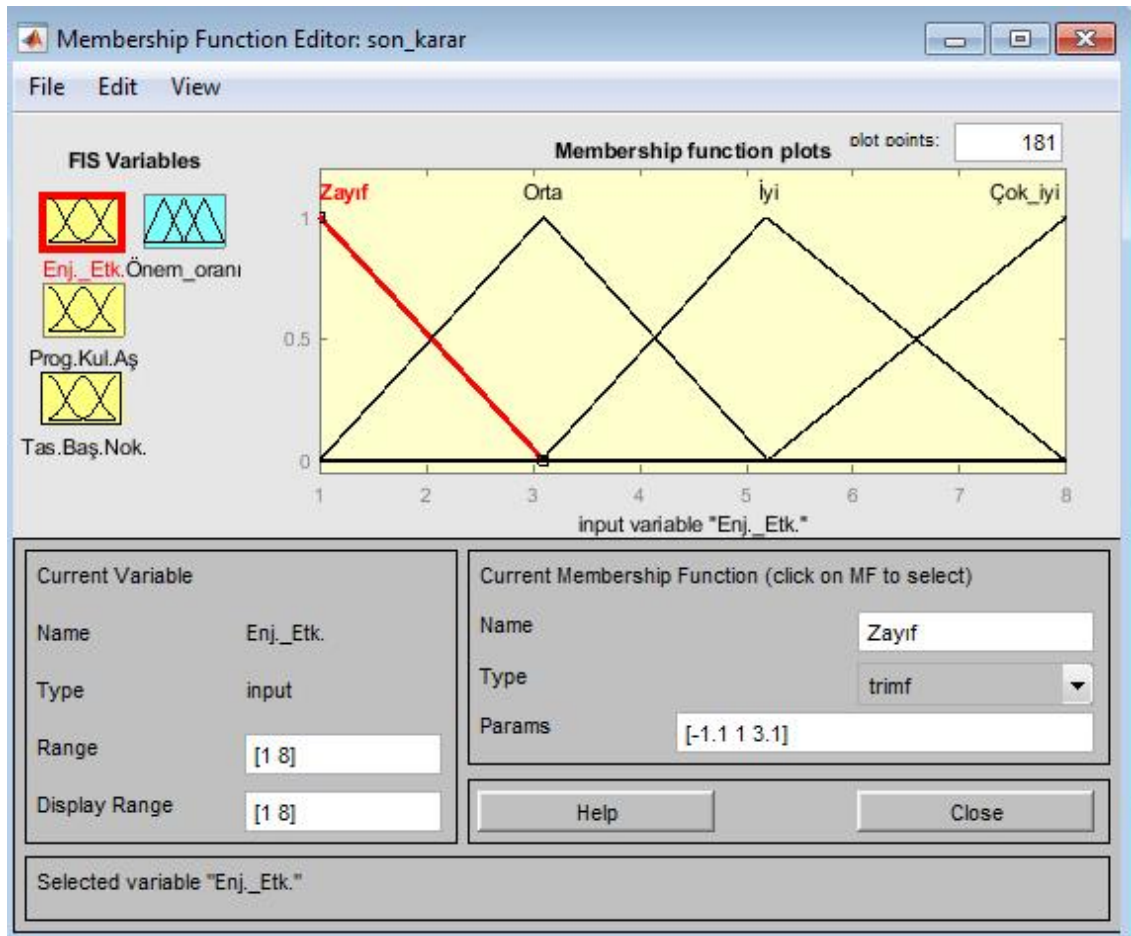
**EKLER**

## EK-1. Ekran alıntısı ve grafikler



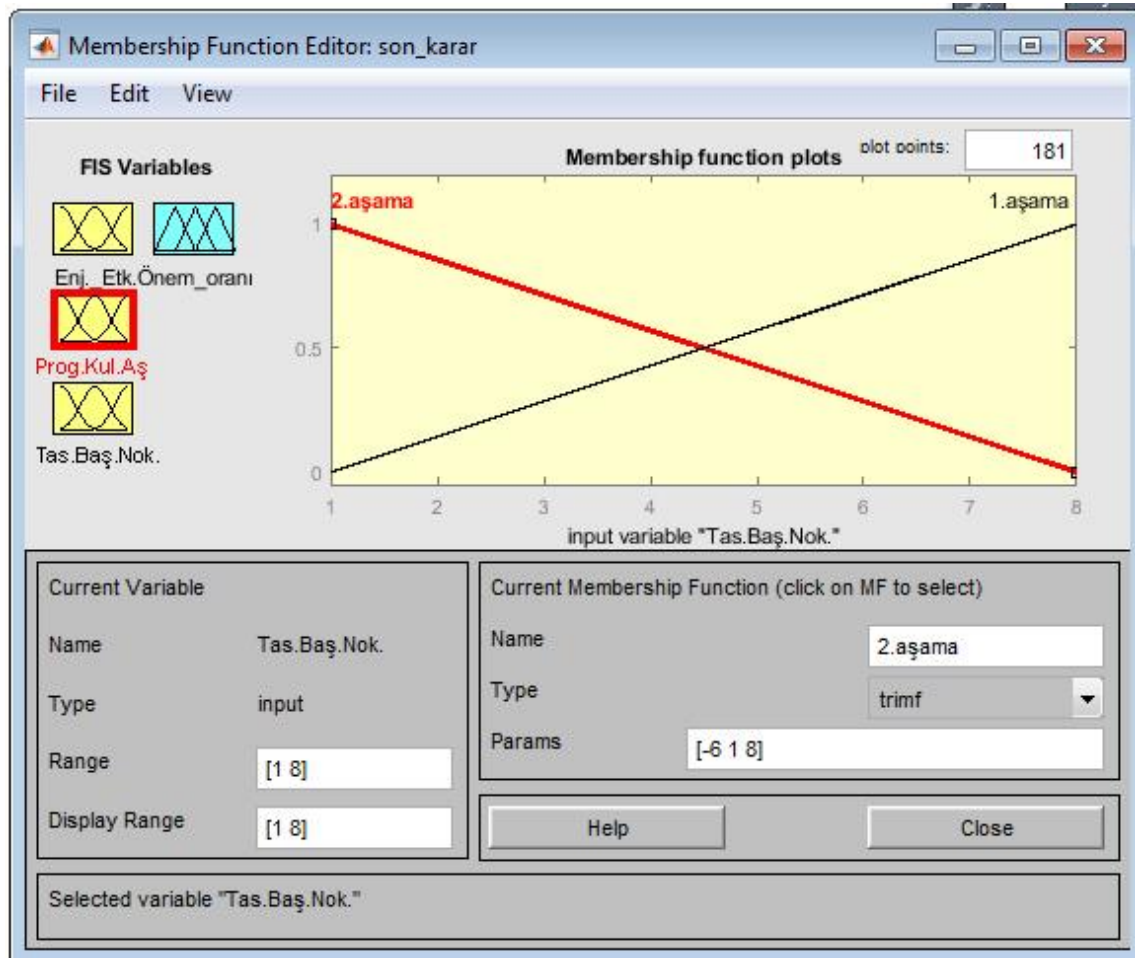
Resim1.1. Matlab programında AHS-bulanık mantık sisteminin kurulumu

## EK-1. (devamı) Ekran alıntısı ve grafikler



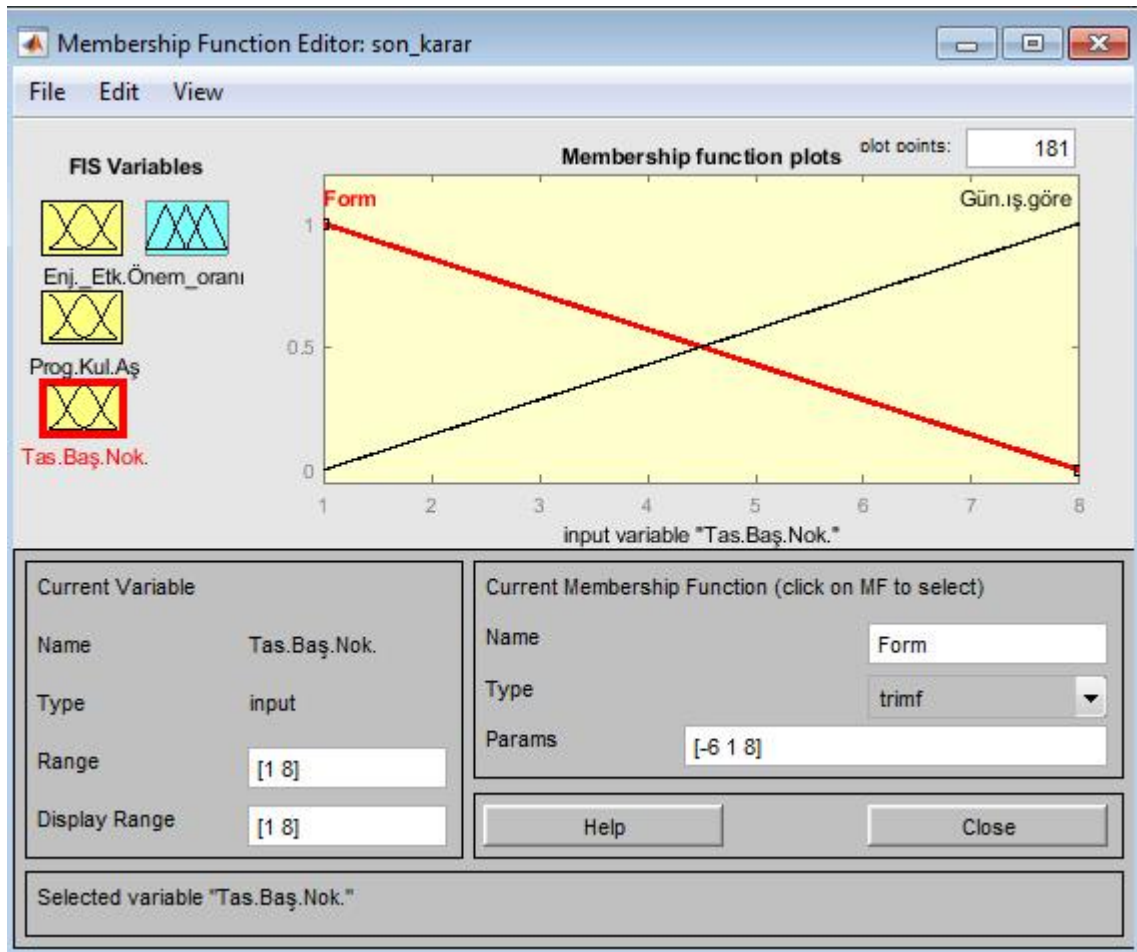
Resim 1.2. Enerji etkinlik girdi kısmındaki sözel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri

## EK-1. (devamı) Ekran alıntısı ve grafikler



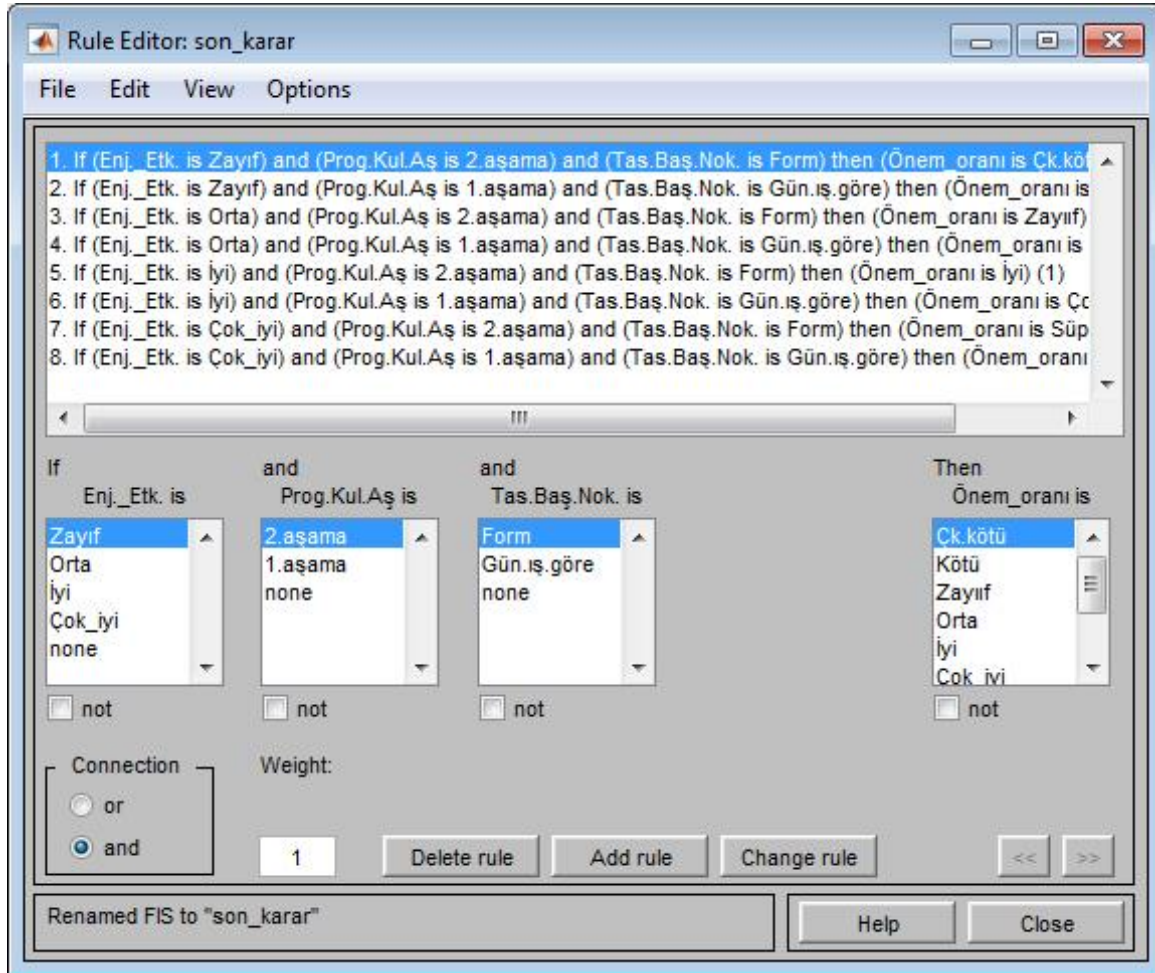
Resim 1.3. Programı kullanma aşaması girdi kısmındaki sözel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri

## EK-1. (devamı) Ekran alıntısı ve grafikler



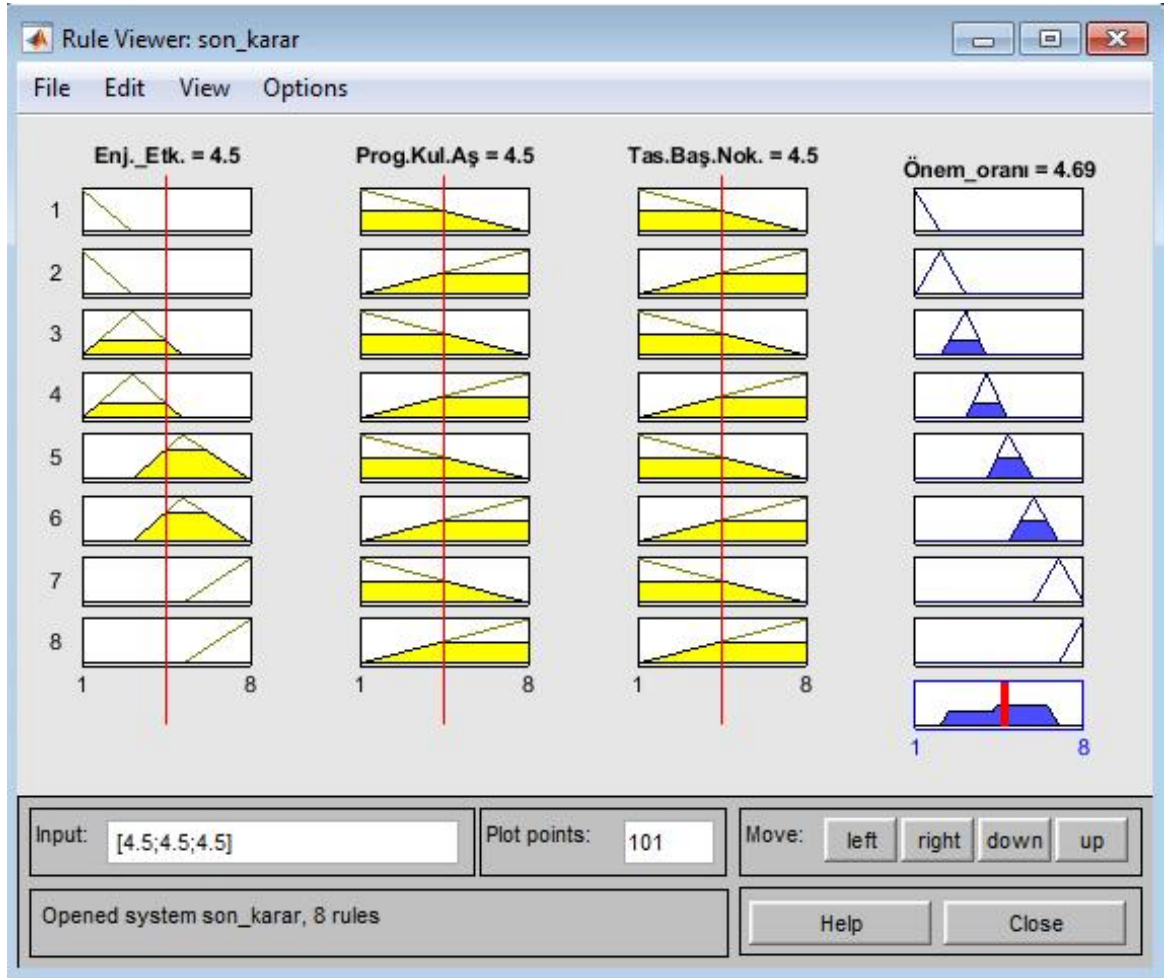
Resim 1.4. Tasarıma başlama noktası girdi kısmındaki sözel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri

## EK-1. (devamı) Ekran alıntısı ve grafikler



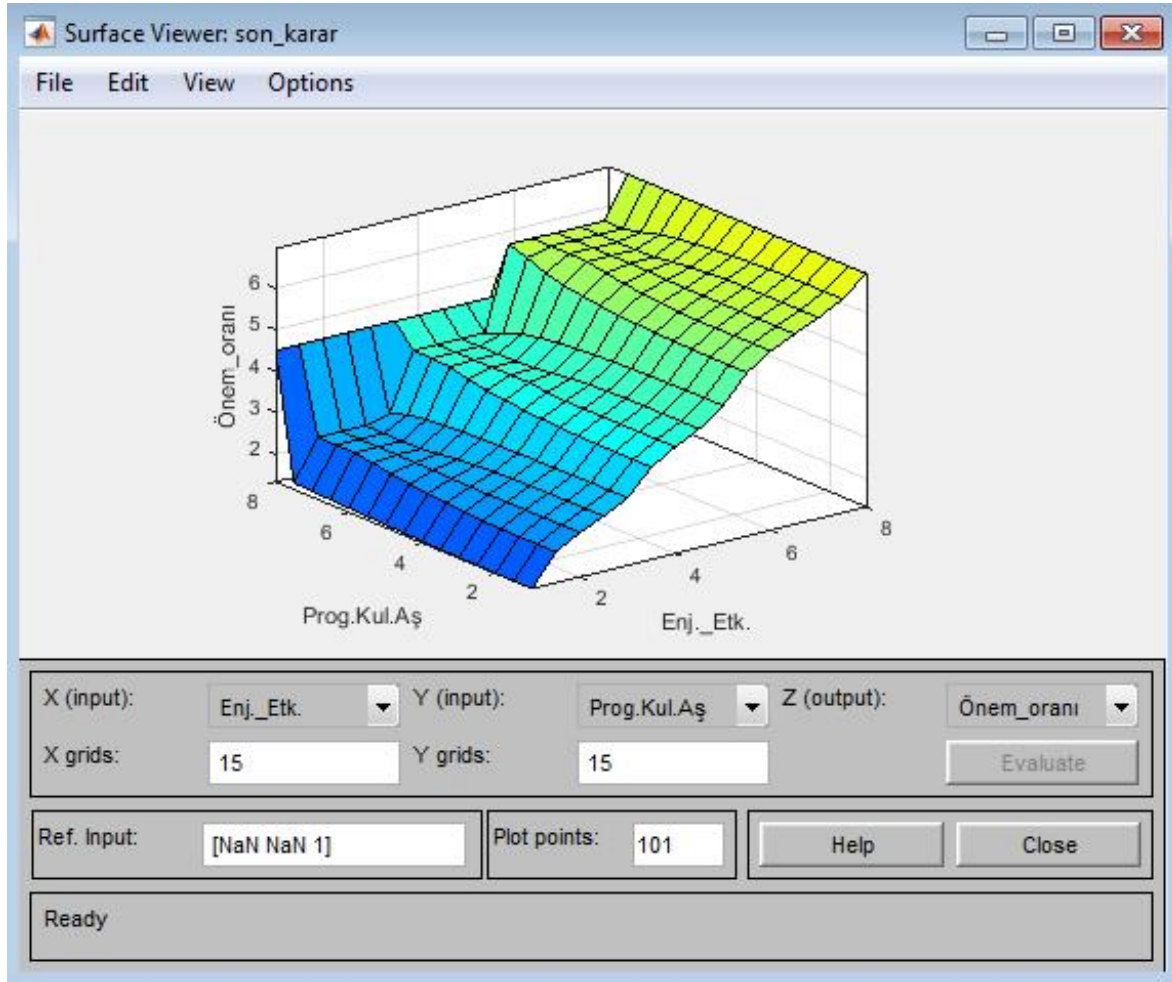
Resim 1.5. Bulanık mantık kurallarının yazılım penceresi

EK-1. (devamı) Ekran alıntısı ve grafikler



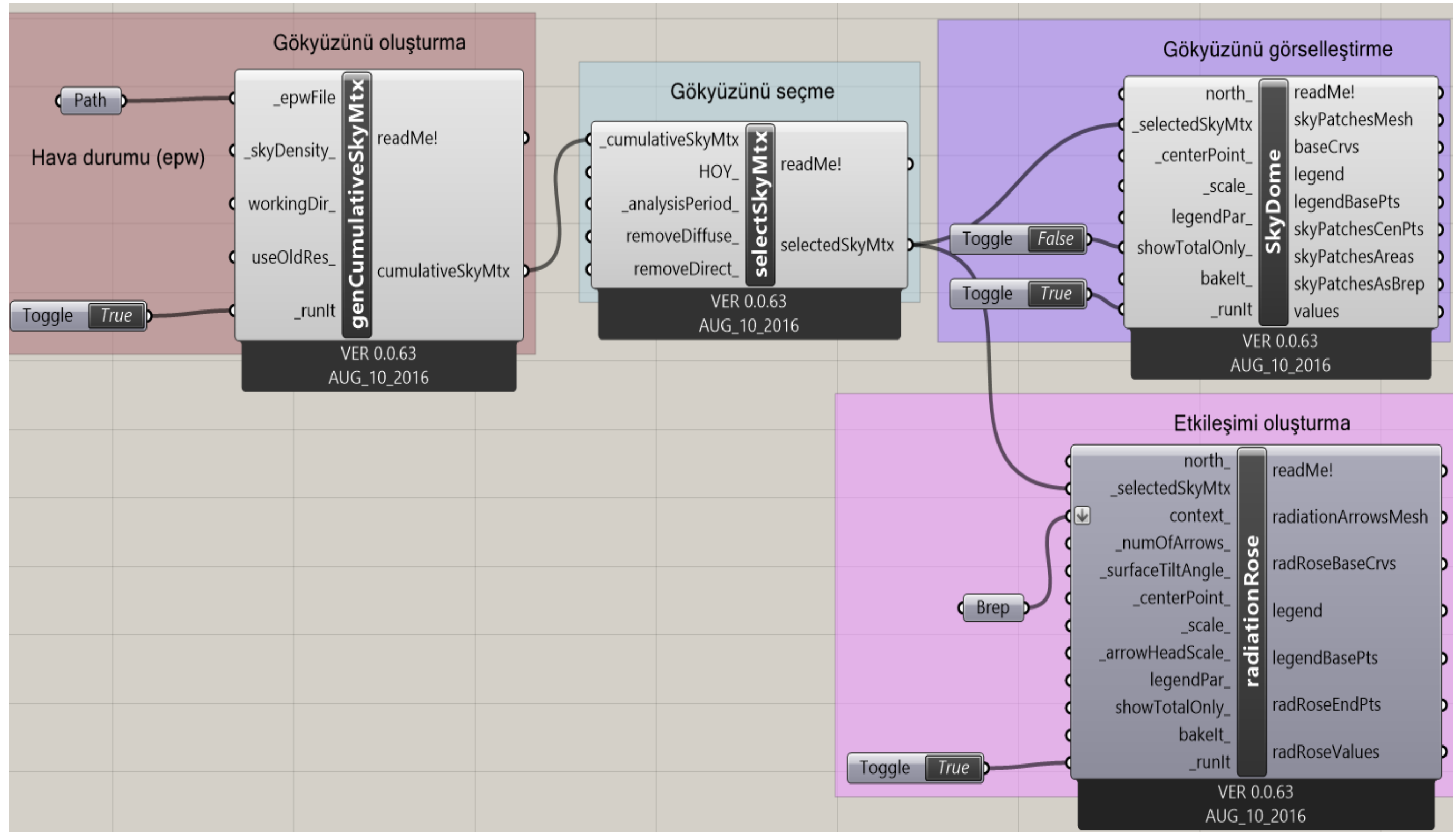
Resim 1.6. Ölçütlerin önem oranını gösteren bulanık mantık çıktıları

EK-1. (devamı) Ekran alıntısı ve grafikler



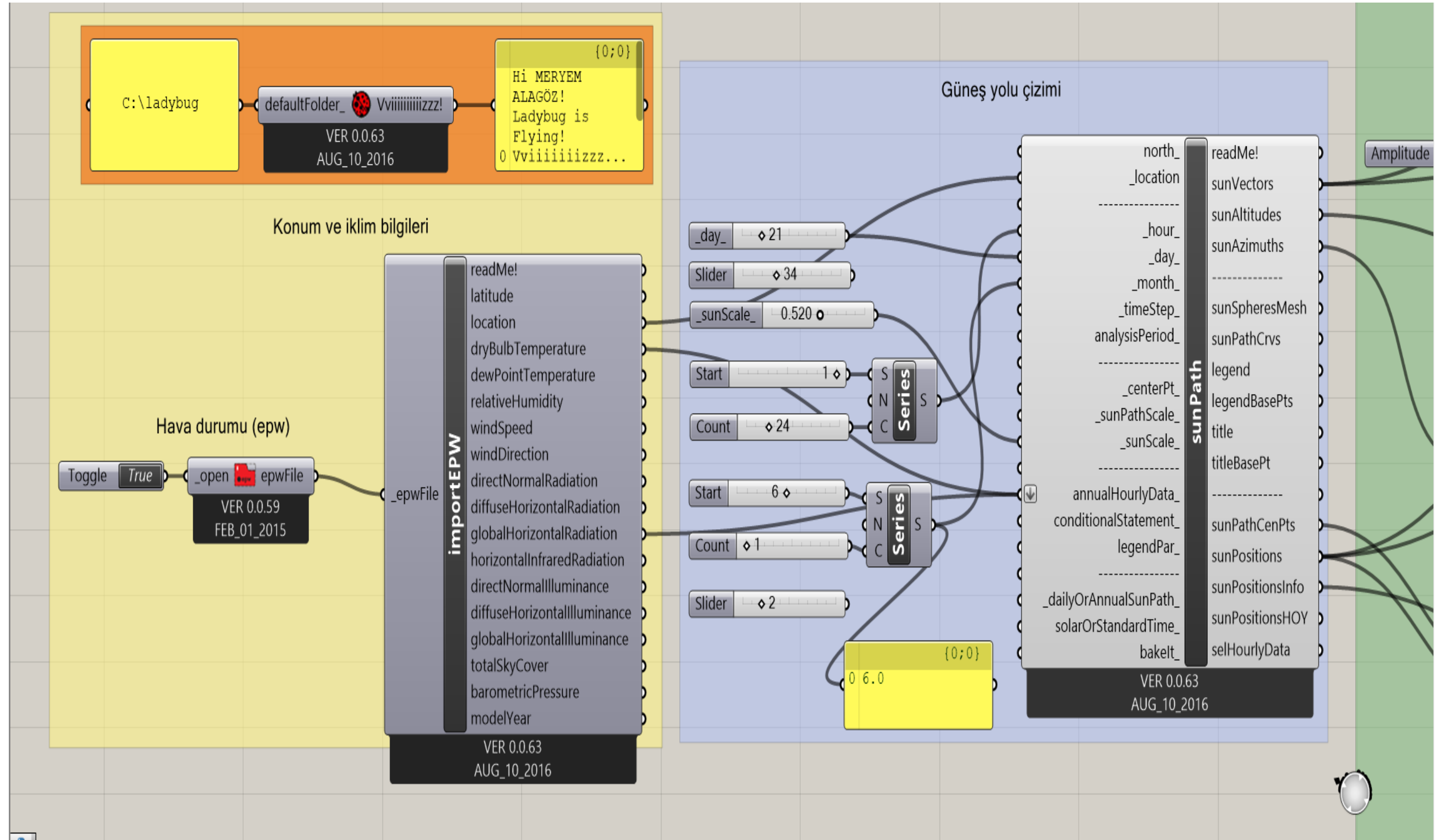
Resim 1.7. Çıktıların önem oranına göre oluşturulan grafik

## EK-2. Algoritmalar

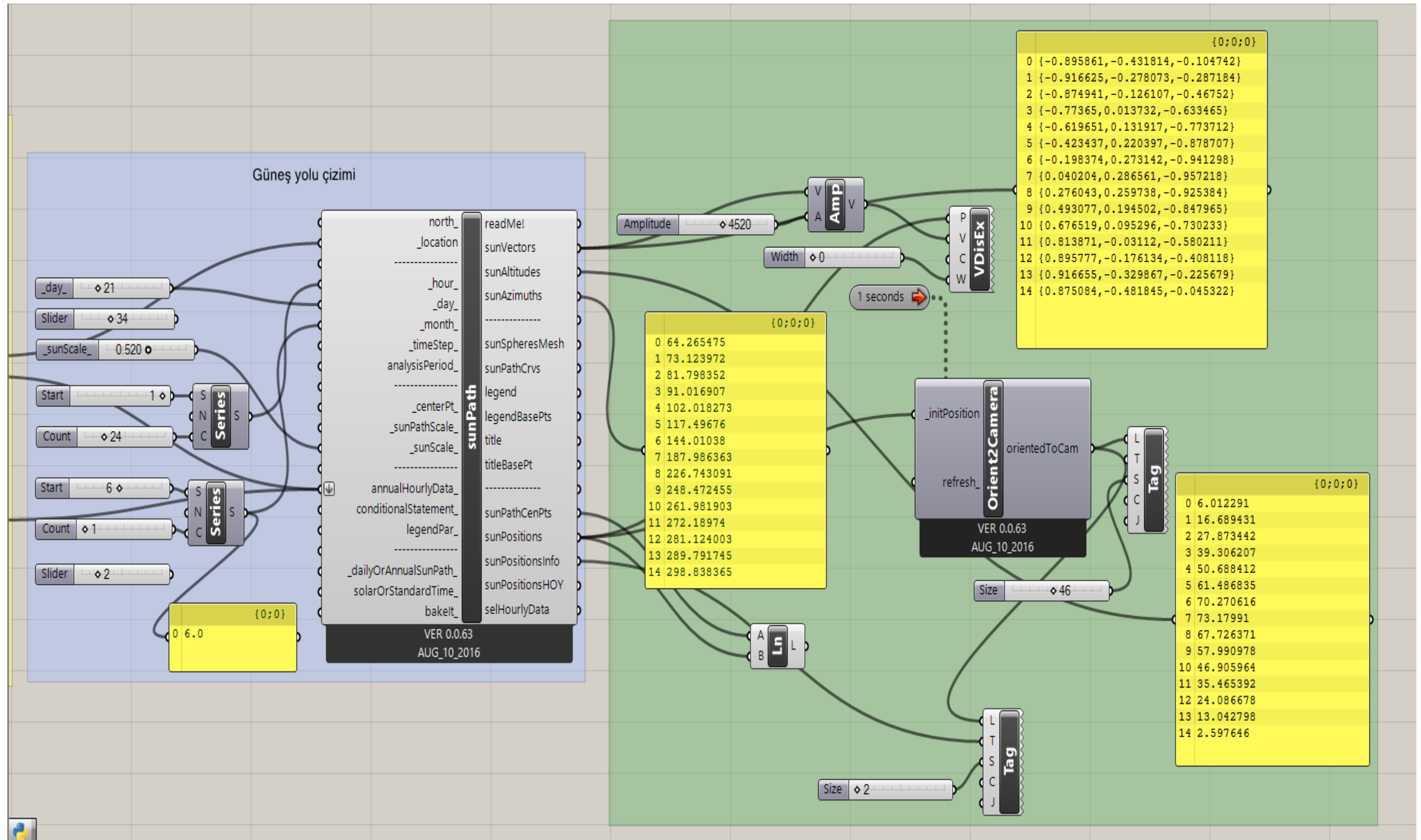


Şekil 2.1. GIA-Ç için hazırlanan tüm algoritmik bağlantılar

## EK-2. (devamı) Algoritmalar

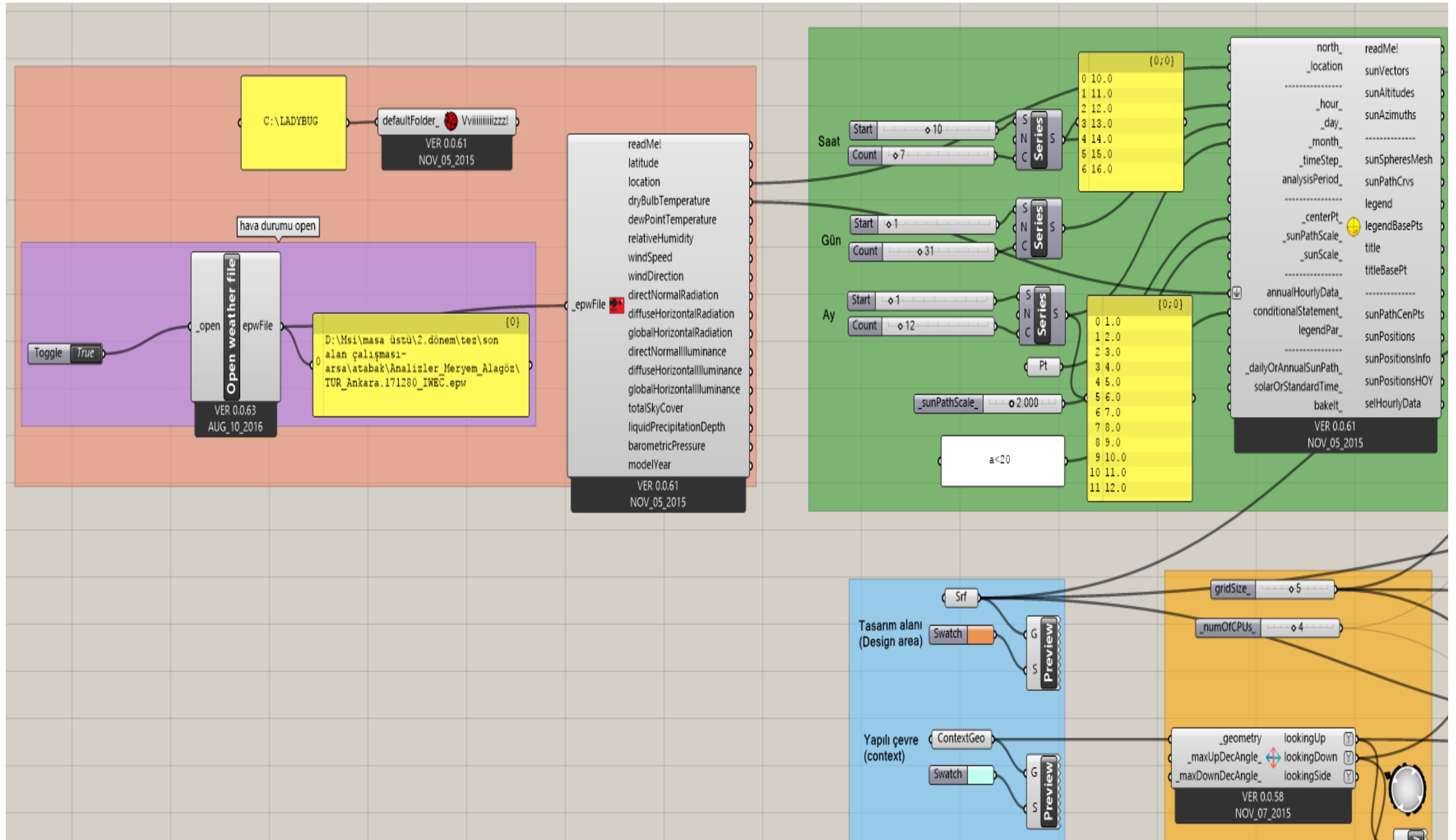


Şekil 2.2. SOD için hazırlanan algoritmik bağlantıların ilk kısmı



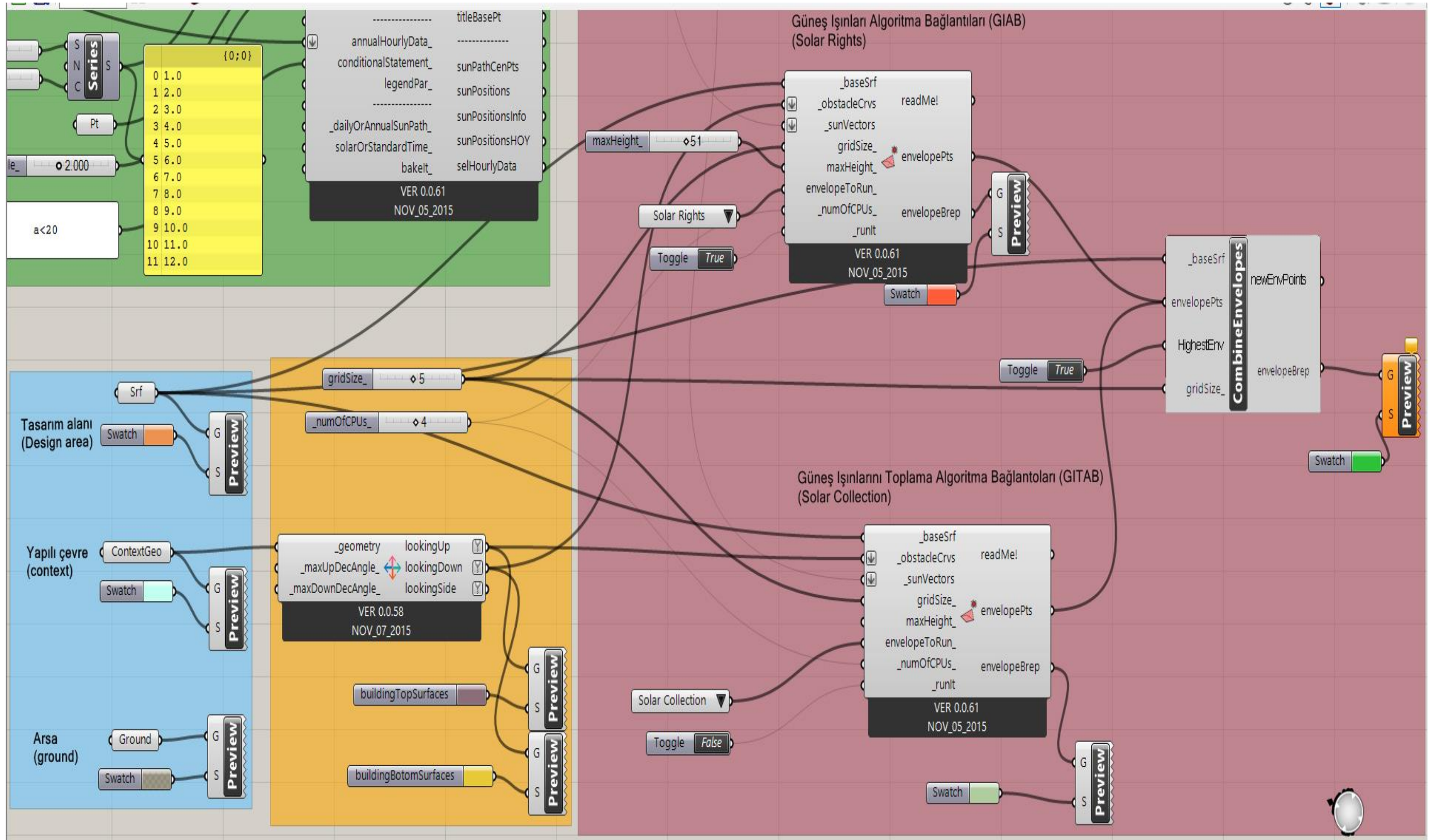
Şekil 2.3. SOD için hazırlanan algoritmik bağlantıların son kısmı

## EK-2. (devamı) Algoritmalar



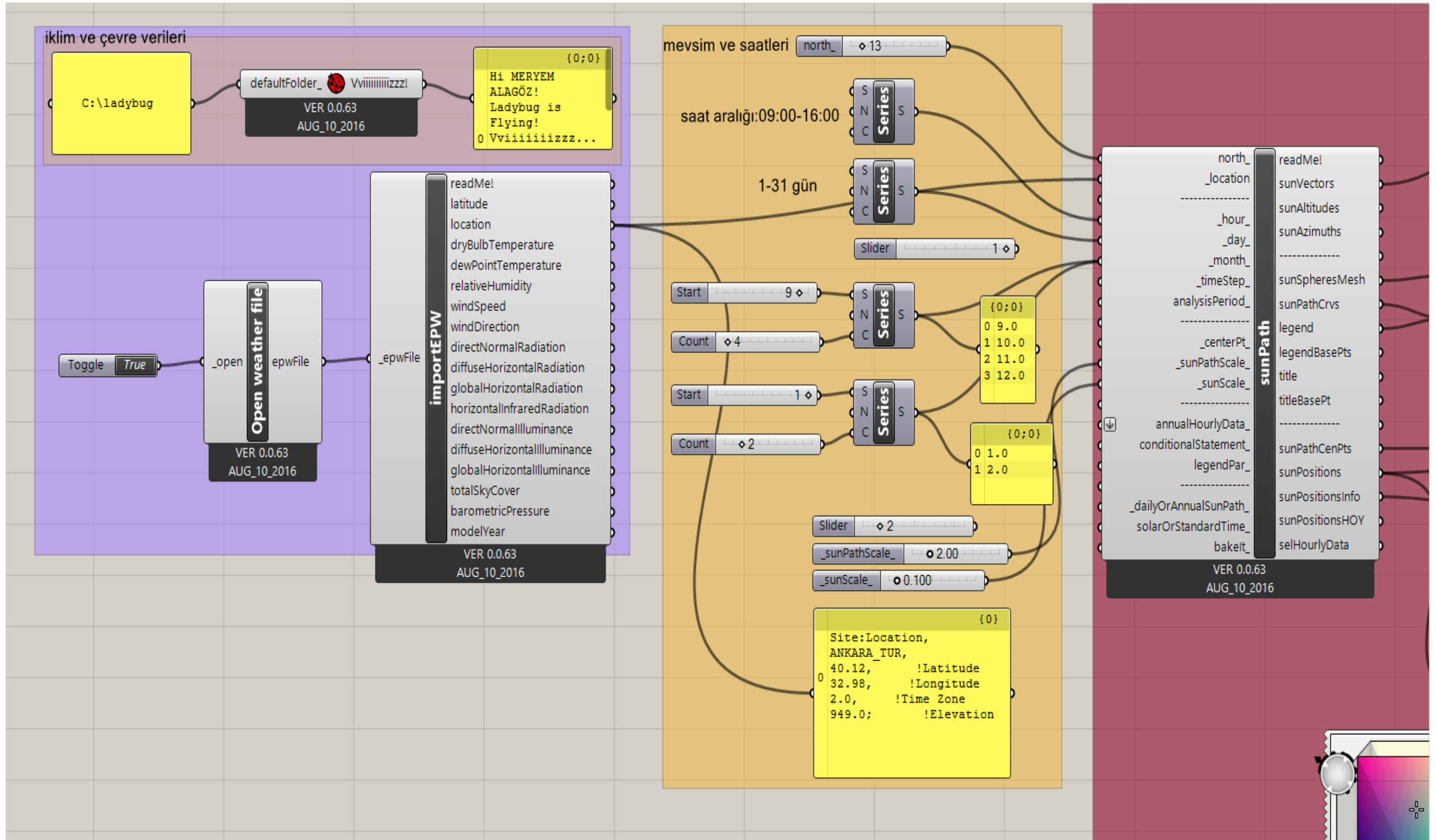
Şekil 2.4. GKY için hazırlanan algoritmik bağlantıların ilk kısmı

## EK-2. (devamı) Algoritmalar



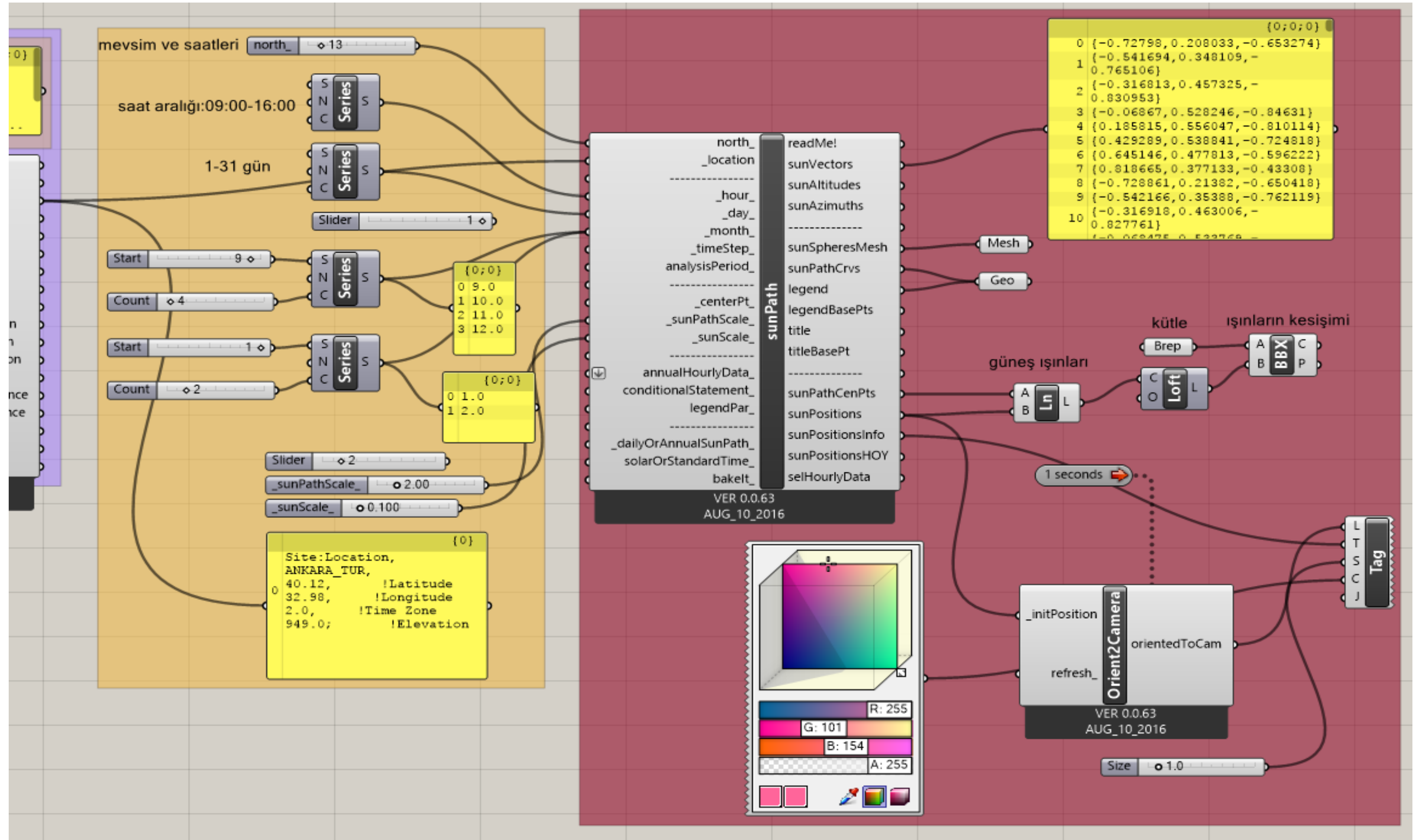
Şekil 2.5. GKY için hazırlanan algoritmik bağlantıların son kısmı

EK-2. (devamı) Algoritmalar



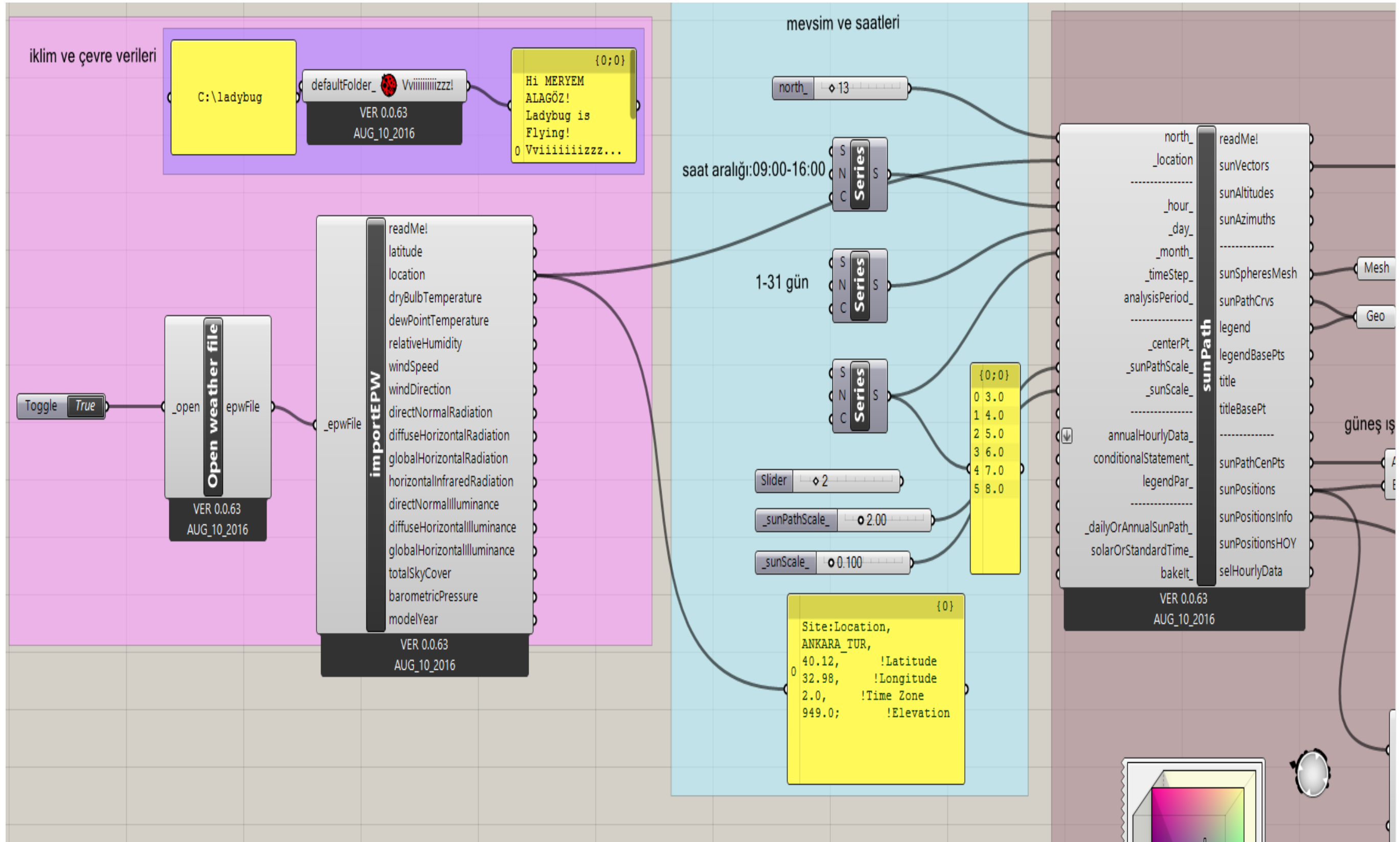
Şekil 2.6. GIY kış ve sonbahar dönemi için hazırlanan algoritmik bağlantıların ilk kısmı

EK-2. (devamı) Algoritmalar



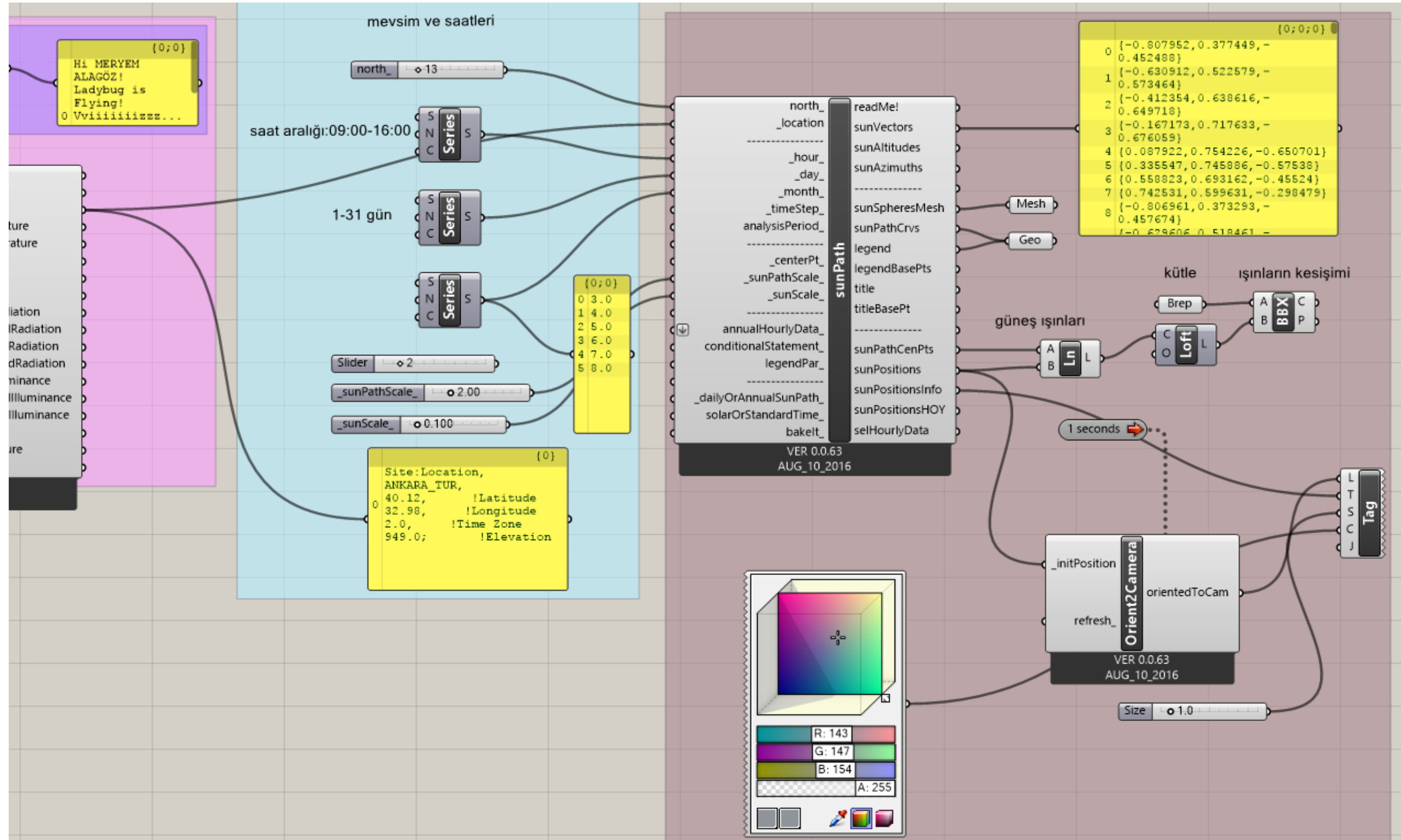
Şekil 2.7. GIY kış ve sonbahar dönemi için hazırlanan algoritmik bağlantıların son kısmı

## EK-2. (devamı) Algoritmalar



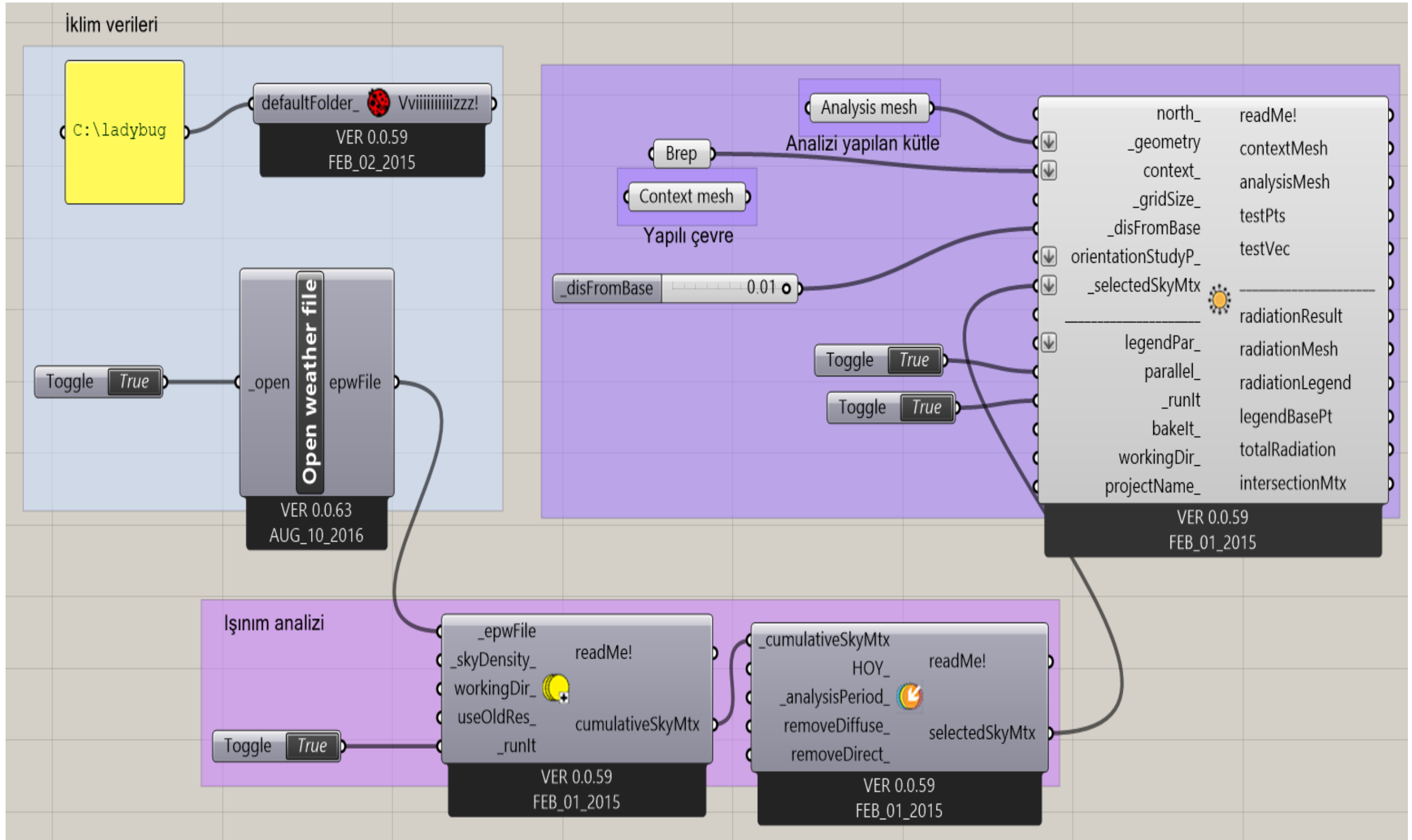
Şekil 2.8. GİY yaz ve ilkbahar dönemi için hazırlanan algoritmik bağlantıların ilk kısmı

EK-2. (devamı) Algoritmalar



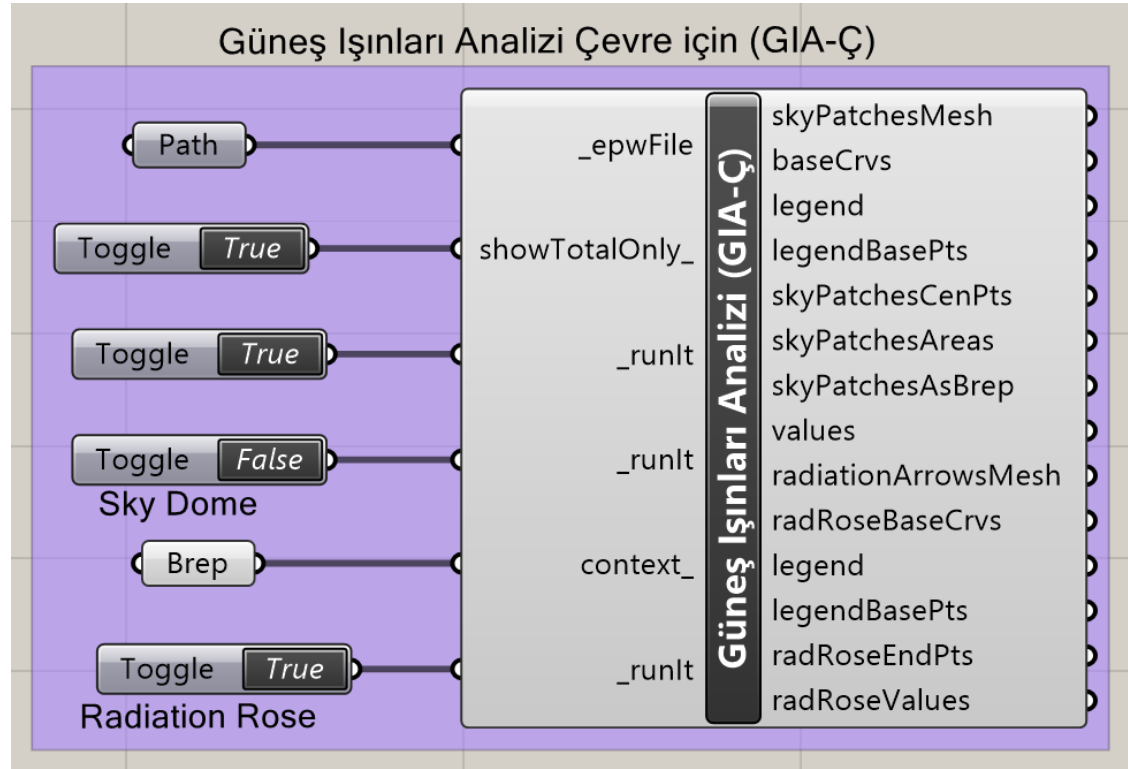
Şekil 2.9. GIY yaz ve ilkbahar dönemi için hazırlanan algoritmik bağlantıların son kısmı

## EK-2. (devamı) Algoritmalar

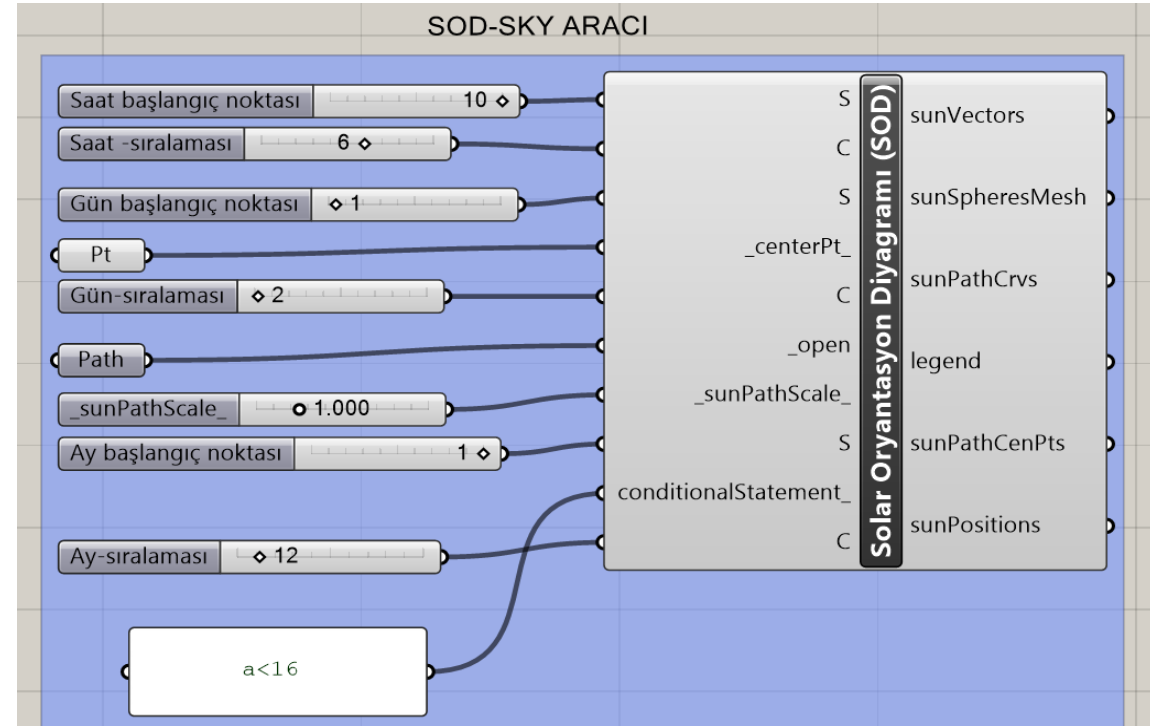


Şekil 2.10. GIA-T için hazırlanan tüm algoritmik bağlantıların son kısmı

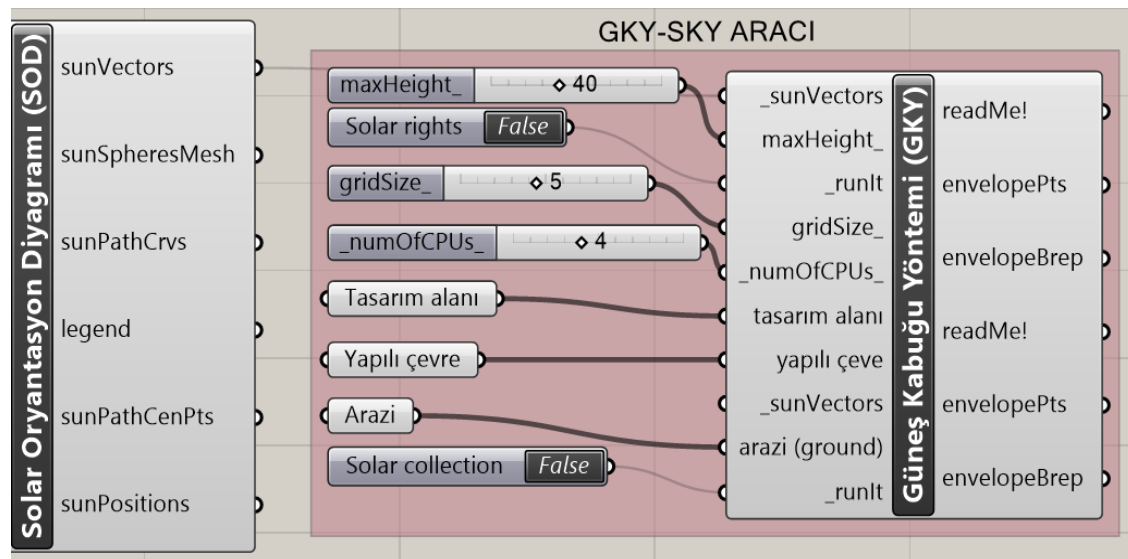
## EK-2. (devamı) Algoritmalar



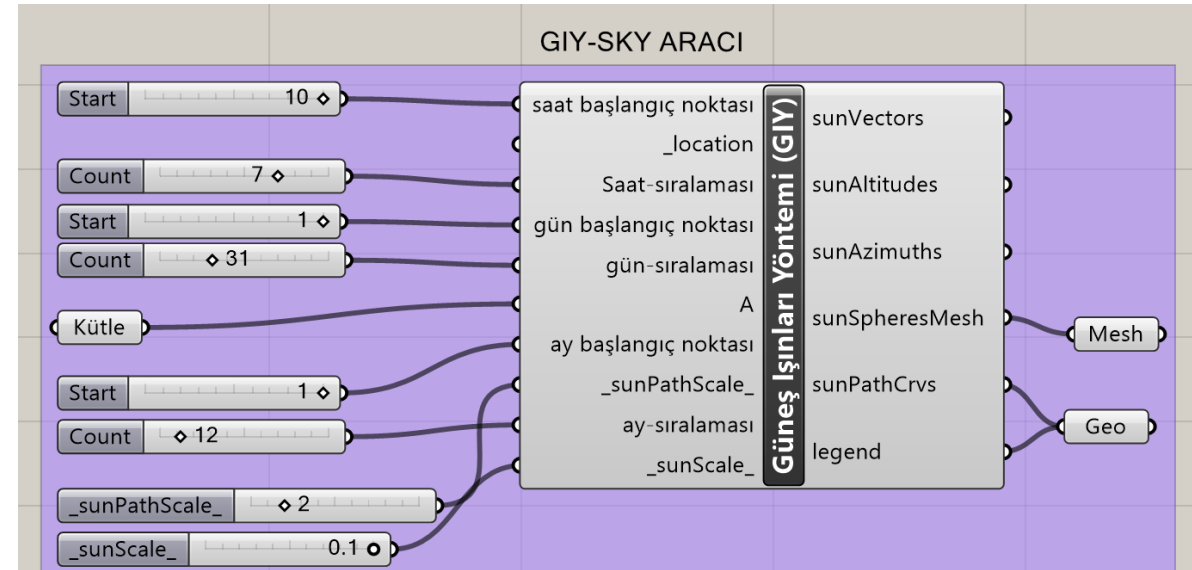
Şekil 2.11. GIA-ÇSKY aracı algoritması



Şekil 2.12. SOD SKY aracı algoritması

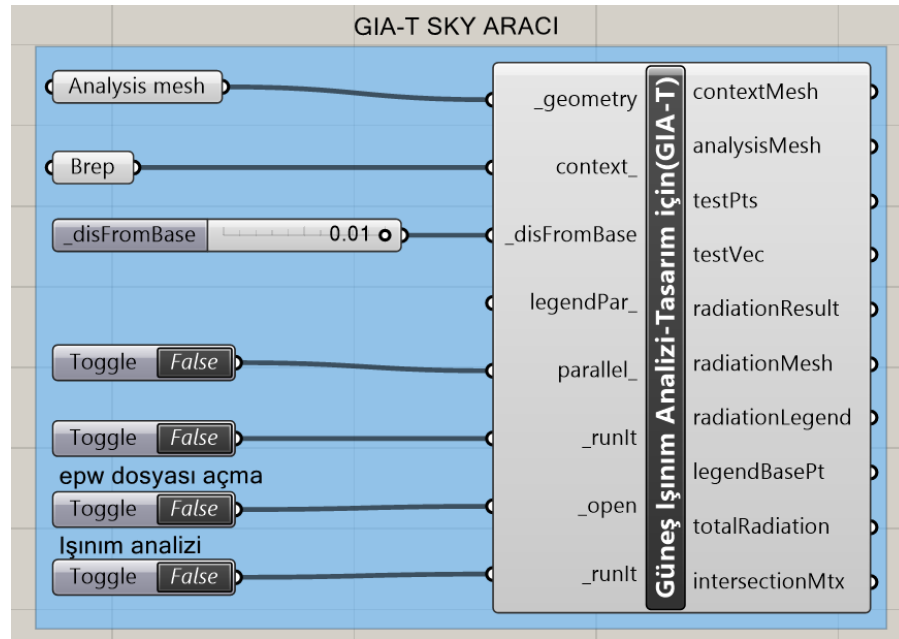


Şekil 2.13. GKY SKY aracı algoritması

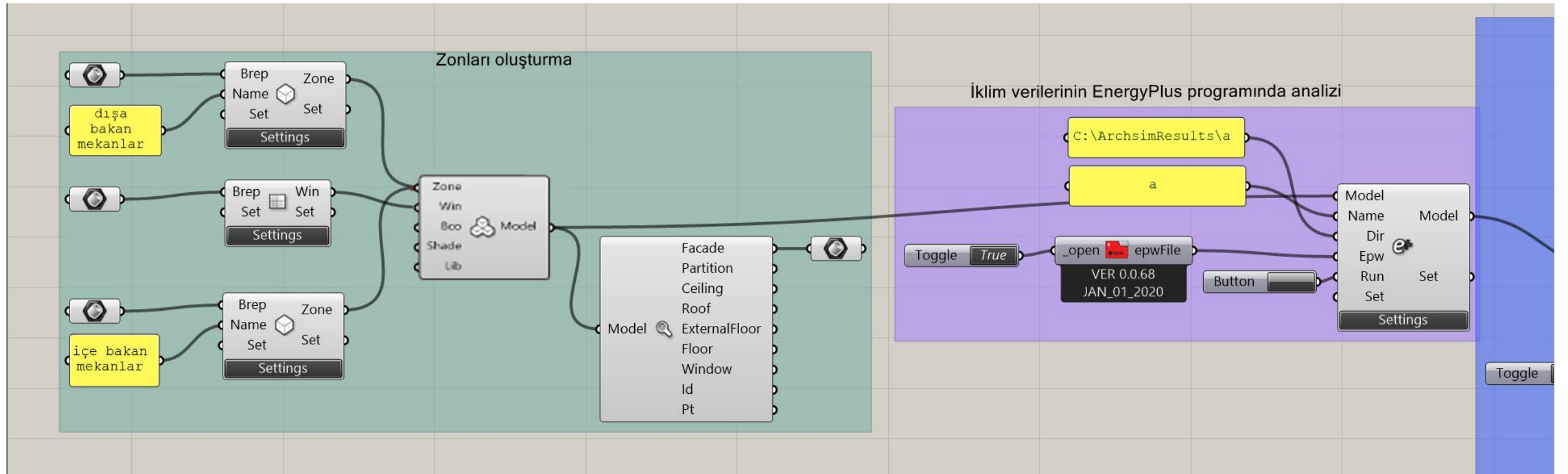


Şekil 2.14. GIY SKY aracı algoritması

## EK-2. (devamı) Algoritmalar

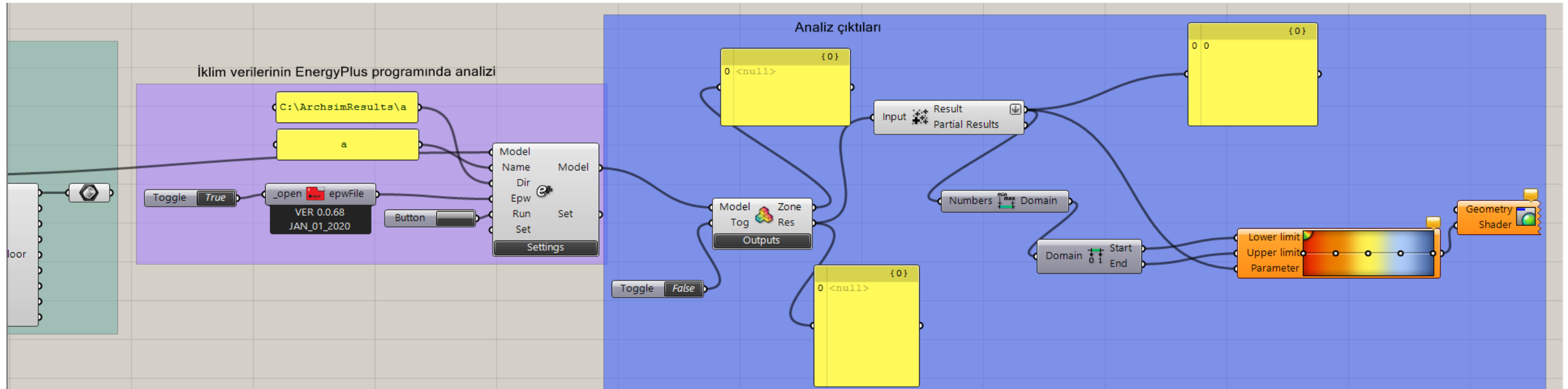


Şekil 2.15. GIA-T SKY aracı algoritması

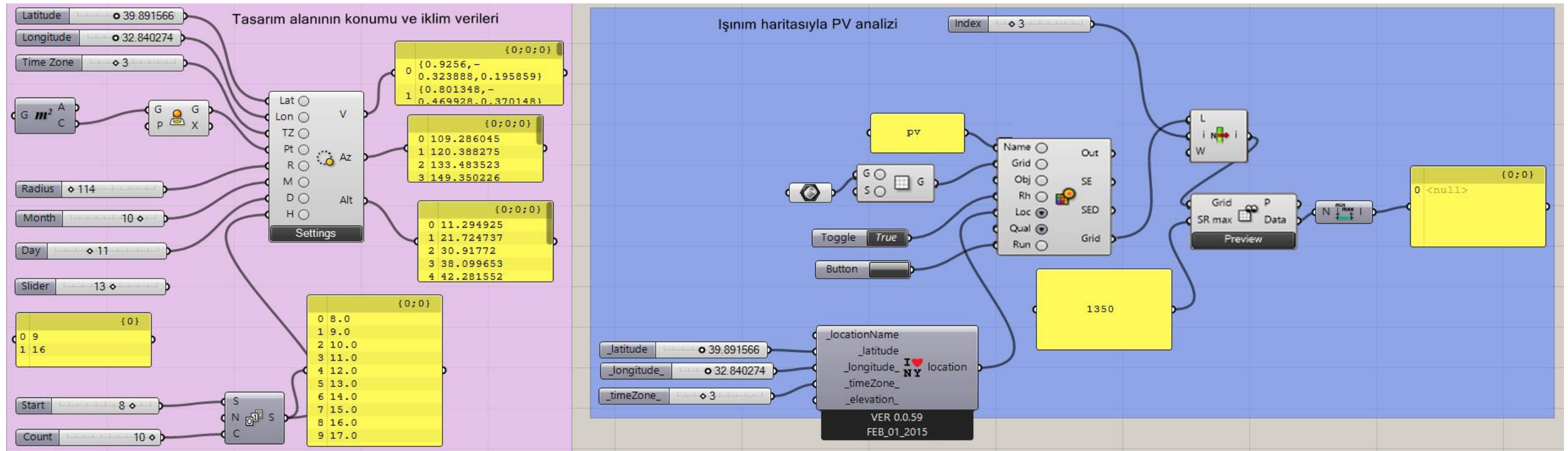


Şekil 2.16. ArchSim yazılımındaki algoritmik bağlantıların ilk kısmı

## EK-2. (devamı)Algoritmalar



Şekil 2.17. ArchSim yazılımındaki algoritmik bağlantıların son kısmı



Şekil 2.18. Diva yazılımındaki tüm algoritmalar

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALAGÖZ, Meryem  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 16.07.1982, Konya  
 Medeni hali : Bekâr  
 Telefon : 0 (332) 325 20 27  
 E-mail : meryemalagoz@gmail.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                  | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|--------------------------------|------------------|
| Doktora       | Gazi Üniversitesi / Mimarlık   | Devam Ediyor     |
| Yüksek Lisans | Selçuk Üniversitesi / Mimarlık | 2009             |
| Lisans        | S.D.Ü. / Mimarlık              | 2004             |
| Lise          | Niğde Atatürk Y.D.A. Lisesi    | 2004             |

### İş Deneyimi

| Yıl                | Yer                            | Görev               |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| 2014- Devam Ediyor | Necmettin Erbakan Üniversitesi | Araştırma Görevlisi |
| 2009-2014          | Anta Dek.İnş.Ltd.Şti.          | Yüksek Mimar        |
| 2007-2009          | Doğuş İnş. ve Tic. A.Ş.        | Mimar               |
| 2005-2007          | Kerimler Plan. Mim. Ltd.Şti.   | Mimar               |
| 2004-2005          | Tamer Mim.– Mühç Ltd.Şti.      | Mimar               |

### Yabancı Dil

İngilizce

## Yayınlar

Alagöz, M. ve Beyhan F. (2020). Methods to Discover the Optimum Building Envelope in the Context of Solar Data. *Gazi University Journal of Science*, 33 (2), 318-340.

Alagöz, M. (2019). Comparison of Certified “Green Buildings” In The Context Of Leed Certification Criteria, Porównanie Certyfikowanych “Zielonych Budynków” W Kontekście Kryteriów Certyfikacji Leed, *Architecturae Et Artibus* – 41, 3/2019, 5-20,

Alagöz, M., Sarıcioğlu, P. ve Woloszyn, M. (2019). Examination of Samples Public Buildings According to Energy Efficient, Badanie Obiektów Użyteczności Publicznej W Aspekcie Ich Sprawności Energetycznej, *Space and Form*, s:111-122, DOI: 10.21005/pif.2019.38.B-08.

Beyhan, F. Alagöz, M. (2019). Swot Analysis of Performance Based Optimum Building Envelope Design Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(082040), 1-11. doi:10.1088/1757-899X/471/8/082040.

Beyhan, F. ve Alagöz, M. (2018). Optimum Building Solution Strategies Based on the Solar Data in Performative Architecture, *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 978-3-319-63708-2.

Alagöz, M. (2018). Sürdürülebilir Kent Bağlamında Cittaslow Yaklaşımı, Eğirdir İlçesinin Cittaslow Kriterleri Açısından İncelenmesi, *Art Index (Art Research Database, EBSCO), Asia Minor Studies*.

Alagöz, M. (2017). Giving Function Of Obsolete Industrial Zone For Improving Urban Value - Bursa Merinos Cultural Center And Park, *International Refereed Journal Of Design and Architecture*.

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2017) Kentsel Sergileme Senaryolari: Konya Kenti Örneği, *İnönü University Journal of art and science*.

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2017). Meydanlarda Su Ögesinin Kullanımı, *Mimarlar Dergisi*

Alagöz, M. (2017). Mimarlık Eğitiminde Geleneksel Ve Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım Süreci, *Mimarlar Dergisi*.

Civelek, E. ve Alagöz, M. (2017). Mimari Çözümlerin Binalarda Oluşabilecek Risk Durumlarında İnsan Davranışlarına Etkisi, *Mimarlar Dergisi*.

Alagöz, M. ve Özdoğan, A. (2016). Cultural Heritage And One Of The Unesco World Heritage List Cumalıkızık, *International Journal Of Current Research*.

Alagöz, M., Semerci, F. ve Aydın, D. (2015). Anadolu da Modernizmin Yerel Açılımları Konya da Üç Yapı Üzerinden Örnekleme, *Türk İslam Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi*.

Alagöz, M. ve Uysal, M. (2008). Sanayi Yapıları Tasarım Sorunlarının Konya III Organize Sanayi Bölgesindeki Üç Yapı Üzerinde İrdelenmesi, *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.

## Bildiriler

Alagöz, M. (2016). *Refunction Of Industrial Heritage*, Central Europe towards Sustainable Building (CESB16), Prag

Alagöz, M. ve Özdoğan, A. (2016). *Sustainable Planning In Historical Environments A Case Study In Bursa Cumalıkızık*, 3. International Architectural Design Conference - Archdesign 16 (DAKAM),

Erdoğan, E. ve Alagöz, M. (2017). *The Investigation Of Beyşehir Eşrefoğlu Mosque With Shape Grammar Methodology*, Architectural Heritage 'Xx17 / International Conference On Conservation Of Architectural Heritage And Urban History.

Beyhan, F. ve Alagöz, M. (2017). *Optimum Building Kabuğu Solution Strategies Based on The Güneş Date in Performative Architecture*, ISBS 3rd International Sustainable Buildings Symposium

Alagöz, M. ve Özaktan, S. G. (2017). *Komşumuz Suriye Ve Sığınmacılardan Doğan Mekansal Sorunlar, Çare Odaklı Çözümler*, X. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Edirne

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2015). *Changing Cities And Sustainability Konya City Sample*, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2015), Ankara.

Özaktan, S. G. ve Alagöz, M. (2018). *Türk Konutunun Komşuluk İlişkileri Bağlamında Değişiminin Mekân Dizim Yöntemi İle Analizi: Konya Örneği*, Isuep 2018 Uluslararası Kentleşme Ve Çevre Sorunları Sempozyumu Değişim/Dönüşüm/Özgünlük, Eskişehir.

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2015). *Değişen Kentler ve Değişen Sınırlar Konya Kenti Örneği* Changing Cities and Changing Boundries The Case Study of Konya City, 9. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Sınırla-Ma (9th. International Sinan Symposium, Boundary), Edirne.

Alagöz, M. (2015). *Refunctioning of Industry Structures and Sustainability*, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2015), Prag

Beyhan, F. ve Alagöz, M. (2018). *A Swot Analysis Of Performance Based Optimum Building Kabuğu Design Methods*, World Multidisciplinary CivilEngineering-Architecture-Urban Planning Symposium, Prag

Alagöz, M. (2017). *Energy Efficient Building Design And Samples*, ICOEST-3rd International Conference On environmental Science And Technology, Budapeşte.

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2014). *Merkez Bankası Konya Şubesi Binası*, Docomomo-Türkiye Mimarlığında Modernizmin Yerel Açılımları, Erzurum.

Alagöz, M. ve Arslan, H. D. (2015). *Konya Devlet Tiyatrosu*, Docomomo-Türkiye Mimarlığında Modernizmin Yerel Açılımları, Bolu

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2017). *Urban Exhibition and Exhibition Culture: Konya City Sample*, International Congress on Cultural Heritage and Tourism, Konya

Alagöz, M. (2016). *Mimarlık Eğitiminde Dijital Ortam Kullanımı*, 1. International Academic Research Congress (INES) , Side, Antalya.

Semerci, F. ve Alagöz, M. (2017). *Geçmişten Günümüze Meydanlarda Su Ögesi*, 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi.

Alagöz, M., Semerci, F. ve Aydın, D. (2014). *Fatih Çarşısı Binası*, Docomomo-Türkiye Mimarlığında Modernizmin Yerel Açılımları, Erzurum.

Alagöz, M. (2015). *Gazi Mustafa Kemal İlköğretim Okulu*, Docomomo-Türkiye Mimarlığında Modernizmin Yerel Açılımları, Bolu.

Alagöz, M., Semerci, F. ve Aydın, D. (2014). *Yeşim Meram Sitesi*, Docomomo-Türkiye Mimarlığında Modernizmin Yerel Açılımları, Erzurum.

Alagöz, M. (2016). *Workshop Larin Mimarlık Eğitimindeki Yeri*, 1. International Academic Research Congress (INES) , Side, Antalya.

Alagöz, M. ve Sarıcioğlu, P. (2018). *The First LEED Certified Hospital of the World in the Scope of Energy Efficient Green Building: Memorial Bahçelievler Hospital*, 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Kemer, Antalya.

Sarıcioğlu, P. ve Alagöz, M. (2018). *Analyzing of Kinetic and Biomimetic Design Approaches by Examples*, ISAS-International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Kemer, Antalya.

Alagöz, M. (2017). *Sürdürülebilir Yeşil Bina Sertifikasyonunda Bir Leed Örneği*, Konya Kelebek Bahçe Ve Böcek Müzesi, 2. Uluslararası Mühendislikmimarlık Ve Tasarım Kongresi, Kocaeli.

Alagöz, M. (2018). *Cittaslow Movement In The Context Of Sustainability: Example of Eğirdir*, 11th International AGP Conference on Humanities and Social Sciences, Malta.

Alagöz, M. ve Beyhan, F. (2019). *A Method Recommendation for Optimum Building Envelope Design Based on the Performance Related to Solar Data. On Architecture Challenges in Architecture, Urban Design and Art Proceedings*, Sustainable Urban Society Association – STRAND, 214-230, Belgrad, Sırbistan. ISBN 978-86-89111-21-7

## **Hobiler**

Yüzme, Resim, Fotoğrafçılık, Seyahat



*GAZİ GELECEKTİR..*